



Changement climatique et énergie en Méditerranée



Plan Bleu

Centre d'Activités Régionales

Sophia Antipolis
juillet 2008

Etude réalisée sous la direction d'Henri-Luc THIBAUT, Directeur du Plan Bleu.

Etude coordonnée par Stéphane QUEFELEC, responsable des activités énergie/climat, Plan Bleu.

Le Plan Bleu remercie :

Les auteurs principaux :

Yves TOURRE, Patrick VAN GRUNDERBEECK de Médias France ; Houda ALLAL, Habib ELANDALOUSSI, Thomas NIESOR et Jean-Loup ROUYER de l'OME ; Frédéric BLANC de l'Institut de la Méditerranée/FEMISE ; Stéphane POUFFARY et Charlotte COLLEU de l'ADEME, Cellule Expertise Internationale pour la Maîtrise de l'Energie ; Rafik MISSAOUI, Consultant, Tunisie ; Nejib OSMAN de l'ANME, Tunisie ; Rafik Y. GEORGY et Adel T. SOLIMAN consultants, Egypte ; Henri BOYE, Elisabeth COUDERT, Céline GIMET, Silvia LARIA, Patrice MIRAN, Jean de MONTGOLFIER, Roméo PRENGERE, Stéphane QUEFELEC et Gaëlle THIVET, du Plan Bleu.

Les membres du Comité de pilotage :

Mme Anca-Diana BARBU, Programme Manager, Energie et environnement, Agence européenne pour l'environnement ; M. Filippo GIORGI, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics ; M. Magdi IBRAHIM, Coordinateur des programmes d'environnement et de développement durable ENDA Maghreb ; M. Antoine-Tristan MOCILNIKAR, ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT/France), M. Roberto VIGOTTI, Président du Comité « Energies renouvelables et développement durable » de l'OME.

Les experts qui ont apporté leurs commentaires, en particulier :

Mohamed BLINDA, Henri BOYE, Luc DASSONVILLE, Jean-Pierre GIRAUD, Yasmine GUESSOUM, Pierre ICARD, Florence PINTUS, Cécile RODDIER-QUEFELEC, Caroline SCHEURLE, Oliver KESERUE du Plan Bleu. Virginia ALZINA et Marc SANTACANA du Centre d'activités régionales Production Propre (CAR/PP), Samir ALLAL de l'Université de Versailles.

Philippe GUINET, Alain NADEAU, Andrea PINNA de la Banque Européenne d'Investissement.

Les experts nationaux et régionaux qui ont contribué aux travaux sur la question de l'énergie d'une part et de l'eau d'autre part en 2006 et 2007 et qui ont ainsi largement participé à la collecte des informations qui ont été utilisées dans ce rapport.

Les collaborateurs du Plan Bleu qui ont contribué à la mise en page, à la relecture du rapport et au secrétariat du projet : Isabelle JÖHR, Nadège PLACET, Bassima SAÏDI, Pascal BELLEC. Brigitte ULMANN, chargée de communication, qui a contribué à la synthèse et à la préparation de la conférence de presse du 1er juillet 2008.

Les institutions qui ont contribué :

- La Banque Européenne d'Investissement. La présente étude est financée au titre du Fonds fiduciaire de la FEMIP. Ce fonds, créé en 2004 et financé – jusqu'à ce jour- par 15 Etats Membres de l'UE, a pour objectif d'aider au développement du secteur privé via le financement d'études et de mesures d'assistance technique et la provision de fonds propres.
- qui a apporté un soutien financier déterminant pour la réalisation de cette étude.
- L'ADEME, qui a pris en charge une partie de la traduction de l'étude.
- Les autres institutions partenaires



Les appellations employées dans le présent document et la présentation des données qui y figurent n'impliquent aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, régions ou villes, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Les points de vue exposés reflètent l'opinion des auteurs et ne représentent en aucun cas le point de vue officiel des institutions partenaires du Plan Bleu ou des pays riverains de la Méditerranée.

Les auteurs assument l'entière responsabilité du contenu du présent rapport. Les opinions exprimées ne reflètent pas nécessairement l'avis de la Banque européenne d'investissement.

SOMMAIRE GENERAL

Changement climatique et énergie en Méditerranée

Résumé exécutif	iv
Conclusion générale	xi
Introduction générale	xii

PARTIE 1 Changement climatique en Méditerranée : connaissances scientifiques et impacts

Chapitre 1	Bassin méditerranéen : changement climatique et impacts au cours du 21 ^{ème} siècle	1-3
Chapitre 2	Une revue de la littérature économique sur l'impact du changement climatique dans les pays du sud de la Méditerranée	2-1
Chapitre 3	Les tendances et la structure des émissions de CO ₂ issues de l'énergie dans les économies méditerranéennes	3-1

PARTIE 2 Atténuation des effets du changement climatique : vers un secteur énergétique faible en carbone

Chapitre 4	Energie en Méditerranée : situation et perspectives	4-3
Chapitre 5	Simulation économique de stratégies énergétiques dans les pays de la rive sud de la Méditerranée : Egypte, Maroc, Tunisie	5-1
Chapitre 6	Energies renouvelables et utilisation rationnelle de l'énergie dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée : situation et perspectives	6-1
Chapitre 7	Coût d'un scénario moins émetteur en gaz à effet de serre A. En Tunisie B. En Egypte	7-3 7-35
Chapitre 8	Le défi du secteur de l'électricité, les émissions de CO ₂ liées et les solutions potentielles	8-1

PARTIE 3 Vulnérabilité et adaptation du secteur énergétique

Chapitre 9	Espaces boisés, changement climatique et énergie en Méditerranée	9-3
Chapitre 10	Eau/énergie, Energie/eau et changement climatique en Méditerranée	10-1
Chapitre 11	Défis intersectoriels : énergie/tourisme, villes/énergie et changement climatique	11-1

RESUME EXECUTIF

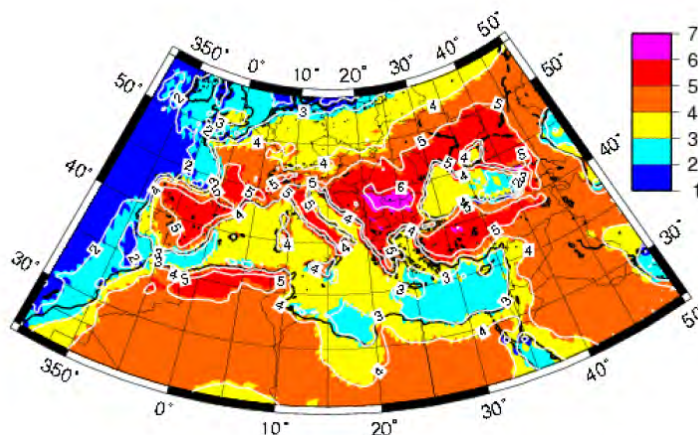
La Méditerranée : un « hot spot » du changement climatique

Depuis 1970, le Sud-ouest de l'Europe (péninsule ibérique, sud de la France) a connu un réchauffement de près de 2°C (GIEC 2007). Ce réchauffement est également perceptible au nord de l'Afrique même s'il est plus difficilement quantifiable du fait d'un réseau d'observations moins complet.

Pour la région Méditerranée, les spécialistes du climat anticipent au cours du 21^{ème} siècle :

- Une augmentation de la température de l'air de 2,2 C° à 5,1 C° pour les pays de l'Europe du Sud et de la région méditerranéenne sur la période 2080 – 2099 par rapport à la période 1980 – 1999 (GIEC 2007, scénario A1B).
- Une baisse sensible de la pluviométrie, comprise entre -4 et -27 % pour les pays de l'Europe du Sud et de la région méditerranéenne (alors que les pays du Nord de l'Europe connaîtront une hausse comprise entre 0 et 16 %) (GIEC 2007, scénario A1B).
- Une augmentation des périodes de sécheresse se traduisant par une fréquence élevée des jours au cours desquels la température dépasserait 30 °C (Giannakopoulos et al. 2005). Les événements extrêmes de type vagues de chaleur, sécheresses ou inondations pourraient être plus fréquents et violents.
- Une hausse du niveau de la mer qui, selon quelques études, pourrait être de l'ordre de 35 cm d'ici la fin du siècle.

Variations moyennes des températures de l'air en été (°C) - 2070-2099 vs. 1961-1990



Source : Somot et al. 2007

Les impacts du changement climatique sur l'environnement méditerranéen concerneront particulièrement :

- L'eau, via une modification de son cycle du fait de la hausse de l'évaporation et de la diminution des précipitations. Cette question de l'eau sera centrale dans la problématique du développement durable dans la région ;
- Les sols, à travers l'accélération des phénomènes de désertification d'ores et déjà existants ;

- La biodiversité terrestre et marine (animale et végétale), via un déplacement vers le Nord et en altitude de certaines espèces, l'extinction des espèces moins mobiles ou plus sensibles au climat et l'apparition de nouvelles espèces ;
- Les forêts, à travers une hausse du risque d'incendie et des risques parasitaires.

Ces impacts amplifieront les pressions déjà existantes sur l'environnement naturel liées aux activités humaines.

Le changement climatique aura notamment des effets sur : l'agriculture et la pêche (diminution des rendements), l'attractivité **touristique** (vagues de chaleur, raréfaction de l'eau), **les zones côtières et les infrastructures** (expositions importantes à l'action des vagues, tempêtes côtières et autres événements météorologiques extrêmes, hausse du niveau de la mer), **la santé humaine** (vagues de chaleur), le secteur **énergétique** (alimentation en eau des centrales, hydro-électricité et consommation accrue).

Les zones méditerranéennes les plus vulnérables seront celles de l'Afrique du Nord voisines des zones désertiques, les grands deltas (ceux du Nil, du Pô et du Rhône notamment), les zones côtières (rive Nord comme rive Sud du bassin) ainsi que les zones à forte croissance démographique et socialement vulnérables (rive Sud et Est, villes denses et banlieues).

Les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM) apparaissent plus vulnérables au changement climatique que ceux de la rive Nord (PNM). En effet, ils sont d'une part, plus exposés à l'accélération de la désertification et de l'aridité des sols, à l'augmentation de la raréfaction des ressources en eau et, d'autre part, ils sont dotés de structures économiques qui dépendent plus fortement des ressources naturelles ainsi que de capacités techniques et financières plus limitées pour mettre en œuvre des options d'adaptation de grande ampleur.

Delta du Nil, impacts potentiels de la hausse du niveau de la Mer



Source : UNEP/GRID-Arendal Maps and Graphics Library.

Emissions de CO₂ non maîtrisées et scénario énergétique risqué

En 2000, 72% des émissions de gaz à effet de serre (GES) méditerranéennes étaient imputables au CO₂ lié à l'utilisation d'énergie ; 77% dans les PNM et 64% dans les PSEM.

En 2025, les émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie seront deux fois plus élevées qu'en 1990 (OME).

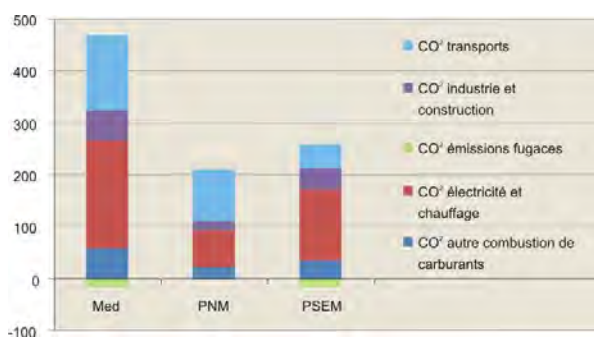
La part des PSEM dans les émissions totales issues de la Méditerranée pourrait approcher 50% en 2025. En 2006, les pays de la rive Nord de la Méditerranée (PNM) ont émis environ les deux tiers des émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie de l'ensemble du bassin méditerranéen (OME).

Mais, la croissance des émissions de CO₂ apparaît beaucoup plus rapide dans les PSEM que dans les PNM. Les PNM ont, en effet, enregistré une augmentation de 18% entre 1990 et 2004. Les

émissions des PSEM ont augmenté de 58% sur la même période. Ce rythme de croissance dépasse de vingt points le rythme mondial (WRI).

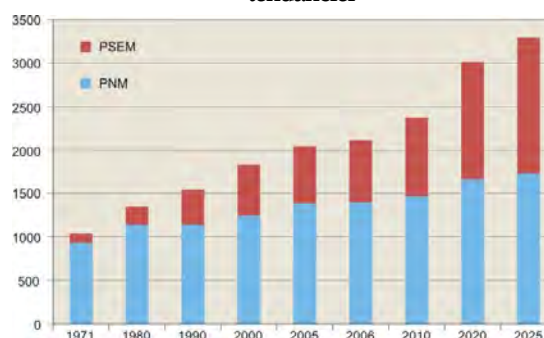
L'électricité et le chauffage représentent le premier contributeur à la hausse des émissions entre 1990 et 2004 dans les PSEM. Pour les PNM, c'est le secteur du transport.

Variation des émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie par secteur entre 1990 et 2004, Millions de t. CO₂



Source : Calculs Plan Bleu d'après données WRI.

Emissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie et projections, (Millions de t. de CO₂), 1971-2025, scénario tendanciel



Source : OME.

La mise à jour du scénario énergétique tendanciel de l'Observatoire Méditerranéen de l'Energie (OME, 2007), basé sur l'agrégation des évolutions estimées par les pays et les grandes compagnies énergétiques, montre que :

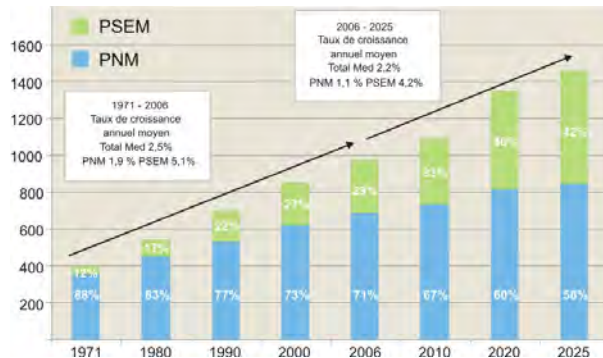
- En 2006, les énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon) dominent l'approvisionnement énergétique à hauteur de 80% pour l'ensemble des pays méditerranéens et de 94% pour les seuls PSEM (75% pour les PNM). La consommation d'énergie primaire par habitant est 3,3 fois moins élevée dans les PSEM que dans les PNM.
- D'ici à 2025, le poids des énergies fossiles devrait se maintenir à des niveaux équivalents. La part du charbon (fortement émetteur de CO₂) résiste dans le mix énergétique en raison de son utilisation prévue pour la production d'électricité.
- La demande d'énergie primaire dans le bassin méditerranéen pourrait être multipliée par 1,5 entre 2006 et 2025 et par 2,2 dans les PSEM en plein développement et dont la population s'accroît sensiblement.
- La demande énergétique se caractérise par une croissance de la demande d'électricité beaucoup plus rapide que celle de l'énergie primaire ou de la population. Elle pourrait être multipliée par 2,6 entre 2006 et 2025 dans les PSEM, notamment du fait d'un triplement des consommations en Turquie, Tunisie et Algérie et un doublement en Egypte et au Maroc.

Quelles que soient les évolutions au niveau global, en Méditerranée, les tensions déjà existantes en matière énergétique risquent de s'accroître sensiblement si le scénario tendanciel se réalise, notamment à travers :

- Les émissions de CO₂ et une accentuation des pollutions atmosphériques locales ;
- Une dépendance énergétique accrue des pays importateurs, plus sensible pour les PSEM importateurs (passant de 77% en 2006 à 88% en 2025) que pour les PNM (passant de 68% à 73% sur la même période) ;
- Les risques sociaux et économiques liés à la hausse des coûts d'approvisionnement et ses répercussions sur la facture énergétique des pays, des ménages et des entreprises ;

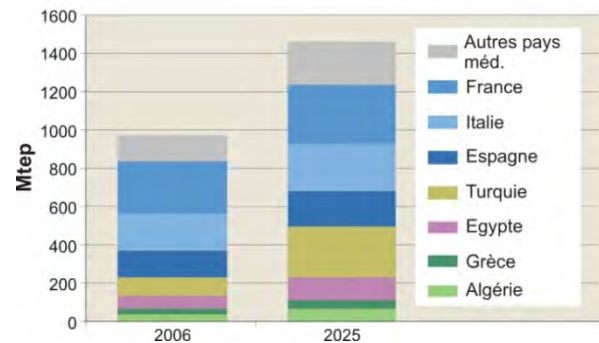
- Les effets du changement climatique sur le système énergétique : via d'une part la production électrique et les infrastructures et d'autre part la croissance de la demande d'énergie.

Demande d'énergie primaire en Méditerranée : évolutions tendancielles (en Mtep)



Source : Observatoire Méditerranéen de l'Energie

Principaux pays consommateurs d'énergie en Méditerranée



Investir aujourd'hui dans l'efficacité énergétique (EE) et les énergies renouvelables (ER) présente des avantages économiques réels à l'horizon 2015

Les simulations économiques entreprises montrent qu'un fort potentiel de gain économique réside du côté de la demande (simulation pour une amélioration de l'intensité énergétique de 10% en 10 ans), à travers des actions d'efficacité énergétique et qu'un effort, somme toute modeste en terme d'ER (porter la part du solaire, éolien, géothermie à un peu plus de 1,1% de l'énergie primaire), permet tout de même un gain non négligeable.

Une extrapolation à l'ensemble des pays MEDA des résultats cumulés obtenus pour 3 pays (Maroc, Tunisie, Egypte) montre que le cumul des actions permettrait dès 2015 un bénéfice annuel d'environ 30 milliards de dollars avec un baril à 120\$ par rapport à une situation où la tendance actuelle perdure (jusqu'à 43 à 49 milliards de \$ avec un baril à 175\$). Environ 36 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP) seraient économisées et des rejets de CO₂ en baisse de 130 millions de tonnes seraient observés.

Ce « coût de la non action » est équivalent au PIB 2005 de la Tunisie qui s'élevait à 28,7 milliards de dollars. La même année, les émissions de CO₂ en provenance de l'utilisation d'énergie étaient d'environ 20 millions de tonnes dans ce dernier pays.

Ce « coût de la non action » reste à comparer aux coûts des actions à mettre en place afin d'atteindre les objectifs d'amélioration de l'intensité énergétique et d'ER.

Les analyses nationales (Egypte et Tunisie) menées dans le cadre de ce rapport révèlent que :

- En Tunisie, le coût pour économiser l'équivalent d'une TEP grâce à la maîtrise de l'énergie est estimé à 40 euros.
- En Egypte, le coût pour économiser une TEP grâce aux énergies renouvelables (éolien) à un coût estimé à 50 euros ; pour économiser une TEP grâce à des actions d'efficacité énergétique, le coût est estimé entre 20 et 30 euros.

- Les investissements nécessaires pour renforcer la contribution des ER et de l'URE pourraient se monter, sur les périodes analysées (2008-2011 pour la Tunisie, 2008-2015 pour l'Égypte) à respectivement 10 et 13% des montants d'investissements prévus dans le secteur de l'énergie sur la même période et devraient être réalisés en plus de ces derniers.

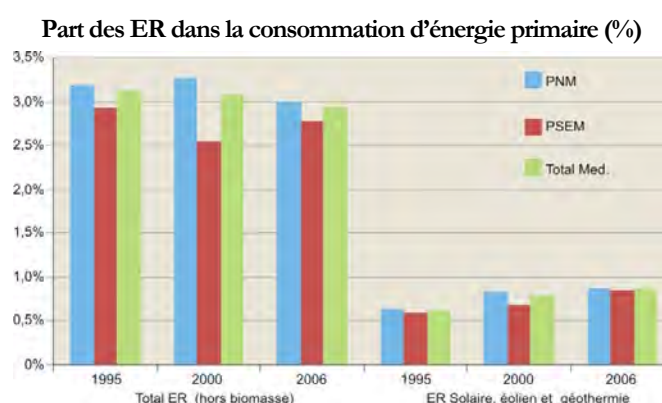
Aux avantages purement économiques et financiers, il convient d'ajouter d'autres bénéfices potentiels en termes d'emplois et de développement (industrie et services) déjà observés, en particulier dans les pays qui mettent en place les formations professionnelles adaptées (Tunisie, Maroc), ainsi que sur la santé de la population locale. A cela il convient également d'ajouter le potentiel de gain financier qui serait rendu possible dans le cadre du Mécanisme de Développement Propre.

La prise de conscience est grandissante mais les avancées en terme d'EE et d'ER restent limitées

La prise de conscience de l'importance de desserrer les contraintes énergétiques et de l'évidence des liens entre environnement et développement en Méditerranée est grandissante.

Sur la rive Nord, dans l'Union européenne, l'adoption de mesures drastiques pour le développement de l'efficacité énergétique, des énergies renouvelables et la réduction des émissions de gaz à effet de serre en est l'illustration. Au niveau national, plusieurs PSEM s'orientent également vers une plus grande sobriété énergétique.

A l'échelle de la région, et au niveau politique, l'adoption en novembre 2005, de la «Stratégie Méditerranéenne pour le Développement Durable» (SMDD) par les Parties contractantes à la Convention de Barcelone sur la protection du milieu marin et du littoral méditerranéen constitue un signal réel. Elle suggère, d'une part, une amélioration de l'intensité énergétique de 1 à 2% par an et, d'autre part, d'atteindre pour les ER 7% de la demande totale en énergie primaire en 2015.



Source : Observatoire Méditerranéen de l'Énergie

En se référant aux objectifs d'ER et d'EE de la SMDD et au rapport publié par le Plan Bleu de 2005, on constate que :

- Dans les PSEM, sauf exception, les applications concrètes d'ER ont une ampleur grandissante mais qu'elles restent limitées. La part des ER (hydraulique, éolien, solaire, géothermie) dans la consommation d'énergie primaire est passée de 2,5% en 2000 à 2,8% en 2006, ce qui reste incompatible avec l'objectif de la SMDD de 7% en 2015.
- L'intensité énergétique dans l'ensemble des pays méditerranéens a progressé de 0,3% par an entre 1992 et 2003, ce qui est loin des objectifs de progression de 1 à 2% proposés par la SMDD. En outre, l'exploitation des gisements d'EE semble être « négligée » par rapport au développement des ER.

Un cadre institutionnel et réglementaire à finaliser et des barrières économiques et financières à lever

Les options de maîtrise de l'énergie apparaissent donc encore sous-exploitées; Pourtant, les nombreux projets réalisés et les expériences de quelques pays dans certaines filières précises (Tunisie, Maroc, Egypte, Israël par exemple), démontrent que les ER et l'EE sont des options crédibles, adaptées et avantageuses.

Le défi de la région reste la généralisation massive des expériences réussies, la création d'un marché méditerranéen des ER et de l'EE et l'orientation des investissements vers les ER et l'EE.

Les obstacles au niveau national identifiés dans ce rapport concernent :

- - Les cadres institutionnels et légaux nécessaires au développement d'un réel marché de la maîtrise de l'énergie qui, malgré les progrès, sont encore souvent incomplets, peu visibles, et parfois instables ;
- - Le manque d'informations sur l'importance des gains économiques et financiers possibles pour les investisseurs comme pour les consommateurs pour les actions d'efficacité énergétique ;
- - Les barrières économiques : les subventions aux énergies fossiles dans de nombreux PSEM se traduisent par un prix à la consommation finale relativement bas ; en outre, une faible efficacité des incitations économiques et financières en faveur des ER et de l'EE est parfois observée.

Une volonté politique forte au niveau national est essentielle pour surmonter ces obstacles.

La coopération régionale et internationale a indéniablement une place importante à tenir, notamment en jouant un rôle de levier et en permettant un transfert de technologie et de savoir faire entre les rives Nord, où les technologies sont disponibles par exemple pour les ER, et la rive Sud qui bénéficie des conditions naturelles les plus favorables ou des gisements d'efficacité énergétiques importants. Dans le futur et sous condition que les cadres légaux entre les pays de la région convergent, l'exportation d'électricité « verte » de la rive Sud vers la rive Nord, et plus largement l'Union européenne, pourrait devenir réalité, notamment à travers le développement de la filière solaire. Le Mécanisme de développement propre est également un outil à mieux mobiliser dans la région.

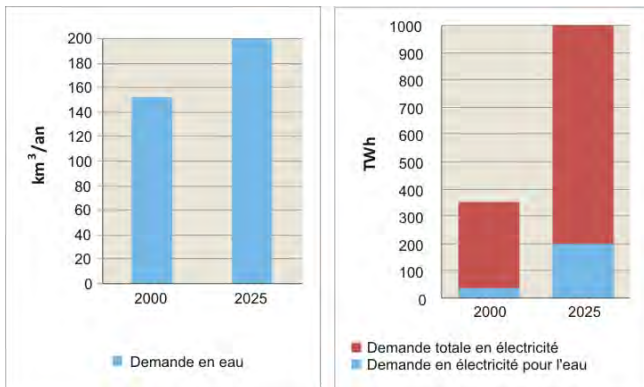
Il n'est plus possible de considérer le développement du système énergétique indépendamment des autres secteurs

Les mesures précédentes doivent, pour avoir des effets importants, être accompagnées d'évolutions dans plusieurs secteurs stratégiques pour lesquels l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables peuvent être considérées, à la fois, comme des mesures de réduction des émissions de CO₂ mais aussi comme des mesures d'adaptation au changement climatique.

Le rapport analyse les implications du changement climatique sur les relations entre l'énergie et l'eau, les espaces boisés, le tourisme et les espaces urbains.

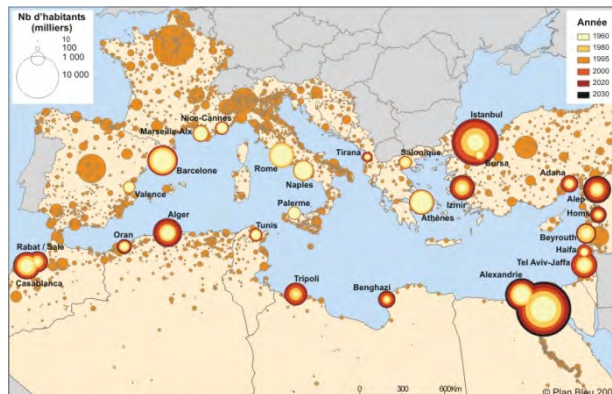
Ainsi, les besoins en électricité pour la production et la mobilisation de l'eau qui représentent actuellement environ 10 % de la demande d'électricité des PSEM, pourraient atteindre 20% à l'horizon 2025. Cette tendance pourrait être infléchiée en premier lieu par la mise en place de politiques d'utilisation rationnelle de l'eau, et en second lieu par l'utilisation des ER et des technologies les plus efficaces en énergie pour la mobilisation de l'eau non conventionnelle.

Demande en eau et en électricité dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM), projection tendancielle 2025



Source : OME, Plan Bleu.

Evolution de quelques villes de pays méditerranéens – Projections à 2030



Source : Plan Bleu d'après Géopolis 1998, ONU, World Urbanization Prospects: The 2005 revision.

CONCLUSION GENERALE

La Méditerranée, en particulier la rive Sud et Est, est et sera plus touchée par le changement climatique que la plupart des autres régions du monde au cours du 21^{ème} siècle.

Les impacts de la hausse des températures, la diminution des précipitations, l'augmentation du nombre et de l'intensité des événements extrêmes et la hausse possible du niveau de la mer se superposent et amplifient les pressions liées aux activités humaines déjà existantes sur l'environnement naturel.

A travers, la question cruciale de la raréfaction des ressources en eau, leurs effets devraient avoir des conséquences lourdes au cours du 21^{ème} siècle sur les activités humaines, en particulier sur l'agriculture, la pêche, le tourisme, les infrastructures, les zones côtières urbanisées ou encore la production d'hydroélectricité. Afin de minimiser autant que possible les dégâts et les pertes économiques, de nombreuses options d'adaptation devront être identifiées et mises en place.

L'énergie se trouve au cœur de la problématique du changement climatique. D'une part, c'est le principal secteur émetteur de gaz à effet de serre, et, les émissions de CO₂ dans le futur pourraient augmenter bien plus vite que la moyenne mondiale. D'autre part, la production hydro-électrique, relativement importante dans certains pays (13% de la production d'électricité dans les PSEM), est contrainte par le climat de même que le refroidissement des centrales. Enfin la demande d'énergie (en particulier d'électricité), en très forte hausse dans la région pourrait encore s'accroître du fait de demandes supplémentaires nécessaires pour pallier les effets du changement climatique (dessalement de l'eau, climatisation des bâtiments...etc.).

Développer à grande échelle les énergies renouvelables et donner la priorité à l'efficacité énergétique pour maîtriser la croissance de la demande, les émissions de CO₂ et desserrer les contraintes énergétiques est aujourd'hui une opportunité économique pour les PSEM. Les coûts de la non action montrent qu'investir aujourd'hui dans ce domaine peut produire des bénéfices économiques de l'ordre de 30 milliards à l'horizon relativement proche de 2015 (avec un baril à 120 USD). En outre, économiser une TEP (tonne équivalent pétrole) coûte de 4 à 5 fois moins que mobiliser une TEP supplémentaire d'énergie fossile.

Dans les PSEM, en plein développement, de nombreuses possibilités d'anticipation existent pour les 7 à 10 prochaines années pour à la fois maîtriser la hausse des consommations, la croissance des émissions de CO₂ et diminuer la vulnérabilité du secteur de l'énergie.

L'option de l'efficacité énergétique (EE) est possible immédiatement et présente le rapport coût/efficacité le plus élevé, en particulier dans le secteur du bâtiment (eau chaude sanitaire, éclairage basse consommation, isolation des bâtiments), mais aussi celui de l'industrie et du transport.

L'option des énergies renouvelables (ER) est également réalisable immédiatement, en parallèle, pour certaines filières. A terme, la filière solaire présente un intérêt particulier tant au niveau national que pour le développement d'un marché euro-méditerranéen de l'électricité renouvelable.

L'accélération de la pénétration du gaz naturel et/ou la rénovation des centrales les plus anciennes sont également des solutions pour réduire les émissions de CO₂. D'autres options comme celles de la capture et du stockage du carbone pour pallier les émissions liées à l'utilisation du charbon pour la production électrique apparaissent encore très coûteuses, incertaines et ne verront probablement pas de développement à grande échelle dans les PSEM à l'horizon 2020-2025.

Enfin, les choix, en particulier dans le secteur de « l'eau », de l'urbanisme, du tourisme (transport, organisation spatiale, bâtiments) détermineront les croissances futures de consommation d'énergie et la vulnérabilité de la région face au changement climatique. Ils ne peuvent plus se traiter indépendamment des questions énergétiques.

A ce jour, compte tenu des contraintes et des incertitudes tant climatiques qu'énergétiques et de la croissance de la demande d'énergie dans les PSEM, le renforcement du rôle des ER et de l'EE dans tous les secteurs devient une nécessité plutôt qu'un choix.

INTRODUCTION GENERALE

Contexte

Le Groupe Intergouvernemental sur le Changement Climatique (GIEC) a confirmé dans son 4ème rapport (2007) que l'augmentation de concentration des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère résultait de l'activité humaine, notamment de la consommation et la production d'énergie, et qu'en conséquence, les températures devraient sensiblement augmenter au cours des prochaines années.

La Méditerranée, en particulier ses rives Sud et Est, devraient être plus touchée par le changement climatique que la plupart des autres régions du monde au cours du 21^{ème} siècle.

Les impacts de la hausse des températures, la diminution des précipitations, l'augmentation du nombre et de l'intensité des événements extrêmes et la hausse possible du niveau de la mer pourraient ainsi se superposer et amplifier les pressions liées aux activités humaines déjà existantes sur l'environnement naturel.

A travers notamment la question centrale de la raréfaction des ressources en eau, les effets devraient être particulièrement marqués sur l'agriculture, la pêche, le tourisme, les infrastructures, les zones côtières urbanisées ou encore la production d'hydroélectricité. Afin de minimiser autant que possible les dégâts et les pertes économiques qui en résulteront de nombreuses options d'adaptation devront être identifiées et mises en place.

L'énergie se trouve au cœur de la problématique du changement climatique. Le secteur énergétique est, en effet, le principal secteur émetteur de gaz à effet de serre - et les émissions de CO₂ augmentent plus vite en Méditerranée que dans le monde en moyenne- et le changement du climat influence directement la production et la consommation d'énergie (en particulier d'électricité). Ainsi, face au changement climatique et à sa réalité, la région devra, d'une part, adapter son système énergétique et d'autre part, opter pour des solutions énergétiques à faible émission de CO₂ afin de participer aux efforts d'atténuation du changement climatique.

Face à ces constats, le Plan Bleu et la Banque Européenne d'Investissement se sont associés pour produire un rapport sur « climat et énergie en Méditerranée ».

Réalisation du rapport

Pour réaliser ce rapport, le Plan Bleu s'est appuyé sur des institutions régionales et des experts nationaux compétents dans le domaine du climat et de l'énergie (MEDIAS, l'Observatoire Méditerranéen de l'Energie (OME), l'Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME), l'Agence Tunisienne de la Maitrise de l'Energie (ANME), la Femise/institut de la Méditerranée). Vingt cinq contributeurs ont été directement impliqués dans la rédaction du rapport dont un comité de pilotage international composé d'experts du GIEC, de l'OME, des ONG et des gouvernements nationaux a supervisé et guidé les travaux.

Ce rapport fait suite aux travaux antérieurs du Plan Bleu sur l'énergie, le développement durable et le changement climatique. Il se réfère notamment au rapport du Plan Bleu « Méditerranée : les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement » (2005) et aux activités conduites en 2006-2007 au titre du suivi des chapitres « Energie et changement climatique » et « Eau » de la Stratégie Méditerranéenne de Développement Durable.

Outre l'utilisation des bases de données régionales (Eurostat/MEDSTAT, OME, Plan Bleu, Femise) et internationales (Banque Mondiale, World Resource Institute, ONU, FMI), de nombreuses

informations et études de cas ont été réalisées ou rassemblées à l'occasion d'ateliers d'experts (notamment en partenariat avec MEDITEP et ENERGAÏA).

Le rapport comporte 11 chapitres. Chacun d'entre eux peut être lu indépendamment des autres mais l'ensemble constitue un tout cohérent et articulé. Le rapport fait appel à des approches méthodologiques variées : modèles climatiques, modèles et simulations économiques, projections énergétiques, prospective et systémique (interaction entre secteurs et systèmes) et s'attache à quantifier l'évolution énergétique (et des émissions associées) permettant ainsi d'offrir un panorama chiffré détaillé des évolutions passées (depuis 35 ans) et des futurs possibles (2025) de la région.

Objectifs et contenu du rapport

Le rapport couvre les 21 pays méditerranéens bordant la mer méditerranée mais examine de façon particulière les rives Sud et Est du bassin méditerranéen¹.

Il est divisé en trois parties.

La Partie I offre une synthèse des résultats scientifiques sur l'évolution climatique possible en Méditerranée au cours du 21^{ème} siècle. Les impacts associés aux évolutions possibles sont analysés. Leurs effets attendus en terme économique sont abordés à travers une revue de la littérature économique sur les coûts du changement climatique. Enfin, cette partie offre un panorama complet et détaillé des tendances passées et futures des émissions de gaz à effet de serre et de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie.

Les Parties II et III sont relatives aux questions d'énergie.

La Partie II analyse les options possibles qui s'offrent à la région, dès maintenant, pour maîtriser la croissance des émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie. Des simulations et des quantifications économiques de coûts et d'avantages sont effectuées pour différentes options et scénarios alternatifs à l'horizon 2015 pour l'ensemble de la région. En outre deux études de cas (l'une pour la Tunisie et l'autre pour l'Égypte) affine l'analyse des scénarios alternatifs et leurs coûts au niveau des pays.

La Partie III met en évidence les impacts et la vulnérabilité du système énergétique méditerranéen (production, distribution, consommation) face aux inévitables changements climatiques dans la région. Sur la base d'études de cas, elle met en évidence comment le secteur de la production d'électricité est lui-même perturbé par le changement climatique. Elle montre aussi comment les options de développement dans des secteurs/ressources clefs (forêt, eau, bâtiment, tourisme, ville) dans un contexte de changement climatique peuvent impacter fortement la demande d'énergie à terme.

¹ Pays riverains de la Méditerranée : Pays du Sud et de l'Est (PSEM) : l'Algérie, l'Égypte, Israël, le Liban, la Libye, le Maroc, la Syrie, les Territoires Palestiniens, la Tunisie, et la Turquie. Pays du Nord de la Méditerranée (PNM) : Bosnie-Herzégovine, Chypre, Croatie, Espagne, France, Italie, Grèce, Malte, Monaco, et Slovénie. Ce rapport inclut également des informations sur la Jordanie, pays non riverain de la Méditerranée mais participant au partenariat euro-méditerranéen.

PARTIE 1

Changement climatique en Méditerranée : Connaissances scientifiques et impacts

CHAPITRE 1

Bassin méditerranéen : changement climatique et impacts au cours du 21^{ème} siècle

CHAPITRE 2

Une revue de la littérature économique sur l'impact du changement climatique dans les pays du sud de la Méditerranée

CHAPITRE 3

Les tendances et la structure des émissions de CO₂ issues de l'énergie dans les économies méditerranéennes

INTRODUCTION

Cette partie a pour objectif de d'analyser et de comprendre les évolutions climatiques dans le bassin méditerranéen, leurs impacts physiques et économiques ainsi que de considérer la contribution de la région au changement climatique.

Le chapitre 1 analyse les résultats scientifiques issus des modèles climatiques, les impacts environnementaux possibles des changements attendus et leurs effets en terme physique sur les activités humaines.

Le chapitre 2 aborde la problématique économique liée aux effets du changement climatique sur les activités humaines. A partir d'une revue de la littérature, il met en lumière les estimations de coût du changement climatiques obtenues par les économistes.

Le chapitre 3 considère la contribution de la région au changement climatique à travers une analyse détaillée des émissions de gaz à effet de serre et de CO₂.

CHAPITRE 1

Bassin méditerranéen : changement climatique et impacts au cours du 21^{ème} siècle

Patrick VAN GRUNDERBEECK

Medias France, Directeur (Météo-France)

Yves M. TOURRE

Médias-France, Thématicien Météo-France/LDEO de l'Université de Columbia

REMERCIEMENTS

MM. Patrick Van Grunderbeeck et Yves M. Tourre (MEDIAS-France, Météo-France & LDEO de l'université de Columbia) tiennent à remercier M. Henri-Luc Thibault (Plan Bleu, Directeur), Mme Céline Gimet, M. Stéphane Quefelec et M. Patrice Miran (Plan Bleu, experts), et M. Samuel Somot (Météo-France), avec qui ils ont eu des discussions et des échanges fructueux.

TABLE DES MATIERES

MESSAGES CLES	8
INTRODUCTION	10
I. LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES PREVUS DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN AU COURS DU 21^{EME} SIECLE	12
1. De l'échelle globale a l'échelle régionale	12
2. Problèmes de modélisation du bassin méditerranéen	15
3. Données sur le changement climatique	16
4. Prévision du changement climatique : résultats recents	18
5. incertitudes sur les changements climatiques dans le bassin méditerranéen	33
6. Conclusion	34
II. LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIO-ECONOMIQUES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN	35
1. La vue d'ensemble	35
2. Les impacts sur le cycle hydrologique	38
3. Les impacts sur les écosystèmes et la biodiversité	45
4. Les impacts sur l'agriculture	50
5. Les impacts sur les zones cotières, les basses terres, les infrastructures connexes et le transport	52
6. Les impacts sur la santé publique	55
7. Les impacts, politique et adaptation	59
III. CONCLUSION	63
BIBLIOGRAPHIE	64

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 - Les moyennes multi modèles et les intervalles estimés du réchauffement global en surface (°C) au cours du 21 ^{ème} siècle.....	13
Figure 2 - Processus d'interaction entre l'atmosphère et l'océan, avec leurs échelles spatio-temporelles pour le bassin méditerranéen.....	14
Figure 3 - Le bassin méditerranéen il y a 18 000 ans.....	18
Figure 4 - L'indice Nord Africain – Asie de l'Ouest (NAWA).....	20
Figure 5 - Variations du niveau de la mer observées durant les sept premières années du projet TOPEX/Poseidon, en mm/année.....	23
Figure 6 - La résolution des mesures de la hauteur de surface de la mer (SSH) a été grandement améliorée par l'utilisation de quatre satellites altimétriques : Jason-1, ENVISAT ou ERS-2, TOPEX/Poseidon (T/P) et GEOSAT Follow On (GFO).....	24
Figure 7 – (haut) Nombre de journées estivales avec température supérieure à 25 °C, et (bas) nombre de journées estivales avec température supérieure à 30 °C.....	25
Figure 8 – Comparaison sur le nombre de jours par année avec température supérieure à 30 °C, entre le présent et la seconde partie du 21 ^{ème} siècle.....	27
Figure 9 – Variations des précipitations et des températures sur l'Europe et le bassin méditerranéen.....	28
Figure 10 – Variations simulées de précipitations (en %) durant l'hiver (DJF, haut) et l'été (JJA, bas), période 2080 - 2100 moins la période 1961 - 1990.....	30
Figure 11 – Anomalies saisonnières (haut, hiver; bas, été) de températures en °C. A noter les importantes anomalies estivales (bas) positives (ovale orange) sur le bassin nord-ouest de la Méditerranée.....	31
Figure 12 – Anomalies saisonnières de précipitations en mm/jour (haut, hiver ; bas, été). À noter les anomalies hivernales (haut) importantes (ovale orange) sur la frange nord de l'EM.....	32
Figure 13– Disponibilité d'eau (ou changement du ruissellement annuel, exprimé en %) au milieu du 21 ^{ème} siècle, selon les scénarios B1 (estimations basses) et A2 (estimations élevées) du GIEC.....	36
Figure 14– L'évolution de l'incertitude croissante, des hypothèses socio-économiques d'ordre général à l'interprétation régionale des résultats, y compris les impacts, en passant des MCG aux MCR.....	37
Figure 15 - Les éléments de vulnérabilité qui ressortent lorsque l'on associe les impacts potentiels aux capacités adaptatives.....	37
Figure 16 - Les stratégies pluridisciplinaires à l'intention des décideurs, comprenant les liens entre les politiques régionales et locales et le guide des meilleures pratiques pour la conception et la mise en œuvre des SAD (Systèmes d'Aide à la Décision) pour la GIRE (Gestion Intégrée des Ressources en Eau) dans le bassin méditerranéen.....	40
Figure 17 - Les effets de la toxicité du chlorure (gauche) et du bore (droite) sur la végétation (taille réduite des feuilles, santé fragilisée).....	44
Figure 18 – Le rendement relatif des cultures (en %, sur l'ordonnée) versus la salinité calculée à partir de la conductivité (EC) du sol saturé (en dS/m, sur l'abscisse).....	50
Figure 19 – La diminution en apport d'eau fraîche, en bleu, et en vert l'augmentation des quantités d'eaux saumâtres (en millions de m ³ /an, sur l'ordonnée) dans l'EM au cours des 15 dernières années, avec les valeurs prévues pour l'an 2010.....	51
Figure 20 – Les impacts des événements météorologiques extrêmes (tempêtes, surcotes marines...) sur les routes et les structures du littoral méditerranéen.....	53
Figure 21 – L'érosion des dunes de sable par l'action des tempêtes et des surcotes marines, à partir de données du modèle « S-beach » du programme LITEAU.....	53
Figure 22 - Cent cinquante ans d'observations portant sur le recul du trait de côte dans le nord-ouest méditerranéen.....	54
Figure 23 – La demande en énergie primaire : tendances et prévisions en Mtep (ou million de tonnes équivalent pétrole) pour les PNM (pays nord méditerranéens, en bleu) et les PSEM (pays du sud et de l'est méditerranéen, en vert) depuis le début des années 70.....	55

Figure 24 – Image montrant la répartition de Chlorophylle-a (en mg/m ³) dans le bassin méditerranéen le 10 octobre 2006, provenant de MODIS-AQUA et réalisée à l'aide de l'algorithme NASA OC3.....	58
Figure 25 – Le taux moyen de sinistralité (MDR, ordonnée en %) est fonction de la qualité de la construction et les vitesses maximales des rafales de vent locales (en m/s, sur l'abscisse).....	61
Tableau 1 - Température de surface de la mer (SST, en °C).....	21
Tableau 2 – Extrêmes de températures et de précipitations dans les pays du bassin méditerranéen.....	26
Tableau 3 – Les ressources en eau des pays méditerranéens.....	39
Tableau 4 – La consommation d'eau (extraction totale d'eau en hm ³) des pays méditerranéens, les surfaces de terres irriguées (en 1 000 ha) et l'eau d'irrigation seule (en hm ³). Un tiers de l'eau extraite est utilisée pour l'irrigation.....	41
Tableau 5– Les moyennes annuelles de ruissellement (in m ³ /s) pour l'apport en eau douce des principaux fleuves (et de la mer Noire).....	42
Tableau 6 - Le nombre de personnes (en millions) dans la région Machrek qui seront exposés au stress hydrique d'ici 2055.....	42
Tableau 7 - Les impacts majeurs sur les cycles hydrologiques de certains deltas, golfes, pays, zones humides, traits de côte dans la Méditerranée.....	62

MESSAGES CLES

Des changements marqués dans les passés lointain et récent :

En Méditerranée, des passés lointains ont connu des évolutions climatiques importantes (avec de températures pouvant être en moyenne de 8°C inférieures à aujourd'hui (il y a 20 000 ans) ou bien supérieures de 1 à 3°C (il y a 6000 ans). Selon les périodes, les paysages, la faune et la flore, le découpage des côtes (du à des variations du niveau de la mer de plusieurs dizaines de mètres) ont été très différents. Ces évolutions se sont étalées sur plusieurs centaines, voire milliers d'années.

En revanche, la situation actuelle et celle attendue dans les prochaines années est caractérisée par la rapidité des taux de changements. Ce facteur rend plus important l'ampleur des impacts anticipés car les évolutions relativement rapides ne permettent pas une acclimatation et une adaptation progressive des écosystèmes et des sociétés. En outre, on observe des événements météorologiques d'ampleur jamais enregistrée jusqu'ici. Par exemple, en juin et juillet 2007, deux vagues de chaleur extrême ont frappé le sud-est de l'Europe, où les maxima quotidiens, qui étaient supérieurs à 40°C/104°F et ont atteint 45°C/113°F en Bulgarie.

Depuis 1970, le sud-ouest de l'Europe (péninsule ibérique, sud de la France) a connu un réchauffement de près de 2°C (GIEC 2007). Ce réchauffement est également perceptible sur le nord de l'Afrique même s'il est plus difficilement quantifiable du fait d'un réseau d'observation moins complet.

Des incertitudes mais des consensus pour le 21^{ème} siècle faisant de la région un « hot spot du changement climatique » :

Les incertitudes sur les projections régionales du climat au 21^{ème} siècle dans le bassin méditerranéen sont essentiellement dues au fait que les méthodes numériques et techniques de désagrégation ne sont pas les mêmes pour tous les modèles régionaux. Les incertitudes sur les multiples domaines impactés sont elles dues au fait que les interactions et rétroactions entre les composantes des 'sphères' (systèmes physiques) qui composent le climat (y compris la biosphère) sont très complexes.

Cependant, les conclusions des spécialistes du climat convergent vers un certain nombre de consensus généraux :

- même si l'objectif de l'Union Européenne de ne pas dépasser, une hausse globale moyenne des températures de 2°C est atteint, en Méditerranée, les hausses de températures seront vraisemblablement supérieures à 2°C et, du fait des caractéristiques écologiques et socio-économiques de la zone, les impacts seront plus importants que dans de nombreuses autres régions du monde; Ainsi, la Méditerranée a été qualifiée de « hot spot du changement climatique » (Giorgi, 2007).
- une diminution générale des précipitations moyennes sur l'ensemble du bassin méditerranéen est attendue.
- les zones méditerranéennes les plus vulnérables sont celles de l'Afrique du Nord voisines des zones désertiques, les grands deltas (ceux du Nil, du Pô et du Rhône par exemple), les zones côtières (rive Nord comme rive Sud du bassin) ainsi que les zones à forte croissance démographique et vulnérables socialement (rive Sud et Est, villes denses et banlieues) (GIEC AR4, 2007).
- les impacts du changement climatique sur l'environnement sont déjà sensibles en Méditerranée, eux-mêmes ayant d'ores et déjà des effets observés sur les activités humaines.
- Compte tenu des incertitudes mentionnées précédemment, des scénarios plus pessimistes (scénarios de rupture avec des changements brutaux et rapides) ou plus optimistes autour des scénarios centraux présentés ici sont tout de même possibles.

Un consensus a été atteint concernant les hausses de températures et les baisses de précipitations sur l'ensemble du BM :

- Selon le 4^{ème} rapport du GIEC, sous scénario A1B, la température de l'air connaîtra une augmentation d'entre 2,2°C et 5,1°C pour les pays de l'Europe du Sud et de la région méditerranéenne si on compare la période 2080 - 2099 avec la période 1980 - 1999 (avec quelques différences selon les sous régions).
- Les mêmes projections donnent une baisse considérable de la pluviométrie comprise entre -4 et -27% pour les pays de l'Europe du Sud et de la région méditerranéenne (alors que les pays du Nord de l'Europe connaîtront une hausse comprise entre 0 et 16%). Une augmentation des périodes de sécheresse (associées à la dégradation des terres) se traduisant par une fréquence élevée des jours au cours desquels la température dépasserait 30°C est également prévue (Giannakopoulos et al. 2005).
- Les événements extrêmes de type vagues de chaleur, sécheresses ou inondations pourraient être plus fréquents et violents.

Quant à l'évolution du niveau de la mer, des séries temporelles plus longues à partir de données d'altimétrie satellitaire, ainsi qu'une amélioration du réseau in situ de mesures des marées, sont encore nécessaires afin de pouvoir arriver à des conclusions solides. Quelques études climatologiques seulement estiment que le niveau de la mer pourrait monter d'une moyenne de 35 cm au cours du 21^{ème} siècle.

L'eau au cœur des principaux impacts du changement climatique sur l'environnement naturel en Méditerranée, se traduisant notamment par :

- **L'eau** : Une modification rapide du cycle de l'eau du fait de la hausse de l'évaporation et de la diminution des précipitations ;
- **Les sols** : Une diminution de la capacité de stockage des eaux (du fait de la modification de leur porosité suite au changement de température les rendant plus secs), l'accélération des phénomènes de désertification d'ores et déjà existants (sur-utilisation et appauvrissement des sols) ;
- **La biodiversité terrestre et marine** (animale et végétale) : Un déplacement vers le nord et en altitude de certaines espèces, l'extinction des espèces plus sensibles au climat ou moins mobiles et l'apparition de nouvelles espèces ;
- **Les forêts** : une hausse du risque d'incendie et des risques parasitaires ;
- **Les êtres vivants**: des problèmes de santé animale et humaine du fait de stress thermiques répétés (vagues de chaleur) et une éventuelle apparition de maladies infectieuses et parasitaires en des lieux inhabituels jusque là.

Des impacts lourds de conséquences pour les activités humaines :

Ces impacts se rajoutent et amplifient les pressions déjà existantes sur l'environnement naturel, leurs effets devraient donc avoir des conséquences d'autant plus lourdes au cours du 21^{ème} siècle qui auront elle-même de lourdes conséquences physiques directes sur les activités humaines

La question de l'eau, d'ores et déjà centrale dans les préoccupations de développement durable en Méditerranée (en particulier au Sud) du fait de sa rareté, sera un facteur clef par lequel les effets du changement climatiques sur les activités humaines doivent se propager.

Les activités humaines et les zones impactées directement par les effets du changement climatique en Méditerranée concernent principalement :

- **L'agriculture et la pêche** : Une diminution des rendements agricoles et halieutiques est attendue (du fait des conditions cumulées de températures, précipitations, état des sols et des comportements des espèces animales et végétales). Par exemple, au Maroc, le modèle Cropwat (FAO, 2001) appliqué aux cultures hivernales de céréales sous scénario 3^{ème} rapport du GIEC montre des baisses de rendement de l'ordre de 10% en année normale et de 50% en année sèche d'ici 2020 et une production nationale en baisse de 30%. Les besoins en eau des espèces cultivées augmenteront avec un climat plus sec et plus chaud. On peut aussi supposer que si les peuplements de poissons changent (du fait de migrations d'espèces et/ou de modification dans la chaîne alimentaire) au profit d'espèces d'origine subtropicale la valeur et les quantités de prises seront profondément modifiées.
- **Le tourisme** : Le climat est une composante essentielle du choix de la destination pour les touristes. Si les vagues de chaleur et les températures estivales augmentent avec des problèmes de ressources en eau, l'attractivité des régions méditerranéennes pourrait diminuer au profit de régions plus septentrionales. Certaines estimations retiennent qu'un réchauffement de 1°C à l'horizon 2050 pourrait déboucher sur une diminution de 10% de la fréquentation touristique sur la rive Sud.
- **Les zones côtières** : Parmi les impacts les plus sérieux, on peut citer des expositions plus importantes des infrastructures à l'action des vagues et tempêtes côtières. Les mêmes problèmes se poseront pour les installations portuaires (Alexandrie, La Goulette), les zones lagunaires (Venise), et les deltas (Nil, Rhône). En ce qui concerne les infrastructures les impacts les plus coûteux seront ceux associés aux événements extrêmes, intenses et de courtes durées.
- **L'énergie** : Parmi les activités industrielles, la production d'énergie est le secteur le plus impacté physiquement par les effets du changement climatique. Une conséquence de l'augmentation du stress hydrique couplée à l'occurrence plus fréquente d'événements climatiques extrêmes consisterait en la réduction du potentiel hydro-électrique et de celui du refroidissement des centrales thermiques (diminution de rendements). Le plus grand nombre probable d'événements extrêmes devraient nécessiter des redimensionnements ou modifications (ex : barrages dimensionnés pour des débits de pointe plus élevés qu'aujourd'hui).

Ainsi, le bassin méditerranéen peut-être considéré comme un "laboratoire du changement climatique" pour évaluer les vulnérabilités et les impacts du changement climatique et pour mettre en place des mesures d'adaptation et de réduction d'émissions.

INTRODUCTION

Contexte

Au cours du 14^{ème} siècle, Ibn Khaldoun encourageait une connaissance meilleure et plus approfondie des activités politiques et socio-économiques entre l'Est et l'Ouest, l'Europe et l'Afrique du Nord, tous unis par le bassin méditerranéen. Son oeuvre, qui fût très importante, avait pour base le fait qu'une chose ne peut être comprise sans que l'autre ne le soit, et qu'au-delà des conflits qui se produisaient autour du bassin méditerranéen, il existait une dynamique productive et intense tissée de relations culturelles, commerciales et humaines et liée sans doute aux variabilités du climat. Le bassin méditerranéen (BM) et ses pays riverains, ses frontières solides et ses peuples en perpétuel mouvement, peut être qualifié de « continent liquide » selon Bruno Etienne¹, sociologue et politologue.

Il devrait être souligné qu'au cours des 50 dernières années, les changements climatiques ont déjà laissé leurs signatures sur la mer Méditerranée. Mise à part les éventuels scénarios et impacts présentés ici, le BM est considéré comme étant un 'laboratoire' ou un 'incubateur' naturel dans lequel ces changements et les changements à venir pourront être évalués.

Le BM est une région fortement hétérogène où les activités naturelles et anthropogéniques interagissent de manières complexes avec les variabilités climatiques, sur différentes échelles spatio-temporelles avec une panoplie d'impacts pluridisciplinaires.

Les commentaires et exemples qui suivent servent à illustrer la complexité des interactions entre le temps/climat et l'environnement naturel : dans la mer Méditerranée, le cycle hydrologique serait-il amplifié par des conditions de réchauffement rapides ? Le taux de recyclage global de l'eau a augmenté de 3 % entre 1988 et 1994 (Chahine, Haskins et Fetzer, 1997). L'air sec et plus chaud advecté depuis l'Afrique (Sirocco) pourrait se charger de plus de vapeur d'eau au-dessus de la mer (nouveaux résultats provenant de météorologues français). Si cet excès de vapeur d'eau se trouve au-dessus des terres, celles-ci pourraient rester plus fraîches (de par une couverture nuageuse plus étendue et/ou une évaporation accrue). Cela suppose que le bassin méditerranéen sera suffisamment exposé au rayonnement solaire pour se réchauffer. Cela ne pourrait seulement se produire que si la couverture nuageuse au-dessus de la mer restait faible. Une climatologie nuageuse à haute résolution est donc nécessaire pour la mer comme pour la terre. Les précipitations n'augmenteraient pas forcément avec la seule hausse du niveau d'humidité des sols² et elles pourraient dépendre des saisons.

Dans le passé récent, les modèles climatiques n'étaient pas très fiables quant aux simulations des impacts régionaux de l'effet de serre sur le bassin méditerranéen (Cubasch et al., 1996). Cette situation a maintenant évolué de manière considérable. Les expériences de modélisation et les résultats les plus récents ont en effet été capables d'apporter des informations précieuses concernant l'Europe et le BM, à des échelles spatio-temporelles plus fines.

Au niveau socio-économique, il existe un grand nombre d'interactions entre les évolutions climatiques et les effets associés à celles-ci. Alors que ces interactions complexes ont été identifiées (GIEC, 4ème rapport d'évaluation, 2007), les changements climatiques ont déjà des impacts bien définis sur le bassin méditerranéen et les régions qui l'entourent. Il est également important de rappeler que les impacts intégrés sont aussi dus aux activités anthropiques « locales » répondant aux besoins socio-économiques et qu'ils se superposent aux changements climatiques. Ces impacts

¹ http://www.lapenseedemidi.org/revues/revue1/articles/19_grenade.pdf

² L'eau stockée dans les sols ou à leur surface et qui peut s'évaporer. L'humidité du sol est un paramètre qui est souvent utilisé dans les modèles du climat. Les modèles actuels, qui incorporent les processus de la canopée et des sols, considèrent l'humidité des sols comme étant le contenu en eau retenue en excès du point de flétrissement de la végétation.

pluridisciplinaires (ayant des conséquences directes sur l'environnement et les écosystèmes et/ou sur les activités humaines, y compris les problèmes concernant la santé publique) pourraient alors eux-mêmes être amplifiés par des effets non linéaires.

C'est pourquoi l'heure est venue de formuler un plan à long terme pour le développement durable et l'adaptation des pays du bassin méditerranéen, tant au niveau local que national et sous-régional. Ainsi, l'évaluation des projections climatiques pour le 21^{ème} siècle (à partir d'études antérieures ou en utilisant les tout derniers modèles à plus haute résolution afin de produire des rétroprévisions, des prévisions pour l'immédiat ainsi que des prévisions futures) est maintenant primordiale.

Objectifs

Ce chapitre a plusieurs objectifs : 1) d'examiner tous les résultats récents et les connaissances portant sur les changements climatiques dans le BM, ainsi que d'évaluer et de propager les données les plus récentes concernant les changements climatiques prévus dans le BM au cours du 21^{ème} siècle ; 2) d'identifier les conséquences des changements climatiques sur l'environnement et les écosystèmes naturels – leurs rapports aux activités humaines seront aussi étudiés puisque d'importantes mesures d'adaptation socio-économiques sont attendues.

Sources de données et méthodologie

Les données et les résultats portant sur les changements climatiques comprennent des analyses provenant d'études et de proxies paléo climatologiques. Les dernières déclarations issues du rapport du GIEC (rapport d'évaluation 4) sont également présentées. Les projections climatiques portant sur le 21^{ème} siècle proviennent de modèles climatiques mondiaux et régionaux, y compris ARPEGE-IFS. Les résultats ont été sélectionnés parmi les scénarios clés du GIEC : A1B, B1, et A2. Les analyses d'impacts et les résultats sont fondés sur des recherches appliquées pluridisciplinaires et sectorielles.

Plus particulièrement, la partie I présentera les problèmes associés aux changements climatiques planétaires et leurs rapports aux signatures régionales, notamment sur le bassin méditerranéen (BM) en utilisant les résultats (y compris les incertitudes associées) recueillis à partir de différents modèles, allant des modèles de circulation générale (MCG) aux modèles climatiques régionaux (MCR) à plus haute résolution. Les problèmes de spatio-temporalité et de descente d'échelle spécifiques au bassin méditerranéen (géographie, topographie, rétroactions des populations) seront aussi examinés. À partir du climat historique (diagnostics et études de proxies) et de l'état actuel du climat, des scénarios concernant le BM seront proposés pour des paramètres tels que la température, les précipitations, les évolutions du niveau marin (telles qu'observées depuis l'espace). Des projections spécifiques et régionales basées sur des résultats scientifiques, ainsi que des résultats provenant de mesures de suivi en continu, seront proposées pour le milieu et la seconde partie du 21^{ème} siècle.

Dans la Partie II, les conséquences pluridisciplinaires seront présentées, regroupées en deux sous-parties (activités liées à l'environnement et activités humaines). La partie comprendra notamment les impacts portant sur : a) l'hydrologie, les écosystèmes et la biodiversité ; b) l'agriculture (la sécurité alimentaire), les infrastructures et les littoraux, ainsi que la santé publique. Pour conclure la Partie II, les rapports entre les impacts, les politiques et les mesures d'adaptation seront examinés.

I. LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES PREVUS DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN AU COURS DU 21^{EME} SIECLE

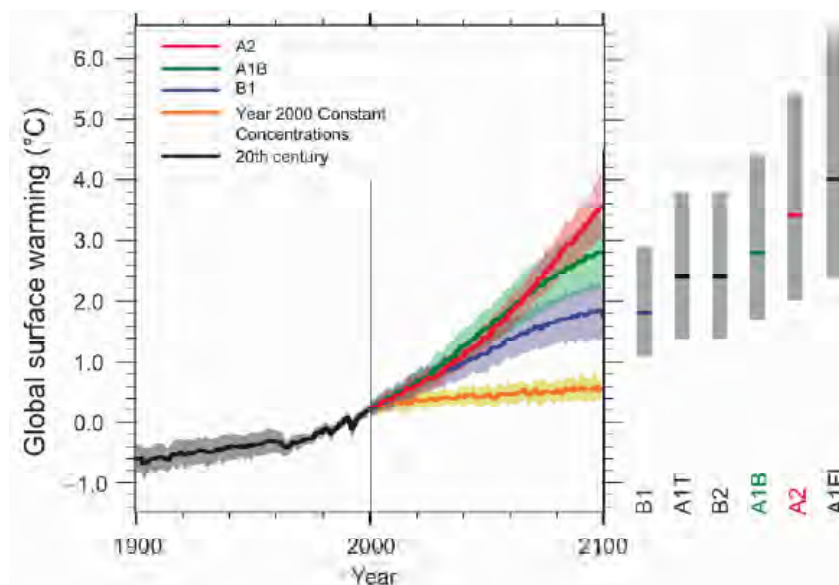
Dans cette partie, les changements climatiques prévus pour le BM sont présentés de deux manières : les évolutions globales sur le BM de paramètres physiques tels que la température, les précipitations, et le niveau de la mer, identifiées à partir des derniers résultats fournis par la modélisation (à plus haute résolution) globale et régionale, des technologies de télédétection, puis des prévisions plus précises et détaillées pour le milieu et la seconde partie du 21^{ème} siècle. Ces dernières pourront être utilisées par les décideurs et les acteurs à tous niveaux afin de mettre en œuvre des procédures d'atténuation et d'adaptation optimales.

1. DE L'ECHELLE GLOBALE A L'ECHELLE REGIONALE

L'influence mondiale des gaz à effet de serre (GES) est plutôt bien connue et a pour résultat un réchauffement moyen de la surface de la Terre. Il y a plus d'un siècle, le chercheur Suédois Svante Arrhenius (1859 - 1927, prix Nobel de la paix en 1903) a suggéré, à juste titre, qu'une augmentation anthropogénique de la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère pourrait provoquer un réchauffement supplémentaire de notre planète. L'équilibre radiatif de la Terre doit également être pris en compte puisque les variations de l'albédo dues aux différentes couvertures nuageuses et surfaces terrestres, l'absorption d'énergie par la vapeur d'eau, ainsi que les aérosols, jouent un rôle fondamental en termes d'équilibre énergétique. Les GES comprennent un grand nombre de gaz tels que la vapeur d'eau (le plus efficace en termes d'absorption du rayonnement infrarouge provenant de la Terre), le dioxyde de carbone et l'ozone, le méthane et bien d'autres, et l'influence observée de l'activité anthropique sur les concentrations en GES est parfois difficile à modéliser.

Le débat concernant les problèmes liés aux changements climatiques mondiaux pourrait être influencé par des intérêts politiques, industriels et commerciaux, et par l'opinion publique. Bien qu'un grand nombre de points de vue soient exprimés, les scientifiques ont la responsabilité majeure de traiter ces problèmes et d'évaluer avec précision les incertitudes qui y sont liées. Au début du 21^{ème} siècle, il est intéressant d'évaluer le dernier rapport du GIEC (Quatrième Rapport d'évaluation (RE4), 2007) en s'appuyant sur six scénarios différents d'émissions. La Figure 1 (rapport du GIEC, 2007) représente les moyennes multi modèles et les intervalles estimés pour chacun des six scénarios de réchauffement en surface.

Figure 1 - Les moyennes multi modèles et les intervalles estimés du réchauffement global en surface (°C) au cours du 21^{ème} siècle



Moyennes selon six scénarios clés du GIEC, notamment : B1 (bleu), A1T, B2, A1B (vert), A2 (rouge), A1F1. La série temporelle orange suppose une concentration en GES stable à partir de l'an 2000

Source : Rapport GIEC, 2007, pour de plus amples informations

D'ici la fin de ce siècle il existera, parmi les six scénarios étudiés, une dispersion de l'augmentation moyenne de la température de l'air en surface, variant entre près de 2 °C pour le scénario le moins élevé (nommés B1 et A2, au sein d'une fourchette probable comprise entre 1,1 °C et 2,9 °C) et environ 4 °C pour le scénario le plus élevé (nommé A1F1, au sein d'une fourchette probable comprise entre 2,4 °C et 6,4 °C). Les scénarios sont basés sur des hypothèses estimant les niveaux de croissance de la population, les activités économiques et commerciales, ainsi que les niveaux de consommation d'énergie. Pour un scénario moyen (nommé A1B), la meilleure estimation est de 3,4 °C (au sein d'une fourchette probable comprise entre 2 °C et 5,4 °C). Les fourchettes sont dues au fait que les mécanismes physiques, qui comprennent des rétroactions entre le climat et les cycles du carbone et du dioxyde de carbone, ne sont encore pas tout à fait compris. Il est intéressant de noter qu'en incluant les rétroactions dans les modèles de circulation générale (MCG), on obtient des incertitudes plus élevées. Bien que les valeurs du réchauffement des températures moyennes présentées dans les différents scénarios puissent paraître peu élevées, 5 °C seulement nous séparent de la dernière période glaciaire. Ainsi, une évolution relativement faible des températures moyennes peut entraîner des événements météorologiques extrêmes beaucoup plus intenses, de par les interactions non linéaires. Ces événements météorologiques extrêmes (liés au climat) sont responsables d'un grand nombre des impacts régionaux et locaux considérables qui touchent l'ensemble de la société humaine. Il est très probable, par exemple, que les canicules s'intensifient (en fréquence et en durée), tandis que les fortes précipitations (ou leur absence) seront réparties différemment par rapport à la climatologie connue. Ces changements prévus dans les extrêmes continueront à contribuer aux évolutions qui sont déjà observées. La projection à partir d'analyses globales devient assez complexe lorsqu'elle doit être régionalisée à l'échelle du bassin méditerranéen (von Storch et al., 1993 ; Giorgi et al., 1992 ; Conway et Jones, 1998 ; Räisänen et al., 1999). Antérieurement, ces analyses avaient fait l'objet des projets européens ECLAT-2³ et ACACIA⁴

³ Action concertée pour améliorer la compréhension et l'application des résultats des simulations des modèles climatiques dans les projets de recherche de l'UE sur les impacts du changement climatique. Son deuxième objectif est de tenir les chercheurs travaillant dans le domaine des impacts du changement climatique, au courant des développements en matière de modélisation climatique et de les informer sur la disponibilité des résultats de nouvelles simulations de changement climatique réalisées en Europe et dans le monde.

⁴ « A Concerted Action Toward a Comprehensive Climate Impacts and Adaptation Assessment for the European Union » : « Action concertée pour une évaluation complète des impacts et de l'adaptation au climat pour l'union européenne »

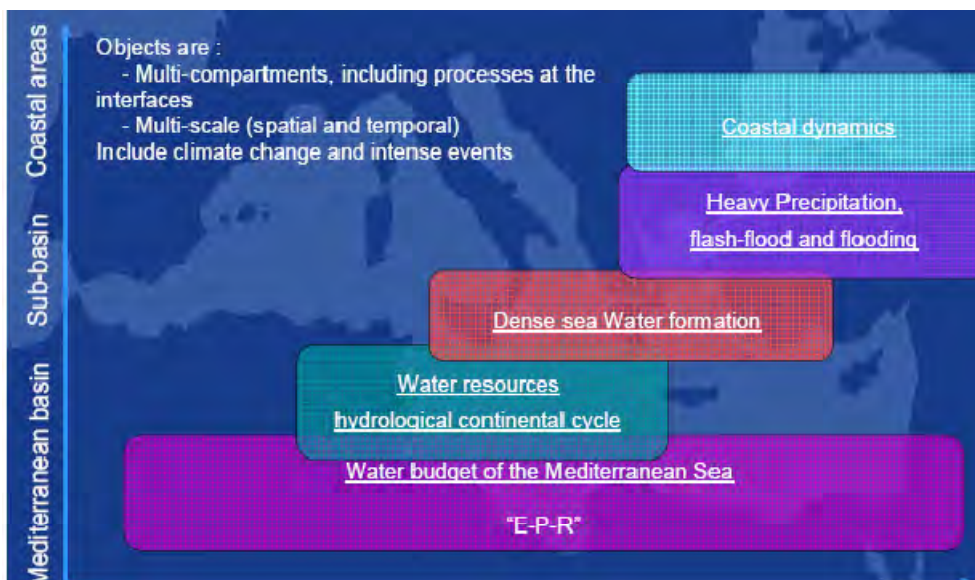
(Parry, 2000). Des conclusions scientifiques accompagnées des problématiques de gestion et d'impacts ont donc été présentées au projet français GICC⁵ (Gestion et Impacts des Changements du Climat).

Les problèmes liés au changement climatique global et s'appliquant au bassin méditerranéen pourraient être classés de la manière suivante :

- Quelle est la contribution régionale des GES à l'équilibre énergétique ?
- Quelles sont les évolutions spatio-temporelles d'origine anthropiques au niveau régional et local ?

Par ailleurs, la descente en échelle d'un modèle de circulation générale vers un modèle de climat régional (MCR) et des échelles spatio-temporelles locales représente en elle-même un défi scientifique puisque le BM présente un haut niveau de complexité ainsi que des processus qui pourraient être plus difficiles à appréhender. La Figure 2 met en évidence la complexité spatio-temporelle et les interactions mer-atmosphère (l'abscisse représente les échelles temporelles allant du siècle aux événements extrêmes en passant par le quasi-décennal et la variabilité saisonnière, adaptation à partir de HYMEX, 2007). De plus, arriver à comprendre les changements climatiques du BM et le cycle global du carbone au niveau régional reste encore un défi. Il est difficile d'évaluer les stocks de carbone dans les réservoirs connus et les flux de carbone entre ces derniers liés aux perturbations anthropiques (Schimel et al., 1996). Par exemple, dans le calcul de l'équilibrage des flux de carbone, il est souvent supposé que l'absorption nette par l'océan du carbone provenant de la perturbation anthropique est égale à la résultante air-mer plus le ruissellement moins la sédimentation (Sarmiento et Sundquist, 1992). Enfin, l'importance de l'activité anthropique en soi dans le BM influera énormément sur l'« état naturel du climat » du bassin lui-même.

Figure 2 - Processus d'interaction entre l'atmosphère et l'océan, avec leurs échelles spatio-temporelles pour le bassin méditerranéen



En ordonnée les échelles spatiales, des zones côtières aux bassins ; en abscisse les échelles temporelles pour les processus séculaires, décennaux, saisonniers jusqu'aux évènements extrêmes.

Source : Adapté de HYMEX, 2007

⁵ « Gestion et Impacts du Changement Climatique ». Initiative française sur le changement climatique et les impacts multidisciplinaires.

2. PROBLEMES DE MODELISATION DU BASSIN MEDITERRANEEN

2.1. Modélisation globale et régionale du climat

Alors que les modèles de circulation générale ont pour but d'apporter des réponses aux questions globales, chacun d'entre eux souffre d'insuffisances pour une application régionale. En effet, certains processus physiques de l'atmosphère, de l'océan (comme la propagation d'ondes océaniques-atmosphériques) et de la biosphère mettent en jeu des échelles beaucoup plus petites. Bien que les modèles de circulation générale puissent être améliorés (meilleures paramétrisations de l'advection et de la subduction océanique par exemple), ils souffriront toujours d'insuffisances intrinsèques. De plus, lorsqu'ils sont utilisés pour des études d'impact régional, ils ne prennent pas toujours en compte les informations pertinentes pour une échelle géographique donnée. Par exemple, l'Italie du sud ou la Sicile ne sont pas bien représentées dans la plupart des modèles climatiques globaux, tandis que la représentation de chaînes de montagnes majeures (comme les Alpes ou l'Atlas), qui influencent directement le climat régional, est largement simplifiée.

2.2. Utilisation et amélioration des MCR

Les modèles climatiques régionaux sont indispensables pour modéliser le bassin méditerranéen, dont l'échelle caractéristique varie du kilomètre à la dizaine de kilomètres. Ces modèles peuvent atteindre une résolution de 50x50 km sur la région d'intérêt, et même jusqu'à 10x10 km sur un domaine limité. Des modèles climatiques régionaux du bassin méditerranéen sont en cours de développement. Certains sont forcés par l'état thermique de la mer, tandis que les modèles entièrement couplés devront décrire de façon adéquate la convection profonde océanique ainsi que la variabilité de l'importante circulation thermohaline (par exemple aux échelles saisonnières et annuelles pour commencer).

L'amélioration des MCR est un domaine actif de recherche pour le bassin méditerranéen. D'après Somot (2005), les facteurs importants pour optimiser et améliorer la qualité d'un modèle climatique régional sur le bassin méditerranéen sont les suivants :

- Améliorer la compréhension et la simulation de la circulation thermohaline avec ARPEGE-Climat⁶ et NEMO⁷, en prenant en compte les flux atmosphère-océan ;
- Identifier les erreurs systématiques des modèles avec des simulations sur plusieurs années ou décades, et tester la sensibilité du modèle (rétroactions) ;
- Choisir des régions spécifiques, forcées par les données d'ERA40 ;
- Évaluer les incertitudes et les dépendances spatio-temporelles du modèle ;
- Quantifier l'impact du changement climatique global sur la bio-chimie ;
- Comprendre et reproduire les téléconnexions, au moins entre l'océan Atlantique et le bassin méditerranéen.

⁶ ARPEGE-Climat : Depuis 1999, Météo-France/le CNRM travaillent à améliorer les modèles de simulations du climat avec des paramétrisations physique réalistes et un couplage océan-atmosphère-banquise. ARPEGE Climat est ainsi utilisé pour établir des scénarios, y compris une évaluation de sensibilité. <http://www.cnrn.meteo.fr/present/RetD99/etude.pdf>

⁷ NEMO : Ce modèle paramétrise les effets de la marée dans un modèle global de circulation océanique dans un contexte de changement climatique

La validation sera bien sûr l'étape cruciale, tout au moins lors de la comparaison des résultats avec d'autres modèles climatiques régionaux. Les inter-comparaisons passées de modèles climatiques régionaux conduites par Christensen et al. (1998) ont permis une bonne simulation de l'augmentation de la température de l'air (avec néanmoins un écart type de +/-2 °C), excepté sur l'Europe du sud-est, bassin méditerranéen compris, pendant l'été.

3. DONNEES SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

3.1. Paléoclimatologie et traceurs

Les scientifiques ont utilisé des archives naturelles (ou "traceurs", tels les cernes d'arbres, la croissance des coraux, les proportions d'isotopes...) afin de reconstituer les conditions climatiques passées. Les changements climatiques récents dans les enregistrements naturels de ces traceurs peuvent ainsi être calibrés en utilisant les mesures globales de pression au niveau de la mer et de la température de surface maritime depuis 140 ans (Kaplan et al., 1998). Des études diagnostiques sont nécessaires afin de comprendre et prévoir les changements potentiels à venir du système climatique, et pour appréhender la variabilité du climat, de l'échelle saisonnière à séculaire (Tourre et White, 2006). Des études ont montré que la terre s'est réchauffée de 0,4 °C à 0,8 °C depuis 1860. Il est intéressant d'évaluer les mécanismes d'interactions et de rétroactions entre les oscillations climatiques de basse fréquence (comme le signal multi-décennal, entre autres) et les conséquences des activités anthropogéniques et de la révolution industrielle.

Les lois physiques sont indépendantes du temps. Ainsi, tout modèle utilisé pour prévoir le climat futur peut être validé « à rebours » en utilisant les données paléoclimatiques (reconstitution ou « hindcasting »). Cette validation inestimable peut aider à résoudre les problèmes suivants :

- Pourquoi le changement climatique au cours du dernier siècle est-il sans précédent comparé aux changements durant les derniers 500, 200 ou 20 000 ans ?
- Est-ce que les températures globales récentes représentent un nouveau maximum ?
- Pourquoi la vitesse du changement climatique récent est-elle unique ?

Le GIEC doit beaucoup aux avancées dans la paléoclimatologie pour les informations consolidées publiées dans son rapport de 2007 (RE 4, quatrième rapport d'évaluation). Ces avancées seront très utiles pour une meilleure compréhension des différents scénarios de changements climatiques futurs dans le bassin méditerranéen.

3.2. Climat méditerranéen passé

Le projet d'intercomparaison de la modélisation du paléoclimat (PMIP⁸, Paleoclimate Modelling Intercomparison Project) a commencé à fournir des résultats. Ce projet a deux objectifs :

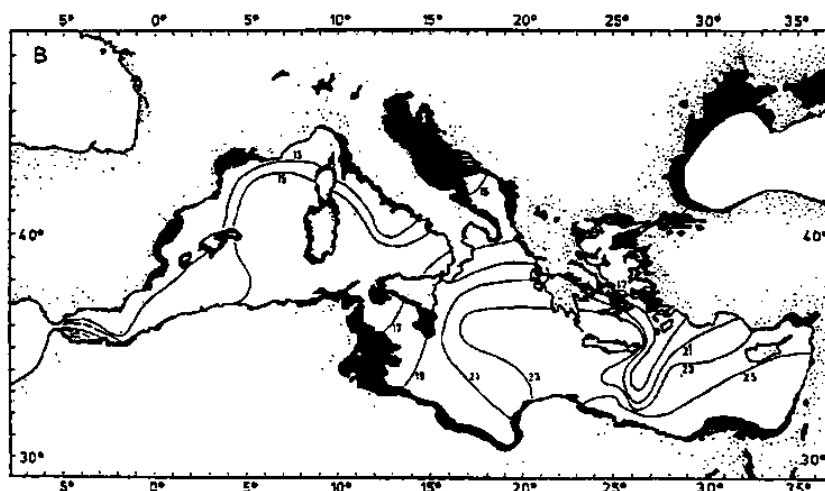
- analyser la variabilité naturelle du climat à l'échelle multi-millénaire afin d'estimer les impacts anthropogéniques et
- tester la sensibilité des modèles de climat en utilisant des régimes de temps différents de celui qui prévaut de nos jours (Joussaume et al., 1999).

Il y a vingt mille ans, le domaine situé entre l'Espagne méridionale et le Caucase était couvert de steppes froides (avec des forêts éparses). La température du mois le plus froid était alors de 15 °C plus basse que de nos jours dans la partie septentrionale du bassin méditerranéen (Peyron et al., 1998). Il y avait moins d'eau disponible pour la végétation. Les modèles tendent à sous-estimer le froid hivernal (-5 °C au lieu de -15 °C), ainsi que la sécheresse durant la période de croissance de la végétation, ce qui pourrait être dû à une connaissance insuffisante de l'état thermique passé de la mer Méditerranée.

Des résultats beaucoup plus fiables ont été obtenus pour 18 000 ans avant le présent (voir la Figure 3, qui montre les isothermes et les zones côtières ; de Doumengué, conférence de l'UNU, 1997) ou pour l'Holocène moyen, il y a 6 000 ans. Des cartes de végétation et de climat ont été produites pour cette période (Cheddadi et al., 1998). Les forêts caduques et mixtes qui ont peu à peu progressé vers le nord étaient aussi présentes dans le Maghreb et la vallée de la Sahoura par exemple. Le climat était plus doux (+1 °C à +3 °C pendant l'hiver), tandis que davantage d'eau était disponible pour la croissance de la végétation (+8 % à +15 % estimés). Les modèles ont mis en évidence un contraste saisonnier plus marqué que de nos jours, avec des étés plus chauds (+2 °C) et des hivers plus froids (-1 °C à -2 °C), résultant en une moyenne annuelle similaire. Cependant les modèles tendent aussi à sous-estimer le mécanisme d'augmentation de la pluviosité. Une augmentation de la température de 1 °C peut amener un déplacement de la végétation de 100 km vers le nord. Des simulations basées sur une augmentation de la température de 2 °C et un doublement de la concentration en CO₂ ont été effectuées (Cheddadi et al., 1998), cependant les résultats n'ont pas montré d'extension des zones arides méditerranéennes du nord du bassin mais plutôt un développement des forêts caduques, comme pendant l'Holocène.

⁸ PMIP (Joussaume and Taylor, 2000) : Un projet international mettant en jeu des membres des groupes majeurs de modélisation du climat dans le monde, sous l'auspice du Programme de Recherche Mondiale sur le Climat (World Climate Research Programme, WCRP) et du Programme International Géosphère-Biosphère (International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP).

Figure 3 - Le bassin méditerranéen il y a 18 000 ans



Les isothermes en °C sont tracés (lignes continues), et les zones côtières en noir montrent le littoral à cette époque. On peut voir que l'EM (Est Méditerranée) était beaucoup plus douce que le bassin occidental (d'environ 8 °C), et que l'extension de la mer Adriatique était alors très réduite

Source : D'après Doumengue, UNU, 1997)

Les comparaisons ci-dessus montrent que les activités anthropogéniques sont à l'origine de changements climatiques non seulement comparables aux changements naturels, mais à une échelle de temps beaucoup plus rapide. Ce type d'impact des activités humaines ces 300 dernières années sera étudié avec les jeux de données du projet BIOME 300⁹, une initiative du PAGES (Past Global Changes, changements globaux passés, un projet clé du Programme International Géosphère-Biosphère, International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP) et du LUCC (Land Use Land Cover Change, changements dans l'occupation et l'utilisation des sols). Son but est de reconstruire l'occupation et l'utilisation des sols au cours des 300 dernières années en utilisant des données historiques et polliniques (Thomson, 2000). Il est intéressant de remarquer que les premières cheminées hydrothermiques ont été découvertes par le projet d'exploration Jason (de la fondation Kleberg), en 1989.

4. PREVISION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : RESULTATS RECENTS

Il est difficile de présenter dans la suite les résultats les plus récents de prévision du climat en utilisant un seul scénario du GIEC. Sont donc présentés un ensemble de résultats provenant de différentes équipes de recherche, utilisant les scénarios les plus « traditionnels » du GIEC : A1B, B1 et A2. Les équipes ont atteint un certain degré de consensus, tout au moins en ce qui concerne les changements de régimes pluviaux.

⁹ BIOME 300 : Une initiative du PAGES (Past Global Changes, changements globaux passés, un projet clé du Programme International Géosphère-Biosphère, IGBP) et du LUCC (Land Use Land Cover Change, changements dans l'utilisation et l'occupation du sol), qui a pour but de reconstruire l'occupation du sol ainsi que son utilisation au cours des 300 dernières années en utilisant des données historiques et polliniques.

4.1. Scénarios régionaux généraux

En 1996, J.P. Palutikof et T.M.L. Wigley (Unité de Recherche Climatique ou CRU de l'Université East Anglia) ont publié une synthèse des scénarios disponibles pour le changement climatique dans le bassin méditerranéen. Cette étude utilise quatre modèles de circulation générale avec descente d'échelle : celui de l'UKMO (Office Météorologique du Royaume Uni), du GISS (Institut Goddard d'Études Spatiales), du GFDL (Laboratoire de Dynamique des Fluides Géophysiques) et de l'OSU (Université de l'État de l'Oregon). Des études supplémentaires ont été effectuées depuis, sur les changements récents (et leur causes) d'indices de circulation, à la fois de grande échelle et régionale, sur l'Italie, la péninsule Ibérique et la Grèce (Brunetti et al., 2001, Goodess et Jones, 2002 entre autres). En général et depuis les travaux précurseurs de Palutikof et Wigley, l'objectif principal a été d'investiguer dans quelle mesure les schémas de pluies journalières ainsi que l'incidence de températures extrêmes ont changé sur une ligne théorique allant de la péninsule Ibérique à la Grèce durant la seconde moitié du 20^{ème} siècle (c'est à dire la période pour laquelle les réanalyses du NCEP sont disponibles). Le rôle de la variabilité et du changement d'indices de climat tels que l'AO, l'AMO, la NAO, l'humidité atmosphérique NAWA (voir l'encart n°1), et la température de surface moyenne entre autres ont été investigués afin de déterminer si des relations empiriques pouvaient être établies en termes de pluviosité et de températures extrêmes. Enfin, est-ce que cette variabilité/changement coïncide avec les prévisions des modèles climatiques globaux et régionaux prenant en compte le changement climatique d'origine anthropique ?

Les travaux achevés de Goodes et Jones (2002) mettent l'accent sur la pluviosité (en particulier pour essayer d'expliquer les schémas complexes de changements de probabilité et d'intensité des pluies) plutôt que sur la température, et ceci sur la péninsule Ibérique et la Grèce plutôt que l'Italie (concernant laquelle un grand nombre d'articles ont été écrits par des chercheurs italiens qui se basent sur un réseau de stations beaucoup plus dense). Bien qu'il ait été montré que les changements cachent une situation beaucoup plus complexe que ce qu'on pouvait attendre, ces résultats et analyses peuvent être utilisés en vue d'établir des scénarios pour des régions spécifiques du bassin méditerranéen.

Le climat méditerranéen dans le contexte global

Le climat méditerranéen interagit avec celui des autres parties du monde. Il est directement lié à l'océan Atlantique par son 'cordon ombilical de 14km', ce qui fait que son eau est entièrement renouvelée tous les 100 ans environ. L'oscillation arctique hivernale¹⁰ (AO) ou mode annulaire septentrional¹¹ (NAM), qui ont une signature sur l'océan Atlantique septentrional (Oscillation Nord-Atlantique¹², ou NAO), l'Oscillation Multidécennale Atlantique (ou AMO) et la circulation thermohaline (THC, voir la note 14) ainsi que les moussons africaine et asiatique sont aussi liées aux indices climatiques méditerranéens tels que l'Oscillation Méditerranéenne (MO) et l'Afrique du Nord-Asie de l'Ouest¹³ (NAWA). Les changements de phases de la NAO sont associés aux trajectoires des dépressions sur le bassin méditerranéen et aux anomalies observées de pluviosité sur l'est de la Méditerranée (EM). En effet, les mouvements de grande échelle des masses d'air de l'Atlantique nord, principalement une modulation de la dépression islandaise et des anticyclones subtropicaux, a tendance à s'étendre au bassin méditerranéen. Les anomalies de pression au niveau de la mer sur la zone Islande - Groenland sont par exemple corrélées avec des anomalies de sens contraire centrées sur l'Adriatique nord ; des pressions au niveau de la mer élevées sur le Groenland sont associées avec une activité cyclonique anormale sur la Méditerranée, et un anticyclone méditerranéen est présent lorsque la pression est basse sur le Groenland. Dans l'EM (Est Méditerranée), ces anomalies ont pour conséquences des vents du sud anormaux en présence d'un anticyclone groenlandais, et des vents du nord en cas de dépression groenlandaise (Eschel et Farrell, 2000 ; Tourre et Paz, 2004). Une

¹⁰ L'oscillation arctique hivernale est liée à un motif de pression atmosphérique sur les régions polaires qui varie en opposition avec celui qui prévaut aux latitudes moyennes (~45° N), à des échelles de temps allant des semaines aux décennies. Cette oscillation recouvre toute la troposphère et s'étend à la stratosphère, où elle module l'intensité du vortex polaire

¹¹ Un mode annulaire non hydrostatique d'échelle hémisphérique, associé aux différences de pression entre les régions polaires et de latitudes moyennes. L'AO et le NAM sont deux façons différentes de décrire le même phénomène.

¹² Thompson et Wallace (2000) soutiennent que la NAO, ou différence de pression au niveau de la mer entre les Açores et l'Islande, n'est pas un phénomène régional nord-Atlantique en soi, mais plutôt une signature locale du NAM.

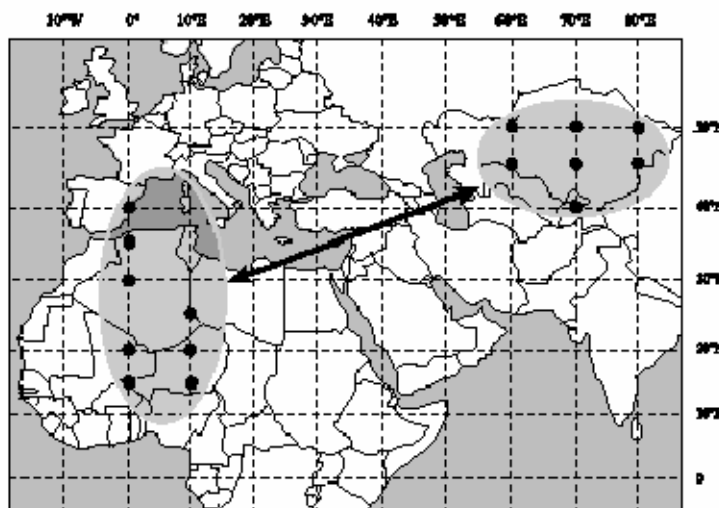
¹³ La NAWA (North Africa – West Asia, Afrique du Nord – Asie de l'Ouest) est la différence de pression au niveau de la mer entre l'Afrique du nord et l'Asie de l'Ouest, telle que définie par Paz et al. (2003). Voir aussi les liens entre la NAWA et l'AMO (Paz et al., 2008).

circulation de grande échelle modifiée amène non seulement des « régimes » climatiques différents mais génère aussi des changements dans les interactions entre les différentes échelles de flux jusqu'aux brises marines et la circulation induite par les montagnes. Ceci affecte à son tour les schémas de pluviosités ainsi que la répartition de l'énergie à la surface. Ces mécanismes sont aussi responsables de la grande variabilité inter-annuelle des climats méditerranéens régionaux. La NAO présente plus de phases positives depuis le milieu-fin des années 70, ce qui pourrait être une des signatures Atlantiques du changement climatique global (Tourre et Paz, 2004). Enfin, l'indice NAWA montre une relation directe avec les taux de précipitations africains/sahéliens (Öszoj et al., 2001 ; Paz et al., 2003 ; Tourre et al., 2006 ; Sušelj et Bergant, 2006 entre autres).

4.1.1. Scénario pour la température

L'augmentation prévue de la température moyenne globale a pour conséquence des schémas régionaux et locaux complexes de changement des précipitations/sécheresses régionales (voir la partie suivante sur les scénarios de pluviométrie). Ceci pourrait expliquer pourquoi la variation de la température régionale, de 0,7 °C à 1,6 °C (pour une augmentation de 1 °C de la température moyenne globale) est un peu moindre que les 2 °C prévus par le scénario global. Une zone de transition abrupte entre les petites et grandes variations sur la mer et la terre respectivement a été mise en évidence sur la frange nord-méditerranéenne. Pendant l'hiver, les régions sur lesquelles les anomalies de température apparaissent plus élevées que l'anomalie moyenne globale de température couvrent la plus grande partie de la péninsule Ibérique et de l'EM. Pendant l'hiver, la situation inverse prédomine. Il est intéressant de remarquer que ces deux régions sont directement influencées par l'indice NAWA (Figure 4, de Paz et al., 2003). Dans la Figure 4, les grands points représentent les points de maille associés aux pôles de la NAWA, tels qu'identifiés par Paz et al. (2003). Remarquez que l'EM se trouve à mi-distance entre les deux pôles et est ainsi directement influencé par des changements de température et d'humidité disponible liés aux gradients de pression atmosphérique (voir aussi Rimbu et al., 2001).

Figure 4 - L'indice Nord Africain – Asie de l'Ouest (NAWA)



Les grands points dans les ovales représentent les deux pôles de la NAWA, tels qu'identifiés par Paz et al. (2003). Remarquez que l'EM se trouve à mi-distance entre les deux pôles et est ainsi directement influencé par des changements de température et d'humidité disponible liés aux gradients de pression atmosphérique.

Source : Rimbu et al., 2001

Pendant l'automne, il a été mis en évidence de vastes zones présentant une grande sensibilité au changement climatique global, qui comprennent une partie de la France méridionale, l'Espagne et l'Afrique du nord-ouest (augmentation de la température de 1,3 °C comparé à une augmentation globale de la température moyenne de 1 °C).

Le Tableau 1 donne la température de surface de la mer (SST, en °C), la température de subsurface moyennée sur trois dimensions (T3D en °C), la salinité à la surface de la mer (SSS, en psu) à la fin du 21ème siècle pour la mer Méditerranée et quatre de ses sous-bassins, tels que prévus par la simulation de contrôle (MC) et les scénarios méditerranéens (MS). Les valeurs observées (OBS) proviennent de la base de donnée MEDATLAS-II (groupe MEDAR/MEDATLAS, 2002) et entre parenthèses, de Smith et al., (1996). Les valeurs avec une étoile sont celles pour lesquelles la différence entre la simulation de contrôle et le scénario méditerranéen sont significatifs au niveau de confiance de 95% (d'après Somot, 2005). Les températures et salinités de surface de la mer augmentent partout, avec des valeurs plus élevées pour les deux dans le bassin Levantin.

Tableau 1 - Température de surface de la mer (SST, en °C)

<i>Basin</i>	<i>Mediterranean Sea</i>		
<i>°C or psu</i>	<i>SST</i>	<i>T3D</i>	<i>SSS</i>
OBS	19.7 (19.5)	13.7	38.16
MC	18.7	13.2	38.18
MS	21.7 *	14.4 *	38.61 *
<i>Basin</i>	<i>Gulf of Lions</i>		
OBS	17.7 (17.5)	13.0	37.90
MC	16.8	12.4	37.98
MS	19.8 *	13.7 *	38.34 *
<i>Basin</i>	<i>Levantine Basin</i>		
OBS	21.4 (21.0)	14.0	39.06
MC	20.1	13.7	39.04
MS	23.3 *	14.7 *	39.47 *
<i>Basin</i>	<i>Adriatic Sea</i>		
OBS	17.7 (17.9)	13.8	37.76
MC	17.0	13.0	38.43
MS	20.2 *	15.7 *	39.19 *
<i>Basin</i>	<i>Aegean Sea</i>		
OBS	18.9 (18.7)	14.8	38.32
MC	17.9	13.9	38.44
MS	21.1 *	16.0 *	39.31 *

Température de subsurface moyennée sur trois dimensions (T3D, en °C), salinité à la surface de la mer (SSS, en psu) à la fin du 21ème siècle pour le bassin et les sous-bassins méditerranéens

Source : Groupe MEDAR/MEDATLAS, 2002)

4.1.2. Scénario de pluviosité

Les paramètres tels que les précipitations et l'humidité spécifique ou relative (sélectionnés comme prédicteurs pour les modèles) décroissent tous sur la période d'étude et sont corrélés positivement avec une pluviosité plus faible sur la péninsule Ibérique et la Grèce. Cependant, il est apparu que ces mêmes modèles sous-estiment la variabilité inter-annuelle et ont des problèmes à reproduire les tendances observées quand on compare l'Espagne et la Grèce. Cela signifie que des mécanismes physiques différents sont en œuvre, ce qui requiert une investigation supplémentaire sur les processus descendus en échelle. Le schéma de changement des précipitations futures indique une augmentation probable aux hautes latitudes, et un amoindrissement sur les zones terrestres tropicales. La tendance générale sur la plus grande partie du bassin méditerranéen est à l'affaiblissement des précipitations, avec des motifs complexes particulièrement en ce qui concerne les extrêmes (quantité de précipitation en quantiles). Alors que sur presque toute la péninsule

Ibérique, par exemple, il y a une tendance à plus de jours de pluie, l'inverse est prévu pour l'Espagne du sud-est, avec de grandes quantités de précipitations. Sur la Grèce, la tendance principale est à la diminution des jours de pluie, avec peu de changements dans la quantité de pluie journalière (plus marquée sur les mers d'Égée et d'Ionie pendant l'hiver). Les changements de pluviosité sur la péninsule Ibérique peuvent être en partie expliqués par les changements dans la circulation atmosphérique sur l'Atlantique. Ils sont associés par exemple avec une diminution de la fréquence des circulations de type cyclonique et avec l'augmentation de la fréquence des circulations de type anticyclonique et de blocage (qui pourraient être liés aux changements de phases de la NAO et de l'indice NAWA, voir Tourre et al., 2006). Les changements observés de type de circulation sur la Grèce montrent une tendance générale à l'augmentation des quantités de précipitation en hiver, ce qui contraste avec ce qui est observé ailleurs, bien que des paramètres tels que l'eau précipitante et l'humidité spécifique/relative ont diminué au cours des 50 dernières années. Cependant, l'inclusion de ces paramètres et de leur variabilité comme prédicteurs dans des modèles de régression ne change pas grand-chose. Il est apparu que tous les modèles sous-estiment la variabilité inter-annuelle, et de telles tendances ne peuvent être utilisées pour des prévisions futures, en particulier à l'échelle régionale. Ceci implique également que les mécanismes physiques sous-jacents puissent être fonction de la région d'étude. Les différences entre les deux régions de la péninsule Ibérique requièrent une investigation supplémentaire.

4.1.3. Scénario pour le niveau de la mer

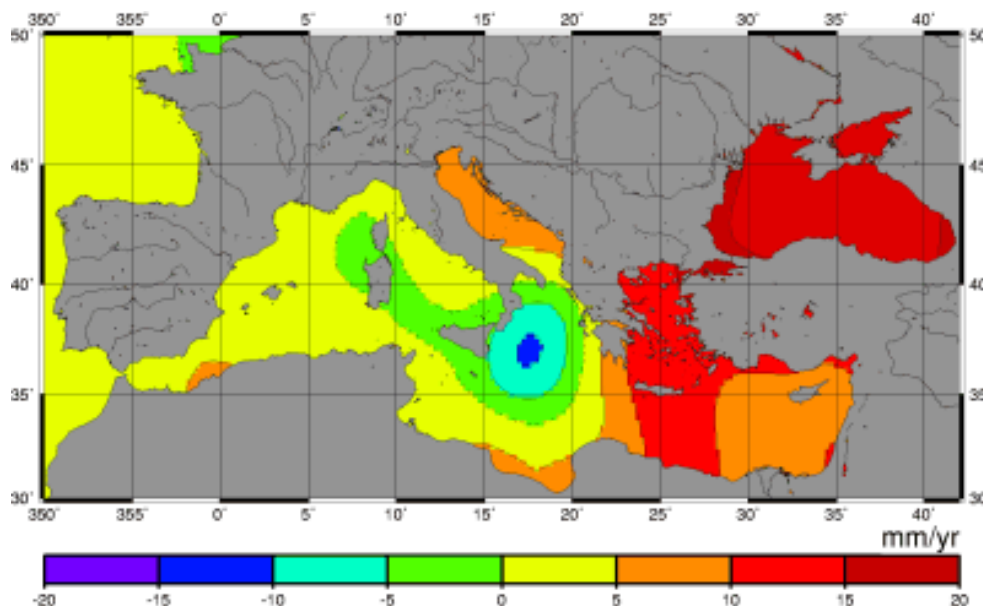
L'augmentation des températures globales provoquera très certainement une montée du niveau de la mer par expansion thermique de l'eau de mer et par la fonte des calottes glaciaires et des glaciers. Des études très récentes montrent que les processus dynamiques des calottes glaciaires Antarctique et du Groenland pourraient apporter une contribution potentiellement plus grande que prévue à l'augmentation du niveau de la mer et ne sont pas entièrement inclus dans les modèles utilisés pour le quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Sur la base des modèles existants disponibles pour l'évaluation, les valeurs centrales de l'augmentation du niveau de la mer à l'horizon 2100 se situent de 30 à 40 cm, dont 60 % est due à l'expansion thermique de l'eau de mer. Il y a moins de certitude en ce qui concerne les autres composants de l'augmentation du niveau de la mer, y compris pour la contribution des flux dynamiques de glace du Groenland et de l'Antarctique. Il s'agit d'un domaine important, étant donné les conséquences régionales potentielles (y compris des changements de la circulation thermohaline Atlantique¹⁴). Le taux d'augmentation rapide prévu précédemment reste utile. Il est un avertissement aux scientifiques du climat que les changements du niveau de la mer peuvent dépendre fortement de facteurs qui influencent la formation et disparition de la glace, quelque peu sous-estimés par le quatrième rapport d'évaluation du GIEC (Rohling et al., 2008). Le taux séculaire d'augmentation de 0,6 m prévu par les modèles pourrait être de 1 m inférieur à celui provenant des résultats récents de l'équipe de Rohling. Ces différences montrent clairement le besoin d'améliorer les modèles climatiques méditerranéens afin de prendre davantage en compte les impacts additionnels de la glaciation et de la fonte des glaces associés aux changements climatiques anthropogéniques.

La mer Méditerranée présente un littoral accidenté, découpé en plusieurs mers de plus petite taille : l'Adriatique, l'Égée, l'Alboran, l'Ionie, ce qui implique des observations de haute résolution pour des analyses complètes. L'altimétrie spatiale (comme le programme TOPEX/Poseidon lancé en décembre 2001) a fourni aux scientifiques des séries temporelles de qualité exceptionnelle pour l'étude des variations du niveau global de la mer. Il a été mis en évidence par exemple que les variations de température sont à l'origine de la plus grande part du changement stérique général dans

¹⁴ La circulation thermohaline (THC) est la circulation globale des océans liée aux différences de densité, elle-même fonction de la salinité et de la température

les 400 m supérieurs de la mer Méditerranée (jeux de données MEDAR¹⁵). Entre les années 60 et les années 90, le refroidissement des eaux supérieures de l'EM a été à l'origine d'une réduction des hauteurs stériques, alors qu'après 1993, le réchauffement a provoqué une montée du niveau de la mer. Les changements du niveau stérique de la mer dans les eaux supérieures de l'Adriatique et de la mer Egée semblent également être corrélés avec la NAO. Les signaux anormaux sont cependant faibles (autour de 1-2 mm/année) et l'interprétation des données nécessite une grande précaution. Cazenave et al. (2001) ont trouvé par exemple que les effets stériques apportent une contribution très faible à l'augmentation rapide observée du niveau de la mer dans l'EM. Ceci suggère que les changements dans la circulation océanique liés aussi avec le phénomène transitoire de l'EM (c'est à dire les variations dans la région de formation des eaux profondes, de la mer Adriatique à la mer Egée méridionale) pourraient être associés aux changements récents observés (augmentation rapide du niveau de la mer dans l'EM depuis le milieu des années 90). La comparaison entre les niveaux maritimes stériques et les jauges de marée côtières n'est pas satisfaisante. Cette contradiction met en question à la fois la pratique d'évaluation des changements du niveau de la mer à l'échelle d'un bassin à partir de mesures ponctuelles et l'utilisation des variations du niveau stérique comme mesures de la variabilité du niveau de la mer. De plus, les comportements différents de l'EM à l'échelle des sous-bassins mettent en doute la pertinence des moyennes climatiques par bassin (Tsimplis et Rixen, 2000). Cela requiert bien sûr une investigation approfondie dans le contexte du changement climatique. Entre temps, il existe un besoin constant de données altimétriques continues pendant plusieurs décennies afin de minimiser les incertitudes présentées ci-dessus et obtenir davantage d'aperçus des mécanismes physiques associés à la variabilité et au changement du niveau de la mer. Un des objectifs du satellite Jason-1, qui a célébré son cinquième anniversaire de mise en orbite en décembre 2006, est d'observer les variations du niveau de la mer au millimètre près. La Figure 5 décrit les variations du niveau de la mer Méditerranée au cours des sept premières années de TOPEX/Poseidon (tiré des laboratoires et organisations LEGOS-GRCS-CNES).

Figure 5 - Variations du niveau de la mer observées durant les sept premières années du projet TOPEX/Poseidon, en mm/année



Des valeurs négatives (bleu sombre au vert sombre) aux valeurs positives (du vert pâle au rouge sombre). La différence est-ouest est évidente, avec une tendance claire à l'augmentation du niveau de la mer de l'EM

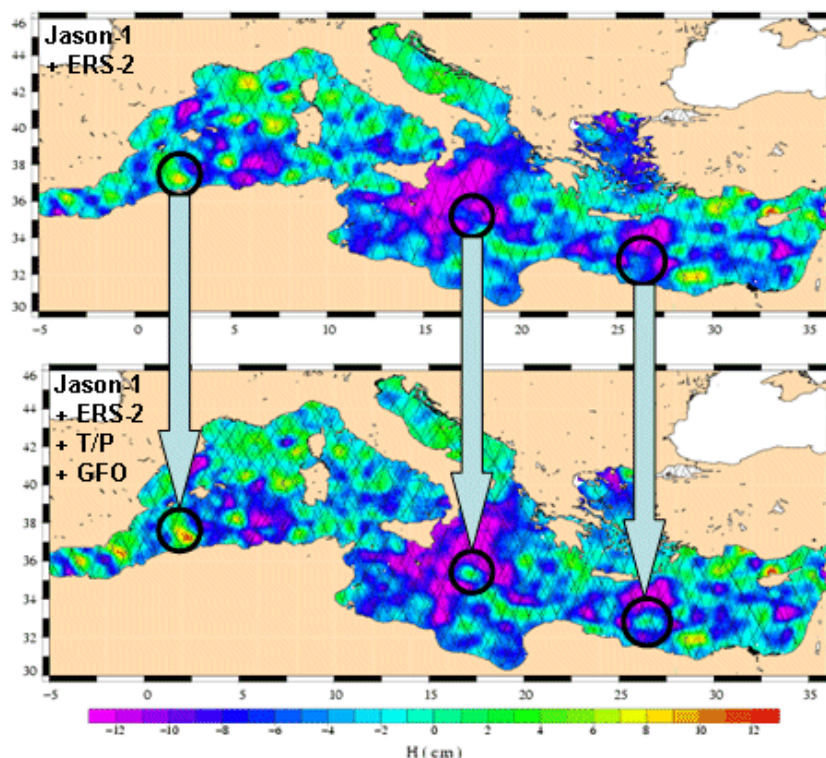
Source : LEGOS-GRCS-CNES

¹⁵ Les jeux de données MEDAR fournissent des champs annuels de température et de salinité, à l'échelle 0.2° x 0.2°, pour 25 niveaux dans la mer Méditerranée.

La montée du niveau de la mer au cours du 21ème siècle aura pour conséquence de détruire des zones où les bancs de sable ont un rôle indispensable à la protection des lagons et des terres gagnées sur la mer. L'impact peut être grave en Egypte où 1/3 des poissons pêchés proviennent des lagons. L'augmentation du niveau de la mer changerait ainsi la qualité des eaux et affecterait la plupart des poissons d'eau douce. De riches terres agricoles seraient aussi inondées, ce qui menacerait Alexandrie et Port Said. Les plages dédiées au tourisme seraient menacées par la salinisation des eaux souterraines et par l'action renforcée des vagues.

Des bouées de mesures GPS in-situ ont été déployées sous les trajectoires au sol de Jason-1 dans l'EM (mers d'Ionie et nord-Egée) afin de réduire les incertitudes liées au suivi du niveau de la mer. Ces bouées fournissent des hauteurs instantanées de la mer (SSH) sous la trajectoire, des évolutions spécifiques des tourbillons de méso-échelle (Figure 6). Elles contribuent également à la validation et au calibrage des données du radar altimétrique (Limpach et al., 2006). Ainsi, en étudiant la mer d'Ionie, au large de la pointe de l'Italie, pendant les sept premières années d'opération, il a été mis en évidence que le niveau de la mer a baissé (voir Figure 5). Les mécanismes et implications socio-économiques potentiels de tels changements restent à étudier plus en profondeur. La résolution des mesures de la hauteur instantanée de la mer (SSH) a été grandement améliorée par l'utilisation de quatre satellites ayant des capacités altimétriques (Jason-1, ENVISAT ou ERS-2, TOPEX/Poseidon, et GFO). Trois satellites sont nécessaires à l'observation des tourbillons et phénomènes de méso-échelle dans le bassin méditerranéen (voir la Figure 6). La continuité de telles observations est un pré-requis dans le contexte du changement climatique. Le lancement de Jason-2 est prévu en 2008 (projet conjoint entre le CNES, Eumetsat, la NASA et la NOAA).

Figure 6 - La résolution des mesures de la hauteur de surface de la mer (SSH) a été grandement améliorée par l'utilisation de quatre satellites altimétriques : Jason-1, ENVISAT ou ERS-2, TOPEX/Poseidon (T/P) et GEOSAT Follow On (GFO)



Les satellites sont nécessaires à l'observation des phénomènes de petite et méso-échelle tels que les tourbillons dans le bassin méditerranéen. La continuité du suivi depuis l'espace (conjointement avec des mesures in-situ) est un pré-requis pour l'évaluation détaillée des changements du niveau de la mer dans le contexte du changement climatique. Le lancement de Jason-2 est prévu en 2008

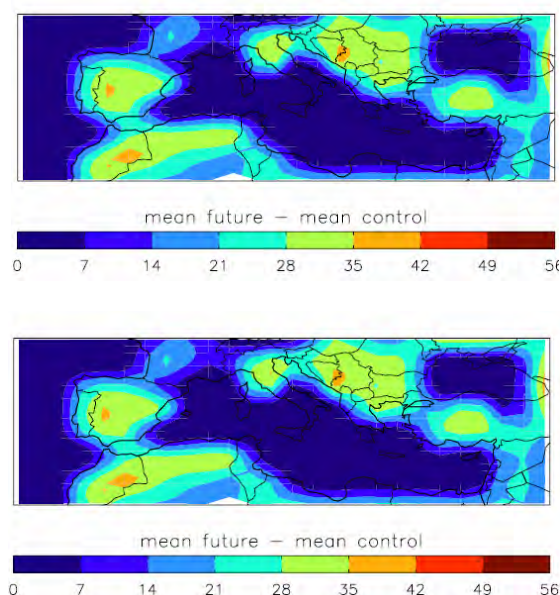
Source : projet conjoint entre le CNES, EUMETSAT, la NASA et la NOAA).

Il est à remarquer que des modèles ont été développés afin de simuler des scénarios climatiques pour un pays donné. Par exemple, MAGICC/SCENGEN utilise un modèle uni-dimensionnel de climat et permet à l'utilisateur de sélectionner des scénarios régionaux ou nationaux d'émissions, de sensibilité climatique, d'échelle de temps et d'autres facteurs (Wigley, 2005). Le composant MAGICC estime les changements de température moyenne globale et l'augmentation du niveau de la mer. Le composant SCENGEN utilise la température moyenne globale fournie par MAGICC pour agrandir l'échelle des données provenant des modèles de circulation générale afin de produire des scénarios régionaux de température et de précipitation sur une grille 5 x 5. MAGICC/SCENGEN¹⁶ permet aussi à l'utilisateur de comparer les variations moyennes de température et de précipitation simulées par différents modèles de circulation générale. Ceci donne une indication du degré d'accord des différents modèles sur la direction du changement. Le modèle peut être obtenu à <http://www.cgd.ucar.edu/cas/wigley/magicc/>.

4.2. Prévision pour le bassin méditerranéen a l'horizon 2022-2050

Giannakopoulos et al. annoncent pour 2025-2050 (moyennes sous scénarii A1B, B1 et A2,), les changements suivants (voir la Figure 7, Tableau 2) : nombre de journées estivales avec température supérieure à 25 °C ; (bas) : nombre de journées estivales avec température supérieure à 30 °C). Le Tableau 2 donne quatre niveaux de variation de températures et de précipitations extrêmes (important à aucun) dans le bassin méditerranéen, avec une augmentation de la température globale de 2 °C. L'ovale noir incliné met en évidence les changements importants de température dans le Machrek (les territoires Palestiniens, la Jordanie, le Liban, la Syrie, l'Iraq)

Figure 7 – (haut) Nombre de journées estivales avec température supérieure à 25 °C, et (bas) nombre de journées estivales avec température supérieure à 30 °C



On peut facilement constater que les augmentations à la fois de nombre de jours avec température supérieure à 25 °C et supérieure à 30 °C se situent autour du bassin méditerranéen, avec des valeurs entre 35 et 42 jours sur la péninsule Ibérique, le Maghreb et la Serbie/Bosnie Herzégovine.

¹⁶ MAGICC/SCENGEN: Un logiciel simple d'utilisation qui utilise en entrée des scénarios d'émission de gaz à effet de serre, de gaz réactifs et de dioxyde de soufre et fournit la température moyenne globale, l'augmentation du niveau de la mer, et le climat régional. MAGICC est un modèle couplé de climat et de cycle gazeux. Il a été employé dans tous les rapports du GIEC pour produire des prévisions de température globale moyenne et de changement du niveau de la mer.

Tableau 2 – Extrêmes de températures et de précipitations dans les pays du bassin méditerranéen

	HIGH TEMPERATURE					LOW TEMPERATURE			RAINFALL				
	Summer days	Hot Days	Tropical Nights	Days> 90 quantile	Nights> 90 quantile	Frost Nights	Ice Days	Days< 10 quantile	Relative Var.	Dry Days	Rain 1-10 mm	Max. 3-day Rain	
NW Iberian Peninsula	1	1		1	1	-1		-2		2	-2	3	
South of France (Inland)	3	1	1	2	2	-1		-2	-1	3	-2	3	
Coast Southern France	1		2	2	2	-1		-2	-1	2	-2	3	
Corsica	1	1	2	2	2	-1		-2	-1	2	-1	2	
Sardinia	1		3	2	2			-3		2	-1	1	
Sicilia	3		3	3	2	3		-3		3	-1	3	
N. Adriatic	3	3		2	2	-2	-1	-2	-1	3	-2	1	2
Central Balkans	3	3		2	2	-2	-1	-2		3	-3		
Central Greece	2	1	2	2	2	-1		-2	-1	2	-2	1	
Peloponese	3		3	2	2			-3	-1	2	-1	2	
Crete	3		3	3	3			-3	-1	2	-1		
Coastal Turkey	1	2	1	1	2	2	-1	-2	-1	2	-1	-1	2
Turkey Inland	3	3		2	2	-2	-1	-2		3	-2		
Cyprus	1		3	1	1			-3	-1	1	1		
Lebanon/Israel Nile Delta	1	1	3	3	3	-1		-3	(2)	1	-1		
E. Egypt	3	1	3	2	3			-3	(2)		-1		
E. Lybia	3	1	3	2	3			-3	-3		-1		
W. Lybia	2	3	3	2	2	-2		-2	-3	2	-2		
E. Maghreb	3	3	3	2	2	-2		-2		2	-2	-1	
W. Maghreb	3	3	3	2	2	-2		-2		2	-2	-1	
South Iberian Peninsula	2	2	2	2	2	-1		-2	-1	2	-2		
Central Spain	3	3	1	2	2	-2		-2	-1	3	-2	-1	

Large Change =at least 1 mth duration Small Change= 1 week duration
 Moderate change = 2-3 wks duration No Change

Extrêmes, en supposant une valeur « traditionnelle » de 2 °C pour l’augmentation globale de la température durant le 21^{ème} siècle.

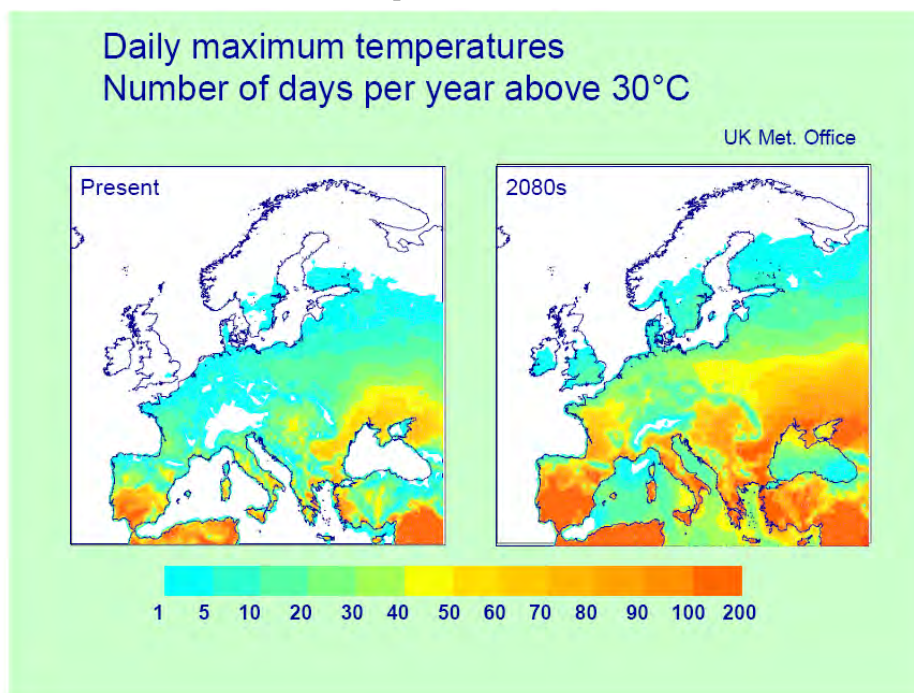
Les augmentations de températures les plus importantes dans le Machrek sont soulignées par un ovale noir. Les rectangles rouges représentent les changements importants pour une période d’au moins un mois, les rectangles jaunes les changements modérés pour une période de 2 à 3 semaines, les rectangles gris les petits changements pour une période d’une semaine. Les rectangles blancs ne représentent aucun changement.

Source : Giannakopoulos et al., 2005

4.3. Prévision pour le bassin méditerranéen a l’horizon 2050-2100

L’objectif du projet européen ACACIA est d’évaluer les implications potentielles et l’adaptation au changement climatique en Europe et sur le bassin méditerranéen. Comme mentionné ci-dessus, plusieurs rapports sont maintenant disponibles par le second groupe de travail du GIEC, codirigé par Perry. Ils incluent des conclusions et recommandations générales et spécifiques pour l’Europe et peuvent être directement utilisés ici pour la frange nord de la Méditerranée, en suivant les scénarios A1B, B1 et A2. La Figure 8 montre le nombre de jours annuels avec une température supérieure à 30 °C durant la seconde moitié du 21^{ème} siècle (tiré du projet ACACIA).

Figure 8 – Comparaison sur le nombre de jours par année avec température supérieure à 30 °C, entre le présent et la seconde partie du 21ème siècle



Les valeurs les plus élevées (en rouge) durant le 21ème siècle se situent sur le sud de la France, la péninsule Ibérique, le Maghreb, l'Italie, la Grèce et l'EM.

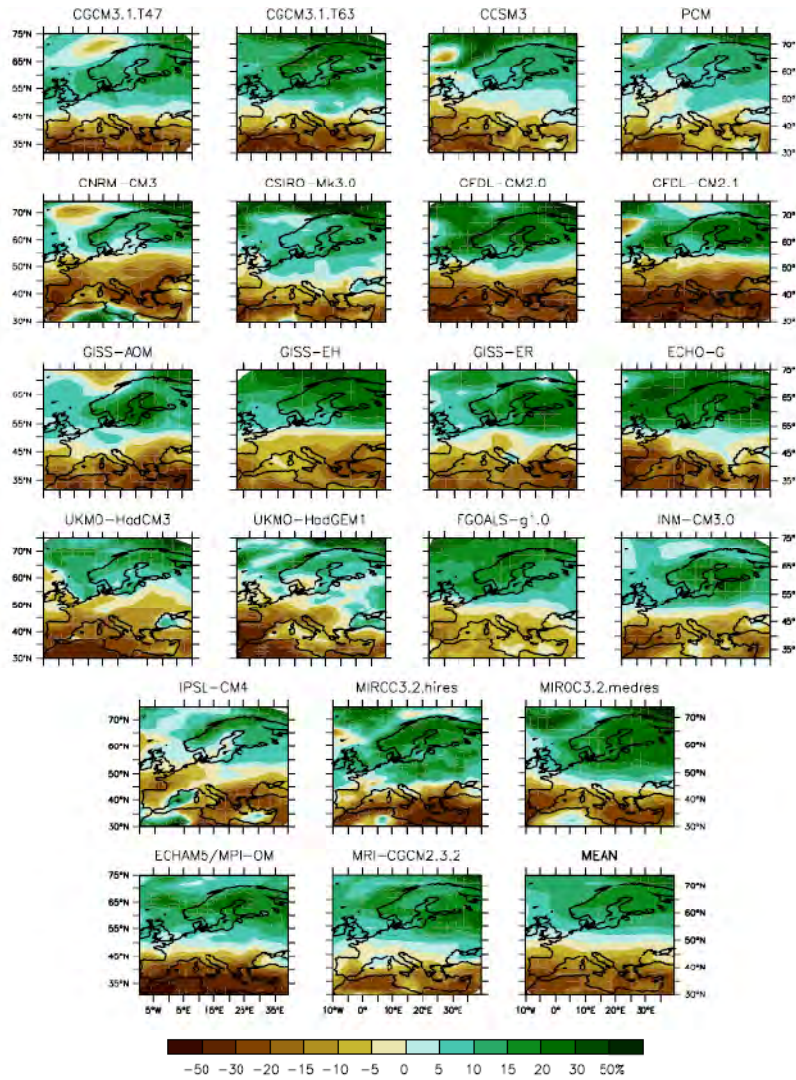
Source : d'après le UK Met. Office, projet ACACIA).

Les résultats de simulations récentes de changement climatique et les rapports du GIEC (RE 4, groupes de travail I et II, sur les « bases scientifiques physiques » et sur les « impacts, adaptation et vulnérabilité », 2007) montrent que le réchauffement attendu avec un doublement de la concentration globale de CO₂ est de l'ordre de 2,5 °C +/- 0,5 °C sur le BM, indépendamment des expériences et de la résolution des modèles. Le réchauffement devrait être un peu plus marqué l'été que l'hiver. Le taux de précipitation simulé présente une légère diminution annuelle. La diminution estivale est inférieure à 25 %. La Figure 9 montre les réponses au changement climatiques, en termes de température (haut) et de précipitations (bas) annuelles moyennes, sur l'Europe et le BM d'après 21 modèles. La variation de température est celle du scénario A1B, température de 2080 - 2100 moins celle de 1980 - 2000 (tiré du groupe de travail I du GIEC, prévisions climatiques régionales, informations supplémentaires, chapitre 11, 2007). L'augmentation de températures est comprise entre 2.3°C et 5.3°C pour les Etats euro-méditerranéens et 2.2°C et 5.1°C pour l'Est et le Sud. Pour les précipitations, les variations sont de 0 à 16 % pour les Etats euro-méditerranéens et de 4 à 27 % pour l'Est et le Sud.

Figure 9 – Variations des précipitations et des températures sur l'Europe et le bassin méditerranéen

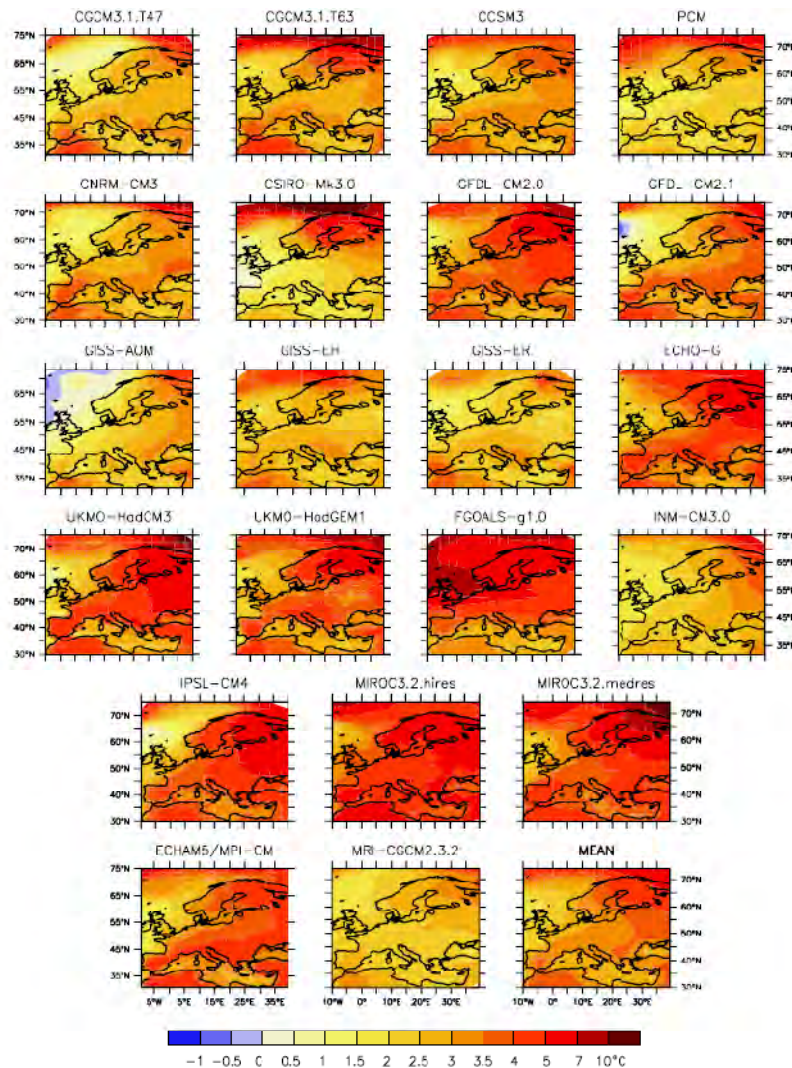
Variations des précipitations (en %) sur l'Europe et le bassin méditerranéen
prévues par une batterie de 22 modèles

Annual Mean Precip Response (%)



Variations des températures (en °C) sur l'Europe et le bassin méditerranéen
prévues par une batterie de 22 modèles

Annual Mean Surface Air Temp Response (°C)



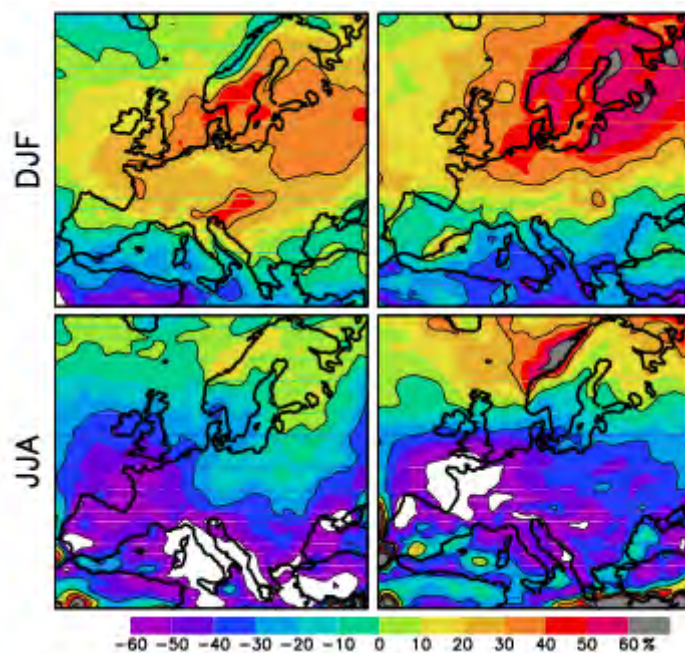
Les changements représentent la température de 2080 - 2100 moins celle de 1980 - 2000, en suivant le scénario A1B. Le consensus pour une réduction importante des précipitations est clair (plages marron) pour tout le bassin méditerranéen, alors que les augmentations de température les plus importantes (zones rouges) se situent sur l'Europe centrale et les pays entourant la Méditerranée, comme la péninsule Ibérique et le Maghreb.

Source : groupe de travail I du GIEC, prévisions climatiques régionales, informations supplémentaires, chapitre 11, 2007.

L'intégration de ces résultats à d'autres projets tel que PRUDENCE¹⁷ donne une possibilité de tirer des conclusions générales pour certaines parties du bassin méditerranéen (la Figure 10 montre les variations simulées de précipitations d'après PRUDENCE, pendant l'hiver (haut) et l'été (bas) en comparant les périodes 2080 - 2100 et 1961 - 1990 (résultats de modèles climatiques régionaux utilisés au centre Rossby). La colonne de gauche présente les résultats du Hadley Center, celle de droite ceux de l'Institut Max-Planck).

¹⁷ PRUDENCE: « Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects », prévision de scénarios régionaux et d'incertitudes en vue de définir les risques et implications du changement climatique en Europe. Ce projet européen se concentre sur l'amélioration des prévisions du changement climatique future et fournit des scénarios de changements du climat à haute résolution pour la période 2071 - 2100 et sur l'Europe (y compris une partie du bassin méditerranéen), en utilisant des méthodes dynamiques de descente en échelle (des modèles climatiques régionaux), mis en œuvre par différents instituts européens de modélisation du climat.

Figure 10 – Variations simulées de précipitations (en %) durant l'hiver (DJF, haut) et l'été (JJA, bas), période 2080 - 2100 moins la période 1961 - 1990

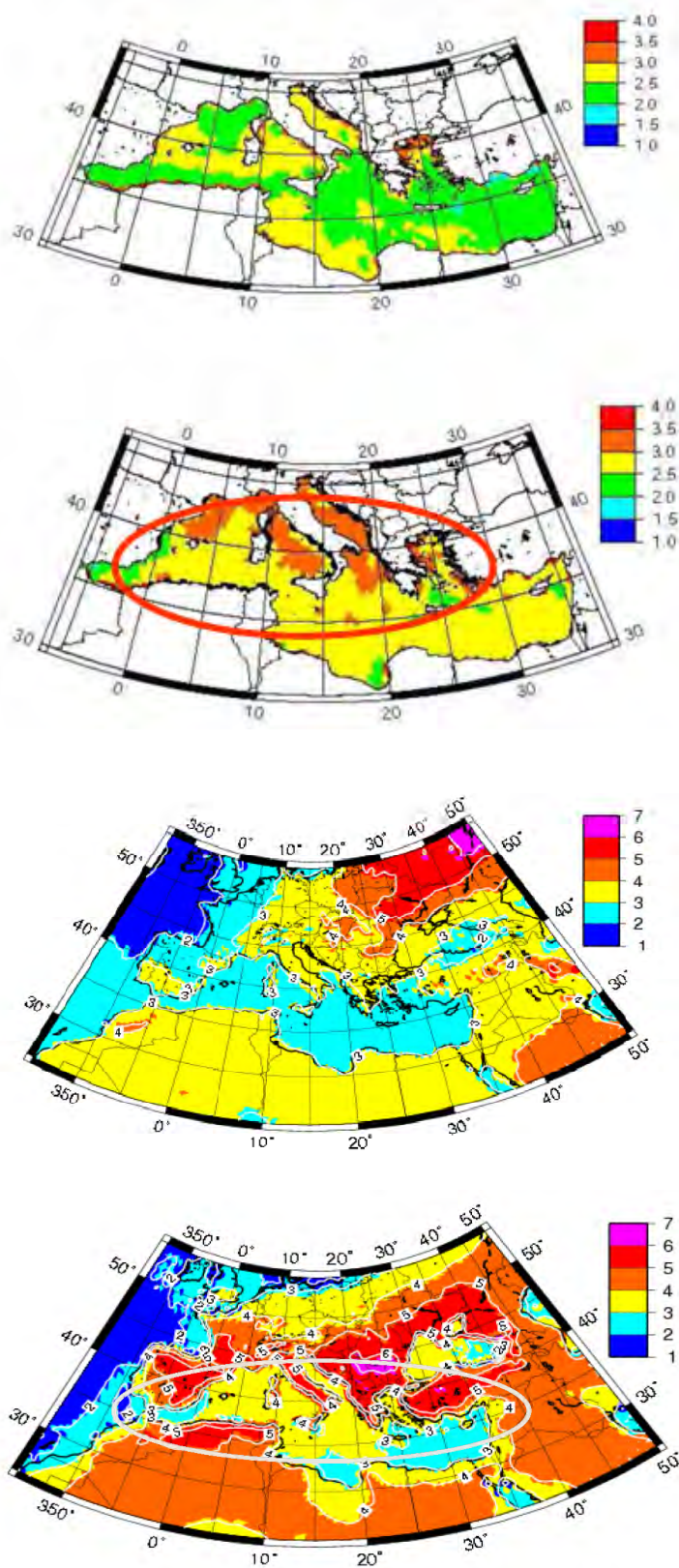


La colonne de gauche présente les résultats du Hadley Center, la droite pour ceux de l'Institut Max-Planck. La diminution des précipitations est évidente pour les deux, avec les valeurs négatives les plus grandes (en %) durant l'été sur l'Espagne, l'Italie, le Maghreb et la Grèce.

Source : projet PRUDENCE, utilisant des modèles climatiques régionaux, Centre Rossby

La Figure 11 présente les anomalies de température de surface de la mer (SST) en °C, durant la période 2070 - 2099, comparée à la période 1961 - 1990, prévues par le Modèle Régional de Circulation Océan-Atmosphère (AORCM) et le couplage (OASIS) entre ARPEGE-Climat et OPAMED, avec une maille de 9 à 12 km et le scénario A2 du GIEC (c'est à dire [CO₂] de 815 ppm à la fin du 21ème siècle) (tiré de Jacob et al., 2007 : anomalies saisonnières (haut, hiver ; bas, été) de températures en °C). À noter les anomalies estivales importantes (bas) dans le bassin nord-ouest de la Méditerranée (ovale orange).

Figure 11 – Anomalies saisonnières (haut, hiver; bas, été) de températures en °C. A noter les importantes anomalies estivales (bas) positives (ovale orange) sur le bassin nord-ouest de la Méditerranée

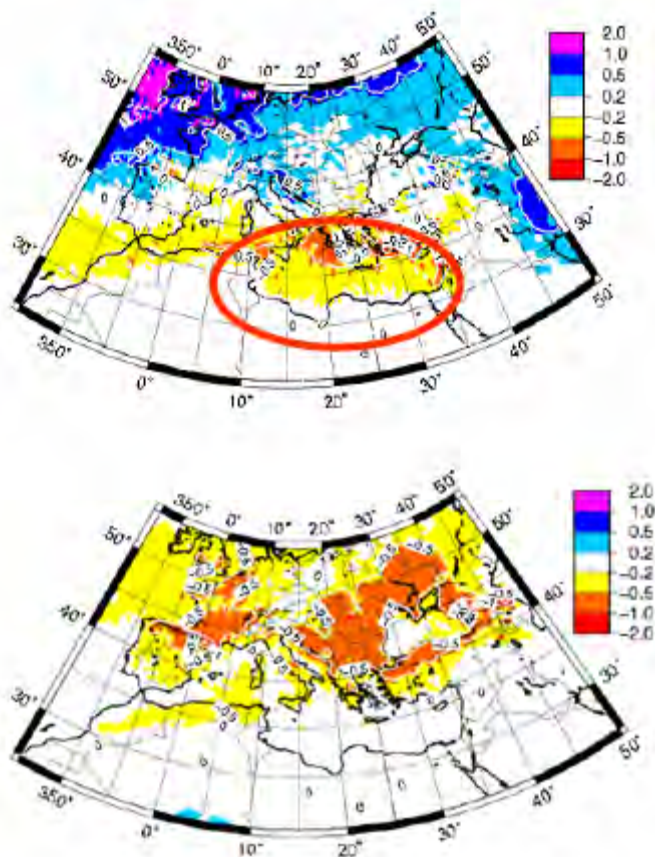


Source : Somot et al., 2007

Des simulations de l'EM avec des modèles de circulation régionale ont été effectuées et analysées à l'Université de Tel Aviv (Krichak et al., 2007). Il a été mis en évidence que la température moyenne sur le domaine méditerranéen a augmentée de 1,5 à 4 °C au cours des 100 dernières années. D'après les scénarios A2 et B2 du GIEC, il est prévu que la température sur Israël nord augmente de 4 et 6 °C respectivement dans les années 2080-2100 par rapport aux années 1961-1990. Alors que les précipitations sur la plus grande partie du bassin méditerranéen présentent une tendance dominante à la diminution durant les 50 dernières années, une tendance négative importante a été mise en évidence par le scénario A2 pour Israël nord (alors que le scénario B2 ne montre pas de tendance significative ?). Il est intéressant de remarquer que parallèlement à ceci, il y a une tendance à davantage d'évènements extrêmes de précipitations pour les scénarios A2 et B2. L'écart-type des précipitations annuelles moyennes (pour la période 2080 - 2100) est plus important pour le scénario A2 que pour le B2. Sur Israël, la tendance à davantage d'évènements extrêmes par année pourrait être due à l'augmentation de l'intensité de la « dépression de la mer Rouge » et, associé à cela, à la fréquence accrue des systèmes synoptiques.

La Figure 12 présente les anomalies saisonnières de précipitations (en mm/jour) durant la période 2070 - 2099, comparées à la période 1961 - 1990, d'après l'AORCM et le couplage entre ARPEGE-Climat et OPAMED, avec la même maille et le scénario A2 du GIEC (tiré de Jacob et al., 2007 : anomalies saisonnières de précipitations en mm/jour (haut, hiver ; bas, été). À noter les anomalies hivernales importantes sur le nord de l'EM (ovale orange).

Figure 12 – Anomalies saisonnières de précipitations en mm/jour (haut, hiver ; bas, été). À noter les anomalies hivernales (haut) importantes (ovale orange) sur la frange nord de l'EM



Source : tiré de Somot et al., 2007

5. INCERTITUDES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN

Les interactions entre les océans et l'atmosphère, les oscillations climatiques et leurs événements associés (y compris les événements extrêmes) peuvent être stochastiques (Hunt, 2004), non-linéaires (Canadell, 2000), le plus souvent irréversibles d'un point de vue thermodynamique. Des réponses simples biochimiques et structurelles quasi à seuil sont augmentées et amplifiées dans le système climatique par effet de cascade. De plus, la « signature climatique » de l'océan pourrait aussi être la composante d'un spectre de bruit rouge de forçages atmosphériques aléatoires (Strauss et Halem 1981). Il faut souligner que des modèles climatiques régionaux complexes, descendus en échelle, pourraient tout à fait, lorsqu'ils sont appliqués à la méditerranée, augmenter ces effets de seuil et non-linéaires, y compris des instabilités locales artificielles et des processus irréversibles, et par conséquent augmenter les incertitudes. En prenant en compte nos connaissances sur le climat terrestre, les derniers événements climatiques tels que le léger réchauffement médiéval suivi du petit âge glaciaire associé au minimum de Maunder (1303 - 1859) pourraient nous donner le sentiment erroné que le climat présent est stable et pourraient « moduler » les divergences climatiques dues à l'influence anthropique (Gorschkov et al., 2000). Les perturbations anthropogéniques des communautés écologiques naturelles pourraient-elles amener une transition abrupte du climat méditerranéen ? (Noilhan et al., 2000).

Les modèles de circulation générale et régionale présentent encore des « incertitudes substantielles » (et ont des problèmes à simuler les variabilités/variations spatio-temporelles, ce qui empêche la représentation à l'échelle locale-régionale du climat méditerranéen non seulement passé mais aussi futur (Cudennec et al., 2007). Par exemple, dans le bassin de captage de la Grèce, il a été mis en évidence (Koutsoyiannis et al., 2007) que les modèles de circulation générale fournissent des prévisions trop stables comparées aux limites d'incertitude du climat dues à la variabilité naturelle. L'influence de l'orographie sur la circulation atmosphérique et d'autres indices climatiques comme la NAO ont été identifiés (López-Moreno et al., 2007, entre autres), et il a été montré que les changements de trajectoires prévus par les modèles climatiques régionaux pourraient amener une redistribution fondamentale des précipitations (Christensen et al., 2007). De plus, étant donné l'influence de la neige sur les ressources en eau dans des zones comme le Liban (Hreiche et al., 2007), la Turquie (Tekeli et al., 2005), l'Espagne (López-Moreno, 2004) et le Maroc (Chaponnière et al., 2007), la descente en échelle et la physique deviennent des enjeux cruciaux.

En résumé, deux sources principales d'incertitudes ont été identifiées jusque-là : i) la connaissance incomplète des mécanismes et processus physiques à prendre en compte dans les modèles climatiques régionaux et les modèles d'impacts socio-économiques ; ii) l'évolution inconnue des activités humaines dans le futur proche. La première source d'incertitude est principalement due au fait que les insuffisances des modèles climatiques régionaux sont surtout liées à la représentation trop simple des processus non résolus en utilisant des schémas de paramétrisation statistiques (Benestad, 2004). Les schémas de paramétrisation dans les modèles climatiques régionaux sont basés sur la gamme des valeurs observées, qui pourrait être augmentée dans le futur proche. Par ailleurs, des prévisions de variation de température sur le bassin méditerranéen se basent sur une augmentation moyenne de la température de l'air (minimale et maximale) qui n'est pas toujours réaliste en termes de variations de températures moyennées sur la journée. Les résultats des prévisions régionales sont utilisés dans des modèles d'impacts qui possèdent leurs propres incertitudes. Il faut garder à l'esprit que les prévisions et les scénarios climatiques montrent seulement la direction dans laquelle le climat pourrait changer. Il n'est par conséquent pas raisonnable de considérer des prévisions climatiques avec le même taux de variation pour le 21^{ème} siècle dans son ensemble. Une approche raisonnable serait par exemple d'utiliser des prévisions de

températures de l'air différentes pour les périodes 2025 - 2050, 2050 - 2075, 2075 - 2100. De plus, les incertitudes devraient diminuer dans le temps avec l'augmentation de la connaissance et de l'expertise sur le système climatique. En outre, des écosystèmes en leur entier vont changer et modifier les conditions aux limites. La seconde source d'incertitude sur l'évolution des activités humaines représente probablement l'aspect socio-économique le plus ardu à être considéré par une approche multidisciplinaire. Cette source d'incertitude est cruciale pour les études spécifiques des impacts sur l'énergie, les ressources en eau, la sécurité alimentaire et la santé publique.

6. CONCLUSION

Il est remarquable de constater que les résultats de différents modèles descendus en échelle sont en accord quant à l'augmentation de la température, tout au moins pour la première partie du 21^{ème} siècle et quant à l'intensité des événements climatiques extrêmes. Il existe des preuves récentes et fortes de l'impact du changement climatique sur des systèmes uniques et vulnérables : l'environnement/les écosystèmes et les activités humaines. Le niveau des impacts négatifs s'accroît avec l'augmentation de la température. Les risques d'extinction d'espèces et de la biodiversité sont prévus avec une confiance plus élevée au fur et à mesure que le réchauffement se met en place (voir la partie I). Avec une augmentation supplémentaire de la température par rapport au niveau des 20 dernières années, on peut dire avec une fiabilité moyenne que 20 à 30% des espèces animales et végétales identifiées jusque-là sont confrontées à un risque accru d'extinction. On sait avec une confiance plus élevée qu'une telle augmentation de la température moyenne globale représente un risque significatif pour beaucoup de systèmes uniques et en danger, y compris plusieurs zones à risques telles que le bassin méditerranéen. La fiabilité a également augmenté pour les prévisions des sécheresses/inondations, canicules et stress thermiques ainsi que leurs impacts négatifs (quatrième rapport de synthèse du GIEC, 2007). En ce qui concerne le niveau de la mer, il existe encore un niveau élevé d'incertitude, qui devrait décroître dans un futur proche par l'utilisation continue de l'altimétrie satellite associée aux observations en temps réel provenant du réseau des jauges de marée. Il existe des différences importantes entre les sous-bassins méditerranéens, mais il apparaît de plus en plus que les zones surpeuplées de faible altitude devraient être confrontées à des risques accrus (par exemple dans les zones sèches et les grands deltas).

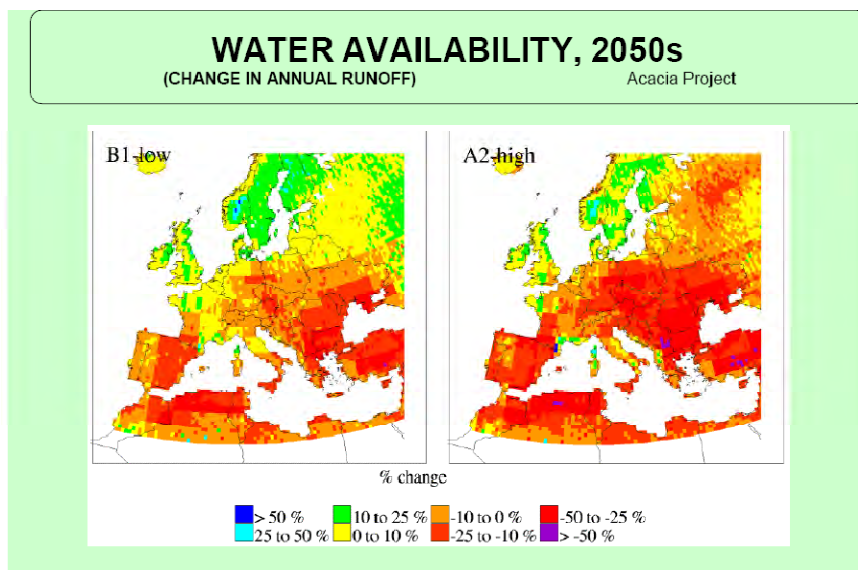
II. LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIO-ECONOMIQUES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN

Il existe un consensus et maintes preuves pour suggérer que, compte tenu des politiques actuelles d'atténuation des changements climatiques et des pratiques de développement durable qui en découlent, les émissions mondiales de GES continueront d'augmenter au cours des prochaines décennies. Le RE4 et le Rapport de synthèse du GIEC signalent une augmentation des émissions globales de GES de 25 à 90 % (équivalence CO₂ – e CO₂) entre 2000 et 2030, tandis que les combustibles fossiles maintiendront leur position dominante dans le bouquet énergétique global jusqu'à 2030 et au-delà. Continuer à émettre des GES aux niveaux actuels ou supérieurs engendrerait un réchauffement supplémentaire et provoquerait un grand nombre de changements au système climatique global au cours du 21^{ème} siècle, avec des conséquences sur l'environnement et les activités humaines. Il y a de fortes probabilités que, d'ici au milieu du siècle, il y aura une augmentation du ruissellement annuel des fleuves et de la disponibilité en eau aux hautes latitudes. Il y a aussi de fortes probabilités que le cycle hydrologique des régions semi-arides telles que le bassin méditerranéen sera fortement perturbé et que les changements climatiques entraîneront une diminution des ressources en eau. Les impacts pluridisciplinaires prévus sont présentés dans cette partie II et comprennent les impacts liés à l'acidification de la mer Méditerranée. Des impacts sur l'agriculture et la biodiversité ont été observés depuis un certain temps, tandis que d'autres impacts influant sur la santé publique apparaissent progressivement, associés par exemple aux maladies à vecteur, aux maladies hydriques et aux stresses thermiques.

1. LA VUE D'ENSEMBLE

Les changements climatiques à venir dans le bassin méditerranéen vont changer les dynamiques sociales et économiques et pourront potentiellement endommager les infrastructures et accroître les inégalités entre pays voisins. Cela pourrait provoquer une migration économique et ralentir l'accès aux ressources essentielles. Au cours de l'histoire, les variabilités et les changements climatiques ont eu des impacts sur le développement de la culture méditerranéenne, ainsi que des impacts vérifiés sur les écosystèmes marins. Ces derniers ont été liés aux variations de températures de surface de la mer, de salinité de surface de la mer, et de températures dans la colonne d'eau. Il y a également eu des changements au niveau de la disponibilité d'eau, des changements du niveau de la mer, des événements météorologiques extrêmes (montée en intensité et éventuellement en fréquence) dans l'est du bassin méditerranéen, de l'acidification de l'océan (évolutions dans le budget des carbonates), du bilan des éléments nutritifs et du cycle des éléments nutritifs, de la modification des zones côtières (aussi associée à la pression humaine de par une hausse de population), ainsi qu'un niveau de la santé publique. La Figure 13 présente la disponibilité d'eau vers le milieu du 21^{ème} siècle (en % de changement), selon les scénarios B1 et A2 avancés par le GIEC.

Figure 13– Disponibilité d'eau (ou changement du ruissellement annuel, exprimé en %) au milieu du 21^{ème} siècle, selon les scénarios B1 (estimations basses) et A2 (estimations élevées) du GIEC

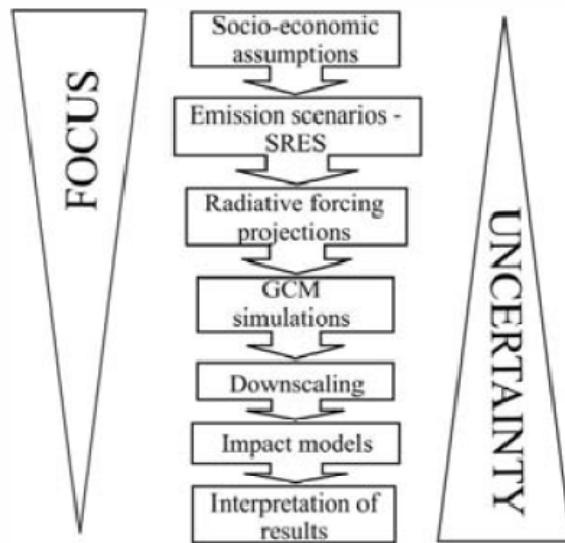


Dans les deux scénarios, les changements les plus importants (de 25 à 50 %) sont visibles sur le Maghreb, la Sicile, l'est de l'Espagne, la Grèce, le sud-est de la Turquie.

Source : Projet ACACIA

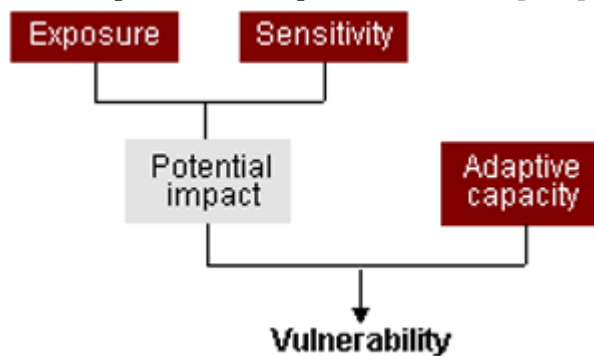
Les conséquences socio-économiques ne sont pas seulement dues directement au réchauffement climatique, elles sont également associées aux pertes de terres habitables (Chadly Rais, PNUE et UICN). Les activités humaines liées à la mer Méditerranée subiront des pertes irréversibles de revenus journaliers. Par exemple, les évolutions du niveau marin perturberont le mouvement des eaux des estuaires et dérangeront ainsi les écosystèmes de palourdes. Les activités de pêche lagunaire seront aussi fortement perturbées en raison des inondations/sécheresses accrues associées aux événements météorologiques extrêmes. Alors que les zones humides de delta seront menacées par le manque d'eau en général, les processus de sécheresse et de désertification tendront à se renforcer de par leurs interactions (rétroactions négatives). Le réchauffement climatique de la mer Méditerranée aura pour effet d'augmenter les productions de phytoplancton ; il entraînera une baisse des conditions sanitaires (y compris la présence de Vibrios et les maladies digestives qui en découlent – voir la section correspondant aux impacts sur la santé publique) et aura une incidence sur les conditions touristiques (1/5 du monde). Les conséquences socio-économiques seront énormes. La Figure 14 représente l'évolution des incertitudes, de l'interprétation générale des résultats jusqu'aux impacts socio-économiques (d'après Bergant et al., 2005), alors que la Figure 15 montre les différents éléments de vulnérabilité (d'après Schroter et le projet ATEAM, 2004).

Figure 14– L'évolution de l'incertitude croissante, des hypothèses socio-économiques d'ordre général à l'interprétation régionale des résultats, y compris les impacts, en passant des MCG aux MCR



Source : Bergant et al., 2005

Figure 15 - Les éléments de vulnérabilité qui ressortent lorsque l'on associe les impacts potentiels aux capacités adaptatives



Source : Schröter, ATEAM, 2004

Enfin, lorsque les résultats de MAGGIC/SCENGEN, par exemple, furent appliqués généralement à la rive Sud de la Méditerranée (et à l'Algérie en particulier), il en a découlé que pour l'horizon 2025, le manque de ressources en eau atmosphérique aurait des impacts très nettes sur les ressources en eau douce (quantité et qualité), sur l'agriculture (y compris la sécurité alimentaire), ainsi que sur la santé publique (défaillances du système immunitaire et vulnérabilité aux maladies nouvelles et récurrentes, y compris les épidémies). Des résultats supplémentaires détaillés ainsi que des conclusions concernant les impacts éventuels sont développés dans les cinq parties suivantes : les parties II.2 et II.3 traitent des impacts directs et intégrés sur l'environnement et les écosystèmes, alors que les parties II.5 II.6 couvrent les effets sur les activités humaines et la santé.

2. LES IMPACTS SUR LE CYCLE HYDROLOGIQUE

2.1. Le défi

Les ressources en eau sont limitées sur le pourtour de la Méditerranée et leur disponibilité future est très incertaine. Les ressources sont de plus en plus menacées par des influences telles que l'urbanisation, la croissance démographique et la variabilité/l'évolution climatique. Les données hydrologiques par pays (km^3/an) pour le bassin méditerranéen sont présentées dans le Tableau 3 et comprennent tous les différents processus. Les ressources en eau du BM s'élèvent à 600 km^3 (dont 81 km^3 provenant de pays non méditerranéens). La consommation finale estimée est de 90 km^3 par an, pour les diverses utilisations. Les débits sortants (eaux de surface + eaux souterraines) vers le bassin méditerranéen représentent environ $473,5 \text{ km}^3$ ($430 \text{ km}^3 + 43,5 \text{ km}^3$). La quantité de pertes par évaporation de l'eau de surface est estimée à $\sim 46,5 \text{ km}^3$ (dont un tiers, soit 13 km^3 , correspond à l'évaporation des réservoirs d'eau) (selon Margat, MEDHYCOS).

Tableau 3 – Les ressources en eau des pays méditerranéens

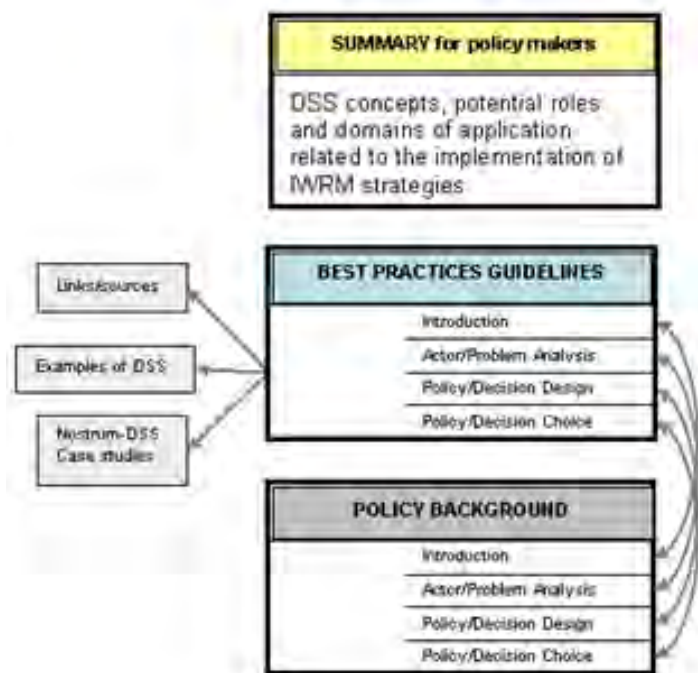
Countries	Precipitation	Resources and fluxes						Present fluxes going out of countries				Consumption and losses	
	1 Yearly Average Precipitation P	2 Internal Resources of Countries (ETR)	3 Groundwater (2-3')	4 Surface water resources (2-3)	4' External Contribution from neighbouring countries (surface water and ground water)	4'' Contribution from non Mediterranean countries (included in 4)	5 Total Resources (2+4)	6 Real discharges toward the Mediterranean sea	7 Groundwater fluxes toward the Mediterranean	8 Real discharges towards the neighbouring countries	9 Discharges flowing out from countries (6+7+8)	9' Discharges flowing toward the Mediterranean (6+7)	10 Final Consumption by users including effluents in the sea
Spain	112	28	10.44	17.56	0.35	0.1	28.35	14.3	0.65	0.03	14.95	10.25	1
France	123	64	32	32	8.5	8.5	72.5	66	0.2	0.7	66.2	5	0.3
Italy	266	182.5	43	139.5	6.3	2	188.8	155.1	12	0	167.1	18	
Malta	0.165	0.05	0.05	0	0	0	0.05	0	0.04	0	0.04	0.03	
Slovenia	6.54	4.21	9	4.21	0	0	4.21	0.25	0.15	3.8	4.2	0.4	0.003
Croatia	26.5	18	9	9	13.7	0	31.7	21.2	10.5	0	31.7	0.5	
Bosnia-Herzegovina	22	14	2	14	0	0	14	0.015	0.05	13.58	13.645	0.04	
Yugoslavia	22	16	2	14	0	0	16	1.5	1.6	12	15.1	0.27	
P.YR Macedonia	18	5.42	20.7	5.42	1	0	6.42	0	6.3	0	6.3	0	0.77
Albania	42.7	26.9	6.2	20.7	15.9	2	42.8	40.7	0	0	41.7	0.6	
Greece	113.4	58	10.3	47.7	11.2	10.2	69.2	48.7	2.5	2	51.2	6	1
Turkey	140	66	20	46	3.45	2.8	69.45	50	12	0.2	62.2	6	
Cyprus	4.42	0.78	0.28	0.5	0	0	0.78	0.178	0.23	0	0.408	0.17	
Syria	13.55	5	2.38	2.62	0.83	0	5.83	1.33	1	0.85	2.33	1.6	0.5
Lebanon	8.2	4.6	3.1	1.5	0	0	4.6	2	0.72	0.64	2.72	1	
Israel	3	0.63	0.45	0.18	0.38	0	1.01	0	0.01	0	0	1	0.12
Palestinian Authority	1.42	0.62	0.546	0.074	0.01	0	0.63	0.02	0.5	0.022	0.022	0.13	0
Egypt	12	0.8	0.5	0.3	55.5	55.5	56.3	13	0.03	0	13.03	35.1	10
Libia	10	0.7	0.6	0.1	0	0	0.7	0.05	0.05	0	0.1	0.5	
Tunisia	33	3.7	1.16	2.55	0.32	0	4.02	0.85	0.2	0	0.85	1.1	0.47
Algeria	68.5	14.5	1.33	13.17	0.03	0	14.53	11.3	0.32	0	11.62	1.7	
Morocco	21	5	4	0	0	0	5	3.65	0.1	0.03	3.78	0.9	
Total	1056	519	144	376	117	81.1	636	430	43.5	41	473.5	90	13.4

Source : <http://medhycos.mpl.ird.fr/en/t1.resi&gn=Margat.inc&menu=fresimf.inc.html>

La plupart des flux présentés dans ce tableau représentent la majeure partie des processus du cycle hydrologique (soit le ruissellement de surface, les aspects dynamiques des aquifères, le débit des fleuves, l'évapotranspiration, la disponibilité en eau, et les événements extrêmes...) mais ils seront modifiés par les changements climatiques sur la Méditerranée.

La problématique à surmonter quant au pourtour méditerranéen vient du fait que l'eau est encore gérée de manière sectorielle, alors que les changements climatiques impliquent des impacts sur l'utilisation de ressources renouvelables en eau, du dessalement, et de la redistribution des eaux d'irrigation afin d'arriver à des usages plus efficaces, et tout cela exigera une approche pluridisciplinaire (<http://www.feem-web.it/nostrum/>, cf. Figure 16). La Figure 16 présente un exemple des lignes directrices pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) au sein du bassin méditerranéen, ainsi qu'un exemple des stratégies d'aide à la décision définies par Nostrum-DSS. En effet, les pays méditerranéens et plus particulièrement ceux du sud et de l'est (Blue Plan, 2007) ont une forte demande en matière de ressources en eau à des fins d'irrigation (81 pour cent pour les pays du sud et de l'est et 45 pour cent pour les pays du nord ; selon Blue Plan, 2007) et les changements climatiques auront des impacts sur ces ressources, au niveau des réservoirs aquifères ou de la quantité et la qualité de l'eau, dans la région de la Jordanie par exemple. Le débat en Espagne sur la politique à adopter pour surmonter les problématiques de pénurie d'eau et de dégradation des ressources est un bon exemple et sert à souligner les difficultés qui se présentent pour arriver à une gestion durable des ressources en eau, en raison des conflits d'intérêts parmi l'ensemble des acteurs (y compris les groupes de défense de l'environnement). Les mesures stratégiques à adopter afin de résoudre la pénurie d'eau devront impérativement inclure une interdiction de surexploiter les aquifères, une politique pour la tarification de l'eau, l'introduction de marchés de l'eau, des subventions pour la modernisation des systèmes d'irrigation, et une augmentation de l'alimentation en eau par des transferts entre bassins ou par le dessalement de l'eau de mer (se référer au Tableau 4 qui décompose pour certains pays méditerranéens le volume d'eau utilisé pour des fins d'irrigation ; adapté à partir du rapport de l'OCDE, 2005).

Figure 16 - Les stratégies pluridisciplinaires à l'intention des décideurs, comprenant les liens entre les politiques régionales et locales et le guide des meilleures pratiques pour la conception et la mise en œuvre des SAD (Systèmes d'Aide à la Décision) pour la GIRE (Gestion Intégrée des Ressources en Eau) dans le bassin méditerranéen



Source : projet européen FP6 de NOSTRUM-DSS, 2006

Tableau 4 – La consommation d'eau (extraction totale d'eau en hm³) des pays méditerranéens, les surfaces de terres irriguées (en 1 000 ha) et l'eau d'irrigation seule (en hm³). Un tiers de l'eau extraite est utilisée pour l'irrigation

Pays	Extraction totale d'eau (hm ³)	Terres irriguées (1 000 ha)	Eau d'irrigation (hm ³)
France	33 500	2 200	4 800
Grèce	8 900	1 450	7 700
Italie	56 200	2 700	25 850
Portugal	9 900	650	8 770
Espagne	37 700	3 650	24 600
Turquie	39 800	4 500	31 000
Total pour l'Europe	291 900	21 170	109 470

Source : Rapport OCDE, 2005

La disponibilité d'une quantité suffisante d'eau douce a toujours été essentielle au développement agricole et industriel dans le BM, environnement dont les ressources en eau sont limitées. L'équilibre politique de la région est fortement lié à une alimentation adéquate en eau, face à une demande accrue de cette ressource. La gestion durable des ressources en eau nécessite des décisions fondées sur des bases scientifiques solides afin d'assurer la disponibilité future d'eau douce. De plus, les crises d'eau sont liées aux troubles politiques.

2.2. Les impacts

Lorsque des changements se produisent dans la distribution des précipitations sur différentes échelles spatio-temporelles, ceux-ci ont une incidence sur le débit des fleuves. Par ailleurs, les changements en termes de ruissellement peuvent aussi servir d'indices de changements climatiques. Par exemple, les données concernant le débit des rivières en Grèce présentent une tendance négative depuis 1920 (Koutsoyiannis et al., 2007), tendance qui est associée à une baisse partielle des précipitations dans ce pays. La détection des changements de ruissellement est plus difficile puisqu'elle implique une évaluation du pompage des eaux souterraines, comme dans le cas de l'Ebre (Espagne) mentionné plus tard. La difficulté supplémentaire vient du fait que les grands bassins fluviaux s'étendent sur des zones géographiques où les réservoirs d'eau ont été construits sur des périodes de temps non négligeables et qu'ils sont soumis à des climats variés. Le Tableau 5 présente les moyennes annuelles des flux de ruissellement (en m³/s) pour les fleuves principaux et la mer Noire (apport d'eau douce), appliquées au modèle de la mer Méditerranée pour chaque décennie étudiée par rapport au scénario méditerranéen A2 du GIEC. Ces moyennes proviennent de données issues de la modélisation des précipitations pour le 21^{ème} siècle et sont basées sur OPAMED8¹⁸. Le nom des décennies est choisi selon leur première année, par exemple 2010 pour la décennie 2010 – 2019. Dans la simulation de référence, la climatologie (clim) est appliquée pour la période 1960 - 1999 avec des résultats tous les 10 ans pour le scénario A2 (Somot, 2005). Les résultats tiennent compte de la présence du barrage d'Assouan qui a réduit le débit du Nil (Vörösmarty et al.). Ainsi, les valeurs présentées pour le Nil sont le résultat de la valeur « clim » multipliée par le flux prévisionnel et le flux actuel (en utilisant le modèle ARPEGE-Climat du projet PRUDENCE). Des baisses de ruissellement importantes sont notées pour le Rhône, le Pô et l'Ebre.

¹⁸ OPAMED8 : Une version méditerranéenne à haute résolution dérivée de OPA et NEMO pour représenter la variabilité/l'évolution climatique dans le bassin méditerranéen (d'après Somot, 2005).

Tableau 5– Les moyennes annuelles de ruissellement (in m³/s) pour l'apport en eau douce des principaux fleuves (et de la mer Noire)

Rivers	clim	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090
Rhone	1700	1666	1615	1649	1581	1564	1530	1513	1462	1377	1360
Po	1498	1378	1288	1258	1183	1228	1228	1183	1183	1183	1213
Ebre	428	398	321	343	321	317	309	274	274	197	188
Nile	875	945	954	962	910	928	823	875	858	901	814
Black Sea	8036	6911	6027	5625	4902	4420	4661	4581	4018	2893	2330

À noter : les valeurs exprimées pour le Nil correspondent au ruissellement annuel moyen dans la zone du delta.

Source : A2 du GIEC (Somot, 2005)

Les impacts des changements climatiques méditerranéens sur la disponibilité en eau dans le bassin versant du haut Jourdain ont fait l'objet d'études dans le cadre du projet GLOWA-Jordan River (GLOWA JR¹⁹), grâce à des MCR de haute résolution couplés climat-hydrologie (<http://www.glowa-jordanriver.de>). Ainsi, le projet GLOWA JR fournit des arguments scientifiques à l'appui d'une gestion intégrée des ressources en eau et des terres basée sur le concept « blue-green water » qui comprend les débits de surface, les flux d'eaux souterraines et les processus d'évapotranspiration. Il est rappelé que le bassin du haut Jourdain devra fournir à l'Israël un tiers de ses ressources en eau douce. Deux tranches de temps de trente années chacune (1960 - 1990 et 2070 - 2100) provenant du MCG ECHAM4 (suivant le scénario B2 du GIEC) ont été soumises à une désagrégation dynamique à l'aide de MM5, modèle météorologique non hydrostatique, utilisant des grilles imbriquées avec des mailles aux résolutions respectives de 54 km et 18 km. Les données météorologiques ainsi obtenues sont ensuite utilisées pour faire tourner le modèle hydrologique WaSiM en l'appliquant au bassin versant du haut Jourdain, dont la superficie est d'environ 850 km². Les débits d'eau en surface, les écoulements souterrains, ainsi que le bilan hydrologique sont analysés de manière détaillée, en couplage dynamique avec un modèle 2D des eaux souterraines. Les résultats indiquent une hausse moyenne des températures annuelles de l'ordre de 4,5 °C ainsi qu'une baisse de 25 % de la moyenne annuelle des précipitations dans les parties montagneuses du bassin versant du haut Jourdain. Une baisse de 23 % est prévue quant au ruissellement total du bassin versant, accompagnée d'une baisse importante de la recharge des eaux souterraines (Neuman et al., 2007). Différentes options d'adaptation sont en cours d'évaluation afin de déterminer leurs impacts éco-hydrologiques et socio-économiques. Par la suite, les informations du projet GLOWA JR seront intégrées aux résultats régionaux des autres pays, afin d'en dégager un système centralisé d'aide à la décision (cf. Tableau 6). Ce tableau montre le nombre de personnes (en millions) qui devraient souffrir de stress hydrique d'ici 2055 en raison des changements climatiques dans la région Machrek (les territoires Palestiniens, la Jordanie, le Liban, la Syrie, l'Iraq), selon 6 modèles basés sur les scénarios A2 et B2 du GIEC (GLOWA Project, Arnell, 2004).

Tableau 6 - Le nombre de personnes (en millions) dans la région Machrek qui seront exposés au stress hydrique d'ici 2055

	HadCM ³	ECHAM4	CGCM2	CSIRO	GFDL	CCSR
A2	150	157	169	114	72	128
B2	95	110	168	62	64	110

Les résultats proviennent de 6 modèles et se basent sur les scénarios A2 et B2

Source : Arnell, GLOWA Project, 2004

¹⁹ GLOWA Jordan River, ou GLOWA JR, est un projet de recherche interdisciplinaire et international qui apporte un appui scientifique à la gestion durable des ressources en eau dans la région du fleuve Jourdain.

La moyenne annuelle du budget en eau de la mer Méditerranée est évaluée ainsi (en mm/an) : Évaporation (E), 1 100 ; Précipitations (P), 400 ; Débit fluvial (R), 100 ; mer Noire (BS), 75. Les impacts sur le cycle hydrologique sont bien entendu des impacts au premier ordre, puisqu'ils sont liés à d'autres impacts pluridisciplinaires (soit l'agriculture, l'évolution des écosystèmes, la biodiversité, ...). La plupart des modèles climatiques actuels indiquent une sécheresse accrue sur la région méditerranéenne. Cependant, ayant comparé les résultats de cinq différents modèles couplés atmosphère-océan, à basse résolution, Cubasch et al. (1996) n'ont trouvé aucun signal cohérent entre ceux-ci. La conclusion principale en était que les simulations pouvaient être améliorées en utilisant des modèles à plus petite échelle et/ou à plus haute résolution (en tenant compte également des topographies complexes).

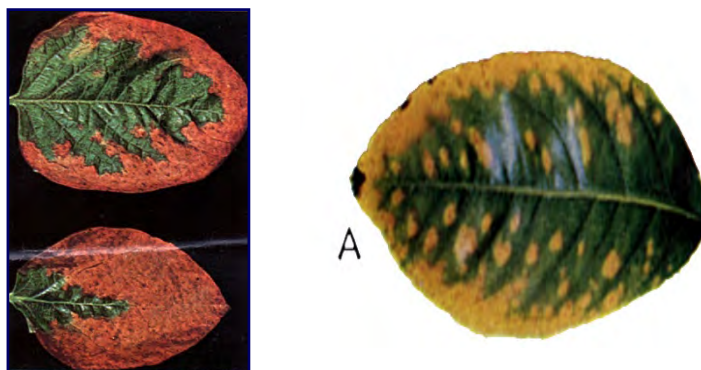
L'agriculture et l'alimentation en eau sont certainement les deux secteurs économiques qui sont les plus sévèrement touchés par la sécheresse, surtout en Europe du Sud. D'autres études régionales ont été entreprises, dans les pays du Maghreb par exemple. En raison de la faible disponibilité initiale d'eau, les impacts des changements climatiques sur les ressources en eau seront d'autant plus importants en ce qui concerne les éléments suivants : i) la hausse des températures moyennes entraînera une augmentation de la température de l'eau des oueds, ce qui aura pour effet de réduire leur teneur en oxygène et leur capacité d'autoépuration ; ii) la diminution du ruissellement entraînera en conséquence des concentrations plus élevées de polluants ; iii) la salinité des cours d'eau et des eaux souterraines augmentera (provoquée par une évaporation plus élevée, des demandes accrues en eau dues à la croissance démographique, l'élévation prévue du niveau de la mer) ; iv) la pollution des eaux des estuaires due à une présence accrue de vibrios. En conséquence, les sols seront exposés à un maximum d'érosion (cf. les résultats préliminaires du projet européen « DeSurvey »).

Des événements météorologiques extrêmes plus fréquents dans la partie nord du bassin méditerranéen en hiver/au printemps pourraient engendrer une incidence plus élevée de crues soudaines et de coulées de boue catastrophiques (conclusions ACACIA²⁰). Des coulées de boue dans la région de Naples ont tué 150 personnes (mai 1998).

Le régime hydrologique des fleuves méditerranéens est assez particulier (Graff et al., 2003; Wainwright et Thornes, 2003). Les différences entre les hauts et les bas débits d'eau peuvent être extrêmes. Ainsi, le rapport entre le débit maximal et le débit annuel moyen dans un bassin versant d'une superficie comprise entre 10 000 km² à 100 000 km², peut être plus grand d'un ordre de grandeur comparé aux autres fleuves. Pour cette raison, il est très difficile de prédire le ruissellement, surtout lorsque viennent s'ajouter une topographie complexe et une végétation clairsemée. Ces éléments rendent le calcul des impacts socio-économiques encore plus difficile. Dans le bassin méditerranéen, de par leurs rétroactions négatives, les activités socio-économiques (voir le liminaire) associées aux efforts pour combattre la pollution des eaux et le dessalement (avec des impacts directs sur les cultures) ont de fortes incidences sur le cycle hydrique. La Figure 17 montre les effets de la toxicité du chlorure (gauche) et du bore (droite) sur la végétation. En exemple, les avocats et les citrons.

²⁰ Un projet pluridisciplinaire visant à fournir des modèles, des méthodes et des outils pour aider les ingénieurs à acquérir des connaissances à partir de multiples experts, afin de construire une mémoire d'entreprise (soit une capitalisation des connaissances) et un système à base de connaissances.

Figure 17 - Les effets de la toxicité du chlorure (gauche) et du bore (droite) sur la végétation (taille réduite des feuilles, santé fragilisée).



En exemple, les avocatiers (A) et les citrus (gauche). L'avocatier est sensible aux concentrations de chlorure supérieures à 100-180 mg/l, alors que les citrus sont sensibles aux concentrations supérieures à 200 mg/l. Les concentrations de fond de chlorure présentes dans l'eau atteignent normalement environ 200 mg/l. Les concentrations supérieures à 0,5 mg/l endommageraient les cultures sensibles telles que les citrons. La concentration de bore présente dans l'eau d'Israël est de l'ordre d'environ 0.1 mg/l.

Source : Weber et Juanicó, « The Israel Project », 2005

Cela varie en fonction des régions, de leur développement agricole, du tourisme, de la croissance démographique exponentielle, ou plus généralement de leur gestion des ressources en eau. Tous ces éléments doivent être inclus dans les modèles socio-économiques. Les modèles ne doivent pas être statiques et ils doivent inclure les impacts liés aux nouvelles technologies, aux changements de gouvernance, et aux changements dans les fréquences d'événements extrêmes (Holman et Loveland, 2001 ; Holman, 2006, entre autres). Les scénarios doivent être fondés sur des approches pluridisciplinaires telles que celles élaborées par Alcamo et al. (2003), et ils doivent comprendre ce qui est attendu des acteurs. Tout scénario développé devra prendre en compte l'hétérogénéité hydrologique régionale au sein du bassin méditerranéen (Cudennec et al., 2007).

Enfin, en plus des changements climatiques, les désastres naturels pourraient représenter des obstacles puissants au développement du bassin méditerranéen (voir aussi Benson et Clay, 2002). La qualité dégradée de l'eau entraînerait des problèmes de santé et, comme il sera examiné plus tard, occasionnerait une malnutrition aux coûts énormes qui compromettraient la diminution de la pauvreté. Les pays du sud de la Méditerranée seront les plus touchés par la baisse de qualité et de disponibilité des ressources en eau. En Égypte, à Chypre, au Maroc, en Syrie et au Liban par exemple, la disponibilité en eau est déjà en dessous ou proche de 1 000 m³/personne/an, seuil de référence pour le stress hydrique. Même les pays relativement plus riches en eau tels que l'Espagne, la Grèce et l'Italie pourraient subir des pénuries régionales d'eau dues à la fois aux changements climatiques et à la demande croissante. À noter que 500 m³/personne/an correspondent au seuil de pénurie d'eau déjà atteint en Algérie, en Israël, en Libye, à Malte, dans les Territoires Palestiniens, et en Tunisie. De plus, la Crète pourrait souffrir de graves pénuries d'eau pendant 5 années sur 6 d'ici 2010. Certaines sources d'approvisionnement en eau pourraient devenir inutilisables en raison d'une pénétration d'eau salée dans les fleuves et les aquifères côtiers. La pollution des eaux représente déjà un risque majeur pour la santé dans la Méditerranée mais empirerait davantage au fur et à mesure de l'augmentation en concentration des polluants, en raison des réductions dans les débits d'eau examinées plus haut.

3. LES IMPACTS SUR LES ECOSYSTEMES ET LA BIODIVERSITE

Les espèces et les écosystèmes sont importants quant aux services qu'ils assurent aux humains, et il devient donc essentiel d'étudier les façons dont les changements climatiques pourraient affecter leur capacité à remplir leur rôle. Il pourrait y avoir des effets lourds au cours du 21^{ème} siècle. La mer Méditerranée par exemple est d'ores et déjà une mer plus chaude qui est actuellement toujours peuplée d'une majorité d'espèces d'eau froide. Il a été observé que vers la fin des années 70, une nouvelle faune entrainait dans le BM, ce qui entraînait des changements/adaptations dans les activités de pêche. Dans la Méditerranée, les nouvelles espèces (avec des impacts positifs potentiels) pourraient donc rendre les anciens écosystèmes plus vulnérables. Sur les terres, des moyens de compenser les effets négatifs des changements climatiques sont à l'étude ou en cours de modélisation, ainsi que d'éventuelles stratégies d'adaptation dans un nombre de secteurs (DeSurvey, les projets BRANCH²¹ et MACIS²²; voir par exemple Harrison et al., 2006). En tout cas, les acteurs et les décideurs devront être impliqués dans la plupart des projets portant sur les impacts et les processus, afin de participer au programme de conservation à tous les niveaux trophiques.

Le bassin méditerranéen est considéré comme l'un des « points chauds » de la Terre du point de vue de l'écologie. Il existe des cadres juridiques visant à protéger la biodiversité de certaines actions anthropogéniques. De nombreux pays méditerranéens ont déjà signé la Convention sur la diversité biologique (CDB, juin 1992). Le taux actuel d'extinction des espèces pourrait être plus large d'un facteur de quatre ordres de grandeur que les taux typiques trouvés dans les fossiles. Puisqu'il n'existe peu ou pas de preuves d'une augmentation du taux de spéciation, il peut être déduit que dans les années à venir le bassin méditerranéen (parmi d'autres régions) se trouvera confronté à une baisse dramatique de la diversité de ses espèces (Catizzone et al., 1998). Il a été démontré que le taux de perte de types importants d'habitats et d'écozones reste la menace la plus importante pour la biodiversité²³ et la répartition de la diversité des mammifères européens (Levinky et al., 2007). Pour cette étude des modèles d'enveloppe bioclimatique (MEB) ont été employés afin d'évaluer les impacts potentiels des changements climatiques sur la répartition et l'abondance des espèces européennes de mammifères indigènes, terrestres et non-volants, selon les scénarios du GIEC. En faisant l'hypothèse d'une migration illimitée et d'une absence de migration, les MEB prévoient respectivement que 1 % et de 5 à 9 % des mammifères européens risquent l'extinction, tandis que de 32 à 46 % ou de 70 à 78 % pourraient être sérieusement menacés (perdant > 30 % de leur répartition actuelle). Sous l'hypothèse de l'absence de migration, il a été prévu que les espèces endémiques subiraient de lourds effets adverses tandis que les espèces bien réparties souffriraient d'effets plus modérés. Enfin, une baisse de la richesse potentielle en espèces mammifères est prévue dans le bassin méditerranéen, mais une hausse est anticipée dans le nord-est et dans les plus hautes altitudes. Il est à noter que les MEB ne tiennent pas compte des facteurs tels que l'utilisation des terres, la désertification, la dégradation des terres, les interactions biotiques, les interférences avec l'homme, etc.

²¹ BRANCH (« Biodiversity Requires Adaptation in Northwest Europe under a CHanging climate » - Dans un contexte de climat changeant, la biodiversité demande une adaptation dans le nord-ouest de l'Europe) : Ce projet apporte des éléments importants en matière d'aide à la décision pour guider les intervenants dans leurs actions. Les urbanistes doivent agir dès maintenant pour arriver à créer un paysage et un littoral qui sauront résister aux effets du changement climatique.

²² « Minimization of and Adaptation to Climate change Impacts on biodiversity » (Minimisation des changements climatiques et adaptation, les impacts sur la biodiversité) : <http://macis-project.net/>

²³ L'agriculture, la pollution, la destruction des habitats et les politiques sectorielles sont les quatre principales menaces identifiées en Europe.

Les impacts des changements climatiques sur la biodiversité sont en effet assez complexes : ils peuvent être directs ou indirects, et peuvent comprendre des réactions et des méthodes d'adaptation anthropogéniques. Certains écosystèmes pourraient être réduits en taille ou cesser d'exister, tandis que d'autres espèces pourraient disparaître, déclenchant ainsi des extinctions en chaîne. Des événements météorologiques extrêmes et soudains et/ou des événements progressifs tels que l'élévation du niveau de la mer, qui a des conséquences sur les habitats côtiers (voir aussi plus loin dans ce document), pourraient altérer les marais et les zones humides, tandis que les influences anthropogéniques telles que l'urbanisation intense des zones côtières (« la côte bétonnée ») sont parmi les éléments majeurs qui menacent les écosystèmes et la biodiversité dans la région méditerranéenne.

3.1. Les écosystèmes marins

L'influence de la température de l'eau sur les productions primaires phytoplanctoniques méditerranéennes est assez complexe. Les eaux froides sont généralement plus productives puisque la circulation verticale y est plus élevée et davantage d'éléments nutritifs sont présents près de la surface. Cela est particulièrement vrai pour les zones côtières où les eaux remontantes dominent. Une augmentation générale de la biomasse phytoplanctonique totale (1991 - 1999) a été observée sur le site du projet DYFAMED²⁴ (Marty et al., 2002). Cette augmentation pourrait être due à la réaction spécifique des phytoplanctons de petite taille en réponse à l'allongement de la période de stratification estivale. Aussi, il a été démontré que dans le nord-ouest, la zone de convection d'eau profonde a été réduite avec une quasi-absence de floraison automnale (Bosc et al., 2004). Ce phénomène pourrait être associé aux modifications de l'environnement liées aux changements climatiques dans le bassin méditerranéen. Ces derniers pourraient aussi augmenter le rôle fertilisant de l'atmosphère, de par la stratification des eaux de surface.

Il est anticipé que les bancs/réserves de thon (et la pêche au thon) seront fortement perturbés, non seulement à cause des changements de courants dans la mer d'Alboran, par exemple, mais également si les quotas ne sont pas réévalués. Aussi, le bar nécessite une température spécifique et des conditions photopériodiques pour pouvoir pondre ses œufs. Un quelconque changement dans ces conditions dérangerait l'équilibre fragile qui existe entre proies et prédateurs. Des impacts ont déjà été notés sur les communautés de copépodes présentes dans le Golfe du Lion et ils ont été attribués à une augmentation de la salinité de subsurface en période hivernale (Kouwenberg et al., 1999). Des changements dans les circulations profonde et intermédiaire de l'EM ont eu des conséquences sur l'épiplancton de la mer Ionienne et de l'Adriatique (MARBENA E-Conférence, 2004). L'invasion du Golfe de Gênes par la *Caulerpa taxifolia* ou « algue tueuse » est un autre exemple d'un écosystème déjà perturbé (Meinesz, 1999). Des actions anthropogéniques (différentes des changements climatiques) ont entraîné la migration de faune planctonique de la mer Rouge (après la construction du haut barrage d'Assouan par exemple). Ce phénomène pourrait s'intensifier en raison des hausses de température et de salinité y étant observées récemment (Lakkis et Zeidane, 2004). Des changements anthropogéniques dans les éléments nutritifs, par exemple une présence accrue de nitrates et de phosphates alors que les concentrations de silice demeurent constantes, pourraient induire des modifications dans les diatomées, passant d'organismes siliceux en organismes gélatineux, modifications qui engendreraient des affections et des maladies eutrophiques (IPFM, IDFM). Des changements de ce type sont observés dans les estuaires méditerranéens et pourraient avoir des impacts supplémentaires sur les activités de pêche et de tourisme. D'autres changements se produiront par rapport aux espèces benthiques, puisque la solubilité de l'oxygène du benthos diminue en raison d'une augmentation de la décomposition des matières organiques.

²⁴ DYnamique des Flux Atmosphérique en MEDiterranée. <http://www.cnrm.meteo.fr/expert/contributions/resumeslongs/marty.pdf>

Les ingrédients de base des écosystèmes marins, ainsi que leur machinerie biologique, sont souvent insuffisamment résolus. Il est présumé que des changements dans les écosystèmes auront lieu, associés à une remontée de la nutricline suivant l'écoulement des eaux denses de la mer Égée, et peut-être liés à des changements dans le zooplancton profond. Des téléconnexions peuvent aussi apparaître, par exemple des floraisons dans la mer Noire auraient apparemment produit des aérosols atmosphériques de sulfates ne provenant pas du sel marin mais étant néanmoins d'origine biologique marine, qui auraient été entraînés vers le sud et détectés sur la côte sud de la Turquie (Özsoy, 1999).

De lourdes menaces sur certaines espèces en particulier ont d'ores et déjà été constatées, notamment d'énormes pertes de gorgones (sensibles à la température de l'eau) dans le Golfe de Gênes (où la température a augmenté de plus de 2 °C dans les quinze dernières années) et se propageant dans de nombreuses parties de l'ouest et de l'est méditerranéen (MedOndes, 2000). Des éléments naturels et anthropogéniques pourraient aussi constituer une menace pour certaines espèces telles que les tortues marines en raison de leur sensibilité à l'augmentation des concentrations de CO₂ dans l'eau et surtout de la pression anthropogénique croissante sur les zones de nidification²⁵.

Les impacts des changements climatiques sur les activités halieutiques ne seront pas les mêmes dans tout le bassin. La mer Méditerranée est une mer presque fermée mais qui est reliée à l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar. Les eaux méditerranéennes sont généralement chaudes et oligotrophes (c'est-à-dire qu'elles possèdent des concentrations relativement faibles en éléments nutritifs et ont une faible productivité), sauf au niveau des embouchures de fleuves où les débits fluviaux apportent des éléments nutritifs à la mer, et sauf également dans les zones où l'action éolienne et la remontée côtière permettent le transport vertical d'éléments nutritifs. Les zones les plus productives se trouvent dans le nord-ouest méditerranéen en raison des débits fluviaux importants provenant du Rhône et de l'Ebre, mais aussi d'un fort brassage par le vent. Les débits annuels de ces fleuves semblent avoir une tendance à varier inversement à l'Oscillation Nord Atlantique (NAO) : les débits tendent à être moins élevés pendant les périodes d'anomalies positives du NAO. Il est très probable que les effets régionaux des changements climatiques (ex. : le réchauffement de la mer, l'élévation du niveau de la mer, ruissellement fluvial réduit, etc.) vont produire des changements dans les activités halieutiques de cette région où les espèces pélagiques, démersales et benthiques sont fortement ciblées par les flottilles artisanales, semi-industrielles et industrielles. Dans le nord-ouest de la Méditerranée, la caractéristique la plus marquante reste le fait que les températures de l'air et de la surface de la mer indiquent une tendance à la hausse à tous les niveaux et celle-ci est plus marquée ici que dans les autres parties de la mer et les autres océans. Les températures de l'air en surface ont augmenté de 2,1 °C en 30 ans (soit 0,07 °C par an). Les températures de surface de la mer ont augmenté de 1,1 °C en 27 ans (0,04 °C par an). À 80 m de profondeur la tendance indique une hausse de 0,7 °C en 27 ans (0,025 °C par an), et à plus de 400 m de profondeur elle indique une hausse de 0,12 °C en 30 ans (0,004 °C par an). Le réchauffement a été accompagné d'une élévation du niveau de la mer de l'ordre de 3,3 cm en 11 ans (3,3 cm par an). Il semblerait aussi que le nord-ouest de la mer Méditerranée soit en phase de devenir plus salé : la salinité des eaux profondes du Golfe du Lion s'accroît au rythme de 0,007 psu/décennie. Tous les éléments décrits ci-dessus sont liés à la disparition des habitats des poissons due aux changements climatiques et à d'autres effets anthropogéniques (par exemple, le tourisme, la pêche au chalut, la pollution ; Lloret et al., 2004).

²⁵ Le Parc National Marin de Zakynthos en Grèce a été officiellement établi en janvier 2000 afin de protéger les principales zones de nidification des tortues marines (*caretta caretta*), et ce dans le cadre de la « directive Habitats » de l'UE et malgré une forte opposition locale (MedOndes, 2000). L'île de Lampedusa est une autre zone importante de nidification.

3.2. Les écosystèmes terrestres

Les impacts (positifs et négatifs) des changements climatiques sur la composition des espèces végétales vont augmenter au cours des décennies à venir. Il est probable que certains des effets potentiels des changements climatiques auront une influence positive sur l'agriculture et les écosystèmes dans le monde entier. En exemple, il est probable que les températures plus chaudes auront pour effet de prolonger la saison de croissance et que les niveaux accrus de CO₂ stimuleront la croissance des plantes et rendront plus efficace l'utilisation des eaux pour de nombreuses cultures. Cela est particulièrement vrai en ce qui concerne le bassin méditerranéen où les cultures concurrentielles sont surtout des cultures de saison chaude. Une solution qui pourrait paraître efficace serait que les agriculteurs se mettent à cultiver des cultures de saison chaude plus adaptées. Cependant, cela introduirait de nouveaux « concurrents » et par conséquent l'adaptabilité sera très probablement essentielle. Il est également estimé que les changements climatiques futurs exacerberont la disparition des espèces, surtout celles qui nécessitent des climats et des habitats très particuliers et qui sont limitées dans leurs capacités de migration (GIEC, 2001b). Les écosystèmes terrestres sont faibles en éléments nutritifs, subissent un stress saisonnier, et pourtant ils sont riches en espèces. Presque tous les taxa présentent des niveaux de diversité élevés, tant aux niveaux spécifiques que sous-spécifiques. Par exemple, au moins 30 000 des taxa végétaux du bassin méditerranéen se trouvent dans un périmètre de 2,3 millions de km². À peu près la moitié de ces espèces sont endémiques à la région, tandis que 4 800 espèces sont endémiques à des pays particuliers. Les changements climatiques vont probablement modifier la phénologie des plantes. Une hausse de température de 3 °C (dans l'intervalle prévu par le GIEC pour 2100) entraînera une redistribution des espèces qui se déplaceront de 300 à 400 km au nord, ou d'environ 500 m en altitude (Hughes, 2000). De plus, Thomas et al. (2004) ont prévu que face à de telles conditions, 15 à 37 % de toutes les espèces au monde pourraient disparaître d'ici 2050. Les plus grands effets sont prévus pour les régions arctiques, l'Europe de l'Est et la région méditerranéenne (Bakkenes et al., 2004). Au cours du 21^{ème} siècle, la richesse actuelle en espèces végétales de la région méditerranéenne pourrait être réduite en raison des projections concernant des baisses de précipitations, des feux de forêt plus fréquents, l'érosion accrue des sols, et un manque de nouvelles espèces. Les espèces endémiques à l'Europe du Nord pourraient disparaître et être remplacées par des espèces plus concurrentes à long terme (Sykes et Prentice, 1996).

Déjà, la date de première floraison de plus de 300 espèces de plantes britanniques a avancé de 4,5 jours au cours de la dernière décennie (Fitter et Fitter, 2002). Cela dénote un signal biologique fort de changement climatique. Les plantes annuelles sont plus enclines à fleurir tôt que ne le sont les vivaces congénères, et les espèces pollinisées par les insectes le sont aussi comparées à celles pollinisées par le vent. Ainsi, il est évident que la pression anthropogénique doit exercer un rôle majeur et similaire sur l'évolution des écosystèmes et des plantes de la Méditerranée.

Il est également anticipé que dans les pays du sud de la Méditerranée les zones cultivées vont augmenter au détriment des forêts, tandis que la situation contraire est anticipée dans les pays du nord de la Méditerranée où l'on constate une régénération naturelle de la forêt ou un reboisement sur les terres/sols en friche et dégradés (dans les Abruzzes en Italie, par exemple). La température de l'air est aussi un facteur important qui régule l'évapotranspiration potentielle. Une hausse de température dans les régions où les ressources en eau sont limitées entraîne une diminution de l'étendue et de la productivité des zones de scrub sclérophylle. Les végétaux ont aussi une tendance à réagir à l'augmentation de CO₂ dans l'atmosphère en diminuant leur conductance stomatique, ce qui a pour effet de diminuer le potentiel d'évapotranspiration. Les écosystèmes de ce type deviennent également plus vulnérables aux risques externes tels que les attaques de parasites et/ou les feux de forêt, ceux-ci ayant nettement augmenté en fréquence (2003-2005-2006 au Portugal, en

Espagne, dans le sud de la France ; 2007 en Grèce...). En effet, les vagues de chaleur estivales dans le sud de l'Europe influent fortement sur l'incidence de feux de forêt (Parry, 2000).

Comme il a été souligné dans le projet européen ACACIA, des conditions sèches et exceptionnellement chaudes peuvent avoir un effet dévastateur sur l'environnement naturel en réduisant la quantité d'eau disponible à la fois dans le sol pour les végétaux et dans les cours d'eau pour les oiseaux et les animaux (avec une présence accrue d'eaux saumâtres). Par exemple, les lacs d'Ichkeul et de Bizerte – deux lagunes – partageraient un grand nombre des problèmes identifiés dans les zones deltaïques et connaîtraient des changements considérables quant à leurs eaux fraîches/saumâtres actuelles, qui auront une influence sur la flore et la faune terrestres. Ces changements, couplés à la réduction éventuelle des zones humides, affecteraient de manière significative les parcours des oiseaux migrateurs qui dépendent principalement de la disponibilité d'habitats méditerranéens adaptés à l'hivernage et d'aires de repos pendant leurs migrations du nord vers le sud.

Une enquête sur les scénarios d'évolution de la biodiversité mondiale pour l'année 2100 a été publiée²⁶ (Sala et al, 2000) dans le cadre du GCTE Focus 4. Cinq « points directeurs » y ont été considérés : les changements dans l'utilisation des terres, le climat, le dépôt d'azote, la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, et les échanges biotiques. Lorsque la moyenne des biomes est évaluée, il semblerait que les deux inducteurs principaux de la biodiversité soient les changements dans l'utilisation des terres et les changements climatiques. Les écosystèmes méditerranéens sembleraient être affectés de manière très significative par une combinaison des « points directeurs », dont l'utilisation des terres et les échanges biotiques sont les principaux. Les écosystèmes méditerranéens comprennent des biomes qui connaissent les plus grands changements en termes de biodiversité, en raison essentiellement des effets modérés à élevés de tous les points directeurs.

Les pratiques d'aménagement forestier sont fortement liées au cycle de CO₂. Les arbres ont une courbe de croissance en S. Le taux de croissance des arbres est d'abord faible puis il accélère rapidement. Avec le temps, le taux de croissance des arbres baisse à nouveau. Afin d'assurer une production optimale de forêts et de bois, la période durant laquelle le taux de croissance commence à baisser (par ha et par an) est le moment idéal pour récolter les arbres. Les concentrations élevées en CO₂ ont des incidences sur l'échange gazeux (soit la photosynthèse, la respiration et la conductance stomatique), la croissance aérienne, le développement et le fonctionnement des racines et des mycorhizes, la phénologie, la respiration du sol et le cycle nutritif (Karnosky et al., 2001). L'étude des impacts des gaz à effet de serre sur les écosystèmes forestiers au moyen d'un système FACE²⁷ (Free Air Carbon dioxide Enrichment) est très utile pour comprendre comment les changements climatiques pourraient influencer sur les forêts et comment les forêts, à leur tour, influencent la composition de l'atmosphère. Au cours des années 90, les forêts mondiales ont éliminé de l'atmosphère près de 40 % des émissions anthropogéniques de CO₂. Dans le contexte des changements climatiques, il est important de se demander combien de temps les forêts pourront continuer d'être aussi efficaces. La substitution de plantes âgées par des plantes plus jeunes au taux de croissance plus élevé permettra de stimuler la fonction des puits de carbone terrestres et la production de biomasse (bois et biocombustible), ce qui pourrait compenser ou diminuer les émissions anthropogéniques de GES.

Le projet européen CIRCE (Climate Change and Impact Research: the Mediterranean Environment) est en cours de mise en oeuvre et comportera les aspects socio-économiques liés aux changements climatiques (<http://www.bo.ingv.it/circeip/>).

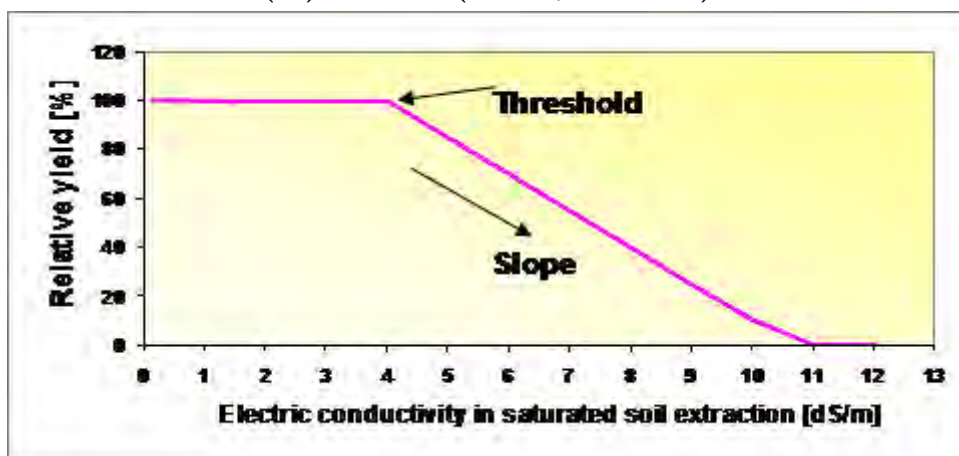
²⁶ Ces scénarios ont été développés par GCTE Focus 4 en collaboration avec le « Inter-American Institute for Global Change Research » (IAI) et le « National Center for Ecological Analysis and Synthesis » (NCEAS), université de Californie, Santa Barbara.

²⁷ FACE : « Free Air CO₂ Enrichment ». La technologie FACE est capable de fournir des moyens de modifier l'environnement autour d'une végétation en croissance, afin de simuler de manière réaliste les futures concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone (CO₂).

4. LES IMPACTS SUR L'AGRICULTURE

Le taux actuel de consommation en eau à fins agricoles est de l'ordre d'environ 80 % dans le sud, l'est, et le nord-est du bassin et de 60 % en faisant la moyenne de l'ensemble du bassin. Les changements climatiques, des transformations dans les pratiques agricoles, l'intensification de l'utilisation des terres, ainsi que le déboisement, génèrent actuellement des altérations majeures au niveau du ruissellement de surface, de l'érosion, et de la disponibilité des eaux souterraines (voir la partie II.3, et Megnoufif et al., 2007, entre autres). En s'appuyant sur les scénarios de changements climatiques dans le bassin méditerranéen, des changements dans les rendements des cultures agricoles ont été étudiés à l'aide d'un modèle numérique bien établi (Giannakopoulos et al, 2005). Les résultats montrent une baisse générale des rendements des cultures (ex : les cultures estivales, légumineuses et céréales ainsi que les cultures de tubercules) sur le bord sud de la Méditerranée, où une baisse des précipitations et une augmentation en salinité sont attendus. La Figure 18 donne le rendement relatif des cultures (Y) avec les minimas ou seuils, versus la salinité (une fonction de la Conductivité Électrique ou EC) : $Y = 100 - b (EC - a)$, où a et b sont des paramètres d'ajustement.

Figure 18 – Le rendement relatif des cultures (en %, sur l'ordonnée) versus la salinité calculée à partir de la conductivité (EC) du sol saturé (en dS/m, sur l'abscisse).

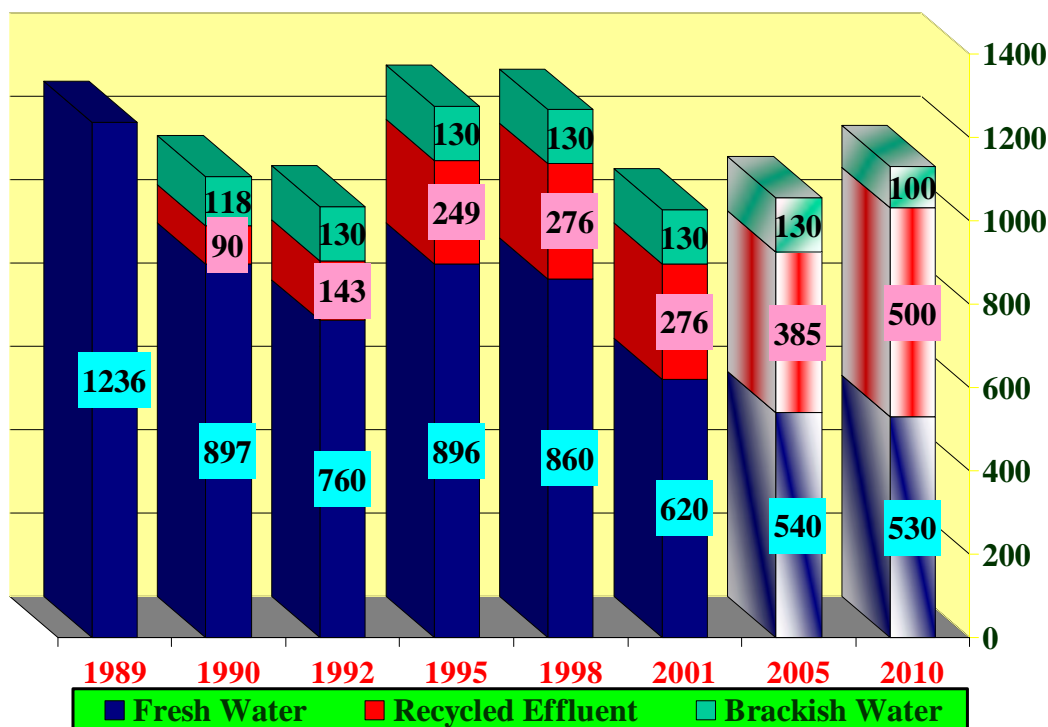


Entre les deux seuils et entre 4 à 10 dS/m, le rendement relatif suit l'équation linéaire : $Y = 100 - b (EC - a)$

Source : Weber, Israel Project, 2005

Sous l'influence des effets combinés des changements climatiques et de la pression anthropogénique, les flux hydrologiques et les processus physiques pourraient évoluer vers une désertification, du moins dans les régions de l'ouest méditerranéen (Puigdefabregas et Mendizabal, 1998), avec de lourds impacts sur l'agriculture de celles-ci. Dans certains milieux du nord de la méditerranée, les effets des changements climatiques pourraient avoir peu d'impact ou uniquement de petits impacts positifs sur les rendements, à condition qu'il y ait suffisamment d'eau pour subvenir à la demande. Dans l'EM, l'agriculture durable devra faire face à une baisse de la disponibilité d'eau fraîche et à une étendue d'eaux saumâtres (la Figure 19 montre la baisse d'alimentation en eau fraîche et l'augmentation des quantités d'eaux saumâtres dans l'EM, avec en bleu foncé l'eau fraîche, en rouge l'effluent recyclé, et en vert les eaux saumâtres – adapté de Baruch Weber, Ministre de l'Environnement, Israël, 2006).

Figure 19 – La diminution en apport d'eau fraîche, en bleu, et en vert l'augmentation des quantités d'eaux saumâtres (en millions de m³/an, sur l'ordonnée) dans l'EM au cours des 15 dernières années, avec les valeurs prévues pour l'an 2010



Source : Baruch Weber, Ministre de l'Environnement, Israël, 2006

L'adoption de certaines méthodes particulières de conduite culturale (ex : modification des dates des semences ou des cultivars) pourrait contribuer à réduire les réactions négatives des cultures agricoles aux changements climatiques. Cependant, de telles méthodes pourraient nécessiter jusqu'à 40 % d'eau supplémentaire pour l'irrigation, quantité d'eau qui pourrait s'avérer indisponible à l'avenir (voir plus haut). Ainsi, les résultats globaux sont en partie dans les mains des décideurs chargés de la gestion des ressources en eau.

Les modèles climatiques à plus petite échelle et à haute résolution sont plus adaptés pour traiter les impacts sur l'agriculture dans les régions comprenant une topographie et des littoraux complexes. Par exemple, une bonne représentation du « continent » italien peut être obtenue en employant des modèles à 50x50 km de résolution tels que le RegCM³²⁸ (Giorgi et al., 1997). Néanmoins, des éléments d'incertitude particuliers dus à l'échelle spatio-temporelle et concernant les rendements des cultures par exemple, ont été notés dans l'étude de ces impacts (Giorgi et Mearns, 1999). Les principales caractéristiques des changements climatiques simulés par le RegCM³ concernent une hausse des températures moyennes d'environ 5 °C et une augmentation des précipitations hivernales accompagnée d'une baisse en avril. Le stress d'humidité qui en résulte et qui se déclare au mois d'avril, un mois important au niveau du cycle de croissance du blé, explique les réductions en matière de rendement globalement observées avec le modèle CERES-Wheat 2.0²⁹ (CERES – Crop Environment Resource Synthesis). Le modèle peut faciliter la prise de décision en avant-saison et en saison, portant sur la gestion et aussi sur les pratiques culturales, soit l'usage d'engrais, les applications d'irrigation, et le contrôle des parasites. Lors de la prise de ces décisions de gestion, l'un

²⁸ RegCM³ est un modèle 3D de climat régional à coordonnée sigma, utilisant les équations primitives. Il est disponible gratuitement sur le site suivant : <http://www.ictp.trieste.it/~pubregcm/RegCM3/>

²⁹ Les effets du changement climatique sur la croissance végétale peuvent être estimés et évalués à l'aide de modèles de simulation de la croissance des cultures, ou bien le modèle CERES (Crop Environment Resource Synthesis)-Wheat 2.0. La sensibilité du modèle peut être déterminée en se basant sur les changements induits par le climat sur certains éléments météorologiques tels que la température de l'air, les précipitations, le rayonnement solaire et les concentrations de dioxyde de carbone (CO₂).

des objectifs fondamentaux est de maximiser le rendement des cultures et le rendement net par rapport aux apports et aux coûts de production (Bannayan et al., 2003). Les rendements de blé ont fait preuve d'une homogénéité spatiale beaucoup plus importante que pour les autres cultures, en raison de la saison de croissance plus longue du blé, ce qui pourrait lisser les anomalies spatio-temporelles liées aux variabilités/changements climatiques.

5. LES IMPACTS SUR LES ZONES COTIERES, LES BASSES TERRES, LES INFRASTRUCTURES CONNEXES ET LE TRANSPORT

Les scientifiques font preuve de grande prudence lorsqu'il s'agit de formuler une évaluation qualitative de l'élévation moyenne du niveau de la mer à long terme selon les scénarios de changements globaux. Il s'agit ici de la « réticence scientifique » mise en évidence par Hansen (2007). Elle est due à l'immense écart entre ce qui est compris du réchauffement planétaire anthropogénique et ce que savent le public et les décideurs/décideurs politiques. On pourrait aussi soutenir que la préférence politique tend vers les solutions qui sont accompagnées de résultats immédiats.

5.1. Les zones côtières et les basses terres

Les résultats globaux portant sur l'élévation du niveau de la mer ne peuvent être appliqués à la Méditerranée de manière aussi simple. Une mer entièrement fermée aurait une variabilité de niveau d'eau propre à elle-même, en raison surtout des phénomènes de dilatation thermique, d'écoulement du bassin versant, et d'évaporation. La mer Méditerranée, avec son cordon ombilical de 14 km qui la relie à l'océan Atlantique tendrait à suivre le régime général mais subit aussi les variations régionales/locales décrites ci-dessus. De plus, puisque l'évaporation y est supérieure aux précipitations, les différences régionales en termes d'altimétrie et de salinité ont tendance à augmenter, ce qui rend les échanges d'eau plus complexes à travers le détroit de Gibraltar. Il est à noter que le bassin méditerranéen est relié à la mer Noire qui subit elle aussi des phénomènes assez particuliers (température, écoulement de bassin versant, évaporation, etc.) et qui apporte des eaux plus froides à l'EM au printemps.

Une grande partie de la population du bassin méditerranéen vit sur le littoral que l'on surnomme parfois « la côte bétonnée » ou la « Côte d'Azur ». Ce phénomène est en augmentation constante, amplifié par le tourisme saisonnier. Les impacts socio-économiques de l'élévation du niveau de la mer peuvent donc être facilement compris. Il est à rappeler que l'Europe du sud s'enfoncé lentement (un enfoncement de 5 cm est prévu d'ici les années 2080) en raison d'ajustements tectoniques à la suite de la dernière période glaciaire (Parry, 2000). Cela veut dire que de nombreuses zones côtières sont aussi en cours d'affaissement. Un effet global pourrait être l'exemple célèbre, « culturel » et spectaculaire de la submersion de Venise qui a entraîné des actions d'ingénieries très importantes et coûteuses (Consorzio Venezia Nuova, 1997). L'élévation du niveau de la mer au cours du 21^{ème} siècle peut avoir de lourds impacts en Égypte où un tiers de la pêche provient de lagons. L'élévation du niveau de la mer modifierait donc la qualité de l'eau et aurait des conséquences sur la plupart des poissons d'eau douce. De précieuses terres agricoles seraient aussi inondées, menaçant ainsi Alexandrie et Port Said. Les équipements touristiques et de loisirs implantés sur les plages seront mis en danger par la salinité des eaux souterraines et l'action croissante des vagues.

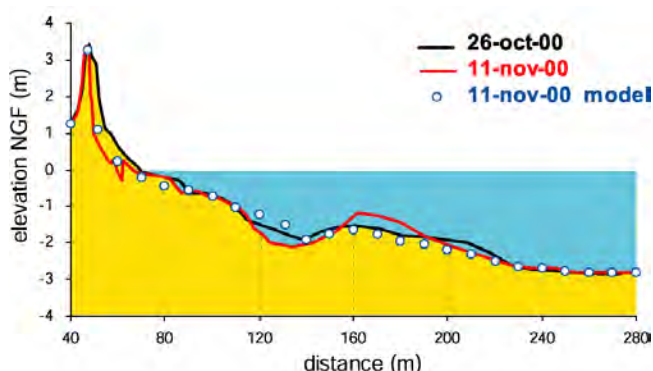
Des impacts moins spectaculaires mais tout aussi coûteux pourraient survenir à cause d'événements météorologiques extrêmes liés aux orages et aux éventuels effets de résonance hydrodynamique, dans le contexte d'une hausse du niveau de la mer (la Figure 20 montre le résultat catastrophique d'un événement orageux extrême survenu sur le littoral méditerranéen et qui a été accompagné d'une brusque montée des eaux de la mer). Dans la Figure 21, l'érosion des dunes de sable par l'action des tempêtes et des surcotes marines est représentée grâce au modèle « S-beach » du programme LITEAU du MEEDDAT (MEDD autrefois, puis MEDAA). La Figure 22 montre l'érosion du trait de côte sur un site du nord-ouest méditerranéen et son évolution dans le temps (projet IMPLIT³⁰).

Figure 20 – Les impacts des événements météorologiques extrêmes (tempêtes, surcotes marines...) sur les routes et les structures du littoral méditerranéen



Source : Projet IMPLIT

Figure 21 – L'érosion des dunes de sable par l'action des tempêtes et des surcotes marines, à partir de données du modèle « S-beach » du programme LITEAU

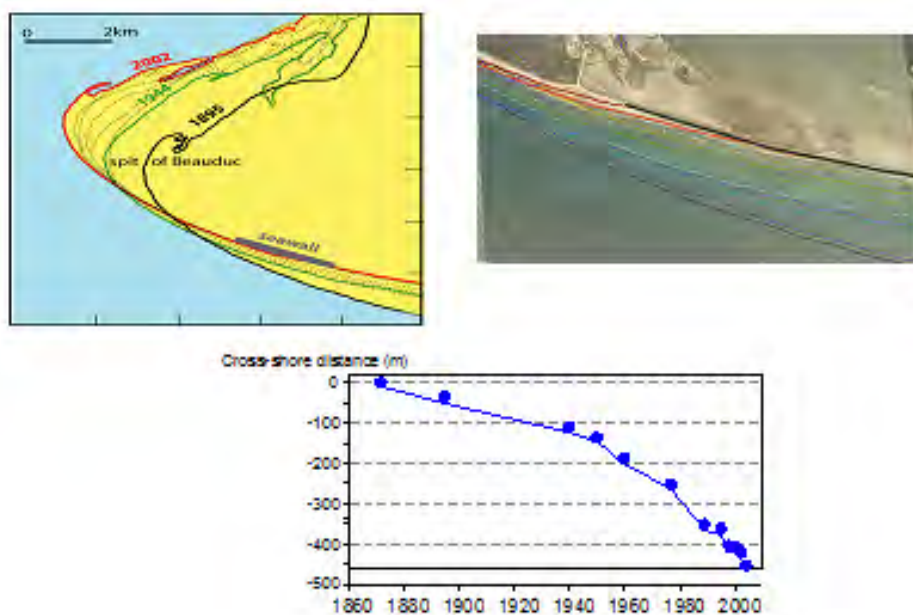


L'élévation en mètres (sur l'ordonnée) et la profondeur versus la distance d'éloignement du littoral, tous les deux exprimés en mètres (sur l'ordonnée et l'abscisse). Les résultats du modèle (points blancs) correspondent assez bien au profil observé en novembre 2000

Source : MEDAD

³⁰ Impacts des événements extrêmes (tempêtes et surcotes marines) liés aux changements climatiques sur les hydro-systèmes du littoral méditerranéen français (projet IMPLIT du programme GICC2).

Figure 22 - Cent cinquante ans d'observations portant sur le recul du trait de côte dans le nord-ouest méditerranéen



Des isochrones (de couleurs différentes entre 1995 et 2002) montrent l'évolution du trait de côte (en haut, à gauche et à droite). La diminution de la distance transversale (cross-shore) est également fournie en mètres, avec une augmentation nette au cours des quinze dernières années (au site de la Pointe de Beauduc, données provenant du projet IMPLIT)

D'autres éventuelles conséquences pourraient comprendre :

- 1) La submersion des deltas fluviaux exposés (Rhône, Nil) associée à un affaissement supplémentaire de ces régions dû à une surcharge sédimentaire extrême qui n'est désormais plus équilibrée par les dépôts alluvionnaires, bloquée par les barrages et les remblais artificiels. Des barres d'avant-côte pourraient ainsi en être séparées, provoquant une invasion d'eau salée dans ces régions et apportant aux écosystèmes naturels un stress supplémentaire. Certains de ces milieux présentent un intérêt majeur au niveau environnemental et économique et devraient donc être protégés (le parc du Valat, par exemple).
- 2) L'érosion du littoral fragile devrait augmenter de par l'action de la houle. De nombreuses falaises pourraient alors s'effondrer sous l'effet de ce processus mécanique d'érosion, ce qui engendrerait d'énormes pertes économiques.
- 3) L'interface entre les nappes d'eaux souterraines et l'eau salée devrait se décaler vers la terre et augmenter le niveau piézométrique. L'infiltration des eaux de pluie fraîches alimentera moins efficacement les nappes d'eau côtières et les aquifères. Les aquifères côtiers deviendront donc plus dispersés. Couplé à l'augmentation en salinité du sol, ce phénomène aura une rétroaction négative sur l'agriculture.

5.2. Les infrastructures

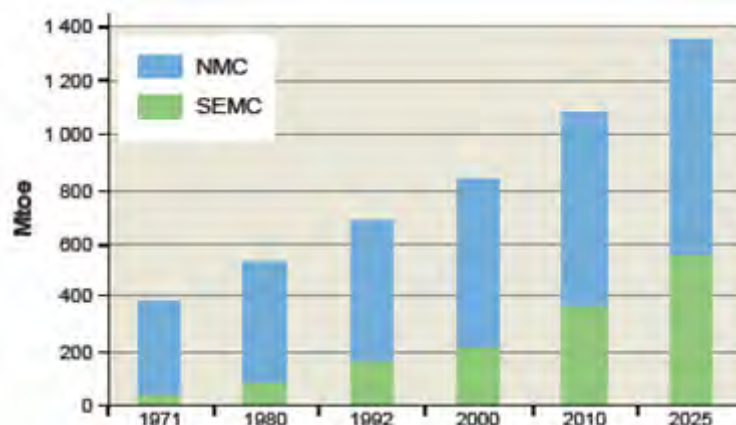
Parmi les conséquences les plus probables de l'élévation du niveau marin, citons : une augmentation de l'impact direct des vagues sur les infrastructures exposées le long des littoraux (par exemple la barrière littorale du lagon de Venise, les stations balnéaires du delta du Rhône) et sur les installations portuaires (ex : Alexandrie, Port Saïd, La Golette-Tunis) ; une amplification des problèmes d'érosion littorale existants (ex : les deltas du Nil et du Rhône). D'ici le milieu du siècle prochain, l'impact sur les établissements côtiers et les constructions (ex : les ports, les routes littorales) pourrait être

considérable dans les endroits situés tout juste au-dessus du niveau actuel de la mer (Venise par exemple). Les sites et les établissements historiques pourraient demander une attention toute particulière et des mesures de protection coûteuses, tandis que les solutions pour les autres structures impliqueraient leur transformation graduelle ou leur relocalisation. Un grand nombre de zones côtières et de basses terres non protégées du bassin méditerranéen souffrent d'ores et déjà du phénomène d'érosion et subissent des inondations périodiques lorsque le niveau marin est élevé du fait de la circulation des dépressions.

5.3. Le transport d'énergie

Basée sur la croissance démographique, la demande totale en énergie primaire connaît une croissance continue et, au cours du premier quart du 21^{ème} siècle, elle est prévue d'augmenter de ~ 60 % sur le bord sud de la méditerranée et de ~ 150 % dans l'EM. Ainsi, les changements climatiques et les événements météorologiques extrêmes pourraient avoir des impacts non négligeables d'abord sur les moyens de produire l'énergie³¹ et ensuite sur les moyens de la transporter et de la distribuer jusque dans les zones rurales. La Figure 23 montre les tendances et les prévisions concernant la demande en énergie primaire. Mtep = million de tonnes équivalent pétrole. PNM = Pays Nord Méditerranéens, PSEM = Pays du Sud et de l'Est Méditerranéen.

Figure 23 – La demande en énergie primaire : tendances et prévisions en Mtep (ou million de tonnes équivalent pétrole) pour les PNM (pays nord méditerranéens, en bleu) et les PSEM (pays du sud et de l'est méditerranéen, en vert) depuis le début des années 70



Les conséquences d'une demande en énergie aussi élevée sont loin d'être compatibles avec les objectifs du développement durable

Source : RED, 2005

6. LES IMPACTS SUR LA SANTE PUBLIQUE

Les changements climatiques perturbent des systèmes physiques et biologiques importants auxquels les populations humaines sont adaptées aux niveaux biologique et culturel. Les différentes modifications de l'environnement liées au climat, à la perte de biodiversité et aux changements dans l'utilisation des terres (voir plus haut), auront toutes leurs propres impacts sur la santé de l'homme,

³¹ Cette question fait l'objet des Parties II & III de ce rapport

dans le bassin méditerranéen en particulier. Paradoxalement, ceux-ci pourraient être bénéfiques/nocifs, directs/indirects. Il est anticipé cependant que les impacts négatifs l'emporteront sur les impacts bénéfiques tels que la baisse de la mortalité due au froid et la réduction de la viabilité des moustiques dans les régions chaudes tropicales.

L'influence directe des facteurs démographiques est évidente sur les maladies infectieuses transmises de personne à personne. Les impacts socio-économiques des changements climatiques et environnementaux sur les maladies infectieuses et la santé publique nécessitent une plus grande attention. La plupart des maladies infectieuses émergentes (ou réurgentes) sont dues en partie aux changements liés au franchissement de la barrière d'espèce, c'est-à-dire la transmission de nouveaux agents pathogènes du monde animal vers les populations réceptives. De plus, la propagation de maladies par vecteurs et réservoirs vers de nouveaux habitats et un environnement changeant doit être étudiée. Ces derniers processus pourraient dépendre de facteurs écologiques et/ou environnementaux (forçage, interactions, variabilité, changements...) malgré le fait que la propagation de maladies soit largement facilitée par les mouvements de population, le surpeuplement (surtout démographique), le niveau sanitaire, et/ou des défauts dans le système de la santé publique entraînant d'importantes pertes au niveau socio-économique. Aujourd'hui, l'augmentation évidente du nombre de cas de maladies infectieuses observée reflète le cumul des effets de la croissance démographique et des évolutions économiques, environnementales, sociales et technologiques.

Les impacts socio-économiques liés aux maladies infectieuses (près de 75 % des maladies infectieuses trouvées chez les humains actuellement sont des zoonoses) ne peuvent être évalués sans prendre en compte les facteurs environnementaux biotiques et abiotiques qui influent sur le contrôle et la transmission des maladies. Le dernier quart de siècle a connu une véritable explosion dans le nombre d'affections liées à l'environnement (troubles et maladies), due à un forçage environnemental important et à un manque d'adaptation. Au niveau des maladies infectieuses, cette explosion comprend des augmentations de fréquence, d'incidence et de répartition géographique sur de vastes gammes taxonomiques, liées aux changements pratiques concernant l'utilisation des terres ainsi qu'aux changements et aux variabilités du climat et de l'environnement. L'ampleur de ces changements est une étape importante pour arriver à comprendre les maladies du point de vue de la microbiologie et de l'épidémiologie médicale qui sont tous deux traditionnellement centrés sur l'individu.

Parmi les effets directs des changements climatiques sur la santé, citons : des changements dans les taux de mortalité et de morbidité provoqués par les canicules et le stress thermique (tel qu'en 2003 dans le sud-ouest de l'Europe et à un moindre degré en 2007 en Italie et en Grèce) ; des affections respiratoires associées aux modifications dans les concentrations d'aéroallergènes (spores, moisissures...) et/ou d'aérocontaminants ; les conséquences sur la santé d'événements météorologiques extrêmes tels que les tempêtes, les inondations, et les tempêtes de vent...

La perturbation de systèmes écologiques complexes entraînera des effets indirects sur la santé, y compris : des altérations dans l'écologie, la variété et l'activité des maladies infectieuses à vecteurs (entre autres le paludisme, le virus du Nil occidental, la fièvre de la vallée du Rift, la grippe aviaire, le *chickungunya*, la dengue...) (Takken, 2006) ; des altérations dans l'environnement des maladies et les agents pathogènes hydriques (ex : les infections gastro-intestinales, les vibrioses telles que le choléra, les maladies dues aux eaux polluées...) ; des altérations dans la couche limite atmosphérique et la transmission de maladies aérogènes (entre autres la méningite et les troubles respiratoires) ; des altérations et des changements régionaux quant aux pratiques agricoles et à la sécurité alimentaire (malnutrition, manque d'eau fraîche, ...). Comme il a déjà été précisé, la santé publique sera également atteinte par des mouvements massifs de population dans des zones côtières restreintes et par des conflits régionaux générés par le déclin des ressources hydriques et agricoles. La leishmaniose est déjà endémique dans le bassin méditerranéen au sud de l'Europe, dans le Maghreb,

et dans l'EM. Des épidémies de virus du Nil occidental ont déjà été connues pendant la période 2001 - 2005 (Paz et Albersheim, 2008). Les changements climatiques pourraient étendre l'habitat des phlébotomes et des phlébotomes vecteurs vers le nord ; les étapes du cycle de vie de la tique, l'espèce responsable de la transmission de la maladie de Lyme, sont directement influencées par la température.

Nous avons vu que les changements climatiques influent sur les rendements des cultures et ceux des céréales en particulier. Ils entraîneraient des coûts/pertes socio-économiques au niveau régional, reflétant l'équilibre local des changements en matière de température et d'humidité des sols, l'usage d'engrais, et l'activité des parasites et des agents pathogènes. Quelque soient les systèmes d'aide à la décision utilisés, il est impératif que ceux-ci comprennent :

- 1) L'identification des impacts « normaux » des maladies (en nombre de vies et en euros).
- 2) La définition des événements climatiques liés aux événements de santé (épidémies, endémies...).
- 3) La définition de l'augmentation des impacts sur les vies et en euros (pertes).
- 4) L'identification de méthodes à mettre en œuvre afin d'atténuer les pertes.
- 5) La définition des coûts (en euros) associés à la mise en œuvre de ces méthodes.
- 6) L'identification des pertes atténuées (en nombre de vies et en euros) si " l'événement de santé " se produisait.
- 7) La quantification des économies en vies et en euros si " l'événement de santé " ne se produisait pas.

Les études des modélisations régionales indiquent de manière cohérente que les pays tropicaux et subtropicaux seraient les plus touchés. Les populations pauvres et sans lien économique dans le bassin méditerranéen n'auront pas la possibilité de compenser leurs rendements plus faibles par le commerce. Les tensions portant sur la pénurie en eau sur le bord sud de la Méditerranée et dans l'EM, où les pays contigus partagent des bassins fluviaux, seraient exacerbées.

Afin de prévoir les impacts des changements climatiques sur la santé de l'homme, il est nécessaire de développer des méthodes d'évaluation des risques, basées sur des scénarios. Celles-ci doivent impérativement comprendre une appréciation globale des conséquences de perturbations démographiques, sociales et économiques complexes. Une modélisation mathématique intégrée devra être utilisée si l'on veut parvenir à estimer les impacts futurs des changements climatiques sur la santé (Martens, 1998a). Une telle modélisation nécessite une représentation mathématique de chaque élément de l'enchaînement causal : les changements climatiques, environnementaux et sociaux.

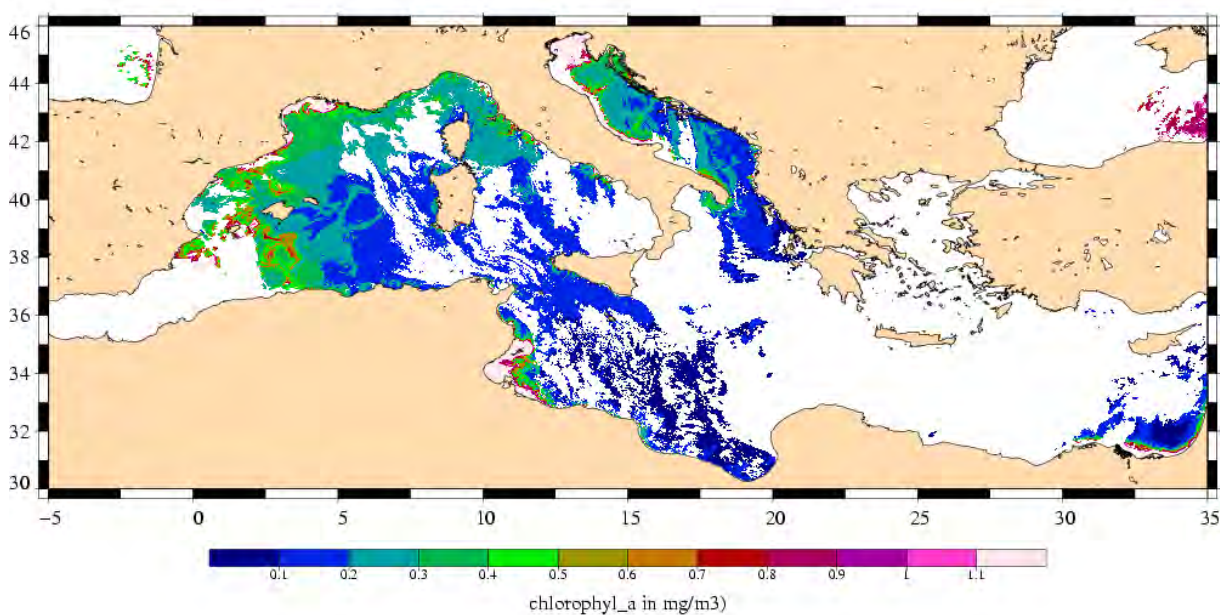
Comme pour toute recherche centrée sur le futur, l'évaluation des impacts socio-économiques complexes des changements climatiques dans le bassin méditerranéen a sa part d'incertitudes. Ces incertitudes sont dues aux activités économiques industrielles futures, aux interactions entre les systèmes naturels et au sein de ceux-ci, et aux différences dans la sensibilité des systèmes de maladies et la vulnérabilité des populations. De plus, bien que les interactions citées plus haut soient non linéaires, des incertitudes résultent aussi du fait de la nature stochastique des systèmes biophysiques modélisés. Le déboisement anthropique local pourrait directement altérer la répartition des maladies à vecteurs tout en provoquant une hausse des températures au niveau local. Des différences quant à la vulnérabilité des populations surgiront également en raison de l'hétérogénéité de la culture, des relations sociales et du comportement de l'homme.

Des indicateurs permettant de mesurer l'état de santé de l'homme, ainsi que des activités de surveillance des maladies, pourraient et devraient être intégrés dans les systèmes d'observation in situ

tels que le Système Mondial d'Observation du Climat (SMOC), Système Mondial d'Observation de l'Océan (SMOO), et le Système Mondial d'Observation Terrestre (SMOT) qui comprend la télédétection et les systèmes d'observation de la Terre. L'utilisation de satellites nous permet aujourd'hui d'exercer une surveillance constante des évolutions des paramètres environnementaux et climatiques avec une excellente résolution. Celle-ci nous apporte un continuum d'échelles d'observation en espace et en temps des structures environnementales océaniques et terrestres. Cela est particulièrement le cas sur le bassin méditerranéen où les données océaniques provenant de l'espace sont couplées à des données écologiques-épidémiologiques. Ces jeux de données ainsi combinés devraient permettre de tester, en termes de valeurs socio-économiques, le rôle des facteurs environnementaux (tels que Chlorophylle A, voir Figure 24) dans l'émergence de floraisons de populations de *Vibrios* (y compris le choléra. Voir aussi Paz et al., 2007). La Figure 24 montre la répartition en temps réel de la Chlorophylle A (écotones favorables aux *Vibrios* et aux bactériophages) dans le bassin méditerranéen (*Vibrio Sea*³² Project), grâce à MODIS AQUA - capteur embarqué sur satellite - et à l'algorithme NASA OC3.

Figure 24 – Image montrant la répartition de Chlorophylle-a (en mg/m³) dans le bassin méditerranéen le 10 octobre 2006, provenant de MODIS-AQUA et réalisée à l'aide de l'algorithme NASA OC3

MODIS AQUA from 30/10/2006 to 30/10/2006
NASA OC3 Algorithm



Les valeurs les plus significatives ont été notées entre la mer Baléares et le Maghreb, le golfe de Gabès, l'extrême nord de l'Adriatique, la baie de Port Said. Les zones blanches sont soit couvertes de nuages ou n'ont pas passé les étapes de détection d'erreurs

Source : CLS, VIBRIO Sea Project, 2006)

³² « Vibrio Sea Project » est un système de surveillance par satellite servant à suivre les facteurs environnementaux qui influent sur les concentrations de *Vibrios* dans les eaux de mer. L'objectif global du Vibrio Sea Project consiste à étudier l'émergence et la propagation de maladies hydriques dans un scénario de climat changeant.

7. LES IMPACTS, POLITIQUE ET ADAPTATION

Afin d'assurer que les analyses de risques et les mesures d'adaptation soient effectuées de manière adéquate, le concept d'impact préjudiciable doit être proprement évalué. Les impacts directs des changements climatiques sur la protection sociale et la valeur des vies humaines doivent être identifiés. Les impacts directs sur la protection sociale pourraient être les plus faciles à évaluer, par exemple le besoin d'investir dans différents types d'infrastructures dans un souci d'adaptation. Les considérations en termes d'équité et d'éthique doivent être définies. Les évolutions dues aux changements climatiques ne devraient pas conduire à des impacts ne touchant que les plus pauvres (Portney et Weyant, 1999). Tous les éléments cités ci-dessus sont basés sur différentes échelles spatio-temporelles. Dans le bassin méditerranéen, il faudrait d'abord s'attaquer à ce qui pourrait survenir au cours des dix années à venir (sécheresses, inondations, tempêtes...), et à ce qui pourrait se produire dans les prochaines décennies jusqu'au milieu du 21^{ème} siècle (y compris la démographie, la technologie, l'épuisement du sol, la rareté de l'eau...). Le secteur de l'assurance a développé une série d'outils propres à évaluer le coût au niveau local des catastrophes naturelles (Hallegatte et al., 2007). Mais le développement de modèles socio-économiques régionaux sera utile pour évaluer les conséquences d'événements spécifiques dans le bassin méditerranéen et comparer les sorties de modèles avec des études spécifiques (Rose et Liao, 2005). Ces analyses et résultats sont essentiels pour préparer et gérer la reconstruction, ainsi que pour réduire au minimum la vulnérabilité future et s'y adapter. D'autres études devraient évaluer le rapport coût/bénéfice entre un investissement important dans la distribution, la gestion de l'eau, la réduction des fuites et les habitudes de consommation pour réduire les investissements dans les réservoirs.

En termes de distribution d'énergie sur l'Europe de l'ouest et le bord sud de la Méditerranée, les principaux pays exportateurs sont : la France, l'Algérie, la Libye, l'Égypte, et la Syrie, tandis que les principaux pays importateurs sont : l'Espagne et l'Italie qui importent depuis la France ; la Tunisie qui importe depuis la Libye et l'Algérie ; la Jordanie qui s'alimente en Égypte ; et la Turquie en Syrie. Dans un contexte de changements climatiques, la gestion intégrée de l'énergie est considérée comme étant essentielle afin de réduire au maximum le chaos socio-économique et la vulnérabilité locale et régionale en termes de prix et d'alimentation. Par exemple, des avantages socio-économiques pourraient découler d'une interconnexion électrique des « blocs méditerranéens » (voir l'étude de faisabilité MedRing, 2001-2003, par Bruno Cova).

Les apports d'eau provenant des barrages sont très importants pour l'hydro-électricité, la production primaire d'énergie, l'énergie renouvelable, et le refroidissement des centrales nucléaires. Des barrages de tailles variées peuvent aider à faire face aux variabilités interannuelles modulées par le changement climatique. Les barrages peuvent aussi provoquer des modifications de l'hydrologie et de la morphologie en aval, produisant une réduction de la fertilité des sols et ayant ainsi des conséquences sur l'agriculture. Le delta de l'Ebre (Espagne), qui avait d'abord été élargi par le déboisement, recule actuellement à cause de la construction de trois barrages de retenue. Trois cents barrages dans les régions méditerranéennes retiennent actuellement des quantités énormes de surcharges sédimentaires (Vericat et Batalla, 2006). La présence de barrages augmente la perte de capacité de débit des fleuves en aval, aggravant les inondations dues à l'intensité des événements météorologiques extrêmes, accroissant ainsi la vulnérabilité des populations et les impacts sur ceux-ci, comme cela a été le cas dans le bassin de l'oued Mejerda dans le nord de la Tunisie (Zahar et Albergel, 2006). Il se passe actuellement la même chose en Grèce où l'on propose de programmer des inondations artificielles afin d'atténuer les impacts (NTUA, 2007). Les effets de lissage produits

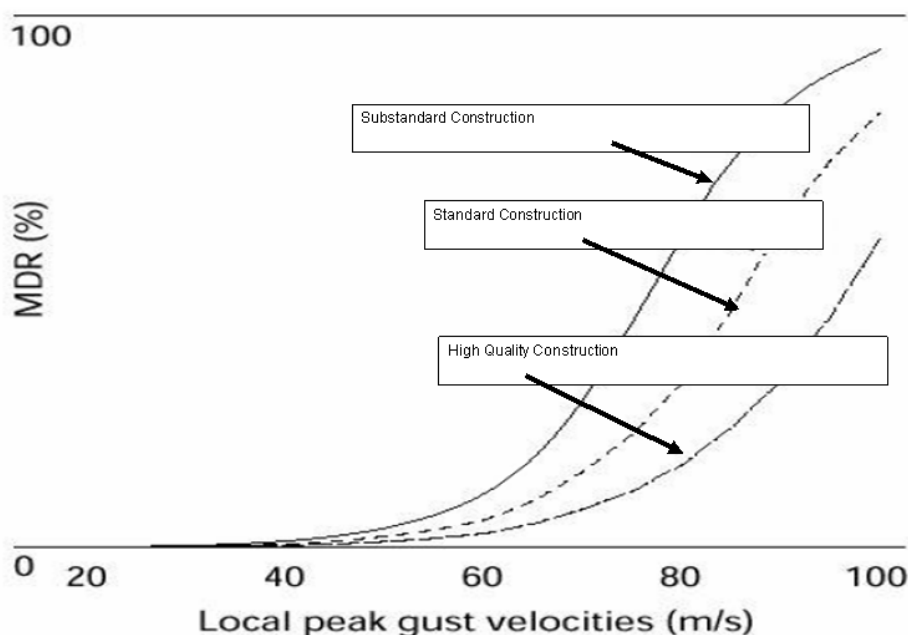
par les barrages ont pour effet de réduire les processus de recharge des aquifères par les oueds éphémères méditerranéens (cf. Leduc et al., 2007). En conséquence, le pompage des eaux souterraines et des aquifères à fins d'irrigation ou pour les transférer depuis les régions ayant un volume excédentaire, doit être planifiée avec précision. Dans le contexte des changements climatiques, de nouveaux plans de traitement sont aussi à prévoir afin de permettre l'utilisation des eaux usées et/ou salées. Des moyens efficaces pour transporter l'eau d'une région ou d'un pays vers un autre doivent d'ores et déjà être identifiés ; les terres (y compris les processus de désertification) et les forêts doivent être gérés ; tandis que les bassins versants vont nécessiter un suivi et une maintenance spécifiques et intégrés (in situ et à distance). En matière d'implantation et d'adaptation de l'agriculture, des changements d'habitudes et de cultivars doivent être envisagés afin de minimiser les processus de désertification et de dégradation des terres susmentionnés.

Le long du littoral où les infrastructures sont essentiellement exposées, la pression démographique doit être réduite tandis que le tourisme doit être développé. Cela va créer prochainement de réels défis au niveau socio-économique. Les ingénieurs ont compris que les changements climatiques ont des conséquences sur notre environnement et mettent à l'épreuve leurs capacités à planifier, à concevoir et à construire des infrastructures et des systèmes capables de protéger les populations et maintenir des niveaux de bien-être économique acceptables. Les infrastructures doivent donc être améliorées/protégées tout en préservant l'environnement, ce qui représente un réel défi ! Les connaissances et les incertitudes scientifiques concernant les changements climatiques doivent servir de base aux pratiques d'ingénierie. L'autre défi est de s'assurer de maintenir pour les générations à venir un environnement et des écosystèmes adéquats en contribuant au développement durable. Les éléments à considérer sont :

- La pérennité des investissements en infrastructure ;
- La robustesse des infrastructures actuelles à l'aide des dernières informations disponibles sur le climat ;
- Les infrastructures existantes à remplacer ou à maintenir à un rythme viable, sans réduire la vulnérabilité ;
- L'examen en détail des « préférences apparentes » pour les endroits plus exposés ou plus dangereux ;
- L'application de modifications à l'industrie du bâtiment et à la réglementation et aux normes de construction ;
- Le fait que l'utilisation des terres et les matériaux (et les plans) de construction soit dominée par des intérêts commerciaux à court terme.

Quant à l'effet du vent, les pourcentages d'augmentation de l'ampleur des dégâts peuvent être calculés en fonction de la vitesse des rafales de vent (d'après Herbert et al., 2005), tandis que dans la Figure 25 le taux moyen de sinistralité (MDR) est exprimé en pourcentage, et est fonction de la qualité des constructions et de la vitesse des rafales locales (SwissRe, www.swissre.com)

Figure 25 – Le taux moyen de sinistralité (MDR, ordonnée en %) est fonction de la qualité de la construction et les vitesses maximales des rafales de vent locales (en m/s, sur l'abscisse)



Source : de SwissRe, 2005

En attendant, et en gardant à l'esprit les éléments présentés ci-dessus, deux facteurs sont d'une importance primordiale : (i) les matériaux à utiliser pour la construction de nouvelles infrastructures ou le remplacement des plus anciennes ; et (ii) l'identification, au moins aux niveaux régionaux et nationaux, des zones à risque face aux évolutions du niveau de la mer. En ce qui concerne le second facteur relatif aux zones côtières à risque, plusieurs groupes de travail mandatés par le PNUE et la COI de l'UNESCO ont publié des rapports pour différentes régions dans le monde, y compris la Méditerranée. Le Plan d'Action pour la Méditerranée a rapidement (PAM/MEDU) déclaré que si les effets globaux pouvaient être similaires dans l'ensemble du bassin, des différences considérables dans les impacts pourraient être anticipées dans les différents sites, ce qui exigerait des réactions différentes. Par conséquent, des études de cas spécifiques ont été préparées, notamment concernant les deltas de l'Ebre, du Rhône, du Pô et du Nil, ainsi que le golfe de Thermaïkos et les lacs d'Ichkeul et de Bizerte. Depuis, lorsqu'elles s'avèrent pertinentes, des études portant sur les changements climatiques sont incluses dans le cadre des programmes de gestion des zones côtières (CAMP), déterminant entre autres les zones, les systèmes, les structures et les activités qui semblent être les plus vulnérables aux changements climatiques, par exemple sur la rive nord où des transitions rapides sont attendues. En effet, des évolutions rapides du niveau de la mer pourraient entraîner : une augmentation de l'intensité (et éventuellement de la fréquence) des inondations qui s'étendraient davantage à l'intérieur des terres, ce qui nécessiterait dans un futur proche le remaniement des sédiments meubles et des sols ; une salinité accrue des sols dans des endroits non atteints jusque là. L'objectif global de ces résultats est d'arriver à formuler en particulier des recommandations pour l'aménagement et la gestion des zones côtières, ainsi que pour la planification et la conception d'infrastructures majeures (voir le Tableau 7 qui montre les impacts potentiels majeurs sur les infrastructures identifiées dans le bassin méditerranéen ; issu de CAMPS et d'après Georgas, 2000).

Tableau 7 - Les impacts majeurs sur les cycles hydrologiques de certains deltas, golfes, pays, zones humides, traits de côte dans la Méditerranée

Zones considérées	Impacts majeurs
Delta de l'Ebre	Érosion côtière accrue ; évolution du trait de côte ; perte et inondations.
Delta du Rhône	Érosion des parties instables ou menacées du trait de côte.
Zones humides de France	Impact accru des vagues.
Delta du Pô	Dégâts causés aux infrastructures côtières.
Delta du Nil et Égypte	Érosion côtière ; débordement des défenses côtières, inondations accrues en Égypte ; dégâts causés au port et aux infrastructures citadines.
Golfe de Thermaïkos	Inondation des basses terres côtières.
Grèce	Dégâts causés aux structures protégeant le littoral et prolongement de la saison touristique.
L'île de Rhodes	Augmentation de l'érosion côtière.
Baie de Kastela, Croatie	Dégâts causés aux installations et aux infrastructures côtières ; dégradation accélérée des bâtiments historiques.
Littoral syrien	Érosion des plages avec dégâts causés aux structures côtières et aux établissements humains continus, causés par des ondes de tempêtes exceptionnelles.

Source : Georgas, projet CAMPS, 2000

Toute augmentation dans le niveau moyen de la mer ou dans l'intensité (et éventuellement la fréquence) d'événements épisodiques, mais extrêmes, influant aussi sur ce niveau empirerait la situation actuelle. Cependant, le caractère dynamique et les changements non climatiques du trait de côte à long terme ne sont pas encore reconnus au niveau législatif. Normalement, le haut de plage est trop étroit pour s'adapter au recul du trait de côte. Seule l'application de combinaisons de mesures adaptatives et protectrices hautement spécifiques à chaque site peut atténuer ou éviter les problèmes engendrés par l'érosion et l'inondation. Les actions pour répondre à ces problèmes peuvent être soit préventives, soit réactives. Par exemple, dans certains cas des zones côtières et des marges lagunaires entières, importantes d'un point de vue économique, peuvent être emmurées afin de protéger leurs usages et leurs éléments de valeur (ex : ports, villes à forte valeur historique). Les cultures pourraient être graduellement remplacées par des lagunes ou des étangs destinés à l'aquaculture et à des réserves naturelles, et elles serviraient de zones tampon puisque leurs marges intérieures sont plus faciles à protéger que le littoral qui est lui-même exposé. Une manière de faire face aux dommages associés aux événements météorologiques extrêmes consiste à développer des produits d'assurance - tels que les dérivés climatiques et les obligations catastrophe - à commercialiser dans le secteur privé de l'assurance ; à garantir des régimes d'assurance nationaux ; et à vendre l'assurance à des prix réduits au départ. Inclure le développement de stratégies et de politiques d'adaptation en tant que critères d'admissibilité, avec des franchises et des réductions de primes d'assurances pour la mise en application de mesures d'adaptation.

En ce qui concerne les problèmes portant sur la santé publique, des mesures préventives basées sur le système d'alerte rapide (SAR) doivent être mises en œuvre avec la participation de tous les organismes impliqués dans le système d'informations sanitaires (SIS) et les laboratoires de recherche compétents. Une attention particulière doit être portée à la qualité de l'eau en la contrôlant et en éliminant éventuellement la plupart des sources de vibrios (y compris les vibrios cholériques) dans une mer Méditerranée que l'on prévoit plus chaude avec des floraisons de phytoplancton-A.

III. CONCLUSION

Il y a une forte probabilité que l'adaptation ou l'atténuation seules ne puissent éviter les impacts des changements climatiques présentés ici. Les deux approches peuvent cependant se compléter et ainsi réduire les risques de manière significative. À court terme ainsi qu'à plus long terme, l'adaptation est nécessaire en vue de traiter les impacts résultant des changements climatiques sur la Méditerranée et qui se produiraient, même dans les cas des scénarios ayant le plus bas niveau de stabilisation évalué et accepté. Il existe des barrières socio-économiques, des contraintes et des coûts, mais ceux-ci ne sont pas encore tout à fait compris. Il est probable qu'à long terme un changement climatique non atténué excéderait la capacité d'adaptation des systèmes naturels, gérés et humains. Le temps pris pour atteindre ces limites pourrait varier selon les secteurs et les régions du bassin méditerranéen. De nombreux impacts peuvent être réduits, ralentis ou évités grâce à l'atténuation. Les efforts d'atténuation et les investissements au cours des trois prochaines décennies auront un impact important sur les possibilités d'arriver à des niveaux de stabilisation moins élevés. Le fait de différer les réductions en émissions réduit de façon significative les opportunités d'arriver à des niveaux de stabilisation moins élevés et augmente le risque d'impacts plus graves. C'est pour cette raison que toute action menée dans les années à venir (y compris la capture et la séquestration du carbone (CSC), une solution (en cours de mise en œuvre en Islande sous l'impulsion de son président, M Ólafur Ragnar Grímsson), et en particulier à l'échéance du protocole de Kyoto en 2012, devient cruciale. Cela est bien exprimé par les actions/efforts concertés de la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), de la Convention des Nations Unies contre la désertification (CNUCD), et du plus récent groupe de la Convention de l'ONU sur la diversité biologique. La conférence de Bali (décembre 2007) est un premier pas essentiel dans ce sens.

BIBLIOGRAPHIE

- ACACIA Project, 2000: Assessment of potential effects and adaptations for climate change in Europe: the Europe Acacia Project. Parry, Martin (edit.) - Norwich: University of East Anglia. pp 324.
- Alcamo, J., P. Döll, T. Henrichs, F. Kaspar, B. Lehner, T. Rösch, and S. Siebert, 2003: Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrol. Sci. J.*, 48(3).
- ARPEGE/IFS, 1994: A contribution to the French community climate modelling. *Climate Dynamics*. Édité. Springer Berlin / Heidelberg, 10, doi:10.1007/BF00208992, 249-266.
- Bannayana, M., N. M. J. Croutb, and G. Hoogenboom, 2003: Application of the CERES-Wheat Model for Within-Season Prediction of Winter Wheat Yield in the United Kingdom. *Agronomy J.*, 95,114-125.
- Bakkeness, M., J. R. M. Alkemade, F. Ihle, R. Leemans, and J. B. Latour, 2002: Assessing the effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology*, 8, 390-407.
- BEM : <http://www.blackwell-synergy.com/doi/pdf/10.1111/j.1466-8238.2002.00304.x>
- Benestad, R. E, 2004: Record-values, non-stationarity tests and extreme value. *Global and Planetary Change*, 44, pp.11-26.
- Benson, C., and E. J. Clay, 2002: Bangladesh: disasters and public finance. Disaster Risk Management Working Paper Series No.6. Washington, D.C.: World Bank. <http://www.proventionconsortium.org/files/bangladesh.pdf>
- Bergant, K., L. Kajfež Bogataj, and S. Trdan, 2005: Uncertainties in modelling of climate change impact in future. Edit. Elsevier B.V. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.10.
- Bosc, E., A. Bricaud, A., and D. Antoine, 2004: Seasonal and interannual variability in algal biomass and primary production in the Mediterranean Sea, as derived from four years of SeaWiFS observations. *Global Biogeochemical Cycles*, 18 (GB1005), doi:10.1029/2003GB002034.
- Brunetti, M., M. Maugeri, and T. Nanni, 2001: Changes in total precipitation, rainy days and extreme events in Northeastern Italy. *Int. J. of Climatology*, 21, 7, 861 – 871.
- Canadell, P., 2000: Non-Linear responses and surprises: A new Earth System Science initiative, *IGBP Newsletter*, 43, pp. 2-3.
- Catizzone, M., T. B. Larsson, and L. Svensson, 1998: Understanding Biodiversity - A research agenda prepared by the European Working Group on Research and Biodiversity (EWGRB) - European Commission - Ecosystems Research Report ,25 - EUR 18444 EN
- Cazenave A., C. Cabanes, K. Dominh, and S. Mangiarotti, 2001: Recent sea level changes in the Mediterranean Sea revealed by TOPEX/POSEIDON satellite altimetry. *Geophys. Res. Let.*, 28(8), 1607-1610, 2001
- CBD : www.cbd.int/
- CERES-Wheat 2.0: http://nowlin.css.msu.edu/wheat_book/
- Chahine, M.T., Haskins, R., and E. Fetzer, 1997: Observation of the recycling rate of moisture in the Atmosphere: 1988-1994. *GEWEX-NEWS, WCRP*, 7, 1-3.
- Chaponnière, A., G. Boulet, A. Chehbouni, and M. Aresmouk, 2007: Understanding hydrological processes with scarce data in a mountain environment. To appear in *Hydrol. Processes*.
- Cheddadi, R., H. F. Lamb, J. Guiot, and S. van der Kaars, 1998: Holocene climatic change in Morocco: a quantitative reconstruction from pollen data. *Climate Dynamics*, Edit. Springer Berlin / Heidelberg, 14, 12, ISSN 0930-7575.
- Christensen O.B., J.H. Christensen, B. Machenhauer and M. Botzet, 1998: Very high-resolution regional climate simulations over Scandinavia – Present climate. *J. Climate*, 11, 3204-3229.
- Christensen, J. H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R. K. Kolli, W. T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C. G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr, and P. Whetton, 2007: Regional Climate Projections. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution to WorkingGroup # I and to AR4 (Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (editors: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller), 847–940. Cambridge. University Press, Cambridge, UK.*

- Consorzio Venezia Nuova, 1997: La attività per la salvaguardia di Venezia e della sua Laguna. Venezia.
- Conway, D., and P. D., Jones, 1998: The use of weather types and air flow indices for GCM downscaling, *J. Hydrology*, 212-213, 348-361.
- Cova, B., 2004: The MedRing feasibility study. <http://www.icee.org/OnComms/PN/powersysequip/Bruno%20Cova%20slides.pdf>
- Cubasch, U., H. Von Storch, J. Waskewitz, and E., Zorita, 1996: Estimates of climate change in Southern Europe derived from dynamical climate model output. *Climate Research*, 7, 129-149.
- Cudennec, C., C. Leduc, and D. Koutsoyiannis, 2007: Dryland hydrology in Mediterranean regions—a review. *Hydrol. Sci. J., Special Section: Dryland Hydrology in Mediterranean Regions*, 52(6).
- DeSurvey European Project (FP6), 2005: A Surveillance System for Assessing and Monitoring Desertification. <http://www.desurvey.net/>
- Doumenge, F., 1997: Environmental Change and the Mediterranean (UNU Lectures 16, 17).
- DYFAMED site: <http://www.obs-vlfr.fr/sodyf/>
- Eshel, G., and B. F. Farrell, 2000: Forecasting eastern Mediterranean Droughts. *Mon. Weath. Rev.*, 128, 3618-3630.
- Fitter, A. H., and R. S. R. Fitter, 2002: Rapid changes in flowering time in British plants.
- Georgas, D., 2000: Assessment of climatic change impacts on coastal zones in the Mediterranean. UNEP's Vulnerability Assessments. Methodology and evidence from case studies. *Nota di Lavoro # 40. Fondazione Eni Enrico Mattei (EEM)*.
- GLOWA Jordan River Project: www.glowa-jordan-river.de
- Goodess, C. M., and P. D. Jones, 2002: Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall. *Int. J. of Climatology*, 22, 13, 1593 – 1615.
- Graff, B., C. Fouchier, J. Lavabre, N. Mathys, R. Didier, C. Martin, and E. Servat, 2003 : Connaissance régionale des crues en milieu méditerranéen : contrôle des performances sur 3 bassins versants de recherche. *Hydrology of Mediterranean and semi-arid regions, IAHS*, 278, pp 290-297.
- Giorgi, F., and L.O. Mearns, 1999: Regional climate modeling revisited: an introduction to the special issue. *J. Geophys. Research*, 104, 6335-6352.
- Giorgi, F., J.W. Hurrell, and M.R. Marinucci, 1997: Elevation dependency of the surface climate change signal: a model study. *J. Clim.*, 10, 288-296.
- Giorgi F., M. R. Marinucci, and G. Visconti, 1992: A 2x CO₂ climate change scenario over Europe generated using a limited area model nested in a general circulation model. *J. Geophys. Res.*, 97, 10011-10028.
- Giannakopoulos, C., M. Bindi, M. Moriondo, P. LeSager, and T. Tin, 2005: Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise. A report for the WWF for a Living Planet. The global conservation organization, Gand, Switzerland. © text (2005) WWF. All rights reserved.
- Gorshkov, V.G., V. V. Gorshkov, and A. M. Makarieva, 2000: *Biotic Regulation of the Environment: Key issue of Global Change*. Springer Verlag, London.
- Hallegatte, S., J.-C. Hourcade, and P. Ambrosi, 2007: Using Climate Analogues for Assessing Climate Change Economic Impacts in Urban Areas. *Climatic Change*, 82 (1-2), pp. 47-60, doi:10.1007/s10584-006-9161-z.
- Harrison, P.A., P.M. Berry, N. Butt, and M. New, 2006: Modelling climate change impacts on species' distributions at the European scale: Implications for conservation policy. *Environmental Science and Policy*, 9, 116-128.
- Hansen, J.E., 2007: Scientific reticence and sea level rise. *Environ. Res. Lett.*, 2, 024002, doi:10.1088/1748-9326/2/2/024002.
- Holman, I.P., 2006: Climate change impacts on groundwater recharge-uncertainty, shortcomings, and the way forward? *Hydrogeology J.*, 14(5), pp 637-647.
- Holman, I.P., and P.J. Loveland, 2001: Regional Climate Change Impact and Response Studies in East Anglia and North West England (RegIS). Final report of MAFF project, CC 0337.

- Hreiche, A., W. Najem, and C. Bocquillon, 2007: Hydrological impact simulations of climate change on Lebanese coastal rivers. *Hydrol. Sci. J.*, 52(6), 1119–1133.
- Hughes, L. 2000: Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *TREE*, 15, 56-61.
- Hunt, B. G., 2004: The stationarity of global mean climate. *Int. J. of Climatology*, 24, 795-806.
- HYMEX, 2007: <http://www.cnrm.meteo.fr/hymex/index.php?lang=francais&page=workshops>
- IMPLIT Project (GICC):
<http://www.google.com/search?hl=fr&rls=SNYG%2CSNYG%3A2004-50%2CSNYG%3Afr&q=IMPLIT+Project&lr=>
- Jacob, D., L. Bärring, O. B. Christensen, J. Hesselbjerg Christensen, M. de Castro, M. Déqué, F. Giorgi, S. Hagemann, M. Hirschi, R. Jones, E. Kjellström, G. Lenderink, B. Rockel, E. Sánchez, C. Schär, S. I. Seneviratne, S. Somot, A. van Ulden, and B. van den Hurk, 2007: An inter-comparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. *Climatic Change*. Edit. Springer Netherlands, 81, doi: 10.1007/s10584-006-9213-4, pp 31-53.
- Joselin Herberta, G. M., S. Iniyamb, E. Sreevalsanc, and S. Rajapandiand, 2005: A review of wind energy technologies. Elsevier Edit., doi: 10.1016/j.rser.2005.08.004.
- Joussaume, S., et al., 1999: Monsoon changes for 6000 years ago: Results of 18 simulations from the Paleoclimate Modeling Intercomparison Project (PMIP). *Geophys. Res. Lett.*, 26, 859–862.
- Joussaume, S., and K.E. Taylor, 2000: The Paleoclimate Modeling Intercomparison Project, in *Paleoclimate Modelling Intercomparison Project (PMIP)*. Proceedings of the Third PMIP workshop., edited by P. Braconnot, pp. 9-25, WCRP, La Huardiere, Canada, 4-8 October 1999.
- Kagiannas, A. G., D. T. Askounis, and J. Psarras, 2004: Power generation planning: a survey from monopoly to competition. *Electrical Power & Energy Systems*, 26, pp. 413-421.
- Kaplan, A., M. A. Cane, Y. Kushnir, A. C. Clement, M. B. Blumenthal, and B. Rajagopalan, 1998: Analyses of Global Sea Surface Temperature 1856-1991. *J. Geophys. Res.*, 103, 18567-18589.
- Karnosky, D. F, R. Ceulemans, G. F. Scarasia-Mugnozza, and J. L. Innes, 2001: The impact of carbon dioxide and other greenhouse gases on forest ecosystems. Third report of the IUFRO Task Force on environmental change. IUFRO Research Series 8. Wallingford and New York: CABI Publishing. 357 pp.
- Koutsoyiannis, D., and Z. W. Kundzewicz, 2007: Editorial—quantifying the impact of hydrological studies. *Hydrol. Sci. J.* 52(1), 3–17.
- Kouwenberg, J.H.M., H. I. Browman, J. J. Cullen, R. F. Davis, J. F. St-Pierre, and J. A. Runge, 1999: Biological weighting of ultraviolet (280-400 nm) induced mortality in marine zooplankton and fish. I. Atlantic cod (*Gadus morhua* L) eggs. *Marine Biology*, 134, 269-284.
- Krichak, S. O., P. Alpert, K. Bassat, and P. Kunin, 2007: The surface climatology of the eastern Mediterranean region obtained in a three-member ensemble climate change simulation experiment. *Adv. in Geosciences*, 12, pp.67-80.
- Lakis, S. & Zeidane, R., 2004: Exotic species and Lessepsian migration of Plankton in Lebanese waters, Levantine basin, Eastern Mediterranean. In: Abstracts of the 37th Congress of the Mediterranean Science Commission. Edited by J.Masle et al., Monaco, CIESM. p. 384.
- Leduc, C., S. Ben Ammar, G. Favreau, R. Béji, R. Virrion, G. Lacombe, J. Tarhouni, C. Aouadi, B. Zenati Chelli, N. Jebnoun, M. Oï, J. L. Michelot, and K. Zouari, 2007: Impacts of hydrological changes in the Mediterranean zone: environmental modifications and rural development in the Merguellil catchment (central Tunisia). *Hydrol. Sci. J.* 52(6), 1162–1178.
- Levinsky, I., F. Skov, J. C. Svenning, C. Rahbek, 2007: Potential impacts of climate change on the distributions and diversity patterns of European mammals. *Biodiversity and Conservation*, 16, 3803-3816.
- Limpach, L., A. Geiger, and H.-G. Kahle, 2006: JASON-1 radar altimeter data in the Eastern Mediterranean : Main sea surface topography features and comparison with airborne laser altimetry and GPS. *Geophys. Res. Abstracts*, 8, 01647, 2006, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-01647
<http://www.cosis.net/abstracts/EGU06/01647/EGU06-J-01647.pdf>
- LITEAU Program(MEDD):
<http://www.liteau.ecologie.gouv.fr/>

- Lloret, J., I. Palomera, J. Salat, and I. Solé, 2004: Impact of freshwater input and wind on landings of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in shelf waters surrounding the Ebre River delta (northwestern Mediterranean). *Fisheries Oceanogr.* 13(2):102-110.
- López-Moreno, J. I., S. Begueria, S. M. Vicente-Serrano, and J. M. García-Ruiz, 2007: Influence of the North Atlantic Oscillation on water resources in central Iberia: precipitation, streamflow anomalies, and reservoir management strategies. *Water Resour. Res.*, 43, W09411.
- López-Moreno, J. I., and J. M. García-Ruiz, 2004: Influence of snow accumulation and snowmelt on streamflow in the central Spanish Pyrenees. *Hydrol. Sci. J.*, 49(5), 787–802.
- MARBENA E-Conference, 2004:
[http://64.233.183.104/search?q=cache:PDWcA9P2QTIJ:www.vliz.be/marbena/docs/announcement-FR.rtf+MARBENA+E-Conference,+2004\).&hl=fr&ct=clnk&cd=1](http://64.233.183.104/search?q=cache:PDWcA9P2QTIJ:www.vliz.be/marbena/docs/announcement-FR.rtf+MARBENA+E-Conference,+2004).&hl=fr&ct=clnk&cd=1)
- Martens, P. 2001: Climate Change 2001: Vulnerability and Sustainability
www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/539.htm
- Marty, J. C., J. Chiavérini, and A. Stock, 2002: Le service d'Observation DYFAMED : plus de 10 ans d'observation en Méditerranée Nord Occidentale.
<http://www.cnrm.meteo.fr/expert/contributions/resumeslongs/marty.pdf>
- MEDAR Group, 2002: MEDAR/MEDATLAS 1998-2001: A regional GODAR contribution by the Mediterranean and Black Sea data center network. The International Workshop for GODAR-WESTPAC, March 5-7, 2002, Tokyo, Japan, JODC Ed., CDrom.
- MedOndes (UNEP, MAP), 2000: Coordination unit, information bulletin, pp 40-41.
- Megnounif, A., A. Terfous, A. Ghenaim, and J. B. Poulet, 2007: Key processes influencing erosion and sediment transport in a semi-arid Mediterranean area: the upper Tafna catchment, Algeria. *Hydrol. Sci. J.*, 52(6), 1271–1284.
- Meinesz, A., 1999: Killer Algae, the true tale of a biological invasion. The University of Chicago Press, Chicago 60637.
- Neumann R., G. Jung G., P. Laux P., and H. Kunstmann, 2007: Climate trends of temperature, precipitation and river discharge in the Volta Basin of West Africa. *Int. J. of River Basin Management*, 5, Issue 1.
- Noilhan, J., Boone A., and P. Etchevers, 2000: Application of Climate Change Scenarios to the Rhone basin. Keynote paper N° 4 - ECLAT-2 Workshop, Report No 4, Toulouse, France, 25-27 October 2000, edited by Planton S., Hanson C., Viner D., and Hoepffner M. Published by the Climatic Research Unit, UEA, Norwich, UK, April 2001, pp. 58-74.
- National Technical University of Athens NTUA, 2007: National programme for water resources management and preservation. Ministry of Environment: Planning and Public Works, Athens.
<http://www.itia.ntua.gr/e/docinfo/782/>
- OECD Report 2005: <http://www.google.fr/search?hl=fr&q=OECD+report+2005&btnG=Rechercher&meta=>
- Özsoy, E., 1999 : Sensitivity to Global Change in Temperate Euro-asian Seas (the Mediterranean, the Black Sea and Caspian Sea) : A Review, Malanotte-Rizzoli P. and Eremeev V.N.(Eds.), The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting ecosystems, NATO Science Series 2, Environmental Security, v.51, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 281-301.
- Parry, M.L. (Ed.), 2000: Assessment of Potential Effects of Adaptations for Climate Change in Europe: Summary and Conclusions. Jackson Environment Institute, University of South Anglia, Norwich, UK, 2000, 24 pp.
- Parry, M.L. (Ed.), 2000: Assessment of Potential Effects of Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project. Jackson Environment Institute, University of South Anglia, Norwich, UK, 2000, 320 pp.
- Paz, S., Tourre, Y. M., and J. Brolley, 2008: Multi-temporal climate variability over the Atlantic Ocean and Eurasia :Linkages with Mediterranean and West African Climate. *Atmos. Res. Lett.*, (to appear).
- Paz, S., and I. Albersheim, 2008: Influence of warming tendency on *Culex pipiens* population abundance and on the probability of West Nile Fever outbreaks (Israel case study: 2001-2005). *Ecohealth*, doi: 10.1007/s10393-007-0150-0.

- Paz, S., Bisharat N., Paz, E., Kidar, O., and D. Cohen, 2007: Climate change and the emergence of *Vibrio vulnificus* disease in Israel. *Environ. Res.*, 103, 390-396.
- Paz, S., Tourre, Y. M., and S. Planton, 2003: North Africa-West Asia (NAWA) sea-level pressure patterns and their linkages with the Eastern Mediterranean (EM) climate. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 19, DOI 10.1029/2003GL017862.
- Peyron, O., Guiot, J., Cheddadi, R., Tarasov, P., Reille, M., Beaulieu, J.L. de Bottema, S., Andrieu, V., 1998 : Climatic reconstruction in Europe for 18,000 yr B.P. from pollen data. *Quaternary Research*, 49, 183-196.
- Portney, P., and J. Weyant (edits), 1999: *Discounting and Intergenerational Equity*. Resources for the Future.
- PRUDENCE Project, 2007: Evaluating the performance and utility of regional climate models. *Review Climatic Change*. Edit. Springer Netherlands, 81, Supplement 1 / mai 2007, doi:10.1007/s10584-006-9211-6, pp1-6 (by Christensen, J. H., T. R. Carter, M. Rummukainen, and G. Amanatidis).
- Puigdefábregas, J., and T. Mendizabal, 1998: Perspectives on desertification: western Mediterranean. *J. Arid Environ.* 39, 209–224.
- The GLOWA Project, 2004 :
http://www.les2004.iwa-conferences.org/uploads/LET%202005%20Sapporo/04_02.pdf
- Räisänen J., Rummukainen M., Ullerstig A., Bringfelt B., Hansson U., and U. Willén, 1999: The First Rossby Centre regional climate scenario - dynamical downscaling of CO₂-induced climate change in the HadCM2 GCM, Report No 85, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, pp 56.
- Rimbu, N., Lohmann G., Felis T., and J. Pätzold, 2001: Arctic oscillation signature in a Red Sea coral. *Geophys. Res. Lett.*, 28: 2959-2962, 2001.
- Rohling, E. J., Grant, K., Hemleben, Ch., Siddall, M., Hoogakker, B.A.A., Bolshaw, M., and M. Kucera, 2008: High rates of sea-level rise during the last interglacial period. *Nature Geoscience*, 1, 38-42.
- Rose, A., and S. Liao, 2005: Modeling Regional Economic Resilience to Disasters: A Computable General Equilibrium Analysis of Water Service Disruptions. *J. of Regional Science*, 45 (1), pp 75-112.
- Sala, O. E., F. S. Chapin III, J. J. Armesto, R. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L. F. Huenneke, R. B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D. Lodge, H. A. Mooney, M. Oesterheld, N. L. Poff, M. T. Sykes, B. H. Walker, M. Walker, D. H. Wall, 2000: Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287, 1770-1774.
- Sarmiento, J. L., and E. T. Sundquist, 1992: Revised budget for the oceanic uptake of anthropogenic carbon dioxide. *Nature*, 356, 589 – 593.
- Schroeter, D., 2004: The ATEAM <http://www.schroeter-patt.net/dagmar.html>
- Smith, T., R. Reynolds, R. Livezey, and D. Stokes, 1996: Reconstruction of historical sea surface temperatures using empirical orthogonal functions. *J. Climate*, 9, 1403–1420.
- Somot, S. 2005 : Régionalisation des scénarios de changement climatique. *Environnement, Risques & Santé*. Technical Note, 4, Numéro 2, 89-94.
- Somot, S., 2005 : Modélisation climatique du bassin Méditerranéen : Variabilité et scénarios de changement climatique. Thèse de Doctorat, Université Toulouse III-Paul Sabatier. UFR Sciences de la Vie et de la Terre. pp 347.
- Stern, N., Report, 2006: The Stern Review on the Economics of Climate Change. Available at: <http://www.hm-treasury.gov.uk>
- Strauss, D. M., and M. Halem, 1981: A Stochastic-Dynamical Approach to the Study of the Natural Variability of the Climate. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 3, pp. 407–421.
- Strzepek, K. M., and D. N. Yates, 2000: Responses and Thresholds of the Egyptian Economy to Climate Change Impacts on the Water Resources of the Nile River. *Climatic Change*, 46, 3, pp. 339-356.
- Takken, W., 2006: *Environmental Change And Malaria Risk: Global And Local Implications* (under P. Martens' Direction). Springer Edit. pp150. ISBN-13: 978-1402039270.
- Tekeli, A. E., Z. Akyürek, A. Sensoy, A. A. Sorman, and A. U. Sorman, 2005: Modelling the temporal variation in snow covered areas derived from satellite images for simulating/forecasting of snowmelt runoff in Turkey. *Hydrol. Sci. J.*, 50(4), 669–682.
- Thomas, C. D., A. Cameron, R. E. Green, M. Bakkenes, L. J. Beaumont, Y. C. Collingham, B. F. N. Erasmus, M. Ferreira de Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A. S. van Jaarsveld, G. F. Midgley, L. Miles,

- M. A. Ortega-Huerta, A. T. Peterson, O. L. Phillips, and S. E. Williams, 2004: Extinction risk from climate change. *Nature*, 427, 145-148, doi:10.1038/nature02121.
- Thompson, D. W. J., and J. M. Wallace, 2000: Annular Modes in the Extra-tropical Circulation. Part I: Month-to-month variability. *J. of Climate*, 13, 1000-1016.
- Thomson, J. D., P. Wilson, M. Valenzuela, and M. Malzone, 2000: Pollen presentation and pollination syndromes, with special reference to Penstemon. *Plant Species Biology*, 15 (1), 11–29. doi:10.1046/j.1442-1984.2000.00026.
- Tourre, Y. M., and W. B. White, 2006: Global climate signals and equatorial SST variability in the Indian, Pacific, and Atlantic oceans during the 20th century. *Geophys. Res. Lett.* 33 L06716.
- Tourre, Y. M., S. Paz, C. Cassou, and H. Kutiel, 2006 : Atmospheric dynamics over northwest Africa and linkages with Sahelian rainfall. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L14808, doi:10.1029/2006GL026695.
- Tourre, Y. M., and S. Paz, 2004: The North-Africa/Western Asia (NAWA) sea level pressure index: A Mediterranean signature of the Northern Annular Mode (NAM). *Geophys. Res. Lett.*, 31, L17209, doi:10.1029/2004GL020414.
- Tsimplis, M. N., and M. Rixen, 2002: Sea level in the Mediterranean Sea -The contribution of temperature and salinity changes. *Geophys. Res. Lett.*, 0094-8276.
- Vericat, D., and R. J. Batalla, 2006: Sediment transport in a large impounded river: The lower Ebro, NE Iberian Peninsula. *Geomorphology*, 79, 72–92.
- Vibrio Project, 2006 : http://medias.dsi.cnrs.fr/redgems/rubrique.php3?id_rubrique=147
- Von Storch, H., Zorita, E., and U. Cubasch, 1993: Downscaling of global climate change estimates to regional scales: an application to Iberian rainfall in wintertime, *J. Clim.*, 6, 1161-1171.
- Wainwright, J. and J. B. Thornes, 2003: *Environmental Issues in the Mediterranean: Processes and Perspectives from the Past and Present*. Routledge, London.
- Wigley, T. M. L., 2005: The Climate Change Commitment. *Science*, 307, pp. 1766 – 1769, doi: 10.1126/science.1103934.
- Zahar, Y., and J. Albergel, 2006 : Le rétrécissement du lit de la basse vallée de la Medjerda suite à la construction du barrage de Sidi Salem et ses conséquences durant les inondations 2003. *The Future of Drylands Hydrological changes in arid- and semi-arid areas under climatic and human influences: focus on the Mediterranean region* (Int. Conf., Tunis, Tunisia, 21 June 2006).

CHAPITRE 2

Une revue de la littérature économique sur l'impact du changement climatique dans les pays du sud de la Méditerranée

Céline GIMET
Plan Bleu/CEFI

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie les membres de l'équipe du Plan Bleu pour leurs commentaires avisés et tout particulièrement Stéphane Quefelec.

TABLE DES MATIERES

MESSAGES CLES	5
INTRODUCTION GENERALE	6
I. LES ETUDES GLOBALES	9
1. Un cadre d'analyse déterminant pour les résultats	9
2. Les principaux résultats de la littérature	20
3. Conclusion	30
II. L'IMPACT ECONOMIQUE SECTORIEL DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES PAYS DU SUD DE LA MEDITERRANEE	31
1. Structure économique et vulnérabilité des pays de la zone	32
2. L'Agriculture : un secteur particulièrement sensible	36
3. Energie et industrie	40
4. Zones côtières : coûts très élevés liés aux événements extrêmes	46
5. Le tourisme : une activité économique majeure dépendante du climat	49
6. Le secteur non marchand : une part importante des coûts totaux	52
7. Conclusion : la diminution des ressources en eau comme principal vecteur des coûts économiques dans chacun des secteurs	56
III. L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE, UNE NECESSITE POUR LES PAYS MEDITERRANEENS MAIS UNE QUANTIFICATION INSUFFISANTE	60
1. Formes et actions	60
2. Réorientation de la production agricole	63
3. Adaptation des secteurs industriels et énergétiques	67
4. Coûts totaux et financements: qui va payer ?	73
5. Conclusion	75
IV. CONCLUSION GENERALE	77
ANNEXES	79
Annexe 1. Les modèles économiques les plus utilisés dans la littérature empirique	79
Annexe 2. Tableau récapitulatif des principales études globales	84
BIBLIOGRAPHIE	86

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Graphique 1 - Les résultats de l'analyse de Stern (2006)	24
Graphique 2 - Relation quadratique entre changement climatique et impact	32
Graphique 3 - Répartition de la valeur ajoutée par secteurs des économies du sud de la Méditerranée (en pourcentage de la VA totale) en 2006	33
Graphique 4 - Population agricole dans les pays Méditerranéens : Évolution et projection	36
Graphique 5 - Variation de la demande d'énergie en fonction de la variation des températures.....	41
Graphique 6 - Les bénéfices de l'adaptation.....	62
Graphique 7 - L'évolution des coûts des énergies renouvelables.....	70
Graphique 8 - Investissements en énergie requis dans les pays MENA d'ici 2030.....	71
Graphique 9 - Les coûts et les bénéfices associés à la recherche d'efficacité énergétique en 2030	72
Schéma 1 - Répartition des zones arides du nord de l'Afrique	38
Schéma 2 - Flux de touristes en direction du sud de la Méditerranée (en millions)	50
Schéma 3 - L'adaptation.....	61
Tableau 1 - Les différents types de modèles employés dans la littérature empirique sur les impacts économiques du changement climatique	13
Tableau 2 - Un aperçu des analyses les plus récentes.....	25
Tableau 3 -La répartition de la population active dans les différents secteurs de l'économie des pays du Sud de la Méditerranée	35
Tableau 4 - Quantités d'eau utilisées actuellement dans le bassin Méditerranéen	38
Tableau 5 - Variation du prix de l'énergie et sensibilité des industries	44
Tableau 6 - Les interactions entre les différents secteurs marchands et non marchands de l'économie à la suite du changement climatique en Méditerranée	58

MESSAGES CLES

A travers les analyses économiques existantes, certains coûts économiques globaux et sectoriels pour les pays des rives Sud et Est de la Méditerranée (PSEM), ont été identifiés.

Même s'il semble qu'aucune étude ne se soit interrogée spécifiquement sur les effets économiques possibles du climat dans cette région, il apparaît, au sein des travaux qui intègrent tous les pays du monde (études globales) ou qui analysent certains secteurs (agriculture, tourisme...), quelques résultats concernant la région Moyen-Orient Afrique du Nord.

Les études globales

- Elles ont comme point commun un horizon temporel lointain (2100-2200),
- Leurs résultats, très disparates, sont difficiles à comparer car ils sont très dépendants des hypothèses et des méthodes retenues,
- Malgré cela, elles convergent toutes pour conclure que : (i) Au-delà de 2°C à 3°C l'économie mondiale subira des pertes importantes, (ii) Les coûts pour la région du Sud de la Méditerranée seront particulièrement élevés dans un futur proche du fait de la structure de leur économie et de leur exposition géographique, (iii) On observera, si aucune mesure n'est prise, un creusement des écarts de revenu entre les pays du Nord pour lesquels une augmentation des températures inférieure à 2°C crée de nouvelles opportunités et les pays du Sud qui connaissent des dommages lourds

Les études les plus précises

- La vulnérabilité des pays du Sud de la Méditerranée au changement climatique varie en fonction de la part de leur économie sensible au climat (agriculture, tourisme, infrastructures, énergie, écosystème). Ainsi, les coûts de l'inaction pourraient être plus importants dans les pays agricoles (Syrie, Egypte, Maroc, Tunisie) : il est estimé entre 2 et 9% du PIB agricole des pays d'ici 2050 (Fisher et al., 2002).
- Les études plus ciblées géographiquement montrent que les pertes anticipées suite à une augmentation des températures de 2,5°C seront voisines de 7% du PIB par tête en moyenne pour l'Afrique (inclus l'Afrique du nord) et proches de 4% pour l'Europe de l'Est (Nordhaus et al., 2000) d'ici à 2100 (soit la fourchette haute des coûts estimés à l'échelle mondiale). Ces résultats laissent penser que la région Méditerranée sera une des zones dans le monde les plus touchées et le plus rapidement par les effets néfastes de la variation du climat.
- Le vecteur central par lequel les effets du changement climatique affecteront tous les secteurs de l'économie est lié à la raréfaction des ressources en eau.
- Les interactions entre les secteurs et les effets en cascade, qui ne sont pas pris en compte dans les études économiques pourraient alourdir encore plus le coût de l'inaction

L'analyse économique de l'adaptation dans les pays méditerranéens est relativement limitée à ce jour. Le coût de l'action est relativement peu connu. Les quelques éléments sectoriels disponibles (agriculture notamment) laissent penser que des investissements effectués suffisamment tôt et adéquates pour limiter les effets négatifs du changement climatique auraient un coût inférieur aux bénéfices (diminution des dommages) qu'ils pourraient procurer.

Cependant, la capacité d'adaptation des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée est limitée. Ainsi la coordination des secteurs privés et public et le rôle des Institutions internationales sont prépondérants pour aider la zone à s'adapter au nouveau contexte climatique. La question du financement des actions reste un problème central actuellement en débat.

INTRODUCTION GENERALE

Contexte et problématique

Selon le GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat), le changement climatique se définit comme une « variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité, persistant pendant de longues périodes [...]. Le changement climatique peut être dû à des processus internes naturels, à des forçages externes, ou à des changements anthropiques persistants de la composition de l'atmosphère ou de l'affectation des terres ».

Aujourd'hui, on observe que la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère n'a jamais été aussi élevée. Il existe maintenant un consensus scientifique pour affirmer que ce phénomène récent et brutal, venant perturber le climat, est directement lié aux activités humaines.

Face à cette situation, la majorité des pays du monde a reconnu, à travers la Convention Cadre des Nations Unies pour le Changement Climatique en 1994, la nécessité d'agir au plus vite pour réduire leurs émissions.

Pourquoi et comment les économistes abordent-ils la question du changement climatique ?

Atténuer les impacts du changement climatique est devenu l'un des défis environnementaux les plus significatifs du monde. De profondes évolutions sont à envisager pour réduire les émissions de GES, notamment dans les domaines de la production et de la consommation d'énergie. En outre, de nombreuses mesures d'adaptation sont nécessaires pour faire face aux effets du changement climatique. Au vu des coûts de l'adoption de modes de production et de consommation alternatifs, moins intensifs en carbone, et pour légitimer cette action, l'évaluation économique des impacts liés à la variation du climat est devenue une priorité (Hallegatte, 2005).

L'analyse économique du changement climatique fait appel au concept de développement durable fondé sur la notion de soutenabilité forte, car elle demande de considérer en parallèle les aspects économiques, sociaux et environnementaux. En outre, elle défend le principe de prévention selon lequel le seul dédommagement monétaire est insuffisant pour réduire les effets de la variation du climat par l'internalisation des externalités, il faut aussi mettre en œuvre des mesures en amont pour limiter les émissions et pour cela être conscient du coût de la non-action (Harribey, 2002).

En effet, le changement climatique peut être analysé, dans une certaine mesure, en tant qu'externalité économique dans le sens où ce sont à la fois les actions individuelles, des firmes et des pays qui imposent des coûts futurs à des parties autres que celles qui sont à l'origine de l'action via les émissions de gaz à effet de serre (Llewellyn, 2007). Ce phénomène peut avoir des répercussions sur la consommation et la santé des agents, la productivité et le capital mais aussi des effets irréversibles sur l'écosystème (Stern, 2006 ; UNEP, 2007a). Le système de tarification doit donc nécessairement prendre en compte ce facteur en vue de faire participer financièrement les responsables de ces émissions et de couvrir les coûts qu'elles engendrent.

L'approche « coût/bénéfice » est largement utilisée pour analyser le changement climatique, même si elle rencontre certaines limites. La littérature empirique utilise la notion de « coût de l'inaction » (Cline, 2005 ; Kuik et al., 2006). Elle sous-entend que pour souligner la nécessité d'agir, il est important d'avoir une vision de ce que serait le monde si rien n'était fait. Il s'agit en général d'estimer les coûts nets des effets dus à la variation du climat, c'est-à-dire dans le cas où il n'existe aucune mesure de réduction des émissions. Les coûts de l'action et de l'inaction doivent alors être comparés pour définir la politique préventive la plus efficace économiquement, celle qui permet de limiter les effets négatifs à l'aide d'un investissement qui reste inférieur au coût de l'inaction.

Ces évaluations se heurtent à de très nombreuses difficultés. En effet, elles sont d'autant plus compliquées à établir qu'elles demandent de considérer, sur le long terme, les interactions complexes entre les différents secteurs marchands et non marchands de l'économie. Un autre problème important relève de la méconnaissance et de l'incertitude quant à la dynamique du climat, à la réaction des écosystèmes, et aux dommages économiques. Il existe également de nombreux débats sur les taux d'actualisation à appliquer et sur la prise en compte des interactions entre le court terme et le long terme. C'est pourquoi, les résultats obtenus restent relativement peu précis.

Les études sur ce thème ont d'abord été appliquées aux pays développés pour évaluer les impacts économiques de la variation du climat et les politiques préventives (réduction des émissions) à mettre en œuvre. Cela s'explique par la volonté des décideurs de quantifier les effets de plusieurs options et de les comparer pour répondre au mieux aux contraintes de baisse des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre du Protocole de Kyoto.

L'intérêt porté aux pays en développement s'est intensifié ces dernières années, dès lors que les divers scénarios climatiques ont mis l'accent sur le fait que ces pays étaient les plus exposés géographiquement et économiquement au changement climatique et allaient être confrontés très rapidement à d'importantes difficultés, alors même qu'ils ont des moyens très limités pour s'adapter et qu'ils ont eu, jusque là, une responsabilité relativement faible en terme d'émission de gaz à effet de serre. C'est le cas notamment des pays du sud de la Méditerranée.

Méthodologie et source d'information

Pour la réalisation de cette étude, nous avons effectué une recherche systématique des études économiques réalisées et publiées dans les revues scientifiques de renom international. Nous avons également porté notre attention sur un ensemble de documents et de rapports en provenance d'Institutions internationales, de Fondations et d'ONG et retenu les travaux portant sur les pays de la région d'analyse.

A l'issue de notre revue de la littérature, il semble qu'aucune étude ne se soit interrogée spécifiquement sur les effets économiques possibles du climat sur la région Méditerranée (pays du Sud et de l'Est) dans son ensemble. Cependant, il apparaît, au sein des travaux qui intègrent tous des pays du monde (études globales) ou qui analysent certains secteurs (agriculture, tourisme...), des résultats concernant la région Moyen-Orient Afrique du Nord qui ont été intéressants à exploiter. Ils mettent en évidence la situation catastrophique dans laquelle se trouveront les pays si aucune action visant à limiter leur vulnérabilité n'est entreprise au plus tôt.

Objectif

L'objectif de ce chapitre est de faire le point sur :

- Les coûts économiques globaux du changement climatique et ce que l'on peut en conclure pour les pays des rives sud et est de la Méditerranée ;
- Les coûts économiques sectoriels et les canaux de transmission des effets néfastes du changement climatique dans les pays méditerranéens ;
- L'importance à accorder à l'adaptation et les coûts qu'elle engendre.

Afin de répondre à cet objectif, l'étude est divisée en trois sections.

- Une première section est consacrée au rappel de la littérature empirique relative à la problématique de l'impact économique du changement climatique. Elle fait référence aux études globales les plus complètes et les plus récentes pour cibler ensuite les conclusions spécifiques à la région du sud de la Méditerranée. Deux remarques en résultent au premier abord. D'une part, peu d'entre-elles prennent en considération les caractéristiques particulières des pays de la région

Moyen-Orient Afrique du Nord. D'autre part, on observe une hétérogénéité importante dans les résultats ce qui témoigne de l'influence des scénarios climatiques sur lesquels repose l'analyse, des paramètres choisis et des méthodologies retenues par les auteurs.

- Une analyse des effets sur les principaux secteurs marchands et non marchands des pays de la zone vient ensuite compléter et préciser cette vision globale, dans une deuxième section. Selon la spécialisation de la production des pays, la part de leur économie sensible aux modifications du climat varie. Par conséquent, les coûts seront différents d'un pays à l'autre. Tous seront cependant concernés par une difficulté majeure liée à la raréfaction des ressources en eau qui aura un effet négatif sur tous les secteurs. Mais ce sont les pays agricoles qui souffriront le plus de ce problème. Les villes côtières et les infrastructures seront quant à elles plus vulnérables à la montée du niveau de la mer et aux événements extrêmes. Les populations les plus pauvres demeureront, par ailleurs, les plus touchées par les épidémies et la famine. Enfin, pour juger plus précisément des effets à venir de la variation du climat, il est essentiel de considérer, en parallèle, la croissance économique et celle de la population future qui seront à l'origine d'une augmentation importante des besoins en énergie.
- Une troisième section permet d'envisager les actions pouvant être adoptées par les pays pour prévenir le changement climatique et en limiter les conséquences néfastes. Dans le court terme, il est conseillé d'opter pour des mesures d'adaptation de type « no regret » permettant de réduire la vulnérabilité des économies au climat et d'être bénéfiques quelle que soit l'évolution du climat futur. Celles-ci doivent s'inscrire dans une vision sur le plus long terme pour ne pas accentuer le changement climatique futur à cause d'émissions supplémentaires dans l'atmosphère. L'importance des coûts de l'action ayant été avérée, les Institutions internationales en partenariat avec les secteurs public et privé des pays auront un rôle central à jouer pour l'orientation et le financement de ces politiques.

I. LES ETUDES GLOBALES

L'intérêt croissant porté au problème du changement climatique se justifie au vu des conséquences catastrophiques que peut engendrer l'inaction. Pour susciter une réaction rapide des décideurs et que soient adoptées dès maintenant des politiques d'action préventive, destinées à limiter les émissions de gaz à effet de serre, ou d'adaptation, pour répondre au mieux à la variation du climat, il est nécessaire d'en souligner les coûts économiques futurs pour les pays. Tel est le principal objectif des études économiques élaborées ces dernières années sur ce thème. Cette démarche nouvelle suppose d'intégrer, au sein d'une même analyse, des considérations physiques, climatiques et économiques. La difficulté liée à la prise en compte de tous ces facteurs ainsi que leurs interactions dans une même étude est souvent à l'origine d'une sous-estimation des coûts du changement climatique.

Toutefois, alors que les anticipations les plus optimistes visaient à démontrer que dans le cas d'une modification des températures inférieure à 2° (Mendelson et al. 2000, 2006 ; Tol 2002 b) par rapport à la période préindustrielle (années 1960 à 1990), plusieurs pays (notamment les pays du nord) peuvent tirer des bénéfices du réchauffement climatique (économie d'énergie, évolution des cultures), dès lors que l'augmentation des températures est supérieure à 2-3° (Nordhaus et al., 2000, Nordhaus, 2006, Stern, 2006), il est avéré unanimement que toutes les économies du monde subiront un coût supplémentaire lié au climat (Smith et al., 2003).

Compte tenu de la complexité et de la nouveauté de cette approche, on ne recense qu'un nombre limité d'études sur ce sujet.

L'avantage des analyses établies ces dix dernières années, portant sur l'impact économique du changement du climat, est qu'elles proposent une évaluation de ces effets selon une unité commune, le dollar US. Mais il faut toutefois être prudent car cela n'est pas suffisant pour permettre une comparaison objective entre leurs résultats. Largement dépendantes des hypothèses sous-jacentes, les conclusions ne peuvent pas être établies sans préciser le cadre d'analyse.

En effet, même si les auteurs s'accordent sur le fait qu'un réchauffement du climat aura pour conséquences, à partir d'un certain seuil, des pertes globales importantes, il existe une grande diversité entre les analyses quant à la détermination de ce seuil et l'évaluation des impacts. De même, si à l'échelle régionale, il ressort des analyses désagrégées une exposition particulièrement forte des pays méditerranéens, celles-ci diffèrent en fonction du scénario climatique retenu, la méthode d'évaluation choisie et le champ d'analyse couvert.

C'est pourquoi, il nous paraît indispensable de mettre l'accent sur ces facteurs dans une première section pour être en mesure ensuite de considérer les résultats globaux et régionaux des études de référence sur ce thème, afin d'avoir une vision plus claire des conséquences économiques de la variation du climat sur la région Méditerranée dans la section suivante.

1. UN CADRE D'ANALYSE DETERMINANT POUR LES RESULTATS

1.1. Le rôle déterminant de l'incertitude

L'incertitude inhérente aux évolutions socio-économiques, climatiques et environnementales futures des pays explique en grande partie les écarts entre les résultats des analyses récentes visant à

quantifier l'impact futur du climat sur les économies. Elle se traduit sous différentes formes et affecte chaque étape de l'analyse en partant de l'émission des gaz à effet de serre jusqu'à l'évaluation de l'impact de la variation du climat (Stern, 2006).

Cette incertitude concernant le futur peut être évaluée en fonction du degré de probabilité de réalisation de chaque scénario climatique et économique anticipés.

1.1.1. Incertitude inhérente à l'évolution future du climat

En premier lieu, il s'agit de considérer l'incertitude en termes d'évolution future du climat. En effet, il est difficile d'anticiper la réponse du climat à une augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et de définir un seuil à partir duquel les variations du climat pourraient être particulièrement dangereuses. En amont, il est tout aussi complexe de prévoir le niveau futur d'émission des différents pays compte tenu, d'une part, des objectifs du Protocole du Kyoto pour les pays de l'annexe 1 et, d'autre part, du développement économique des pays émergents. Enfin, les rétroactions des systèmes climatiques, pouvant décupler les variations du climat sont difficilement prévisibles.

Pour examiner les différents cas de figure possibles, les auteurs ne se réfèrent pas à un scénario climatique prévisionnel unique, mais à plusieurs simulations reposant sur des hypothèses différentes. Face à cette difficulté, plusieurs options ont été adoptées par les économistes. Elles varient selon les auteurs, ce qui rend difficile une comparaison objective de leurs résultats. En général, les études sont fondées sur l'hypothèse d'une augmentation des températures identique pour tous les pays suivant un ou plusieurs scénarios plus ou moins pessimistes. Une alternative revient à considérer une croissance globale moyenne des températures à partir des modifications du climat de chaque région. Les principaux scénarios de référence retenus sont ceux proposés par le 3ème rapport IPCC¹ (généralement A2 et B2) (Mendelson et al. 2000 ; Nordhaus, 2006, Stern, 2006).

Toutefois, bien qu'il soit particulièrement difficile d'anticiper l'évolution du climat à un niveau régional ou local, les études les plus précises font appel à des scénarios climatiques détaillés et issus de modèles distincts. C'est le cas de Mendelson (2006) par exemple qui fonde son étude sur des anticipations climatiques établies selon trois procédés différents : le « Panel Climate Model » (Washington et al., 2000), du « Center for Climate Research Studies Model » (Emori et al., 1999) et du « Canadian General Circulation Model », (Boer et al., 2000). L'avantage est de mettre en avant les régions et même les pays qui seront les plus soumis à la variation du climat et donc subiront les coûts les plus importants. Il est cependant particulièrement difficile d'anticiper la fréquence à laquelle certaines régions seront soumises à des événements extrêmes. Il existe donc toujours un intervalle de confiance assez large en ce qui concerne chacun des scénarios climatiques lié à l'incertitude.

1.1.2. Incertitudes socio-économiques

Dans un deuxième temps, pour juger de l'impact économique futur du changement climatique, il est nécessaire de prendre en compte la capacité et les coûts d'adaptation des pays. Cela dépend en grande partie de l'environnement institutionnel de l'économie et de son accès à la technologie (Tol, 2005 ; Stern, 2006). En outre, les effets varient selon les différentes catégories de population, les plus pauvres étant généralement les plus exposées, de même que suivant les caractéristiques de l'économie. En effet, les conséquences ne seront pas les mêmes selon la spécialisation du pays qui

¹ Le quatrième rapport IPCC ayant été publié en 2007, les études économiques citées dans ce chapitre font référence aux versions antérieures de ce travail. Les scientifiques privilégient aujourd'hui l'utilisation du scénario A1B en tant que référence car la majorité des météorologues calent leurs modèles sur celui-ci et que c'est un scénario intermédiaire (élévation des concentrations de CO₂ de 380ppm aujourd'hui à 700 en 2100)

détermine son exposition au climat. Cela souligne la nécessité de dissocier les coûts par secteur ((Mendelson et al., 2000 ; Nordhaus et al., 2000 ; Tol, 2002 b ; Tol et al. (2002) ; Smith et al., 2003). Toutefois, les coûts supportés par un secteur peuvent se répercuter sur le reste de l'économie. L'impact du changement climatique est alors décuplé par le biais des interdépendances entre les secteurs qui ne doivent pas être négligées lors des estimations (Smith et al., 2003).

De même, il est important de mesurer, dans chaque pays, quelle est la part des firmes dont la production est intensive en carbone, qui seront donc plus exposées à la variation des prix des énergies fossiles et aux politiques de régulation. Mais l'évolution à venir des prix des matières premières reste difficile à prévoir et contraint les auteurs à envisager différents scénarios (Edenhofer et al., 2006). De même, l'incertitude concernant les politiques futures mises en place au lendemain de la dernière étape du Protocole de Kyoto, empêche d'anticiper les décisions d'investissement des entreprises et de ce fait la réponse du secteur privé (Stern, 2006 ; IEA, 2007).

Ainsi, plusieurs scénarios fondés sur la réalisation des objectifs prioritaires, auxquels sont parfois associées des probabilités de réalisation sont comparés à un scénario de base « business as usual » (Stern, 2006). Ce dernier se définit par le maintien du statu quo. Cette comparaison permet alors d'examiner les conséquences de la modification du climat compte tenu de l'évolution économique ou technologique du pays. L'évaluation de la capacité d'adaptation du pays dépend donc des hypothèses retenues en terme de développement socio-économique futur pouvant largement influencer les résultats (Mendelson et al., 1999 ; Tol, 2007). Par conséquent, les préférences de l'auteur en termes de politiques à mettre en œuvre et d'anticipation du futur se reflètent dans le choix du modèle de référence.

Enfin, il est important de souligner le fait qu'il existe une incertitude concernant les effets du changement climatique sur la sécurité et les conflits internationaux généralement pas prise en compte par les études économiques ou envisagée à travers les migrations des populations futures. En effet, la sécheresse, l'accès à l'énergie, l'usage des sols sont autant de difficultés pouvant être à l'origine de désaccords entre les régions et les nations. Ce problème est particulièrement visible au Moyen-Orient. A titre d'exemple, la région du Nil est une des zones parmi les plus sensibles, exposée à des conflits éventuels liés à l'accès à l'eau (Stern, 2006).

Il existe donc une incertitude concernant l'évolution future du climat, une incertitude quant aux politiques mises en œuvre et en ce qui concerne leur efficacité, une incertitude liée aux conditions futures du marché, au développement économique technologique et démographique des pays considérés, à la rapidité et à la capacité d'adaptation des firmes, aux effets sur le secteur non marchand et aux interactions entre les secteurs, à l'évolution du prix des matières premières. A chaque incertitude est associé un risque difficile à évaluer (OCDE, 2007). Ce phénomène met en valeur l'importance des hypothèses sur lesquelles repose le modèle mais souligne aussi le manque de précision des résultats, en particulier des analyses globales, et l'impossibilité de comparer entre elles les différentes analyses.

Ces études sont donc plus des éléments permettant de sensibiliser la communauté internationale au phénomène du changement climatique, que de quantifier précisément le coût économique réel de la variation future du climat (Stern, 2006 ; Tol, 2007).

1.2. Les méthodes empiriques mises en œuvre

La modélisation de l'environnement peut être considérée comme un instrument pluridisciplinaire reflétant le réel et permettant, grâce à différentes simulations, de juger de l'impact de certains phénomènes ou de l'opportunité de l'adoption de certaines mesures, en fonction de critères

d'évaluation précis (environnementaux, politiques, économiques...) (Kieken, 2003). Le principal apport de ces modèles est donc de fournir une information globale, en croisant différents phénomènes complexes en fonction de plusieurs scénarios envisageables, facilitant ainsi les prises de décision quant aux politiques futures à mettre en œuvre. Les principales difficultés sont liées au choix des paramètres à retenir, étant donné l'impossibilité d'introduire la totalité des composantes d'un système, ainsi qu'à l'incertitude au sujet des dynamiques à venir comme nous venons de le voir. Il s'agit donc de définir une problématique donnant la possibilité de poser avec précision les fondements de l'analyse.

Un des premiers modèles prospectifs, simulant des dynamiques globales des interactions économiques, sociales et environnementales a fait l'objet du rapport du Club de Rome dirigé par Meadows et al. en 1972. L'objectif de cette analyse était de considérer la croissance future de la population et de la production industrielle et ses conséquences sur l'environnement compte tenu des ressources naturelles non renouvelables, de la surface des terres exploitables et de la capacité d'absorption de la pollution par l'écosystème.

Depuis une quinzaine d'années, la littérature s'est spécialisée dans l'étude des impacts du changement climatique sur les économies. Les premières analyses sur ce thème ont été élaborées au début de la décennie quatre-vingt-dix. Leur objectif était de souligner les principaux effets attendus d'un tel phénomène. Plus récemment, il s'est agi de quantifier ces effets (Mendelson, 2007). Au départ, le champ d'analyse était concentré principalement sur le cas des Etats-Unis (Cline, 1991 ; Rosenthal et al., 1994 ; Yole et al., 1998 ; Mendelson et al., 1999). Puis, les auteurs se sont intéressés aux impact globaux de la variation du climat (Mendelson et al., 2000, Nordhaus et al., 2000 ; Tol, 2002 b, Mendelson et al., 2006 ; Nordhaus, 2006 ; Stern, 2006 ; Tol, 2007), cherchant parfois à dissocier les effets selon les régions (Mendelson, 2000 ; Tol, 2002 b ; Nordhaus et al., 2000) et les secteurs (Mendelson et al., 2000 ; Nordhaus et al., 2000; Tol, 2002 b ; Tol et al., 2003) ; Smith et al., 2003). Parmi les principaux modèles retenus on retrouve soit des méthodes de simulations expérimentales, soit des analyses en données transversales. Plus particulièrement, les auteurs cherchent soit à anticiper l'impact de différentes variations climatiques sur certains secteurs, soit à privilégier une mesure directe de la vulnérabilité des pays (Mendelson, 2007). Les modèles d'évaluation intégrés, qui font appel à ces deux types de modèles sont particulièrement efficaces (Mendelson et al., 2000 ; Tol, 2002a.). Ils bénéficient des avantages des deux méthodes conjointement en conciliant une approche globale et une vision plus détaillée (en prenant en compte l'adaptation des systèmes, mais aussi les effets de la concentration de carbone...). Parmi ces différents types de méthodes plusieurs modèles sont régulièrement utilisés :

Tableau 1 - Les différents types de modèles employés dans la littérature empirique sur les impacts économiques du changement climatique ²

Modèles	Objectif	Avantages	Limites	Exemples
<i>Les modèles d'évaluation intégrée</i>	Fixer le montant d'émission de gaz à effets de serre pour maximiser les bénéfices, et minimiser les coûts	Instrument d'aide pour l'orientation des politiques économiques	Résultats dépendants des hypothèses Problème de la globalité des modèles climatiques lors des études régionales	Modèle DICE (et sa version régionale RICE) Nordhaus (1994) et Nordhaus et al. (2000)
<i>Les modèles "bottom-up"</i>	Evaluation du coût du changement climatique et des options de substitution entre les secteurs pour en amoindrir les conséquences	Peut-être intégrés au modèle IA Analyses ciblées sur un ou plusieurs secteurs	Manque d'informations en ce qui concerne les évolutions plus globales de la consommation ou de la production	Mendelson et al. (2000). Calcul de l'impact global de la variation du climat en suivant le même logique que celle du modèle "top-down", tout en affinant leurs résultats grâce aux détails fournis par le modèle "bottom-up"
<i>Les modèles "top-down"</i>	Evaluation du coût du changement climatique et des options de substitution entre les secteurs pour en amoindrir les conséquences	Peut-être intégrés au modèle IA Prend à la fois en considération les coûts, la fonction de production, et les préférences des consommateurs Calcul des impacts globaux Inclut les modèles d'équilibre général calculable	Manque d'efficacité dans le cas d'études ciblées Fondements empiriques critiquables dès lors qu'ils reposent sur des jugements d'experts et non sur des tests empiriques	
<i>Les modèles d'équilibre général calculable</i>	Quantifie les coûts et bénéfices des politiques environnementales Permet de définir la politique optimale à mettre en place, en tenant compte des contraintes du climat	Maniables Modèles d'aide à la décision Ils reposent sur la littérature économique Peuvent prendre plusieurs formes pour répondre à différentes problématiques environnementales	Ne sont pas des instruments de prévision du niveau futur des variables Dépendants des hypothèses Ecart entre le modèle et le monde réel Difficulté d'obtenir un équilibre unique stable et efficace L'incertitude va à l'encontre du concept d'allocation optimale des ressources par le marché	Conrad (2002)
<i>Les modèles d'équilibre partiels</i>	Evaluer le coût de l'action, en considérant les conditions de marché et les processus de substitution de la production et de la consommation.	Concentrés sur l'impact du climat sur les secteurs les plus sensibles de l'économie	Ne prennent pas en compte les liens entre tous les secteurs de l'économie	
<i>Les modèles « Ricardiens »</i>	Mesure la variation sur le long terme des revenus ou du prix du capital, en fonction de la variation du climat et d'autres facteurs sur différents secteurs de l'économie (l'agriculture notamment)	Repose sur l'hypothèse selon laquelle pour tous les secteurs sensibles au climat, il existe une température qui maximise le bien-être de ce secteur Possibilité d'observer les stratégies d'adaptation et d'en évaluer les bénéfices	Résultats très dépendants de la période sur laquelle repose l'analyse	Mendelson et al. (2000) ; Kurukulasuriya et al., (2006)
<i>Les modèles dynamiques vs les modèles statiques</i>	Ils considèrent, d'une part, les variations climatiques et, d'autre part les modifications socio-économiques du pays	Les modèles dynamiques sont une représentation plus proche de l'évolution du monde réel Cette dynamique permet de prendre en compte la capacité d'adaptation des pays et relativiser l'impact négatif du changement climatique On peut trouver cette dynamique dans les modèles IA	Intégrer une vision ciblée Prise en considération d'un grand nombre d'hypothèses supplémentaires par rapport au modèle statique Les paramètres varient selon la période et le pays ou la région retenus	Tol (2002 a, b)
<i>Le coût marginal de l'émission de dioxyde de carbone</i>	Permet de mesurer le coût de l'inaction en calculant le coût présent anticipé des dommages causés par une tonne supplémentaire de dioxyde de carbone émise dans l'atmosphère	Ce coût est généralement exprimé en unité monétaire Peut être confronté au coût marginal de la réduction de cette émission pour permettre une comparaison entre coût de l'action et de l'inaction	Très dépendant des hypothèses concernant la valeur du taux d'actualisation qui dépend du niveau de consommation et de l'utilité dans le futur, ainsi que le poids des pays	Tol (2005), (2007)
<i>Les analyses agrégées</i>	Somme des effets anticipés du climat dans chaque pays et région du monde pour évaluer l'impact du changement climatique au niveau international	Lisibilité des indicateurs utilisés Synthèse d'un ensemble d'informations complexes pour offrir une vision simplifiée des résultats globaux	Difficulté d'observer simultanément l'ensemble des impacts Problème d'une comparaison objective entre les régions, les secteurs et dans le temps	Nordhaus et al. (2000) Tol (2002b) Stern (2006)

Source. L'auteur

² Une description plus précise de chaque méthode est proposée en annexe 1.

1.2.1. Les caractéristiques communes à toutes les méthodes

Pour calculer l'impact économique du changement climatique, la plupart des auteurs partent d'un modèle climatique auquel ils intègrent une vision économique. A cet effet, ils font appel aux outils économétriques traditionnels utilisés dans la littérature économique³. Cependant, chacun d'entre eux souffre d'importantes limites dès lors qu'ils sont appliqués à la problématique de la variation future du climat. Cela est lié à la difficulté d'anticiper le futur. Il existe donc une importante subjectivité lors du choix de la valeur des paramètres des modèles. Il s'agit en général de poser des hypothèses en ce qui concerne la valeur du temps, le développement économique et la croissance de la population future, notamment lorsque l'on raisonne en dynamique. Par conséquent, la principale critique générale que l'on peut adresser à ces études est que leurs résultats sont très dépendants des fondements du modèle, qui varient d'un auteur à l'autre.

La plupart de ces modèles peuvent être appliqués dans le cadre d'analyses statiques ou dynamiques. En outre, les résultats obtenus selon différentes régions du monde sont parfois agrégés pour refléter le coût total du changement climatique.

Alors que les études plus anciennes raisonnaient en statique, on remarque une préférence accrue aujourd'hui pour les modèles dynamiques, plus proches de la réalité. Il paraît important de prendre en compte la vulnérabilité présente et future d'un pays qui varie selon les régions. En effet, il semble que les pays émergents soient particulièrement sensibles aux modifications du climat. En général, la grande majorité de l'activité économique de ces pays repose sur l'agriculture et est concentrée sur les zones côtières. Elle est donc largement dépendante des conditions météorologiques (sécheresse, montée des eaux, catastrophes naturelles). Aujourd'hui, la plupart des pays du sud semblent peu préparés à gérer ce type de problème mais d'importants efforts ont été récemment mis en œuvre pour anticiper ce phénomène. Dans le long terme, il est nécessaire de considérer cette dynamique comme pouvant largement influencer la capacité d'adaptation des pays et relativiser l'impact négatif du changement climatique. Mais l'efficacité des mesures envisagées ne sera pas homogène selon les pays et même au sein d'un même pays selon l'exposition au risque des différentes régions, des secteurs de production et de la population. D'où l'importance d'intégrer à l'analyse dynamique une vision ciblée des effets futurs du climat (Tol, 2002b).

En effet, bien que les modèles agrégés soient très utiles dans le cadre d'études globales, ils sont de moins en moins utilisés, car se pose le problème d'une comparaison objective entre les régions, les secteurs et dans le temps. Cela dépend de l'importance relative donnée aux différents pays et à certaines productions et de la valeur attribuée au futur (Tol et al., 2001). Pour éliminer une difficulté, la majorité des études agrégées sont des analyses statiques. Mais, l'influence du mode de pondération retenu pour juger des effets globaux à partir des impacts régionaux ne peut pas être négligée et explique en grande partie l'écart entre les résultats de différentes analyses. L'objectif est de rendre compte des coûts futurs supportés par les pays en développement dans le calcul de l'impact global du changement climatique, bien que leur poids économique sur la scène internationale soit faible. En effet, si la pondération est fonction du produit intérieur brut (PIB) du pays relativement au PIB mondial, les effets positifs d'une faible variation du climat sur les pays industrialisés seront dominants dans le résultat total. Or, si on considère le nombre de personnes affectées, ce seront les effets négatifs qui auront le plus de poids. Cela s'explique d'une part par le fait qu'une faible fraction de la population mondiale contribue à la plus grosse partie de la production et d'autre part cela est lié à l'importante concentration de personnes dans les régions les plus soumises aux effets néfastes du changement climatique (Tol et al., 2001). En outre, la valeur de la production, de l'environnement et de la santé, en terme monétaire, divergent selon le niveau de développement du pays. Pour une perte

³ Nous avons répertorié les modèles les plus récurrents dans la littérature spécialisée dans l'analyse des impacts économiques du changement climatique. Toutefois, il est possible que des études s'apparentent à certains modèles lorsqu'elles sont fondées sur les mêmes hypothèses. C'est le cas de l'analyse de Nordhaus (2006) qui reprend les fondements de l'analyse Ricardienne par exemple.

de production égale, les coûts seront d'autant plus forts, en terme monétaire, pour les pays industrialisés. De même le coût de la vie est plus important dans les pays du nord du fait de leurs revenus plus élevés et donc d'une volonté de payer plus forte de la part des agents (Stern, 2006).

Pour écarter ces problèmes, de nombreuses études choisissent de comparer plusieurs possibilités. Parmi les auteurs qui ont le plus insisté sur cette question, on trouve Nordhaus (2006). L'auteur utilise trois systèmes de pondération distincts : par la population, en vue de prendre en compte la variation dans les revenus moyens ; par la production, et par la surface, pour juger de la variation du prix de la terre selon la localisation. Il souligne la supériorité des résultats, en termes de retranscription du coût réel de la variation du climat, fondés sur une pondération selon la population.

D'autres auteurs, Nordhaus et al. (2000), Anthoff et al. (2007) défendent, par ailleurs, les avantages liés à une pondération « juste », par l'équité (« equity weighted ») pour mesurer notamment les dommages marginaux engendrés par les émissions de dioxyde de carbone. Il s'agit d'envisager l'impact sur le revenu des personnes, tout en prenant en compte les effets en termes de bien-être selon que les populations soient riches ou pauvres. La pondération doit ainsi refléter les inégalités dans la distribution des revenus entre les pays, généralement ignorées dans les études agrégées. Elle doit être établie à partir d'une fonction de bien-être et des perspectives au niveau des politiques sociales dans le pays. Leur modèle est divisé en plusieurs régions, selon leur niveau de revenu, et en plusieurs périodes. Différents scénarios fondés sur des hypothèses d'évolution des revenus (pas de changement dans la distribution des revenus, disparition, et creusement des inégalités) sont comparés et un paramètre d'aversion aux inégalités est inclus dans l'analyse. Les auteurs soulignent l'importance de l'introduction de la distribution des revenus au sein d'une région dans les études de l'impact du changement climatique, ainsi que la sensibilité des résultats au mode de pondération retenu. Les études faisant intervenir une pondération par l'équité ont donc des estimations plus élevées mais qui sont sujettes à un plus haut niveau d'incertitude.

Enfin, il ressort de notre tableau comparatif un nombre de critiques relativement élevé aux dépens des modèles d'équilibre général calculable. En effet, les fondements théoriques sur lesquels reposent certaines études empiriques sont tellement éloignés de la réalité que les résultats ne donnent pas une vision objective des effets futurs du climat. Cela explique pourquoi ils sont peu retenus pour traiter cette problématique.

1.2.2. Les particularités des études ciblées sur une économie ou un secteur

Le choix du modèle se fait en fonction de la problématique retenue. Ainsi, selon que l'on veuille envisager l'impact global du climat sur les pays ou la vulnérabilité d'un secteur ou d'une économie en particulier, la méthode mise en œuvre ne sera pas la même.

C'est pourquoi, les modèles « ricardiens » sont particulièrement adaptés aux études qui se concentrent sur un secteur en particulier, notamment dans le secteur agricole. La caractéristique du modèle standard est qu'il repose sur l'hypothèse selon laquelle pour chacun des secteurs de l'économie, il existe une température optimale moyenne. Lorsque les pays sont en deçà de cette température, ils réalisent de nombreux profits. En revanche, au-delà, leurs bénéfices diminuent progressivement et font place à des coûts qui ne cessent d'augmenter avec les températures. De même les modèles d'équilibre partiel ou encore “bottom-up” permettent de procéder à des études plus détaillées.

Ces modèles peuvent être étudiés indépendamment (Kurukulasuriya et al., 2006) ou intégrés dans un modèle plus global (un modèle de circulation général (General Circulation Model (GCM)) par exemple (Mendelson et al., 2000, 2006).

1.2.3. Les solutions envisageables pour pallier certaines limites des modèles

Pour atténuer les insuffisances de certaines méthodes, et profiter des divers avantages qu'elles offrent, il est possible de les combiner. A titre d'exemple, Mendelson et al. (2000) intègrent à une analyse "top-down", un modèle "bottom-up" pour affiner ces résultats.

Par ailleurs, pour juger de la pertinence d'un résultat, une comparaison entre les conclusions de deux analyses reposant sur deux méthodes distinctes est conseillée. Une comparaison des résultats d'une étude en données transversales et d'un modèle expérimental, sous forme réduite par exemple, pour compenser les limites de chaque méthode par les apports de l'autre, atteste de la robustesse des résultats (Mendelson et al., 2000).

1.3. Hypothèses des modèles empiriques

Au vu de la difficulté de mesurer la totalité des répercussions de la variation du climat sur les économies dans le court et le long terme, chaque étude fondée sur chaque type de modèle s'appuie sur un ensemble d'hypothèses restrictives. Il est important de définir en amont de l'étude le cadre d'analyse retenu et de justifier objectivement les choix opérés en termes de sélection des variables, pour anticiper les critiques liées aux faiblesses des modèles.

Les hypothèses sur lesquelles reposent les analyses sont des éléments essentiels à envisager lors de la comparaison des résultats. En effet, la confrontation des conclusions des différentes études n'est possible que si ces dernières ont les mêmes fondements.

De même, les décisions d'investissement et des politiques à mettre en œuvre doivent être prise en tout état de conscience, c'est-à-dire, compte tenu de l'influence de certaines variables. C'est pourquoi, la plupart des analyses revendiquent le fait d'être des outils d'information, plus que des aides à la décision.

1.3.1. Choix des scénarios climatiques

En premier lieu, il est nécessaire de préciser le scénario climatique choisi pour anticiper les évolutions futures des températures et des précipitations. Les résultats des analyses sont largement dépendants de ce choix, dans le sens où, suivant la période retenue et selon que le scénario soit plus ou moins optimiste, les interprétations peuvent être complètement différentes et parfois même opposées.

Diverses possibilités s'offrent aux auteurs. Ils peuvent soit évaluer les effets d'une augmentation uniforme des températures au niveau de tous les pays (Mendelson et al. 2000, 2006 ; Tol 2002 b), soit se référer aux scénarios proposés par les 2ème et 3ème rapports IPCC en comparant les résultats à partir de différents points de vue (Mendelson et al. 2000 ; Nordhaus et al., 2000, Nordhaus, 2006, Stern, 2007), soit enfin avoir recours à d'autres modèles climatiques en spécifiant la variation future du climat selon les régions (Mendelson et al., 2006). Par ailleurs, l'évolution du climat reste relativement lente et progressive, les coûts sont donc d'autant plus importants que la période d'analyse est étendue.

1.3.2. Les secteurs marchands et/ou non marchands

Un deuxième point essentiel fait référence aux secteurs pris en compte lors de l'évaluation de l'impact de la variation du climat. Les économistes différencient les effets sur le secteur marchand et non-marchand.

Les conséquences du changement climatique sur le secteur marchand se calculent en fonction de la variation des quantités et des prix des biens et services ou par rapport à l'évolution de la productivité des différents secteurs. Bien qu'il soit très difficile d'examiner l'ensemble des impacts sur ce secteur et que les auteurs concentrent en général leur étude sur un domaine en particulier, ces effets sont relativement faciles à mesurer.

Le problème vient plutôt de l'estimation des variations dans le secteur non-marchand. Elle demande de considérer les évolutions de l'écosystème, de la biodiversité, l'impact sur la santé que l'on ne peut pas toujours évaluer en unité monétaire ou selon une référence homogène pour tous les secteurs. En outre, cette variation dépend de la région analysée, de ses caractéristiques initiales pour anticiper son évolution future. Il semble donc plus intéressant de procéder à une analyse désagrégée. Par ailleurs, elle a un aspect multi-dimensionnel notamment dans le domaine de l'écosystème, les effets peuvent être observés en fonction de plusieurs échelles en considérant d'une part l'impact sur les espèces isolées et d'autre part sur l'ensemble des espèces qui forment l'écosystème, ce qui engendre des difficultés supplémentaires lors du choix des indicateurs (Fleischer et al., 2006). Enfin, du fait des interactions entre les secteurs, les effets du changement climatique peuvent se répercuter de l'un sur l'autre et multiplier les coûts.

Compte tenu de ces difficultés, certains auteurs s'intéressent uniquement aux impacts marchands, tout en sachant que leurs résultats seront largement sous-évalués (Mendelson et al. 2000, 2006 ; Nordhaus, 2006). Les analyses les plus représentatives sont, cependant, celles qui tentent de modéliser les impacts non marchands et de les intégrer dans le coût total (Nordhaus et al., 2000 ; Tol, 2002 b). Ainsi, même si les mesures sont approximatives⁴, les effets estimés sont plus en accord avec la réalité.

1.3.3. Difficultés et importance de la prise en compte des événements extrêmes

Les analyses les plus précises sont, non seulement celles qui prennent en considération les effets du changement climatique à la fois sur les secteurs marchand et non-marchand, comme l'avons vu, mais aussi celles qui intègrent, en plus de cela, l'occurrence des événements extrêmes ainsi que le coût supplémentaire, non négligeable, qu'ils engendrent (Stern, 2006). Il n'existe pas de définition précise de ces phénomènes dans la littérature, mais ils peuvent être perçus comme des événements climatiques rares qui causent d'importantes destructions de capital (d'infrastructures notamment mais aussi de productions agricoles) et ont des effets sociaux catastrophiques (morts, blessés, épidémies...) sur une période allant de un jour (dans le cas des cyclones, par exemple) à quelques semaines (pour des inondations) (Hallegatte et al., 2007). Ils prennent la forme de vagues de chaleur, d'inondations, de tempêtes ou de sécheresse. Ils se caractérisent selon plusieurs critères communs. En premier lieu, ils atteignent et dépassent un seuil minimum de pertes économiques fixé en général par les compagnies d'assurance. Deuxièmement, ils suivent une fonction de probabilité établie en tenant compte de la capacité d'adaptation des pays et de l'intensité de l'événement (Hallegatte et al., 2007). Dès lors que les coûts supposent des investissements lourds pour la reconstruction d'infrastructures qui auraient pu être évités, cela souligne la nécessité d'une intervention politique préventive.

⁴ Pour le détail des indicateurs utilisés pour mesurer les effets du changement climatique sur le secteur non-marchand, se référer à la deuxième partie de l'analyse qui traite des impacts par secteurs.

Les études les plus riches sur ce thème sont celles établies par des grandes compagnies d'assurance (Munich Re, 2005 ; Swiss Re, 2005). En effet, comme ce sont ces organismes qui couvrent la plupart des coûts supplémentaires engendrés par ce type de manifestations, ils sont intéressés par le fait d'établir des statistiques précises pour prévoir leurs dépenses futures et calculer les contributions de leurs assurés. Certaines compagnies font même appel à une assurance secondaire pour couvrir les plus grosses pertes. Parmi les principaux réassureurs, on compte Munich-Re et Swiss-Re.

Si l'on se fonde sur les analyses déjà établies par ces organismes, il ressort une moyenne de 650 catastrophes naturelles dans le monde par an, sur les dix dernières années. 15% d'entre-elles sont d'origine purement géologique (éruptions volcaniques, tremblements de terre...), les 85% autres sont en grande majorité liées au climat (tempêtes, cyclones, inondations...). Elles se concentrent, en particulier, en Amérique et en Asie. Elles sont responsables de la mort de 180 000 personnes en une année et leur coût pour l'année 2004 se chiffre à 145 milliards de dollars, dont 100 milliards pouvant être imputés aux variations extrêmes du climat, soit plus du double par rapport à l'année précédente (Munich-Re, 2005).

Les analyses scientifiques laissent à penser que ces phénomènes vont s'intensifier dans les décennies à venir, et les trajectoires vont changer, ce qui va élargir le pourcentage de surfaces concernées. Leur fréquence a presque doublé entre les années soixante et quatre-vingt-dix entraînant des coûts économiques de plus en plus lourds (Munich-Re, 2005). Ces derniers augmenteraient de 2% par an selon certaines estimations (Hallegatte et al., 2007). Ils pourraient atteindre 1% du PIB mondial d'ici une centaine d'années et ne cesser d'augmenter avec les modifications du climat (Stern, 2006). Les pays les plus touchés seront les pays émergents à cause de leur situation géographique, mais les pertes agrégées les plus importantes seront supportées par les pays industrialisés, du fait de leurs investissements massifs dans des infrastructures intensives en capital (Stern, 2006).

Les coûts seront particulièrement élevés dans les régions nouvellement concernées par ce phénomène et peu préparées à les gérer. De plus, ils évolueront de manière exponentielle à partir d'un certain niveau de température créant des dommages irréparables (Stern, 2006). En outre, les météorologues ont mis l'accent à la fois sur l'augmentation généralisée des températures mais aussi sur l'importante variation de ces températures pouvant atteindre des niveaux extrêmes et produire des conséquences désastreuses (Schär et al., 2004).

Il est très difficile de prévoir la fréquence et la force de ces événements. C'est pourquoi, la plupart des auteurs n'intègrent pas ces phénomènes dans leur analyse, notamment lorsqu'ils se placent dans un cadre global.

Le fait de ne pas inclure ces événements s'explique aussi par les spécificités des modèles utilisés. En effet, dans le cadre des analyses en données transversales, seules les modifications intervenues durant la période d'analyse et sur l'échantillon de pays considérés sont prises en compte. Par ailleurs, les analyses établies à partir des modèles de croissance de long terme ne considèrent pas les chocs de court terme. Enfin, très peu de modèles IA intègrent ces phénomènes.

Pour répondre à ce problème, Hallegatte et al. (2007) proposent une étude novatrice sur ce thème. Elle repose sur un modèle dynamique non-équilibré (non-equilibrium dynamic model (NEDyM)) permettant d'introduire des déséquilibres transitoires, pouvant être attribués à des chocs exogènes, venant perturber le sentier de croissance. Pour mesurer ces événements à travers les coûts de reconstruction, les auteurs utilisent un ratio d'amplification économique d'un événement extrême. Celui-ci est calculé en comparant la perte de production moyenne, aux coûts directs de cet événement.

Il ressort de cette analyse l'influence des caractéristiques de l'économie concernée lors de la mise en place du modèle. De même, ces travaux soulignent le poids des événements extrêmes de court terme dans le calcul des coûts totaux de long terme dus au changement climatique. Par ailleurs, la perte

estimée du PIB liée aux événements extrêmes dépend de manière non-linéaire de l'occurrence de ces derniers et de la capacité de reconstruction du pays dans le court terme. D'où la nécessité d'organiser les économies de manière à prévoir de tels événements en vue d'en limiter les coûts. Les auteurs en concluent donc que ce phénomène peut contribuer au ralentissement du développement économique de certains pays émergents en détruisant les infrastructures en place et en nécessitant d'importants moyens financiers, accentuant ainsi leur dépendance vis-à-vis des pays du nord.

1.3.4. Le taux d'actualisation : débats et choix éthiques

Une des hypothèses essentielles, sur laquelle les économistes ont du mal à s'accorder, est la fixation du taux d'actualisation. Il peut se définir comme le « prix du temps », c'est-à-dire la valeur relative que la collectivité accorde au futur. Par conséquent, plus ce taux est élevé, plus l'intérêt de la collectivité se concentre sur le présent, par rapport aux enjeux futurs. Il est difficile à fixer car, dans le cadre de la problématique du changement climatique, il ne faut pas oublier que les coûts d'adoption de mesures restrictives sont ressentis immédiatement par la société, alors que les bénéfiques n'interviennent que dans le plus long terme.

Le désaccord entre les auteurs est aussi exacerbé en partie par le fait que les échelles de temps sur lesquelles reposent les analyses sont très longues : d'une part, et différent entre les auteurs, d'autre part.

Le taux d'actualisation est l'un des éléments utilisés pour calculer les coûts et les bénéfices de la mise en œuvre de politiques de réduction des gaz à effet de serre. Plus particulièrement, pour évaluer le coût social des émissions de carbone dans l'atmosphère, il faut fixer à la fois le mode de pondération par l'équité et la valeur du temps.

Une des méthodes retenue par les auteurs pour calculer ce taux revient à donner un « prix fictif » au capital, en tenant compte de la préférence collective pour le présent (Cline, 2005). Cette dernière est évaluée en fonction du taux des ménages appliqué pour consommer aujourd'hui plutôt que dans le futur (l'« impatience pure » ou la « préférence pure »), et du taux fixé par les ménages pour leur consommation future dès lors qu'ils anticipent qu'ils seront plus riches dans le long terme. Dans ce dernier cas de figure, si le niveau de vie des agents augmente, leur utilité marginale baisse. Pour ce faire, il s'agit, en outre, d'anticiper le taux de croissance globale du revenu par tête et par an.

Le principal problème pour les économistes est la valeur du « taux de préférence pure ». Certains fixent ce taux à zéro, défendant l'idée selon laquelle un taux positif correspondrait à l'acceptation d'un revenu plus faible dans le long terme au profit du présent, ce qui est difficilement envisageable (Cline, 1992). Par ailleurs, l'incertitude quant à l'évolution des taux dans le long terme pousse certains auteurs à opter pour les taux d'actualisation les plus faibles. En effet, si la croissance future est incertaine, le taux d'actualisation devrait progressivement diminuer pour atteindre son niveau le plus bas. Cela vient du constat selon lequel la valeur présente nette de deux taux d'actualisation est dominée par le taux le plus faible (Weitman, 1998).

En revanche, le postulat à l'origine de la fixation d'un « taux de préférence pure » positif est la proximité par rapport au réel compte tenu du fait que les comportements des agents se traduisent par une préférence marquée pour le présent (Nordhaus et al., 2000).

Il est aussi possible de déterminer ce taux en fonction du marché, bien que les prévisions soient bien au-delà de la période qu'il couvre. Dans ce cas, les taux sont relativement bas.

La fixation de ces deux taux pour déterminer le taux d'actualisation est primordiale et doit être justifiée car elle influence largement les résultats. En effet, pour un écart de taux de plus de 2 points, les impacts peuvent varier de plusieurs millions, dans la longue période. Et pour des taux d'actualisation élevés, les effets seront mineurs, ce qui ne justifie pas la mise en place de politiques de

réduction des émissions (Cline, 2005). Toutefois, même si a priori ces politiques ne sont pas indispensables, leurs effets bénéfiques sur le long terme sont décuplés dans le cas où les taux d'intérêts futurs varient de manière aléatoire, et quel que soit le taux de base (Newell et al. (2000)).

La critique de Tol et al. (2007) à l'encontre des travaux de Stern (2006) illustre parfaitement ce débat. Les reproches portant sur les conclusions de ce dernier concernent, en particulier, le choix du taux d'actualisation. En effet, les résultats sont très sensibles aux hypothèses du modèle et les coûts estimés peuvent varier dans un intervalle de moins 84% à plus 900% par rapport aux données de Stern (2006). Ce dernier utilise un taux d'actualisation relativement bas avec un taux de « préférence pure » de 0,1% par an. La valeur accordée au futur est alors importante. Pour Tol et al. (2007), l'horizon de temps semble trop court pour justifier un tel choix. Par ailleurs, ce taux ne correspond pas au faible taux anticipé d'aversion au risque. Il défend donc le point de vue opposé expliquant qu'il faut privilégier des taux d'actualisation élevés car ils sont plus proches du réel et donnent des estimations moins incertaines.

2. LES PRINCIPAUX RESULTATS DE LA LITTERATURE

Tout ce qui a été dit avant montre la difficulté, les risques et les débats qu'il peut y avoir lorsqu'on se lance dans les estimations économiques des dommages climatiques.

L'influence des hypothèses ayant été démontrée, de même que les différentes modélisations utilisées dans la littérature empirique sur l'évaluation de l'impact du changement climatique, il est possible, maintenant, de procéder à la revue des résultats des principales analyses. Il est important de préciser, pour chaque étude, les fondements sur lesquels elle repose pouvant expliquer, en partie, le caractère plus ou moins optimiste des conclusions. Ainsi, même si une comparaison directe entre chacune d'elles n'est pas réalisable, une vision d'ensemble des impacts futurs du climat peut être envisagée.

Il s'agit de s'intéresser, en premier lieu, aux résultats globaux, puis de se concentrer sur les analyses établies à l'échelle régionale en ciblant le cas particulier des pays émergents, et notamment de la région méditerranéenne.

2.1. Etudes globales : un large éventail de résultats

Les principales divergences entre les analyses résident dans l'estimation des coûts totaux⁵ pour une augmentation des températures inférieure à 3°. Selon le mode de pondération choisi, il en résulte un bénéfice ou un coût global faible. En effet, les pays industrialisés (Europe du Nord, Etats-Unis) connaîtront, dans un premier temps, certains avantages en termes d'opportunités supplémentaires dans le secteur agricole et des économies d'énergie, notamment grâce à la baisse de la demande en matière de chauffage. Ainsi, même si les effets néfastes du changement du climat se font immédiatement ressentir dans les autres régions du monde, leur PIB étant relativement faible par rapport au PIB mondial, lors du calcul de l'impact total les effets favorables dominant. En revanche, pour une augmentation des températures supérieure à 3°, les études s'accordent à souligner les dommages subis par tous les pays du monde, qui se traduisent par un coût global, plus ou moins fort selon les auteurs.

⁵ Il s'agit en général de la somme des dommages dans les secteurs marchands et non marchands des pays pris en compte dans l'étude, pondérés par leur importance relative. Dans certaines études, les coûts totaux sont mesurés en tenant compte de la capacité d'adaptation des pays. Cela est précisé au fil du texte.

Les résultats des analyses globales sont présentés selon un niveau de coût anticipé croissant. Seules les études les plus récentes et les plus régulièrement citées comme référence dans la littérature empirique sont détaillées.

Les impacts sont généralement considérés en termes de pourcentage du PIB mondial. Toutefois, les effets peuvent être exprimés en fonction du PIB par tête ou en termes de bien-être ce qui donne des résultats parfois très différents. Tout dépend du mode de pondération retenu. En général, les coûts estimés sont beaucoup plus élevés dès lors que l'on raisonne selon une logique d'impact par agent⁶. D'où la nécessité de mettre l'accent sur les fondements des analyses avant d'interpréter et de comparer les résultats au sein d'une même étude ou entre elles.

2.1.1. L'unique prise en compte du secteur marchand : une sous estimation du coût total

Les études les plus « rassurantes » sont souvent celles qui sous-estiment les effets futurs du climat par la prise en compte uniquement du secteur marchand et en ne prenant pas en compte les coûts de court terme engendrés par les événements extrêmes.

Il s'agit, parmi les plus connues, des études de Mendelson et al. (2000), (2007). Les auteurs font référence à différents types de modèles climatiques. En 2000, ils se basent sur les conclusions de trois scénarios du troisième rapport IPCC, en anticipant une augmentation des températures faible (+1°), moyenne (+2°), et forte (+3,5°). En 2006, ils font appel à différentes études climatiques issues de trois centres de recherche distincts qui offrent une vision désagrégée, par région, de l'évolution du climat. Sur ce point, il est à noter un réel effort pour limiter l'incertitude liée aux variations futures du climat. Dans les deux cas, l'horizon temporel est 2100. La capacité d'adaptation des pays est incluse dans l'analyse. Les agents maximisent leurs bénéfices nets (c'est-à-dire, leur bénéfice brut moins le coût d'adaptation). Cela revient à supposer que les pays vont se spécialiser dans la production de biens et services les plus productifs compte tenu de l'évolution du climat. Les secteurs les plus vulnérables auront donc un poids faible dans l'économie relativement aux autres, ce qui viendra minimiser l'impact négatif global.

Les résultats des analyses convergent dans le sens où les auteurs notent une augmentation des bénéfices globaux pour une hausse des températures de 1 à 2° selon les modèles, puis se réduisent ensuite. Cette augmentation reste toutefois faible avec un niveau maximum de 0,16% du PIB global. Dans l'article de 2006, ces résultats sont nuancés car selon deux des trois scénarios climatiques proposés, les pays connaîtront globalement des pertes en 2100 qui se chiffreront entre -0,01% du PIB total et -0,1%, ce qui signifie un coût par tête de -2 à -28,7 dollar US par an. Dans tous les cas, les bénéfices et les coûts sont largement plus importants selon la méthode expérimentale par rapport à l'analyse en données transversales. Mais les bénéfices sont plus élevés dans le cadre de l'analyse ricardienne par rapport au modèle sous forme réduite pour la version de 2000.

Alors que Nordhaus et al. (2000) ont procédé à une étude très riche de par l'étendue des phénomènes inclus dans leur modèle, Nordhaus (2005) se limite à une analyse assez basique qui, à la manière de Mendelson et al. (2000), (2006), mesure uniquement les effets des variations du climat sur le secteur marchand. Cela s'explique en partie par le fait que le principal apport du modèle réside dans l'introduction d'une nouvelle vision géographique pour analyser les impacts du changement climatique. En effet, les résultats sont proposés à la fois en fonction du PIB, de la population, mais aussi selon la surface pour mesurer l'impact en fonction de l'emplacement géographique. Bien que les deux scénarios retenus soient issus du troisième rapport IPCC, ils sont plus catastrophiques que ceux décrits précédemment car ils supposent une augmentation des températures homogène de 3°

⁶ Comme cela a été explicité dans la section 1.1.2.

par rapport au niveau préindustriel, avec, dans le second cas une diminution des précipitations de 15% dans les régions de moyenne latitude (entre les latitudes 20 et 50 au nord et au sud) situées à au moins 500 km des côtes et une augmentation de 7% dans les autres régions.

Les résultats de l'analyse en données transversales montrent un coût global non négligeable à l'horizon 2100, selon les différents scénarios et modes de pondération envisagés. Dans le premier cas ces coûts varient de -0,93% du PIB pour une pondération par la production à -1,73% par la population. En suivant le second scénario climatique, ces pertes s'élèvent à -1,05% et -2,95% respectivement. Cette étude met donc l'accent sur l'urgence dans la mise en place de politiques de régulation et d'adaptation, car alors même qu'une seule fraction de l'économie est considérée, les coûts anticipés atteignent déjà des niveaux peu soutenables pour la plupart des pays du monde.

2.1.2. Introduction du secteur non marchand : résultats plus précis et coûts plus élevés

Dans le cadre d'une étude intermédiaire, plus précise, Tol (2002b.) étend son analyse au secteur non-marchand en tenant compte des effets du changement climatique sur l'écosystème et les maladies et problèmes cardio-vasculaires et respiratoires. Le scénario climatique est issu d'un modèle de circulation générale et la période d'analyse s'étend jusqu'en 2200. La capacité d'adaptation des pays au changement du climat est incluse dans l'analyse.

De cette étude dynamique ressortent des résultats plus ou moins alarmants selon que l'on raisonne en fonction du PIB ou en terme d'équité. Pour une augmentation initiale des températures de 0,5°, le bénéfice global sera de 2,5% ou 0,5% respectivement. Si cette hausse est supérieure à 2°-2,5°, dans le premier cas les pays subiront une diminution notable de ce bénéfice. Cette décroissance interviendra dès 1° supplémentaire dans le second cas. Au delà, les coûts totaux peuvent atteindre les - 2% du PIB.

2.1.3. Les études les plus complètes : prise en compte des événements extrêmes

Les études les plus complètes sont attribuées notamment à Nordhaus et al. (2000) qui sont parmi les premiers économistes à inclure l'influence des événements extrêmes en plus de la prise en compte des secteurs marchands et non marchands dans leur analyse, puis à Stern (2006). Logiquement, les coûts estimés sont beaucoup plus importants que dans le cadre des analyses précédentes.

a. Nordhaus et al. (2000)

Nordhaus et al. (2000) fondent leurs anticipations sur deux scénarios climatiques. Le premier suppose une augmentation des températures de 2,5° en 2100, le second s'applique dans le cas d'événements extrêmes, les températures pouvant progresser de 6° par rapport à la période préindustrielle.

Les résultats du modèle DICE montrent que même sans l'intervention d'événements extrêmes, les pays subiront une perte globale importante liée à l'augmentation des températures. De la même manière que dans les autres analyses, ces dernières sont plus élevées lorsque la pondération est établie en fonction de la population par rapport à la production. Les coûts anticipés sont de -1,88% du PIB et de -1,50% respectivement. Lors de l'introduction des événements extrêmes, ils atteignent des niveaux catastrophiques : -7,12% et -6,94% du PIB selon les deux modes d'agrégation.

b. Stern (2006)

Il est important de souligner l'impact des travaux de Stern (2006) dans la sensibilisation de la communauté internationale au problème du changement climatique. Un des atouts de ce rapport est lié au fait qu'il offre une évaluation chiffrée des coûts futurs de l'évolution du climat, directement destinée aux décideurs politiques. Il met ainsi l'accent sur la nécessité d'intégrer une vision économique au problème de la variation du climat pour convaincre les gouvernements de la nécessité d'adopter, dès à présent, des mesures de prévention et d'adaptation pour limiter certains incidents qui peuvent être en partie évités si les émissions de gaz à effet de serre sont massivement réduites. Il a ouvert la voie à de récentes études économiques (Mendelson et al., 2006), Tol, 2007), qui sont parfois des réactualisations d'analyses plus anciennes, enrichies.

En mettant l'accent sur le rôle primordial du cadre théorique sur lequel repose le modèle, Stern définit ses orientations scientifiques à travers le choix des hypothèses sur lequel est fondée son analyse. Ces dernières sont soumises à des critiques de la part d'auteurs ne partageant pas forcément la même vision des réactions des agents par rapport à leur perception du futur, en ce qui concerne le « prix du temps » notamment (Tol, 2007)⁷. L'analyse de Stern (2006) a l'avantage de s'intégrer dans la littérature empirique sur le thème de l'évaluation des coûts de la variation du climat, en tentant de combler les faiblesses des autres analyses. Ainsi, le modèle d'évaluation intégré mis en place (PAGE2002 (Policy Analysis of the Greenhouse Effect 2002)) inclut le secteur marchand, le secteur non-marchand ainsi que la possibilité d'événements extrêmes.

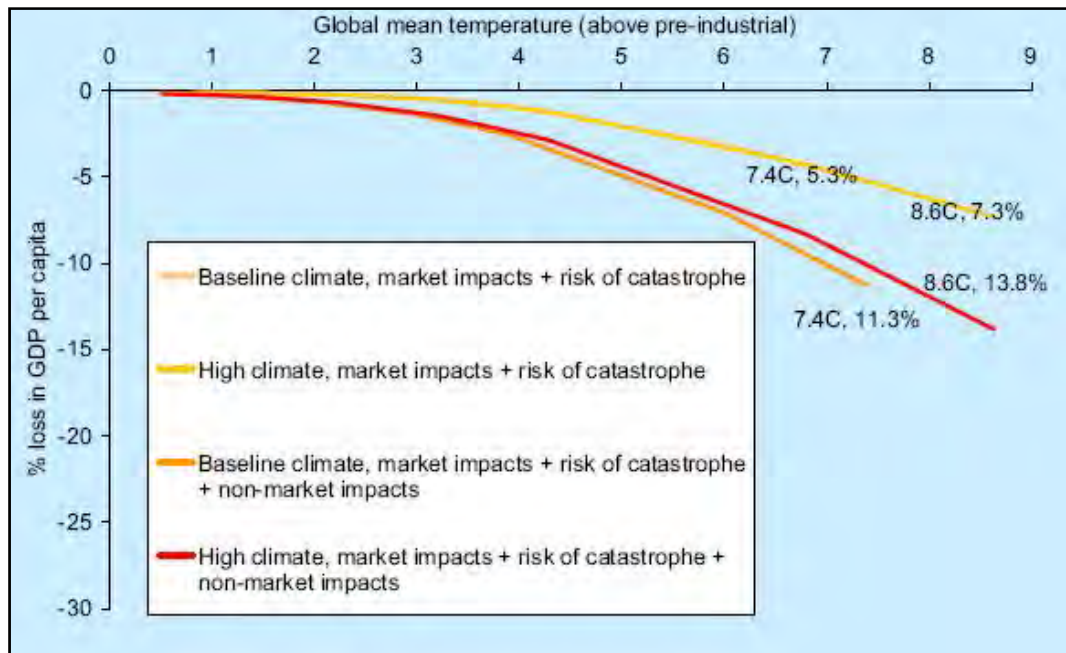
Un des atouts de cette analyse et d'envisager, en plus des coûts sur la production, les impacts en terme de variation du bien-être des agents. Cela revient à déterminer la consommation par tête à chaque période en fonction de la production globale, puis de calculer l'utilité sociale globale. Cette technique demande de justifier un certain nombre de points. Une des difficultés réside dans la comparaison de l'utilité marginale entre les populations les plus riches et les plus pauvres. La seconde passe par l'anticipation de la consommation future et la fixation d'un taux d'actualisation.

Les estimations sont élaborées à partir de deux scénarios climatiques différents. Le premier correspond au scénario A2 présenté dans le cadre du 3ème rapport IPCC qui suppose une augmentation moyenne des températures de 3,9° en 2100, sachant qu'elles varient dans un intervalle de 2,4° à 5,8°. Le second est beaucoup plus alarmant car il est construit en intégrant deux types d'effet amplificateurs liés d'une part à la faiblesse de l'absorption du carbone et d'autre part à l'augmentation de l'émission de méthane naturel. Dans ce cas, l'évolution des températures sera de 2,6° à 6,5°.

Les résultats sont très détaillés et établis selon plusieurs cas de figure :

⁷ Il s'agit d'une référence au débat sur la fixation du taux d'actualisation présenté en page 18

Graphique 1 - Les résultats de l'analyse de Stern (2006)



Source : Stern (2006), p178

Selon le premier scénario climatique, les températures augmenteront de 3,9° en 2100 et de 7,4° en 2200. Cela aura pour conséquence :

- Une perte en termes de PIB par tête relativement faible dans le cas de la prise en compte uniquement du secteur marchand, générant un coût en moyenne de 2,2% en 2200,
- Dès lors que les événements extrêmes sont inclus, ce coût s'élève à 0,2% en 2060, 0,9% en 2100 et 5,3% en 2200,
- Ce coût atteint 11,3% en 2200, lors de l'introduction des impacts non marchands

En suivant le second scénario climatique qui suppose une croissance des températures de 4,3° en 2100 et 8,6° à l'horizon 2200, les effets seront :

- Un coût en termes de PIB par tête de 1,2% en 2100 et de 7,3% en 2200 si seuls le secteur marchand et les événements extrêmes sont retenus.
- L'introduction du secteur non-marchand fait croître ces coûts à 2,9%, et 13,8% pour les mêmes échéances.

Dans tous les cas, les coûts ne se feront fortement ressentir qu'à partir de 2050, compte tenu de la faible variation du climat durant les cinquante premières années.

Les effets sur le bien-être seront très importants. Ils sont calculés en faisant la différence entre la croissance équilibrée de la consommation actualisée et celle qui prend en compte le changement du climat.

Selon le premier scénario climatique, compte tenu de l'évolution du climat entre 2001 et 2200 :

- Les coûts sur le secteur marchand sont estimés, en moyenne, à - 2,1% de consommation par tête courante et future,
- Cette perte de consommation est de - 5 % avec l'introduction des événements extrêmes,

- Elle atteint -10,9% lors de l'inclusion du secteur non-marchand.

Si on se concentre sur le second scénario climatique :

- Les coûts marchands sont de - 2,5% de perte de consommation en moyenne,
- Les coûts marchands et ceux liés aux événements extrêmes sont de -6,9%,
- Les impacts marchands, non marchands et des événements extrêmes rejoignent 14,4% de perte.

Ainsi, quel que soit le mode de pondération retenu, le scénario climatique choisi et l'étendue des secteurs et événements considérés, le rapport Stern montre que le monde va subir un coût non-négligeable dans les années à venir, lié à la variation du climat.

Tableau 2 - Un aperçu des analyses les plus récentes

	Tol (2002)	Nordhaus (2006)	Mendelson <i>et al.</i> (2006)	Stern (2006)
Horizon	2000-2200	2100	2100	2060 ; 2100 ; 2200
Modèle climatique	- +1°	- +3° - +3° et -15% de précipitations à moins de 500km des côtes dans région moyenne latitude et +7% sinon	- de +2,3° à 6,2° - de +11,9 % de précipitations à -10,3%	- Températures : +3,9° - Températures de +2,6 à 6,5°
Pays	9 régions	Pays émergents et industrialisés divisés en territoires	Pays industrialisés et pays émergents divisés en quartile selon leur revenu	Pays industrialisés et pays en développement
Limites	Pas de prise en compte des événements extrêmes	Impact sur le secteur marchand uniquement	Impact sur le secteur marchand uniquement	Impact sur les secteurs marchands et non marchands et prise en compte des événements extrêmes
Résultats Principaux	-Températures : +0,5° +0,5% à +2,5% du PIB global - Températures >+2-2,5° -0,5 à -2% PIB global	- Impact négatif sur l'output de -0,9 à -1,7% du PIB - Impact négatif surtout dans les zones où la densité est la plus forte (-3% du PIB)	- Pour le premier quartile, 1e plus pauvre, le plus vulnérable : de -12 à -24% de leur PIB - Pour le dernier quartile le plus riche : +0,1 à 0,9% de gains	- Perte en terme de PIB/t global : 1,3% en 2060, 5,9% en 2100, 24,4% en 2200 - Perte en termes de Bien être de 10,9% à 14,4%

Source. L'auteur

2.1.4. Le coût d'une unité supplémentaire de CO₂ émis

Les coûts marginaux⁸ estimés sont issus de l'anticipation des coûts totaux. Les travaux de Tol (2005) constituent une référence majeure car ils sont une synthèse des résultats de 28 études sur ce thème (soit 103 estimations), repris par Tol (2007) qui élargit le nombre d'analyses à 48 (soit 210 estimations). Les estimations de ces analyses sont rassemblées dans une fonction de probabilité (Probability Density Function – PDF), en tenant compte des hypothèses inhérentes à chacune d'entre-elles. L'utilisation d'une pondération par l'équité semble influencer largement les résultats, de même que l'adoption d'un taux d'actualisation plus ou moins élevé.

Il ressort de ces analyses un coût marginal, en moyenne, de 104 dollars US. Il est très peu probable que le coût marginal d'une tonne supplémentaire de CO₂ soit nul (2% de chances d'être). Ce coût peut être inférieur à 25 dollars US la tonne supplémentaire selon une probabilité de 54%. Il est très probable qu'il soit moins important que 50 dollars US (68% de chances) et fortement probable qu'il soit plus faible que 100 dollars US (81%). Cette probabilité rejoint les 100% pour un taux

⁸ Une définition précise du coût marginal est proposée dans l'annexe 1.

d'actualisation élevé (3%), sachant que la possibilité pour que le coût marginal soit faible est beaucoup plus importante. En revanche, un taux d'actualisation faible, proche de zéro, augmente la probabilité pour que ce coût marginal soit particulièrement haut, bien au delà de 100 dollars US (la probabilité pour qu'il soit supérieur à 250 dollars US est de 26%). De la même manière, la probabilité pour que le coût marginal soit élevé sera d'autant plus importante dans le cas d'une pondération par l'équité.

Différentes analyses récentes, partant d'hypothèses distinctes, ont démontré que le changement climatique entraînera un coût important pour la société dans son ensemble dans les années à venir. Celui-ci s'intensifiera à partir du siècle prochain. L'objectif de ces études est d'évaluer les pertes futures en unités monétaires, compte tenu de l'incertitude, de manière à sensibiliser les décideurs politiques de la nécessité de l'action. Toutefois, une vision globale reste approximative et demande nécessairement de différencier les effets par régions. Notre intérêt va s'attacher maintenant à souligner les impacts propres à la région Méditerranée à travers ces travaux.

Il faut noter que peu d'études ciblent directement la zone méditerranéenne, préférant une décomposition par continent. Les résultats que nous retiendrons seront alors à la frontière entre les conclusions formulées pour l'Afrique et celles pour le Moyen-Orient.

2.2. Des coûts globalement élevés pour la région Méditerranée

Le coût global estimé est une moyenne des impacts de la variation du climat sur les différentes régions du monde, selon un mode de pondération retenu. En fonction de la situation géographique et économique des pays, les effets seront d'intensité variable. D'une part, l'évolution des températures et des précipitations ne sera pas homogène. Comme le montre le premier chapitre de ce rapport, la région Méditerranée sera particulièrement concernée par une forte augmentation des températures, une diminution des précipitations et une élévation du niveau de la mer. D'autre part, du fait de son niveau de développement intermédiaire et de la spécialisation de sa production dans les secteurs fortement dépendants du climat⁹ (l'agriculture, par exemple mais aussi le tourisme ou encore l'exploitation pétrolière), cette région sera particulièrement vulnérable aux variations du climat, si aucune mesure de prévention et d'adaptation aux risques n'est mise en œuvre (Shérif, 2005).

2.2.1. L'influence de la situation géographique : le désavantage des pays méditerranéens

En ce qui concerne la position géographique, les études climatiques montrent que les régions les plus au sud seront les plus soumises aux variations du climat que les pays du nord. En effet, ces derniers connaissent aujourd'hui des températures faibles et modérées. Même si le réchauffement est plus important dans les moyennes et hautes latitudes par rapport au reste du monde (scénarios A2 et B2, IPCC, 2001), il sera bénéfique pour ces régions dans le sens où il offrira des opportunités nouvelles dans le secteur agricole notamment mais aussi pour le tourisme, l'écosystème, la santé et une épargne d'énergie pour le chauffage alors que la demande de climatisation restera faible.

Au sein même du continent africain, les effets du climat seront différents selon les pays. L'influence de la position géographique sur la situation économique des pays au nord et au sud a été démontrée par Nordhaus (2006). Selon la latitude et la longitude, les chocs exogènes, notamment ceux liés aux

⁹ Les impacts du changement climatique sur la région Méditerranée, selon les différents secteurs de production, seront envisagés dans la seconde partie de ce chapitre.

climats sont de plus ou moins forte amplitude. Ainsi, bien que les résultats de l'auteur soient relativisés par la suite, il souligne le désavantage de l'Afrique concernant l'accès à l'eau potable, la propagation des maladies, la sécurité alimentaire responsable d'une perte de croissance importante et d'inégalités persistantes. Ce désavantage peut s'aggraver car les pays de la zone seront plus rapidement concernés par le changement climatique compte tenu des problèmes actuels déjà liés au climat.

En effet, le nord de l'Afrique, qui est une région relativement chaude va être exposé à un déplacement des étages bioclimatiques vers le nord, ce qui se traduira par une montée des températures et une réduction des précipitations. Si on se réfère aux modèles climatiques élaborés sur la région, on peut anticiper une augmentation des températures de 1° et une diminution pouvant atteindre 10% des précipitations d'ici 2020. Dans le plus long terme, cette situation climatique va s'aggraver avec une hausse anticipée de 3° et de 5° en 2050 et 2100 respectivement, accompagnée d'une baisse des pluies de 20% à 50% pour ces mêmes échéances ((Rousset et al., 2006). Par ailleurs, la fréquence des événements extrêmes (notamment les périodes de sécheresse) va s'intensifier de même que les variations brutales de températures (Nyong, 2006 ; Stern, 2006). Enfin, les zones côtières subiront les conséquences néfastes de la montée de la mer. Les risques d'inondation vont augmenter engendrant une dégradation des infrastructures côtières, la perte de terres cultivables et un déplacement des populations¹⁰ (Nicholls et al., 1999)

Au delà des prévisions proposées par MEDIAS dans le cadre de ce rapport, on peut aussi envisager les estimations d'autres modèles météorologiques concernant cette zone utilisés dans la littérature économique récente étudiant les coûts du changement climatique.

Pour une vision détaillée de l'évolution du climat, Mendelson et al. (2006) font appel à une distinction de la variation des températures et des précipitations par régions selon trois modèles météorologiques, pondérés par la population. Un modèle optimiste (« Panel Climate Model »-PCM, Washington et al., 2000), un modèle pessimiste (« Canadian General Circulation Model »-CGCM , Boer et al., 2000) et un modèle intermédiaire (« Center for Climate Research Studies Model »-CCRS, Emori et al., 1999). En se concentrant sur les continents Afrique et Europe, il ressort de ces modèles une croissance des températures en 2100 de 2,3° (PCM, Afrique) à 6,2° (CGCM, Afrique) par rapport au niveau préindustriel. Sur ce point, tous les modèles s'accordent pour souligner que ces deux continents seront parmi les plus soumis au réchauffement de la planète. En revanche, les modèles divergent en ce qui concerne l'évolution future des précipitations. Alors que dans le meilleur des cas, celles-ci vont augmenter (+11,9 % pour le modèle PCM centré sur l'Afrique), d'autres prévoient un risque de diminution des ressources en eau (-10,3% pour le modèle CGCM, Afrique). Ces différences sont liées à l'incertitude quant à l'évolution du climat et engendrent des écarts importants dans les estimations. Bien que suivant la même évolution, on remarque toutefois que les écarts de températures et de précipitations sont moins prononcés pour l'Europe que pour l'Afrique.

Le continent subit déjà des carences en eau potable. La quantité de ressources en eau est fortement dépendante des variations du climat. Une montée des températures et une diminution des précipitations risquent donc d'avoir des effets catastrophiques sur cette zone, pouvant être un frein à certaines activités économiques et ayant des répercussions sur la croissance et le développement des pays (PNUD-FEM, 1998). Ce phénomène sera de plus amplifié par le fait qu'un niveau de température trop élevé peut affecter la productivité de certains secteurs.

10 Ce point est traité en détail dans la section II.4 (Zones côtières : coûts très élevés liés aux événements extrêmes)

2.2.2. Une vulnérabilité socioéconomique plus forte au Sud qu'au Nord de la Méditerranée

Les pays sud méditerranéens sont parmi ceux pour lesquels le niveau des températures sera le plus élevé et la variation future des précipitations sera la plus importante. Cependant, le principal problème réside dans le fait que, de par le niveau de développement économique intermédiaire et la fragilité de leur environnement, ils sont d'autant plus sensibles aux changements climatiques futurs. En effet, les coûts supportés par les pays sont fonction de la part des secteurs dépendants du climat dans l'économie et de leur capacité d'adaptation aux températures et aux précipitations futures. A titre de comparaison, les pays du nord de la Méditerranée subiront un réchauffement du climat presque équivalent mais dont l'impact économique sera moindre. Tout d'abord, du fait de la spécialisation des économies dans le secteur tertiaire, l'importance des activités économiques sensibles à la variation des températures est relativement faible. En outre, grâce à un niveau de développement économique plus avancé, ces pays disposeront de moyens financiers pour adapter leur économie à la variation du climat et amortir les coûts éventuels des événements extrêmes. La situation au sud est différente.

En premier lieu, parmi les pays du sud de la Méditerranée, nombreux sont ceux qui accèdent au dernier stade de leur transition démographique. La population va donc se multiplier dans les années à venir, décuplant ainsi les besoins en eau et en nourriture. L'augmentation de la population active va changer les modes de consommation ce qui va se traduire par une croissance des besoins en énergie, en infrastructures et en logements. Les villes côtières vont alors exploser ne pouvant plus gérer les flux de migrants en termes de services public et de conditions sanitaires notamment. L'urbanisation massive et précaire se traduira par une prise de risque de plus en plus importante notamment en termes d'exposition au climat des nouveaux lieux d'habitations.

Deuxièmement, les pays sud méditerranéens retirent de nombreuses ressources de la production agricole, très dépendante des conditions climatiques. Les réserves en eau vont diminuer et les besoins augmenter. Interviennent alors des difficultés en termes de sécurité alimentaire responsable du développement d'épidémies. Les pays auront donc de plus en plus recours à l'importation.

Sans politique spécifique, cette dépendance vis-à-vis de l'étranger pourrait s'accroître avec la demande croissante d'énergie. D'une part, on assiste peu à peu à une industrialisation de certains pays et à la croissance du secteur tertiaire dont les besoins en énergie ne vont cesser d'augmenter. D'autre part, le réchauffement du climat va engendrer une demande d'énergie supplémentaire pour la climatisation.

Par ailleurs, leur environnement déjà soumis à des températures élevées est fragilisé, les pertes en termes d'écosystème risquent alors de se faire ressentir. Ce phénomène aura des conséquences sur les populations les plus pauvres qui utilisent les services qu'offre la terre pour vivre (produits de subsistance...) et se traduira par ailleurs par une diminution du tourisme. L'augmentation des inégalités se fera non seulement ressentir à travers le creusement des écarts entre le nord et le sud, mais aussi à l'intérieur même des pays. Les groupes sociaux qui seront les plus touchés sont déjà les plus pauvres (agriculteurs, pêcheurs, populations vivant dans des habitats précaires et dans des zones à risque...) qui ont le moins de ressources financières pour s'adapter au climat et qui demeurent les moins préparés à agir. Au sein même de ces groupes les femmes, les enfants et les personnes âgées seront les plus concernées par ces difficultés (sur ce point, on peut citer comme exemple les effets dévastateurs de la vague de chaleur en Europe en 2003 sur les populations les plus vulnérables).

Mendelson et al. (2006) soulignent l'influence du niveau de développement économique du pays sur le coût lié aux variations du climat. Même pour une évolution du climat identique pour tous les pays, les coûts les plus élevés sont supportés par les plus pauvres, du fait notamment de la large proportion de leur économie sensible aux variations du climat et par leur manque de capacité

d'adaptation. Sur ce point, leurs résultats convergent avec la plupart des auteurs (Tol, 2002b ; Nordhaus et al., 2000 ; Stern, 2006). Toutefois les coûts les plus importants ne seront pas supportés par la région méditerranéenne, mais par les pays d'Afrique centrale et d'Asie du Sud Est

2.2.3. Les principaux résultats pour le sud de la Méditerranée

Etant donné que nous allons procéder à une analyse détaillée des impacts économiques selon les secteurs des pays de la région méditerranéenne dans la deuxième partie de ce rapport, nous allons nous limiter ici aux coûts globaux supportés par la zone.

Malgré leur position géographique, les pays méditerranéens ne sont pas les plus vulnérables aux variations du climat. En tant que pays émergents, ils appartiennent pour la plupart au troisième plus haut quartile en termes de revenu, selon la décomposition des pays en fonction de leur niveau de richesse de Mendelson et al. (2006). Comme le montrent leurs résultats, la plupart des scénarios convergent pour estimer leur perte à -1% du PIB en 2100. Dans le cas des modèles climatiques CCSR et CGCM et de l'étude expérimentale, ces coûts atteignent -2% du PIB. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que seul le secteur marchand est pris en compte dans l'analyse ce qui signifie que ces résultats sont largement sous-estimés.

Il en est de même pour l'analyse de Mendelson et al. (2000). Bien que les auteurs intègrent dans leur étude un paramètre géographique, ils omettent le secteur non-marchand et les événements extrêmes. En effet, ils optent pour une distinction de l'évolution du climat par latitude et longitude selon deux modèles de circulation atmosphérique (University of Illinois, at Urbana-Champaign – UIUC, atmospheric general circulation model). Les pertes estimées pour l'Afrique et le Moyen-Orient sont donc très faibles et souvent même positives. Les bénéfices anticipés sont de 0,28% du PIB pour l'Afrique selon le modèle ricardien à 1,34 pour le Moyen-Orient en suivant le même modèle, pour une augmentation des températures moyennes globales de 2°. Les coûts les plus importants sont de -1,82% du PIB, dans le cadre du modèle sous forme réduite pour l'Afrique.

L'étude de Nordhaus (2006) souffre des mêmes insuffisances mais les résultats permettent de clarifier l'influence de la situation géographique sur l'impact du climat. En effet, même si l'Afrique connaît un désavantage économique non négligeable lié à sa position géographique par rapport aux pays des zones tempérées (la géographie explique 20% des différences dans le PIB des pays), celui-ci est marginal en comparaison des régions à plus faible latitude.

Pour Tol (2002), les effets négatifs de la variation du climat se feront essentiellement ressentir en Afrique et en Europe Centrale et de l'Est. Ils sont évalués en pourcentage du PIB global pour une augmentation des températures moyenne de 1°. Pour l'Afrique, les pertes seront immédiates et s'élèveront à 2% du PIB en 2200. Elles se cumuleront dans le temps. Les coûts subis par l'Europe Centrale et de l'Est seront beaucoup plus élevés et atteindront les 8% du PIB pour la même échéance. Toutefois, durant une première période allant de 2000 à 2050, ces pays verront leurs bénéfices augmenter jusqu'à près de 3% du PIB, pour chuter ensuite de manière considérable. Cela s'explique par le fait que les pays souffriront de pertes très fortes en termes de forêt, d'eau et d'énergie pour répondre à la demande croissante de climatisation notamment.

Dans le cadre des études les plus complètes, Nordhaus et al. (2000) estiment que, pour une augmentation moyenne des températures de 2,5°, l'Afrique connaîtra des pertes s'élevant à 3,91% du PIB du pays, avec dans le cadre des événements extrêmes (et d'une augmentation des températures de 6°), un coût supplémentaire de 2,68% du PIB. Pour les pays de l'Europe de l'Est, ces coûts seront moins élevés atteignant 0,71% du PIB et 3,23% du PIB dans le cas d'événements extrêmes.

Stern (2006) met en avant le fait que dans chacun des deux scénarios climatiques, en tenant compte seulement du secteur marchand ou en introduisant les événements extrêmes et le secteur non marchand, les impacts économiques les plus importants seront supportés par l'Afrique, et le Moyen-Orient, ainsi que l'Inde et l'Asie du Sud Est.

3. CONCLUSION

L'objectif de la première partie de ce chapitre était de revenir sur les principales études économiques globales de l'impact du changement climatique. Du fait des écarts importants entre les résultats des auteurs, il a été nécessaire, avant de les exposer, de mettre l'accent sur l'influence des hypothèses sur lesquelles reposent les différents modèles mis en œuvre dans cette optique. Ces divergences sont liées d'une part à la difficulté de prévoir le futur et d'autre part au fait que les analyses sont complexes, intégrant à la fois une dimension physique, climatique et économique. En effet, les évolutions futures anticipées du climat, de l'environnement et du développement des économies souffrent d'une importante incertitude. Celle-ci est décuplée dès lors que l'on s'intéresse aux interactions entre ces différents domaines d'analyse.

Les études globales de référence dans la littérature empirique récente sur ce thème sont relativement peu nombreuses. Elles sont toutes très différentes du fait d'un cadre d'analyse et d'hypothèses distinctes. Cela influence considérablement leurs résultats. Les analyses les plus optimistes sont celles qui se concentrent uniquement sur les impacts marchands de la variation future du climat. Les études les plus complètes sont les plus alarmantes. Et même si les données fournies par les auteurs le sont à titre indicatif, elles permettent de souligner la nécessité d'intervenir dès à présent pour limiter les effets du changement climatique sur les économies. En effet, les coûts mondiaux futurs estimés peuvent être de 7% (en 2100) à 14% (en 2200) du PIB mondial par tête dans le cadre des études les plus complètes qui prennent en compte les effets du climat et des événements extrêmes à la fois sur les secteurs marchands et non marchands (Nordhaus et al., 2000 ; Stern, 2006)¹¹.

Plusieurs critiques communes peuvent être adressées à ces analyses (Hitz et al., 2004). Certains secteurs dont le poids dans l'économie est important ne sont souvent pas inclus dans l'étude, à cause de la difficulté liée à l'évaluation économique des impacts non marchands. En outre, les interactions entre les secteurs de l'économie sont souvent négligées. Elles multiplient cependant les coûts pour les pays. Les résultats sont alors sous-estimés, y compris lorsque le secteur marchand et non-marchand ainsi que les événements extrêmes sont inclus dans l'analyse. Enfin, les prévisions concernant le développement économique futur des pays ainsi que leur capacité d'adaptation sont envisagées généralement de manière assez superficielle. Sur ce point, les travaux à venir doivent tenter de combler ces lacunes.

La zone méditerranéenne est très peu représentée car elle est au carrefour entre l'Afrique et l'Europe. Les résultats montrent toutefois un coût important pour les pays lié à une augmentation des températures et à une diminution des précipitations dans les années à venir. De par leur situation géographique, ces pays connaissent déjà des températures moyennes élevées et un manque de ressources en eau, ces difficultés seront alors amplifiées dans les décennies à venir, alors que dans les pays plus au nord, les effets néfastes de la variation du climat ne se feront ressentir qu'à un horizon plus lointain (2050). L'ampleur de ces impacts variera en fonction de leur développement économique futur et de leur capacité d'adaptation. Les résultats des études peuvent être alors surestimés car la plupart du temps, elles ne retiennent pas ce paramètre.

Les études les plus précises montrent que la région Moyen-Orient Afrique du Nord sera une des zones les plus touchées par les effets néfastes de la variation du climat (Stern, 2006). Les pertes anticipées d'ici 2100 seront proches de 7% du PIB par tête en moyenne pour l'Afrique et proches de 4% pour l'Europe de l'Est (Nordhaus et al., 2000)¹².

Les coûts régionaux ne sont toutefois qu'une moyenne des impacts entre les pays. Certains seront plus vulnérables que d'autres en fonction de la spécialisation de leur production et de l'exposition des populations les plus pauvres. Cette distinction va faire l'objet de la deuxième partie de ce chapitre.

¹¹ Se référer au tableau récapitulatif de l'annexe 2.

¹² Se référer au tableau récapitulatif de l'annexe 2.

II. L'IMPACT ECONOMIQUE SECTORIEL DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES PAYS DU SUD DE LA MEDITERRANEE

Le coût total pour un pays lié à la variation du climat est la somme des coûts sur chaque secteur marchand et non-marchand de l'économie. Chacun de ces secteurs est soumis à différents types d'exposition qui varient selon les régions, tous dépendants directement ou indirectement du climat (Llewellyn, 2007).

En premier lieu, en fonction de la position géographique du pays, certains secteurs connaîtront une exposition physique à la variation des températures plus ou moins forte. En Méditerranée, les secteurs les plus consommateurs d'eau et exposés aux aléas météorologiques (par exemple l'agriculture ou le tourisme) seront les plus touchés.

Deuxièmement, le Protocole de Kyoto et l'adoption par les pays de politiques de régulation poussent les entreprises à prendre en considération le problème du changement climatique car cela engendre pour elles des coûts supplémentaires. Ainsi, selon que les entreprises qui utilisent ou produisent des biens intensifs en carbone soient implantées dans un pays de l'annexe 1 ou non, qu'elles aient un rayonnement international et des filiales dans différentes régions du monde ou pas, elles seront plus ou moins concernées par les politiques de régulation nationales et internationales.

Troisièmement, ces mêmes firmes qui vont voir leur coût de production croître vont donc chercher à s'adapter, à réorienter leur production. L'objectif sera de mettre en place un processus de production efficient en termes d'utilisation de l'énergie. La concurrence internationale concernant les biens les «plus propres » va donc s'intensifier. Ainsi, les pays qui ne sont pas encore concernés par les politiques de régulation risquent de subir un désavantage sur la scène internationale.

Quatrièmement, celui-ci sera d'autant plus important que certaines firmes de certains secteurs, très polluantes, vont subir une diminution de la demande liée à une mauvaise réputation, dans un monde où les productions intensives en carbone seront de plus en plus condamnées et où le respect de l'environnement sera une condition indispensable. Par conséquent, le secteur de la production d'hydrocarbure, d'une grande importance économique pour plusieurs pays méditerranéens, pourrait être particulièrement impacté dans le moyen terme.

Enfin, selon les secteurs et les pays, les opportunités technologiques ne sont pas les mêmes, certains pouvant bénéficier de progrès récents et de technologie abordables qui facilitent ainsi l'adaptation au changement climatique.

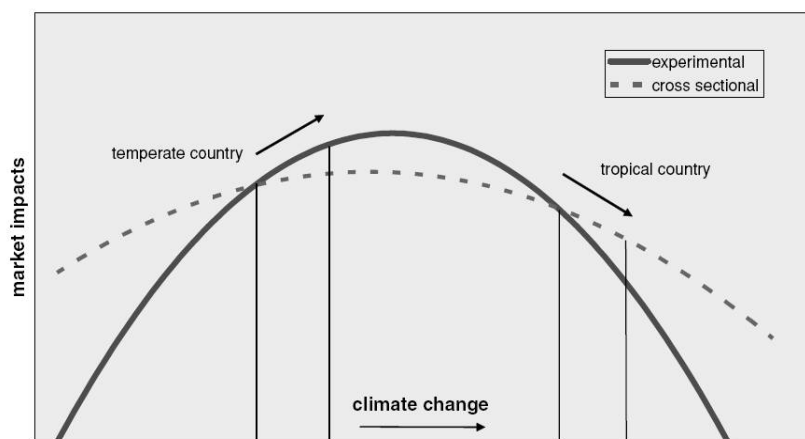
Toutes les firmes, tous les secteurs, dans tous les pays ont donc intérêt à anticiper en prenant en considération, dès aujourd'hui le problème de l'évolution du climat, et à incorporer ce phénomène dans leur processus de production. Cela permettra d'une part de limiter les coûts du changement climatique et d'autre part de se positionner sur des marchés réclamant des modes de production et de consommation à faible intensité carbone et énergétique.

En ce qui concerne les pays méditerranéens du sud, les effets des politiques de régulation internationales n'auront qu'un impact indirect sur leur production, de même que les effets de réputation, hormis pour les pays producteurs de pétrole, mais dans le plus long terme.

Cependant, leur exposition physique pose un problème majeur car, comme nous l'avons vu, ces pays connaissent déjà des températures élevées et des carences en eau, et ces difficultés ne vont cesser de s'intensifier avec la montée des températures et la diminution des précipitations prévues par les différents scénarios climatiques. Si on retient le point de vue selon lequel chaque secteur connaît une

température optimale pour laquelle sa production est maximale, les risques pour la plupart des secteurs de ces pays est de se trouver déjà au delà de ce seuil et que leur bénéfice diminue alors que leur coût ne cesse d'augmenter¹³ (Graphique 2). Cette température varie selon les secteurs et les pays. Dans cette section, nous reprendrons les résultats des auteurs pour chaque secteur.

Graphique 2 - Relation quadratique entre changement climatique et impact



Source. Mendelson et al. (2006)

En fonction de la part de la production de chacun des pays dépendante du climat, les coûts futurs seront très différents selon les économies pour une variation du climat presque identique. Il est donc important, en premier lieu, de comparer la structure de production des pays car le niveau de développement des économies et la répartition de la population sont nécessaires pour appréhender leur degré de vulnérabilité au climat et donc l'impact économique potentiel.

Chacun des secteurs va ensuite être considéré indépendamment des autres. L'objectif est double. Il s'agit d'une part de souligner les causes de leur vulnérabilité au climat et d'autre part d'évaluer les impacts futurs de ses variations, à l'aide de la littérature empirique. Les références sont à la fois des études globales et des analyses ciblées. L'accent est mis en particulier sur les unités utilisées par les auteurs pour évaluer les coûts futurs dans les secteurs marchand et non-marchand.

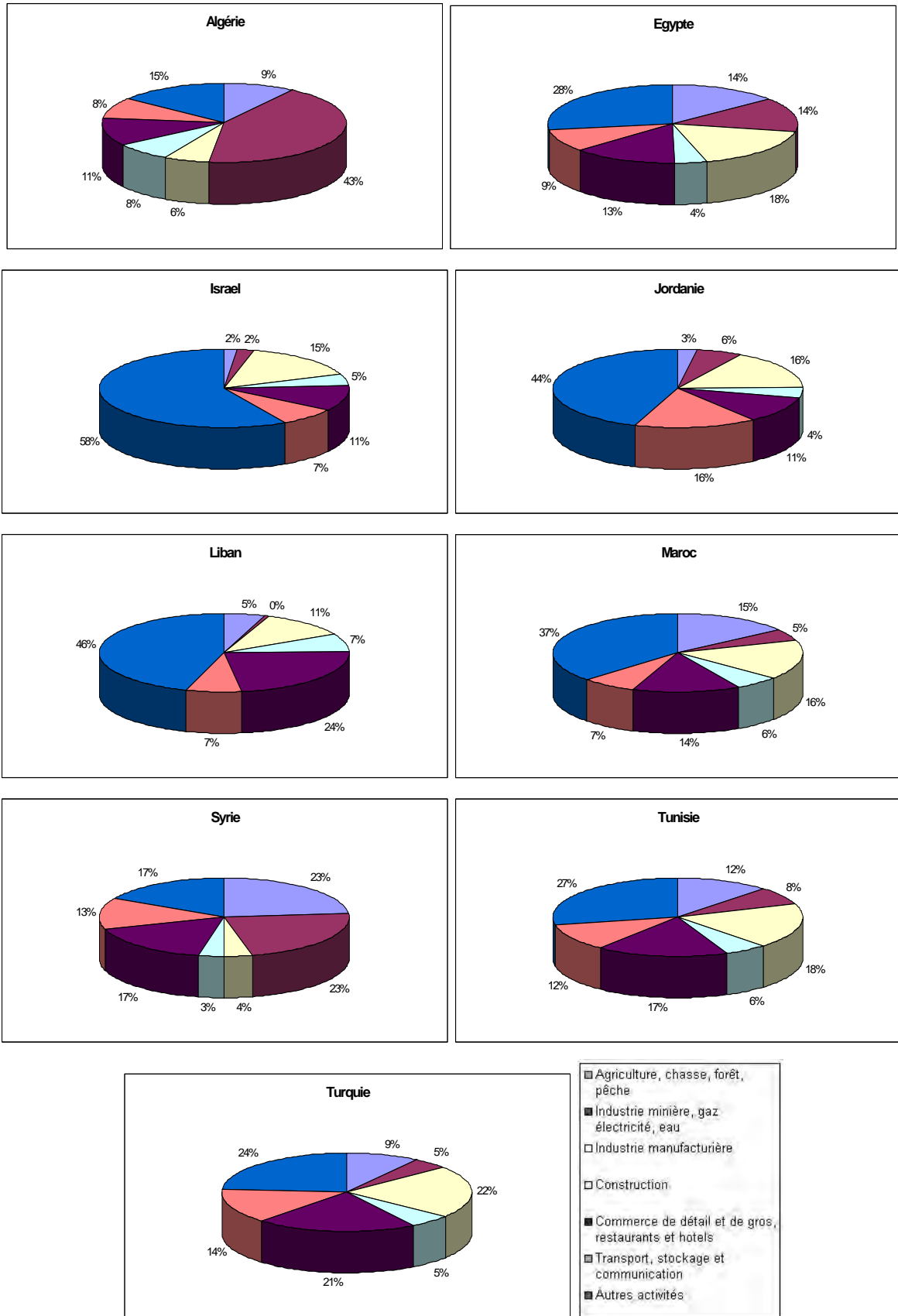
1. STRUCTURE ECONOMIQUE ET VULNERABILITE DES PAYS DE LA ZONE

Avant de se concentrer sur l'impact du changement climatique sur les différents secteurs de l'économie, il est important d'avoir une vision globale de la part de chacun d'eux dans les pays de la zone. La disponibilité des données nous contraint à ne prendre en compte que certains secteurs marchands. Il s'agit de l'agriculture, de l'industrie (dont l'industrie manufacturière), de la construction, du transport, du commerce (voir Graphique 3). Les données sont fournies par la division statistique des Nations Unies¹⁴ pour l'année 2006.

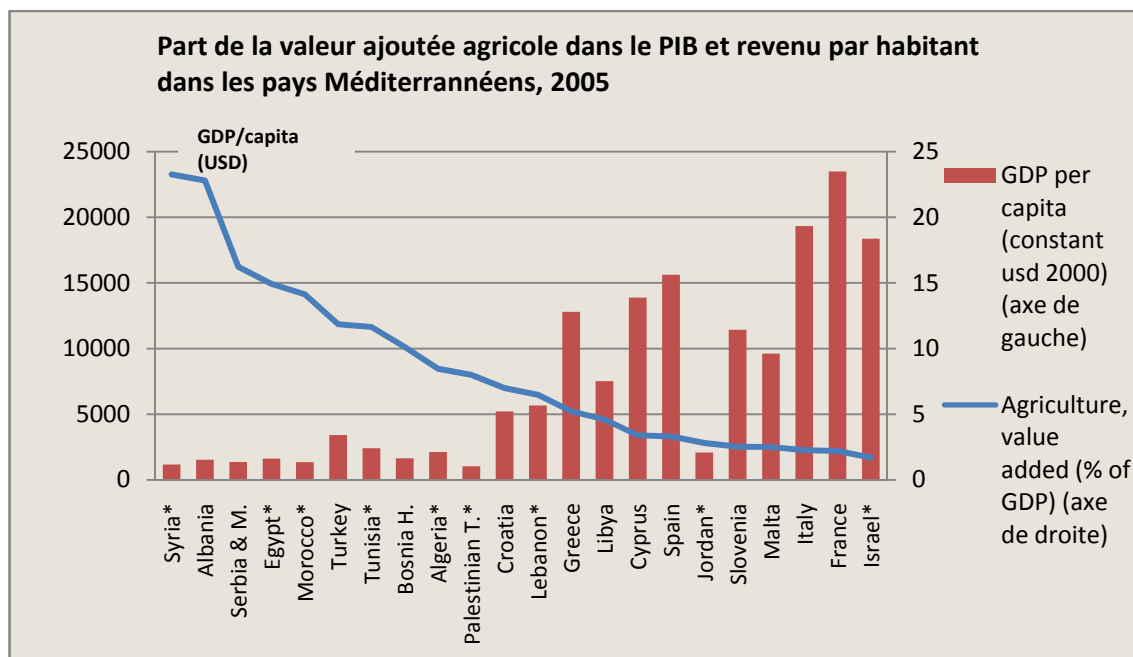
¹³ Pour plus de détails, se référer à l'annexe 1, les modèles « Ricardiens ».

¹⁴ <http://unstats.un.org/unsd/databases.htm>

Graphique 3 - Répartition de la valeur ajoutée par secteurs des économies du sud de la Méditerranée (en pourcentage de la VA totale) en 2006



Source. L'auteur à partir des données des Nations Unies



Source. L'auteur à partir des données des Nations Unies

Les remarques que nous pouvons formuler à partir de ces graphiques sont simplement à titre informatif, et ne permettent pas de développer une analyse de vulnérabilité précise. Tout d'abord, du fait de la non-prise en compte du secteur non-marchand, il est impossible de juger de l'exposition globale de l'économie. Mais aussi, la répartition entre les activités économiques est très peu détaillée, certaines sections regroupant parfois différentes spécialisations distinctes (les transports et la communication par exemple). Enfin, le nombre d'activités tertiaires rassemblées dans la section 'autres activités' est très important ne permettant pas une vision précise du rôle des secteurs public, financier et privé dans chacun des pays respectivement. Par ailleurs, les chiffres utilisés ne reflètent que vaguement la spécialisation des pays dans le sens où l'on considère la valeur ajoutée de chaque activité. En effet, il est possible que le secteur agricole ne produise que peu de revenus, pour une année de mauvaise récolte, mais que sa part relative, en termes de population active par exemple, soit relativement plus importante que dans les autres secteurs (Tableau 3). Enfin, il faudrait prendre en compte le fait que, selon les pays, les secteurs sont d'ores et déjà plus ou moins adaptés à des variations météorologiques importantes (par exemple, la production agricole au Maroc est beaucoup plus dépendante des conditions météorologiques qu'en Egypte).

La Syrie est un pays dont la production est largement concentrée sur le secteur agricole. Sur ce point, la structure de l'économie de ce pays s'oppose à celle d'Israël, de la Jordanie et du Liban pour lesquels la part de la production agricole est extrêmement faible (inférieure à 5% de la valeur ajoutée totale). Pour les autres pays de la région, elle varie entre 9% (pour l'Algérie et la Turquie) et 15% (pour l'Egypte et le Maroc) de la valeur ajoutée totale. Globalement, le secteur agricole n'excède pas le quart de la valeur ajoutée totale pour les pays de la région.

La part de l'industrie (minière, manufacturière, électricité, gaz, eau) est assez importante pour la plupart des pays. Elle est dominante en Algérie où elle représente près de la moitié de la valeur ajoutée totale. De même, au Liban et en Syrie l'industrie manufacturière et minière occupe plus d'un quart de la valeur ajoutée totale. Elle oscille aux environs de 30% pour l'Egypte, la Tunisie et la Turquie. Elle est relativement faible au Liban, en Jordanie et au Maroc.

La construction a un poids constant dans la valeur ajoutée totale de tous les pays de la région, inférieur à 10% mais supérieur à 5%, hormis en Syrie, en Egypte et en Jordanie où sa part est très faible.

Les transports, le stockage et la communication sont des activités assez importantes pour la plupart des pays (Jordanie, Syrie, Tunisie, Turquie) et non négligeables pour les autres. Notons que les transports sont majoritaires, la part du stockage et de la communication étant relativement peu élevée.

Le commerce, la restauration et l'hôtellerie sont des activités dominantes dans les pays où l'économie est plutôt axée sur le développement du tourisme : la Tunisie et la Turquie et d'une certaine manière le Liban et la Syrie où le poids du commerce est dominant. Notons que ce sont les mêmes pays pour lesquels le transport occupe une place importante. Cela s'explique aisément par le fait que ces deux activités sont très liées. La part de ce secteur reste supérieure à 10% dans les autres pays.

Enfin, la part consacrée aux 'autres activités' est très large et concentrée principalement sur le secteur tertiaire. Il s'agit notamment de l'intermédiation financière, de l'immobilier, des services publics (défense, sécurité sociale...), de l'éducation, des services aux personnes et des travailleurs privés indépendants. Il est à déplorer un manque de disponibilité des données concernant la part relative de chacune des composantes de ce secteur. Toutefois, cela nous renseigne, d'une part sur la spécialisation des pays, et d'autre part sur leur niveau de développement. En effet, les pays pour qui ce secteur est dominant par rapport à la production agricole et industrielle ont le même profil que les pays d'Europe de l'Ouest. C'est le cas dans notre échantillon d'Israël qui offre de nombreux services publics et bancaires de bonne qualité, de même que le Liban et la Jordanie. Ce sont aussi les pays pour lesquels la production agricole est la plus faible.

Ces activités sont toutefois largement développées dans les autres pays de la région, car elles correspondent à au moins 15% de la valeur ajoutée totale de chacun d'entre eux.

Tableau 3 -La répartition de la population active dans les différents secteurs de l'économie des pays du Sud de la Méditerranée

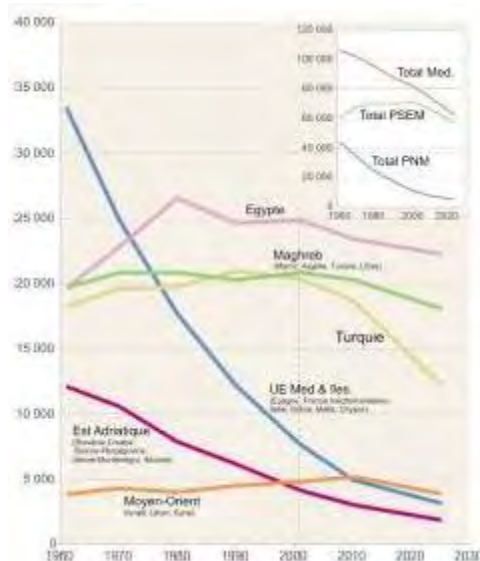
	Agriculture			Industrie			Construction			Services		
	1995	2000	2001	1995	2000	2001	1995	2000	2001	1995	2000	2001
Algérie	17,4	15,7	21,1	13,3	12,6	13,8	13,3	11,7	10,4	56,0	60,0	54,7
Chypre	10,5	5,4	4,9	16,3	14,1	14,0	9,8	10,0	10,0	63,4	70,5	71,1
Egypte	33,4	29,6	..	15,6	13,4	..	6,4	7,9	..	44,6	49,1	..
Israël	2,9	2,2	1,9	20,7	18,0	17,5	7,2	5,3	5,2	69,2	74,5	75,4
Jordanie	6,9	5,5	4,1	15,7	14,5	15,1	10,1	7,3	6,7	67,3	72,7	74,1
Maroc	..	47,1	45,2	..	13,0	12,8	..	6,0	6,4	..	33,8	35,5
Malte	1,7	1,7	2,1	23,2	26,2	24,1	4,6	6,9	7,7	70,5	65,2	66,1
Ter. Pales.	12,7	13,7	12,0	18,0	14,3	14,0	19,2	19,7	14,6	25,6	29,9	34,5
Syrie	28,6	32,0	26,9	17,3	13,1	12,2	12,6	12,4	11,2	41,5	42,5	49,7
Tunisie	21,9	22,1	22,0	21,8	20,5	21,7	13,2	12,7	12,2	43,1	44,7	44,1
Turquie	43,4	34,5	35,4	16,2	18,2	18,3	6,1	6,4	5,3	34,3	40,9	41,0
Moyenne	23,5	25,0	23,8	16,8	14,9	15,4	11,6	10,5	9,5	44,6	46,7	47,7
Moyenne PM	17,9	19,0	17,6	17,8	16,2	16,4	10,3	9,7	9,0	51,6	53,1	54,6
UE-15	5,2	4,3	4,3	21,0	19,5	19,2	7,4	7,2	7,2	66,3	68,9	69,3

Source : Commission européenne, Eurostat, Statistique en Bref 24/2002..

Le tableau ci-dessus montre qu'une grande partie de la population active est concentrée dans le secteur agricole dans la plupart des pays du Sud de la Méditerranée, notamment au Maroc, en Turquie, en Syrie, et en Algérie. Cela correspond aux pays pour lesquels la valeur ajoutée dans le secteur agricole est relativement la plus élevée. Ce sont aussi les pays qui risquent d'être parmi les plus vulnérables à la variation du climat. Une part importante de la société sera donc concernée par les difficultés liées au changement climatique. Dans ce secteur les évolutions depuis 1995 sont

faibles. Cependant, les scénarios prévisionnels anticipent un report de la population active de ce secteur dans les autres secteurs de l'économie (Graphique 4).

Graphique 4 - Population agricole dans les pays Méditerranéens : Évolution et projection



Source. Plan Bleu (2007a)

Par ailleurs, on note une tertiarisation de plus en plus prononcée des économies de la zone (en particulier Israël, la Jordanie et dans une moindre mesure la Tunisie) qui va de pair avec un poids important de ces activités dans la valeur ajoutée totale des pays. Ce secteur sera plus protégé des effets de l'évolution des températures. On anticipe alors un coût plus faible lié au climat futur pour les populations de ces pays.

Enfin, on note que le secteur secondaire est particulièrement efficace car il emploie une faible part de la population de tous les pays mais il contribue majoritairement à la valeur ajoutée totale.

En résumé, la spécialisation de la production des économies de la zone varie d'un pays à l'autre : la Syrie est un pays principalement agricole ; l'Algérie, l'Égypte, la Tunisie et la Turquie ont une production industrielle importante ; Israël, la Jordanie et le Liban sont des pays pour lesquels le secteur tertiaire est très développé. Le Maroc et l'Égypte ont une production qui se répartit de manière assez équitable entre les différents secteurs de l'économie. On remarque en outre la grande proximité entre la structure de l'économie de la Turquie et de la Tunisie. Ainsi, du fait de la disparité entre les pays et les régions d'un même pays, le nord étant souvent plus industrialisé et le sud plus agricole, ainsi que de la part du nombre de personnes employées dans chaque secteur, l'impact du changement climatique ne sera pas uniforme dans la région.

2. L'AGRICULTURE : UN SECTEUR PARTICULIEREMENT SENSIBLE

2.1. Les spécificités des analyses économiques

L'impact du changement climatique sur l'agriculture a fait l'objet de plusieurs études récentes. Les modèles mis en place pour mesurer ces effets sont généralement de type ricardien et étudient la relation entre variation des températures et des précipitations et revenu agricole (Kurukulasuriya et

al., 2006 ; Mendelson et al. 2006). D'après une revue de la littérature sur ce thème, Hitz et al. (2004) ont mis l'accent sur la pertinence de l'application de la courbe en U inversée à ce secteur. Dans les régions où le climat est favorable, une augmentation modérée des températures offre des conditions nouvelles de cultures et de croissance des récoltes. Passé un certain seuil, le manque de ressources en eau et l'augmentation de la saison sèche engendrent des coûts importants pour les cultivateurs.

La fixation de ce seuil de température varie selon les auteurs. Pour Mendelson et al. (2000) la température optimale pour le secteur agricole est de 14,2° selon le modèle Ricardien et de 11,7° pour le modèle sous forme réduite (avec des précipitations de 10,8 cm/mo). Tol (2002b) estime ce seuil à +3° par rapport au niveau de 1990 pour l'Afrique et +3,08° pour le Moyen-Orient.

Les indicateurs retenus dans l'équation quadratique peuvent être de différente nature. Il peut s'agir du revenu ou du profit net des agriculteurs (Mendelson et al., 2000 ; Kurukulasuriya et al., 2006), du nombre de personnes pouvant être soumises à la famine (Rosenzweig et al., 1995 ; Fisher et al., 2002), de la productivité de la terre (Darwin et al., 1995), de la production agricole totale (Tol, 2002b) ou même d'un indicateur composite retenant à la fois du revenu des agriculteurs et la part de la production agricole dans le PIB total (Nordhaus et al., 2000).

En ce qui concerne les analyses globales et ciblées, les pertes en termes de PIB dans le secteur agricole varient selon les hypothèses retenues. Dans le cas des analyses globales, les résultats sont souvent l'extension des données obtenues pour les Etats-Unis (Mendelson et al., 2000). De même, beaucoup d'études utilisent l'analyse de Darwin et al. (1995) en tant que référence. Celle-ci estime les effets d'un changement du climat par régions mais se concentre essentiellement sur les Etats-Unis, le Japon, L'Europe et la Chine, les autres zones étant regroupées dans la section « reste du monde ».

Un des facteurs pouvant expliquer les divergences entre les résultats est lié au fait que certaines analyses introduisent dans leur étude les effets bénéfiques d'une concentration de CO₂ supplémentaire dans l'atmosphère (Rosenzweig et al., 1995 ; Mendelson et al., 2000 ; Nordhaus et al., 2000) alors que d'autres non (Fisher et al., 2002 ; Kurukulasuriya et al., 2006). En effet, une concentration supplémentaire de CO₂, peut avoir un impact positif sur certaines cultures en stimulant leur croissance et réduisant leurs besoins en eau. Il semble cependant qu'on ait tendance à surestimer cet effet physiologique et qu'il soit saturé au-delà de 700ppm.

Par ailleurs, certaines études considèrent la capacité d'adaptation des pays (Mendelson et al., 2000 ; Tol, 2002b). Mais cela suppose soit d'envisager une période longue permettant aux agriculteurs de varier leur production (utilisation de nouvelles semences, plantation, croissance des cultures, récoltes...). Dans ce cas, l'adaptation suit la variation des températures. Soit, de poser l'hypothèse selon laquelle l'agriculture répond rapidement au climat, avec l'extension de nouvelles cultures, plus adaptées. Dans ce cas, l'adaptation se fait en parallèle avec la variation du climat (Mendelson et al., 2000).

2.2. L'agriculture dans le sud de la Méditerranée

Le principal problème rencontré par les agriculteurs déjà aujourd'hui mais qui va s'accroître dans les années à venir est lié aux pénuries d'eau (Plan Bleu, 2007b). Les pertes en termes de ressources en eau à la suite d'une augmentation des températures de 1° peuvent s'élever à 2 millions de dollars US en Afrique et 1 million de dollars US au Moyen-Orient (Tol, 2002b). L'agriculture est une grande consommatrice d'eau : 61% des ressources en eau sont utilisées en moyenne pour les cultures (notamment au sud de la région), 28% par l'industrie (manufacturière, pour la production d'électricité au nord en particulier...) et 11% par les ménages (Plan Bleu, 2007b). Ces différences entre les régions du nord et du sud viennent d'une part de la spécialisation des régions et de leur

niveau de développement économique (le nord étant plus industrialisé que le sud plus agricole et plus exposé aux températures élevées) et d'autre part de la concentration des populations dans les villes côtières.

Tableau 4 - Quantités d'eau utilisées actuellement dans le bassin Méditerranéen

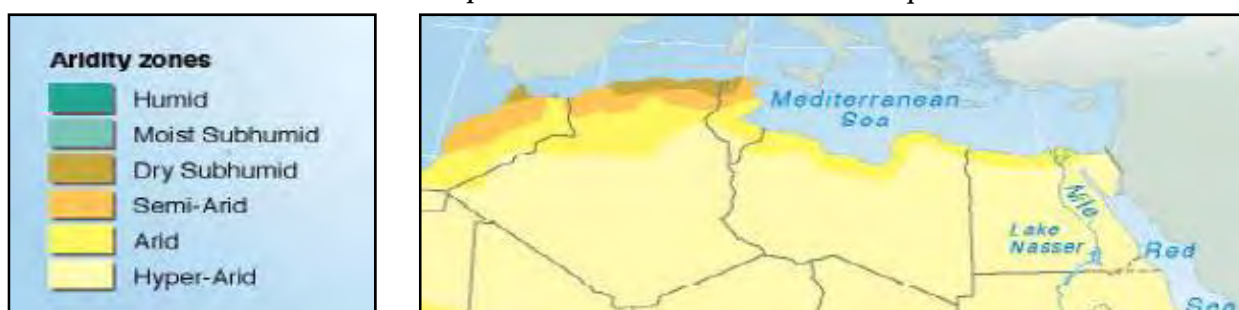
Sous-régions (dans le bassin méditerranéen)	Volume d'eau utilisée par secteur (km ³ /an)				Total km ³ /an
	Collectivités	Agriculture	Industrie non raccordées	Centrales thermiques km ³ /an	
Nord	10	29,6	10,4	21,6	71,6
Est	3,1	10,1	1,2	0	14,4
Sud	3,4	54,1*	8	0,2	65,7
Total	16,5	93,8	19,6	21,8	151,7
%	10,6	61,8	12,9	14,4	100

Source. Plan Bleu 2007

Dans la région, non seulement les précipitations vont diminuer, nous l'avons vu, mais des variations vont se faire ressentir au sein d'une même année. Ainsi, dès lors que les pluies vont se concentrer sur une courte période et non s'étendre sur toute l'année, les pertes vont se multiplier du fait notamment d'un manque d'infrastructures permettant de stocker les excédents pour subvenir aux besoins futurs et des effets néfastes liés à des excédents d'eau ponctuels (inondations, perte de récoltes...). Par conséquent, si une production est fragilisée durant une période critique de son cycle, les récoltes peuvent diminuer largement. De plus, la qualité du sol va être altérée, réduisant ainsi sa fertilité (ISVA, 2002).

La surface allouée à l'agriculture va diminuer au profit de l'expansion des zones arides et semi-arides. Près de 250 millions de personnes pourraient souffrir d'un manque d'eau en Afrique d'ici 2020. Le rendement des cultures alimentées par la pluie pourrait se réduire de 50% d'ici 2020, engendrant alors des problèmes de sécurité alimentaire, de malnutrition et d'épidémies dans la région (IPCC, 2001). On peut anticiper une diminution des rendements de 10% à 50% au Maroc en 2020, pour les cultures nécessitant d'importantes ressources en eau et de 5% à 14% des rendements moyens en Algérie pour la même échéance (Rousset et al., 2006). En effet, les impacts seront d'autant plus élevés que les populations les plus pauvres habitent en milieu rural et se nourrissent de leurs récoltes. Dans la région MENA, l'agriculture ne répond déjà qu'à seulement la moitié des besoins de ces personnes (World Bank, 2005). Les difficultés à se nourrir seront, de plus, exacerbées par la diminution des ressources de pêche à la suite de l'augmentation des températures et de la surpêche (ISVA, 2002).

Schéma 1 - Répartition des zones arides du nord de l'Afrique



Source. World Meteorological Organization (WMO), United Nations Environment Programme (UNEP), *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Source. Nyong (2006)

2.3. Les coûts anticipés pour les pays du sud de la Méditerranée

Il ressort de la majorité des analyses, des bénéfices croissants dans le secteur agricole pour les pays du nord pour une augmentation faible des températures (jusqu'à 3° généralement) et un coût important et immédiat pour la région méditerranéenne. Pour les études les moins alarmantes ces pertes restent marginales.

Nordhaus et al.(2000) estiment à 0,06% de perte pour l'Afrique et à 0,58% pour les pays d'Europe de l'Est pour un doublement de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère correspondant à une augmentation des températures de 2,5°. Ces différences entre les deux régions viennent essentiellement de la part de l'agriculture dans la production totale des pays.

Pour Tol (2002) les pays Africain connaîtront une augmentation de 0,18% de produit agricole brut pour une croissance des températures de 1° seulement qui sera de 0,23% pour les pays du Moyen-Orient.

Mendelson et al. (2000) aboutissent à des résultats très variés. En fonction du modèle retenu, leurs estimations passent d'un bénéfice supplémentaire de 11 milliards de dollars US pour les pays d'Afrique et de 80 milliards de dollars US pour les pays du Moyen-Orient à une perte de 137 milliards de dollars US et un gain de 37 milliards de dollars US pour les mêmes pays respectivement, à la suite d'une croissance des températures de 2°. La disparité dans ces résultats vient non seulement du modèle mais aussi du fait qu'ils sont fondés sur des extrapolations de conclusions formulées pour les Etats-Unis, ce qui donne des chiffres très approximatifs.

Dans la plupart des cas, les coûts pour les pays de la zone sont importants. Fisher et al. (2002) estiment ces pertes de 2% à 9% pour l'Afrique. En Afrique du Nord, ces pertes seront surtout supportées par l'Algérie, la Tunisie et le Maroc. En Europe de l'Est, malgré une diminution des terres cultivables (de -0,2% à -5,9% de la surface agricole totale), la valeur ajoutée dans la production totale des pays se maintiendra à un niveau proche de celui d'aujourd'hui.

Stern (2006) met l'accent sur le fait qu'une augmentation des températures de 2° peut engendrer une diminution de la production mondiale de céréales de 5%. Cet impact est décuplé dans la région MENA où cette production peut se réduire de 15% à 35% selon l'effet réel de fertilisation du CO₂ supplémentaire dans l'atmosphère.

Il est cependant nécessaire de distinguer l'impact du changement climatique selon différents types de cultures. Les effets du climat ne seront pas les mêmes sur le bétail, sur les cultures irriguées et sur les cultures sèches. Kurukulasuriya et al., (2006) estiment qu'en Afrique, pour une augmentation des températures de 1°, les pertes de revenus seront de 27\$ par hectare pour les récoltes sèches, de 379\$ par ferme pour le bétail alors que les cultures irriguées connaîtront un gain de 30\$ par hectare. En effet, pour ces dernières, une augmentation des températures sera bénéfique pour les pays du Nord de l'Afrique, où le climat est plus modéré, mais engendrera des coûts supplémentaires pour les régions plus au sud, plus chaudes. Les effets sur les cultures sèches se feront ressentir immédiatement. Dans le long terme, les effets globaux dépendront des précipitations. Dans le cas où les pluies s'intensifient tout au long de l'année, toutes les exploitations en déduiront un bénéfice. Dans le cas inverse, seules les cultures irriguées, qui ne souffriront pas de pénurie d'eau résisteront aux variations du climat.

Toutefois, ces conclusions optimistes quant à la situation des cultures irriguées doivent être relativisées. En effet, les besoins en eau pour ce type d'agriculture vont aussi augmenter à cause d'une concentration des pluies sur certaines périodes et donc d'épisodes de sécheresse de plus en plus fréquents, ainsi que du fait de l'augmentation de l'évapotranspiration liée au réchauffement du climat pouvant perturber le cycle de production (Rousset et al., 2006)

L'interdépendance entre les secteurs peut alourdir encore l'impact négatif du changement climatique. La baisse des ressources en eau peut accentuer la réduction de la production agricole. Ce phénomène sera à l'origine d'une décroissance des salaires et de l'emploi des populations les plus pauvres pour qui l'agriculture est la principale source de revenu. Cela peut engendrer des effets catastrophiques en termes de sécurité alimentaire et de développement des épidémies, responsables de la diminution de l'espérance de vie des populations les plus vulnérables avec notamment une augmentation de la mortalité infantile. Il s'en suivra dans un premier temps, un déplacement des campagnes vers les villes déjà surpeuplées. Les besoins d'infrastructures, de service public et de logement augmenteront donc dans les espaces urbains. Puis, dans le plus long terme, les populations migreront vers des régions plus au nord dans les villes côtières déjà très fragilisées.

3. ENERGIE ET INDUSTRIE

Le secteur de l'industrie va être sérieusement concerné par le changement climatique. Le premier impacté sera le secteur de l'énergie. Le changement climatique aura des effets aussi bien du côté de l'offre (la production) que de la demande d'énergie.

3.1. Variation de la demande d'énergie

3.1.1. Les spécificités des analyses économiques

Si on se place du côté de la demande, l'augmentation des températures aura pour effet, une diminution de la demande d'énergie pour se chauffer, mais une augmentation des besoins en climatisation pendant la saison d'été. Plus on descend vers le sud, plus ces variations seront marquées. Toutefois, il est difficile de définir précisément qu'elle est la relation entre le changement climatique et la variation de la demande d'énergie (Hitz et al., 2004).

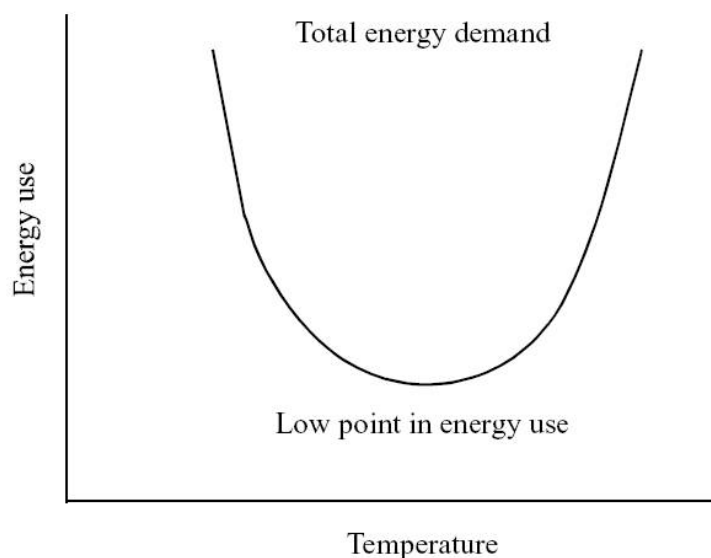
De la même manière que dans le cas du secteur agricole, certains auteurs défendent l'idée selon laquelle, il existe une température optimale pour laquelle la demande d'énergie est la plus faible (Mendelson et al., 2000). Il s'agit alors de comparer la variation des températures et les dépenses en énergie pour connaître ce seuil. La représentation graphique de la demande prend la forme d'une courbe en U inversée avec sur la partie croissante une augmentation des bénéfices et sur la partie décroissante, au-delà du maximum, une diminution des bénéfices et un accroissement des pertes. Cela s'explique du fait que, dans la partie ascendante de la courbe, l'augmentation des températures engendre une diminution de l'utilisation du chauffage supérieure à l'augmentation de la demande de climatisation, à l'origine d'une réduction des coûts pour le pays. Dans la partie descendante, cette relation s'inverse et entraîne une augmentation des coûts de production. Selon la même logique que précédemment, ce sont les pays ayant à l'origine le climat le plus tempéré qui seront les principaux bénéficiaires. La température moyenne optimale est fixée à 8,6° pour Mendelson et al. (2000) dans le cadre du modèle ricardien et 10° selon le modèle sous forme réduite.

Toutefois, lorsque sont dissociés les besoins en chaleur et ceux en fraîcheur, il existe une relation linéaire entre la variation des températures et la demande d'énergie pour le chauffage (relation décroissante) et pour la climatisation (relation croissante) qui varie en fonction de la population totale, du revenu moyen et du niveau de développement technologique du pays. Il s'agit alors de fixer la valeur de l'élasticité du revenu à la demande. Dans le cas des pays industrialisés, cette

élasticité tend vers zéro. En revanche, dans les pays émergents elle est plus proche de 1 du fait d'une plus forte sensibilité au revenu.

Plus synthétiquement, les économistes émettent l'hypothèse que la demande d'énergie diminue avec le réchauffement des températures jusqu'à un certain seuil, difficile à définir, à partir duquel la demande de climatisation se substitue à la demande de chauffage (Graphique 5). Mais pour mettre en évidence un tel phénomène, il est nécessaire de se placer dans un scénario climatique sur le long terme, pour que la variation du climat soit suffisante pour engendrer une variation de la demande d'énergie prononcée (Hitz et al., 2004).

Graphique 5 - Variation de la demande d'énergie en fonction de la variation des températures



Source. Hitz et al. (2004)

L'indicateur représentant la demande d'énergie peut prendre différentes formes. Les dépenses totales en énergie des secteurs commercial et résidentiel peuvent être retenues (Mendelson et al., 2000), de même que les dépenses en chauffage ou en climatisation uniquement, ou la somme des deux (Tol, 2002b). Or, à cause du manque de disponibilité de ce type de données, pour déterminer la demande d'énergie par pays ou par région, les auteurs choisissent, le plus souvent, d'extrapoler les résultats obtenus grâce à des études ciblées sur des pays du nord (Mendelson et al., 2000 ; Tol, 2002b). Pour éviter de trop gros écarts par rapport à la réalité, le niveau des paramètres du modèle est adapté au profil du pays.

3.1.2. Les effets du changement climatique sur la consommation d'énergie dans le sud de la Méditerranée

La consommation d'énergie primaire dans les PSEM est en très forte augmentation. Elle a progressé de 68% entre 1990 et 2005 et pourrait doubler entre 2005 et 2020 (OME/Plan Bleu, 2006). La part des PSEM dans la consommation totale d'énergie du bassin méditerranéen (rive Nord et rive Sud) passerait dans ce cas, de 28% en 2005 à 40% en 2020.

La croissance de la demande dans les PSEM répond aux besoins liés au développement économique des pays et à l'augmentation de la population dont le niveau de vie et les habitudes de consommation changent (urbanisation, transport, confort...). La population des PSEM s'accroîtrait de 64 millions d'habitants entre 2005 et 2020. La demande d'électricité qui a été multipliée par 4 entre 1980 et 2000 dans les PSEM, pourrait donc être multipliée par 3 entre 2000 et 2025.

La demande d'énergie est en partie déterminée par l'évolution des températures. Ainsi, bien qu'il soit très difficile de distinguer l'influence du changement climatique dans la hausse totale de la consommation d'énergie, il semble que le réchauffement du climat pourrait avoir pour conséquence une accélération de la croissance de la demande d'énergie en Méditerranée, en particulier l'été. Cela pourrait être lié, par exemple, à la croissance accrue de la demande de climatisation pour le secteur résidentiel, les bâtiments commerciaux et les véhicules. A Malte, la demande d'électricité est d'ores et déjà devenue plus importante en été qu'en hiver suite, notamment, à la pénétration de nouveaux équipements, en particulier la climatisation (Plan Bleu, 2007). En hiver, la demande d'énergie pour le chauffage pourrait être moins forte¹⁵. De même, une réduction des besoins en énergies pour le chauffage est observée en Grèce (Giannakopoulos et al., 2006).

Les besoins en énergie pour le traitement de l'eau pourraient également être un facteur important de l'accélération de la croissance de la demande totale. En effet, le changement climatique accroît le processus de pénurie d'eau. Plusieurs pays ont déjà recours au dessalement (Chypre, Israël, Malte...). Certains pays du Sud (par exemple la Libye) annoncent ce facteur comme étant déterminant de la croissance future des besoins en énergie. De même, le traitement des eaux usées, l'irrigation ou encore les transferts d'eau vont accentuer ce phénomène.

Dans tous les cas les événements extrêmes de type canicule, comme observés en 2003 en Europe, sont susceptibles d'engendrer des pics de consommation très élevés.

3.1.3. Les coûts anticipés pour les pays du sud de la Méditerranée

Les principaux résultats de la littérature économique empirique sur la région du sud de la Méditerranée, soulignent un coût non négligeable en terme de demande supplémentaire d'énergie à la suite de la variation du climat. Cela s'explique, dans une certaine mesure, par le fait que les pays ont déjà dépassé le seuil à partir duquel la demande pour la climatisation ne va cesser de croître avec des températures annuelles moyennes supérieures à 24° pour l'Afrique et entre 8° et 9° pour l'Europe de l'Est. Ces pertes sont de -3 milliards de dollars US pour l'Afrique et de -8 milliards de dollars pour le Moyen Orient, selon le modèle ricardien, pour une augmentation des températures de 2°. Elles s'élèvent à -7 et -17 milliards respectivement selon le modèle sous forme réduite.

Pour Tol (2002b), dont l'analyse se fonde sur un scénario climatique plus optimiste (+1° en moyenne), les pays du Moyen-Orient tirent des bénéfices à hauteur de 8 millions de dollars US des économies de chauffage qui viennent largement compenser les pertes de -1 million de dollars liées à la demande de climatisation. Pour le continent Africain, il n'y a pas de profit supplémentaire mais uniquement des pertes de -5 millions de dollars pour une demande croissante de climatisation.

En résumé, malgré les diminutions potentielles de consommation d'énergie pour se chauffer, la hausse nécessaire pour la climatisation sera certainement supérieure (Report from the Eu project « Climate change and employment », 2007). Quel que soit le bilan net, les scénarios tendanciels soulignent le fait que la demande d'énergie primaire va doubler en Méditerranée d'ici 2025 (Plan Bleu, 2005), ce qui va engendrer un coût important pour les pays, nécessitant indéniablement une augmentation de l'offre.

3.2. Les effets du changement climatique sur l'offre d'énergie

Du côté de l'offre, le changement climatique peut avoir des effets économiques directs (par exemple sur les infrastructures, la production ou les ressources renouvelables) ou bien indirects, à travers les

¹⁵ ...

évolutions des prix au niveau international (et donc des factures énergétiques) liées aux politiques énergétiques aussi bien des pays méditerranéens que des pays hors de zone.

La variation de l'offre suit d'une part l'augmentation de la demande et d'autre part est contrainte par les aléas climatiques (notamment pour les ressources renouvelables et les infrastructures) et par les politiques de régulation visant à limiter des productions émettrices de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (ce qui touche en particulier le secteur des hydrocarbures : le charbon, le pétrole, le gaz).

La région méditerranéenne concentre à elle seule l'ensemble des problématiques énergétiques mondiales : croissance de la dépendance énergétique (pour les pays importateurs), croissance de la demande d'énergie et d'infrastructures (en particulier d'électricité), problématiques liées à la production d'hydrocarbures (pour les pays exportateurs : Algérie, Libye, Egypte, Syrie). Ainsi, quels que soient les effets possibles (directs ou indirects) du changement climatique, la région sera touchée.

En 2005, les énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz) représentent 95% de l'approvisionnement énergétique des PSEM. Pour répondre aux exigences grandissantes des pays du sud de la Méditerranée, on anticipe une augmentation de la production d'énergie primaire en particulier en Algérie, en Egypte et en Syrie. Celle-ci peut presque doubler d'ici 2025 grâce principalement aux ressources des pays en pétrole et en gaz naturel (Plan Bleu, 2005).

Dans ce contexte, l'accélération de la demande en énergie liée au changement climatique pourrait se traduire par une tendance à l'alourdissement du déficit commercial pour les pays importateurs¹⁶ (déjà creusé par la diminution anticipée de la production agricole et de l'augmentation du prix des énergies fossiles, en particulier du pétrole). Toutes les industries ne sont cependant pas touchées avec la même intensité par les variations de prix de l'énergie (Tableau 5)¹⁷. Cette tendance va s'intensifier avec le changement climatique et la croissance des événements extrêmes. L'exemple d'un record du prix du baril du pétrole à 83\$ atteint en octobre 2007 et expliqué en partie du fait de l'anticipation d'un ouragan tropical sur le golfe du Mexique pouvant endommager les infrastructures pétrolières, montre la sensibilité du prix du pétrole au climat.

La situation va s'aggraver dans le plus long terme avec l'épuisement des ressources énergétiques fossiles et le détournement de la demande internationale vers des énergies moins chères et moins polluantes. La concurrence internationale se fera aux dépens des pays exportateurs de pétrole. Comme le prix courant des ressources fossiles épuisables contient un élément de rente significatif, en particulier pour le pétrole et le gaz naturel, il existe un risque que le prix des énergies fossiles s'effondre en réponse à un renforcement des politiques de changement climatique, ce qui pourrait par conséquent miner leur efficacité (Stern, 2006).

Les politiques de changement climatique mises en place aujourd'hui par les pays développés consommateurs, en particulier l'UE, sont une préoccupation importante des compagnies pétrolières nationales, car elles ont un effet anticipé négatif sur la consommation de pétrole et sur l'utilisation future des produits pétroliers¹⁸. Les pertes financières pour les compagnies pétrolières nationales de la diminution de la croissance de la consommation de pétrole¹⁹ pourraient s'élever à 210 et 265 milliards d'US Dollars sur la période 2005-2015, pour un baril à 60 US Dollars. De plus, le manque de certitude concernant la demande future, décourage les investissements, ce qui peut avoir un impact négatif sur la sécurité avec des risques similaires dans les secteurs produisant des biens

16 Ou qui vont le devenir à court ou moyen terme pour certains types d'énergie fossile (cas de l'Egypte).

17 La date du 'pick oil' (moment où la production de pétrole commencera à décroître) fait aujourd'hui l'objet de débat entre experts.

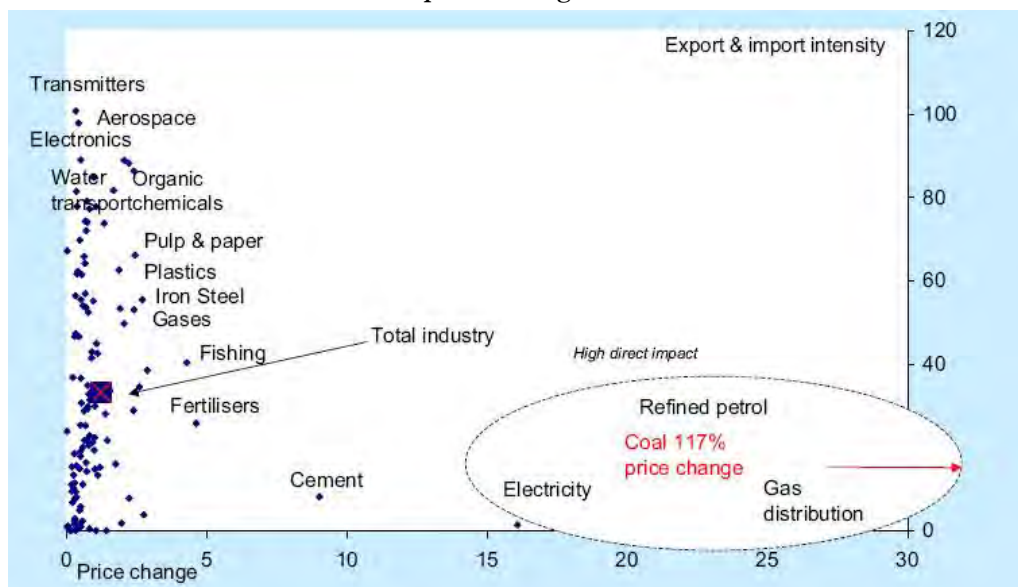
18 "The impact of climate change policies on national oil companies", rapport établi par l'Environmental Committee of the National Oil Company forum, 2007

19 Le rapport part de l'hypothèse selon laquelle malgré les politiques climatiques, la consommation de pétrole augmente de 2% par an.

dérivés du pétrole. L'ensemble combiné de ces effets pourrait réduire la consommation future et le prix du pétrole.

Ce sont donc les pays qui produisent de l'électricité à partir d'énergie non fossile et du gaz, dont les prix varieront de manière moins prononcée, qui seront les moins vulnérables aux effets indirects du changement climatique futur et les plus à même de répondre à la demande domestique supplémentaire d'énergie (Stern, 2006).

Tableau 5 - Variation du prix de l'énergie et sensibilité des industries



Source. Stern (2006)

3.2.1. Effets directs du changement climatique sur les infrastructures et la production d'électricité

L'équipement des pays méditerranéens du Sud en infrastructures énergétiques de base est encore largement insuffisant pour répondre à la demande future. En effet, en 2005, plus de 9 millions de personnes situées dans la région Méditerranée en particulier en Syrie, en Egypte et au Maroc n'avaient pas accès à l'électricité (Plan Bleu, 2006).

Le changement climatique affecte directement les conditions et le potentiel de la production d'électricité. En outre, les événements extrêmes impactant les infrastructures peuvent largement altérer la production et la distribution d'énergie.

Le changement climatique affectera la production hydroélectrique de deux façons. En premier lieu par la diminution des précipitations, en second lieu par la hausse de l'évaporation de l'eau des lacs due à l'augmentation des températures. Par exemple, en 2005, les précipitations en Espagne ont été inférieures à la normale pour la deuxième année consécutive, ce qui a considérablement réduit les capacités hydrauliques disponibles. Le taux moyen de remplissage est passé sous la barre des 50% pour la première fois depuis 1995 ce qui a pour conséquence une réduction de 34% de la production hydroélectrique entre 2004 et 2005²⁰. Parmi les PSEM, cette source de production d'électricité est particulièrement importante au Maroc, en Tunisie, en Egypte, au Liban, en Syrie et en Turquie.

²⁰ En 2005, la baisse de production hydroélectrique a été partiellement compensée par la production d'origine éolienne, les importations (+26%) et la production des centrales thermiques classiques (+17%).

Le changement dans les régimes de vent peut également affecter la production d'énergie éolienne. De même, la hausse des températures²¹ peut gêner le refroidissement des centrales. A plus long terme, la montée du niveau de la mer peut avoir un impact néfaste sur les activités côtières liées au raffinage et au transport d'énergie (en particulier d'hydrocarbures). En outre, les conditions climatiques peuvent entraver le bon fonctionnement logistique de certaines activités d'extraction ou de transport d'énergie (routier, maritime, pipeline...).

Par ailleurs, les dégradations des infrastructures liées aux événements météorologiques extrêmes augmentent : risques d'interruptions de production ou distribution, accidents, vieillissement accéléré.

Ainsi, d'un point de vue économique, le coût du changement climatique prendra la forme d'une mauvaise allocation de capital : la productivité et la durée de vie des usines ou des infrastructures seront réduites par les nouvelles conditions climatiques (Hallegate, 2007).

Au total, la forte hausse de la demande à des périodes durant lesquelles les capacités de production sont réduites, fait que les risques de 'black out' et/ou d'effets en cascade pourraient procurer des coûts économiques énormes en paralysant des pans entiers des économies. A cela s'ajoutent les effets possibles des événements extrêmes sur les infrastructures, les instabilités et les incertitudes grandissantes quant aux hydrocarbures.

3.3. Les coûts du changement climatique pour les entreprises industrielles

La diminution des ressources en eau dont un quart de l'utilisation totale répond aux besoins du secteur industriel va engendrer des coûts supplémentaires très lourds. C'est le cas pour certaines entreprises manufacturières, les entreprises de semi-conducteurs par exemple. En effet, ce problème va perturber l'offre des firmes dont le processus de production est majoritairement dépendant de ce facteur. Ainsi, ces coûts seront d'autant plus élevés que les firmes n'auront pas anticipé les modifications dans les précipitations et seront confrontées à des périodes de sécheresse

Les entreprises de la zone méditerranéenne ne sont pas directement concernées par les mesures prises dans le cadre du Protocole de Kyoto, hormis les firmes multinationales ayant des filiales dans d'autres pays du monde, mais qui restent minoritaires. Cependant, les processus de production propres vont être encouragés. L'industrie pétrolière va subir les effets des politiques de régulation dans les pays du nord qui se traduiront par un coût supplémentaire dans l'utilisation de cette énergie, lié aux taxes. La demande mondiale va donc s'orienter progressivement vers des biens dont la production est faible en carbone, qui sera, à terme, moins chère. Les entreprises polluantes vont en outre souffrir d'une mauvaise réputation responsable du désintérêt des agents pour leurs biens (Tableau 5). Partout dans le monde, les entreprises qui n'auront pas réorienté leur production souffriront d'un désavantage comparatif notable, y compris les entreprises qui ne sont pas soumises aux politiques de régulation. Ce sera le cas en particulier des industries de base (chimie, charbon, acier) et des industries manufacturières. Les entreprises qui n'ont pas recours aux nouvelles technologies pour réduire leurs émissions peuvent alors se laisser doubler par la concurrence et devront même, à terme, se fournir chez elle. Par ailleurs, bien que la demande se répercute des entreprises polluantes vers les firmes plus propres, les principaux producteurs d'énergie, les entreprises gazières par exemple, ne verront pas leurs bénéfices exploser du fait d'une diminution de la demande de chauffage dans les pays du nord.

21 La vague de chaleur de 2003 a causé des problèmes pour les réacteurs nucléaires français, dont beaucoup sont refroidis par l'eau des rivières. Dans certaines régions françaises, les niveaux d'eau des rivières ont tellement chuté à cause de la sécheresse, que le processus de refroidissement est devenu impossible.

En ce qui concerne les transports ferroviaires, maritimes et aériens, les difficultés que pourront rencontrer les entreprises sont aussi liées à une augmentation du prix du pétrole à cause des charges supplémentaires imposées sur le carbone. D'autre part, certaines d'entre elles vont devoir réorienter leur spécialisation au risque de voir leurs revenus diminuer, du fait d'un changement dans les modes de consommation d'énergie des pays. On assistera par exemple à une diminution de l'utilisation de charbon, au niveau international, qui peut être remplacé par le gaz ou l'électricité. Leurs coûts et bénéfices futurs dépendront donc de leur capacité d'adaptation.

Par ailleurs, les pays méditerranéens entrent dans la dernière phase d'industrialisation de leur économie. Leurs émissions de CO₂ seront d'autant plus importantes que les pays de la zone ont recours principalement aux énergies fossiles. Ainsi, le scénario prévisionnel de base annonce un doublement des émissions de CO₂ lié à la consommation d'énergie dans la région sud méditerranéenne entre 2005 et 2020 (atteignant les 1400 millions de tonnes de CO₂), (Plan Bleu, 2006). Les pays risquent alors d'être rapidement concernés par la mise en place de mesures en vue de limiter la pollution.

Les coûts directs et indirects engendrés par le changement climatique sur le secteur de l'énergie et de l'industrie en général pourraient être très importants. Les effets néfastes seront décuplés par la dégradation de l'écosystème qui accompagnera le développement d'infrastructures lourdes. De même, l'augmentation de la consommation d'énergie et des activités industrielles pourrait être à l'origine d'un doublement des émissions de CO₂ de la part des PSEM d'ici 2020 ce qui aura un impact non négligeable sur la santé des populations, notamment en zone urbaine et dans les grandes villes côtières. Des mesures visant à rendre le système énergétique moins vulnérable au changement climatique et adapté à une économie mondiale à faible émission de carbone pourraient réduire très sensiblement les coûts et procurer des co-bénéfices très importants (cf. partie II de ce rapport).

4. ZONES COTIERES : COUTS TRES ELEVES LIES AUX EVENEMENTS EXTREMES

Le principal problème rencontré par les zones côtières, lié au changement du climat, est l'augmentation du niveau de la mer. Or, sur ce point aussi, les anticipations diffèrent selon les scénarios climatiques et les régions. En moyenne, les estimations économiques reposent sur le postulat selon lequel l'élévation du niveau des mers en 2100 oscillera entre 0,5 centimètres et 1 mètre. Pour avoir une vision plus proche de la réalité, il s'agit d'ajouter à ce phénomène les événements extrêmes qui vont s'intensifier dans ces régions dans les années à venir (les tempêtes et les inondations notamment), et de prendre en compte les systèmes de protection éventuels mis en place par les pays. Par ailleurs, les estimations varient selon la densité de population et l'activité économique des zones côtières qui font l'objet de l'étude. Les résultats sont donc très dépendants du cadre d'analyse et des hypothèses retenues. Toutefois, il ressort de ces études un point de convergence concernant la relation linéaire et croissante entre le changement climatique et les coûts subis par les espaces côtiers.

4.1. Les spécificités des analyses économiques

Les premières études s'intéressaient principalement à la situation des Etats-Unis. C'est pourquoi, leurs résultats sont régulièrement repris et adaptés aux autres régions du monde (Nordhaus et al., 2000 ; Mendelson et al., 2000 ; Tol, 2002b).

Pour estimer ces effets, les indicateurs peuvent être de différents types. Il s'agit soit de privilégier un approche en terme de « population à risque » (Frankhauser, 1995), ou plutôt en fonction des pertes en capital.

Mendelson et al. (2000) choisissent de considérer la surface, en kilomètres, de côtes pour chaque pays en fonction de la valeur moyenne de la terre, à partir d'une étude portant sur les Etats-Unis. En effet, selon la région et la qualité du terrain, celle-ci peut largement varier. Les terres cultivables ont une valeur bien supérieure à celle des terres arides par exemple. Prendre en considération cette diversité suppose toutefois de se concentrer sur une région en particulier. Pour résoudre ce problème, dans le cadre d'une analyse globale, Tol (2002) distingue la perte de terres arides et humides pour une augmentation de 1 mètre du niveau de la mer à partir d'une extrapolation des résultats obtenus dans le cadre des études ciblées sur les pays de l'OCDE. La valeur moyenne par kilomètre carré est 4 et 5 millions de dollars US selon le type de surface, respectivement. La valeur des terres sèches est supposée linéaire en densité de revenu, c'est-à-dire en dollar US par kilomètre carré ; et la valeur des terres humides suit une tendance logistique en fonction du revenu par tête. La montée des eaux engendre donc des mouvements de population qui varient en fonction de la densité de population de la zone et de la perte de surface, notamment dans les régions humides. Par ailleurs, l'auteur considère le coût supplémentaire de protection des zones côtières pour juger de la nécessité de l'action. Ce paramètre peut avoir une influence importante sur les résultats dans le sens où, les zones protégées subiront des coûts inférieurs aux autres régions. Seuls les effets néfastes des événements extrêmes ne sont pas retenus.

Enfin, cet impact peut être mesuré grâce à l'évaluation de la volonté de payer des agents pour prévenir la variation du climat. En suivant cette logique, Nordhaus et al. (2000) estiment à 0,1% du revenu la volonté de payer moyenne des agents aux Etats-Unis pour éviter une augmentation des températures de 2,5° en tenant compte de la probabilité d'événements extrêmes, qui diffère en fonction de l'activité sur les côtes (c'est-à-dire le long des 10 km qui longent la mer). La valeur des côtes augmente avec le revenu (l'élasticité par rapport au revenu est de 0,2).

4.2. Les zones côtières dans le sud de la Méditerranée

L'impact sur les zones côtières d'une variation du climat se traduira par des coûts très élevés pour la région méditerranéenne. Cela s'explique par le fait qu'une grande majorité de la population et de l'activité économique est concentrée dans les grandes villes bordant la mer ou dans un rayon proche (Plan Bleu, 2007c).

En effet, on compte parmi les villes côtières de nombreuses capitales (Tunis, Alger, Tel-Aviv, Beyrouth), plus au sud le Caire et Rabat, qui sont pour la plupart d'importants pôles d'activités. Ce phénomène va s'accroître dans les années à venir du fait de la croissance démographique qui reste forte, nous l'avons vu, et à cause d'un important exode rural qui s'intensifiera avec les difficultés croissantes du secteur agricole à la suite du changement climatique. Ainsi, si le taux de croissance de la population côtière dans le sud de la Méditerranée se maintient à 1,4% par an, les villes compteront 90 millions d'habitants en 2025 (Plan Bleu, 2005) auxquels s'ajoutent presque autant de touristes selon les saisons. Cette région sera donc particulièrement vulnérable aux modifications du climat. Nicholls et al. (1999) estiment que 90% des personnes pour lesquelles les risques d'inondation sont les plus élevés sont situées dans les régions d'Asie du sud et de l'est et au sud et à l'est de la Méditerranée.

Les pertes en capital fixe seront aussi particulièrement fortes, car dans les 10 km les plus proches de la mer on trouve de nombreuses infrastructures de transport (routes, ports...), pour répondre aux besoins croissants des habitants et des touristes, des équipements touristiques (ports de plaisance,

restaurants...), des usines (de dessalement, raffineries par exemple) et des infrastructures lourdes. Par ailleurs, on constate que les mesures de protection sont très limitées et restent insuffisantes pour réduire significativement les impacts négatifs des variations extrêmes du climat. D'importants efforts doivent encore être réalisés dans ce domaine.

4.3. Les coûts anticipés pour les pays du sud de la Méditerranée

Ainsi, même si les études ne retiennent pas la totalité de ces paramètres, elles s'accordent à souligner les coûts démesurés du changement climatique sur les zones côtières du sud de la Méditerranée.

Comme nous l'avons vu, l'étude de Mendelson et al. (2000) donne des résultats très optimistes car seul l'impact sur le secteur marchand est inclus dans l'analyse. Malgré tout, selon le modèle sous forme réduite, les pertes pour les zones côtières à la suite d'une variation moyenne du climat de 2° sont estimées à 4 milliards de dollars US au Moyen-Orient.

Il est difficile d'évaluer cet impact dans la région méditerranéenne à travers l'étude de Nordhaus et al. (2000), car leurs estimations sont établies en fonction d'un « indice de zone côtière » qui représente la part de la région située à moins de 10 km des côtes. Or dans leur étude, ils procèdent à une décomposition par continents et non par région, ce qui vient nécessairement réduire la part relative des zones côtières par rapport à notre zone d'analyse. Ainsi, pour l'Afrique, les pertes sont estimées à 0,02% du PIB et pour l'Europe de l'Est à 0,01% en suivant le scénario qui anticipe une augmentation des températures de 2,5°.

Tol (2002b) offre l'analyse la plus précise. Dans un premier temps, il estime le niveau de protection des régions. Puis, il évalue les pertes en termes de surface et en unité monétaire des espaces humides et secs. Enfin, il mesure les conséquences sur les mouvements de population. Ainsi, les niveaux de protection des zones côtières en Afrique et au Moyen-Orient sont très faibles, de l'ordre de 0,89% et de 0,30% respectivement, ce qui induit une perte de superficie, à la suite d'une augmentation d'1 mètre du niveau de la mer, de 15 400 km² et 600 km² de terres sèches pour l'Afrique et le Moyen-Orient et 30800 km² de terres humides pour l'Afrique. Cela correspond à un coût de 6,16 milliards de dollars US, 0,3 milliards de dollars US pour les terres arides, et 12,32 milliards de dollars US pour les terres humides. Les impacts sur la population seront catastrophiques et on assistera à 2,74 millions d'émigrants en Afrique et 0,05 millions au Moyen-Orient en 2200. Les coûts de l'action pour limiter les pertes seraient de 92 milliards de dollars US pour l'Afrique et 5 milliards de dollars US pour le Moyen-Orient. D'où la difficulté de mettre en œuvre des mesures d'adaptation fondées sur la construction d'infrastructures de protection.

De nombreux impacts supplémentaires ne sont pas inclus dans ces analyses, ce qui suppose que les résultats sont sous-estimés. Il s'agit en particulier des effets sur le secteur non-marchand. Les exemples malheureux des tsunamis ou des cyclones en Indonésie ou aux Etats-Unis ont montré que dans les cas extrêmes, les impacts sur la population sont catastrophiques. Le nombre de décès atteint des niveaux très élevés lors de la catastrophe et les conditions sanitaires dégradées peuvent entraîner le développement d'épidémies. En outre, la variation du niveau des eaux et les événements extrêmes seront à l'origine d'une dégradation importante des écosystèmes. Enfin, la destruction des infrastructures côtières réduira l'attractivité de la zone pour le tourisme, dont le poids économique est majeur dans certaines régions.

5. LE TOURISME : UNE ACTIVITE ECONOMIQUE MAJEURE DEPENDANTE DU CLIMAT

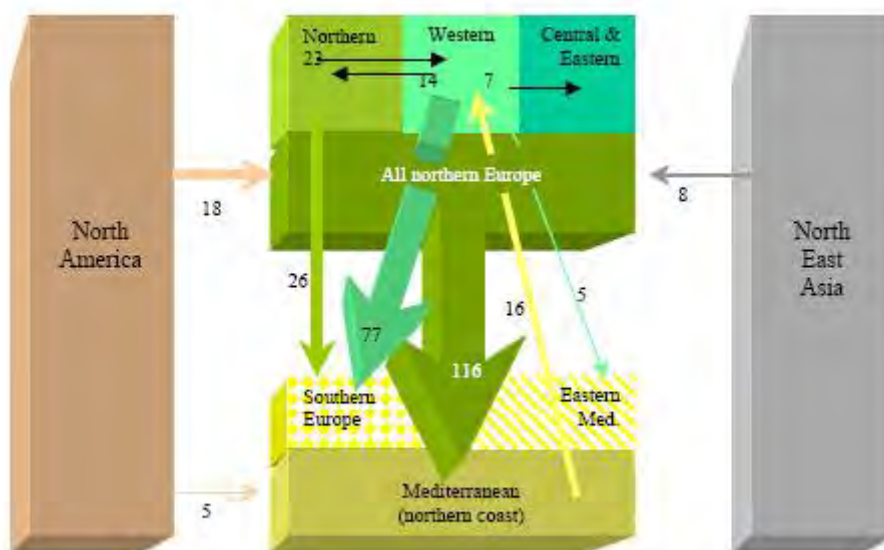
Peu d'études analysent l'impact du changement climatique sur le tourisme. Elles se concentrent principalement sur les liens entre distance et régions touristiques, détermination des destinations de référence... Pourtant, le climat joue un rôle majeur dans le choix du lieu de vacances des agents et reste le troisième facteur déterminant pour les touristes (Lohmann et al., 1999). Sont considérées comme touristes, selon la définition du WTO (2003), les personnes qui dorment entre une et 364 nuits en dehors de leur maison, sachant que dans le cas du tourisme international les agents ont franchi les frontières de leur pays. Il est toutefois opportun d'exclure de cet échantillon les déplacements effectués dans le cadre du travail ou des études ou encore pour des soins (Hamilton et al., 2005). Il est important de considérer à la fois l'offre et la demande car les régions sont en concurrence pour attirer le plus de touristes et les plus riches, et les agents cherchent la destination qui répond le mieux à leurs attentes (Hamilton et al., 2005)).

5.1. Le tourisme dans le sud de la Méditerranée

Cette activité a un poids important dans le revenu total de la plupart des économies de la zone méditerranéenne. En effet, ce secteur connaît une croissance de 3 à 4% par an en moyenne ces dernières années. La région accueille aujourd'hui près d'un tiers du tourisme international principalement en provenance de l'Europe du nord. Les pays les plus attractifs sont la Turquie, l'Egypte, le Maroc, la Tunisie. Dans ces régions, sont concentrés respectivement 36,1%, 16,3%, 12,07%, 9,9% du nombre de touristes total en provenance du pays ou à l'extérieur de celui-ci, en 2000. Il est prévu que le tourisme national et international triple d'ici 2025 dans cette zone, la part de chacun des pays restant constante. En effet, la région bénéficie d'un fort ensoleillement et d'un patrimoine culturel riche qui attire un grand nombre de personnes à la fois durant la saison estivale et au printemps et en automne. Ainsi, cela permet d'une part au pays de développer et d'exploiter des structures d'accueil (hôtels, restaurants...), ce qui est avantageux pour la croissance, et d'autre part, le tourisme international est une source de réserves en devises importante.

Cependant, ce secteur est particulièrement vulnérable aux variations du climat car la région connaît déjà des températures élevées et un manque de ressources en eaux, surtout en été. De plus, la plupart des activités touristiques sont concentrées dans les villes côtières sujettes, nous l'avons vu, à d'importants problèmes à cause de l'augmentation du niveau de la mer et de l'intensification des événements extrêmes (en Tunisie par exemple 90% de l'activité touristique est regroupée sur les côtes (UNEPb, 2007)).

Schéma 2 - Flux de touristes en direction du sud de la Méditerranée (en millions)



Source : Travel Research International from World Tourism Organization data (2003)

5.1.1. Les spécificités des analyses économiques

La relation entre le tourisme et le changement du climat est croissante, dans un premier temps. Cela est lié au fait que bien que les destinations varient en fonction des personnes, de leur culture, de leur âge et de divers autres paramètres, globalement les agents sont très attirés par les régions chaudes. Cependant, au-delà d'une température moyenne, celle-ci stagne puis décroît, les régions de faible latitude étant devenues trop exposées au réchauffement du climat et les régions en altitude souffrant d'un manque d'enneigement pour les sports d'hiver (Hamilton et al., 2005). Il s'agit d'une relation quadratique entre tourisme et changement climatique. Pour Hamilton et al. (2005), le point de retournement de la courbe correspond à une température moyenne annuelle sur 24 heures de 14° dans le cas du tourisme international et 18° pour le tourisme domestique. Il en est de même pour les loisirs en extérieur. La pratique du sport par exemple n'est plus possible à partir d'un certain seuil (Nordhaus et al., 2000).

Selon une vision plus détaillée, les effets du changement climatique sur le tourisme peuvent être de quatre ordres (UNEPb, 2007). Ainsi, bien que les effets directs semblent dominants, certains effets indirects peuvent influencer le choix des destinations touristiques des agents. L'impact principal est lié à l'augmentation des températures, à la diminution des précipitations et à la croissance des risques d'événements extrêmes. Toutefois, la modification de l'environnement global joue un rôle non négligeable avec notamment les difficultés accrues concernant les ressources en eau, un niveau de pollution de plus en plus élevé dans les villes, les épidémies, de même que la modification des paysages côtiers à la suite de l'augmentation du niveau de la mer. La mise en place de politiques de régulation dans les pays du nord peut, en outre, perturber les transports (en particulier le trafic aérien). Enfin, le niveau de développement du pays, lui-même très dépendant de la variation future du climat, sera un élément pris en compte par les touristes dans le domaine de l'offre de services et de confort par exemple.

Les études qui lient ces deux phénomènes suivent des logiques différentes. Il s'agit soit d'anticiper les variations en terme d'offre de services liés au tourisme, soit d'estimer les dépenses futures des touristes selon différentes destinations, soit d'étudier les destinations des agents en fonction de leurs

prévisions concernant le climat futur, soit enfin d'analyser l'évolution de la demande de loisir en fonction de la variation du climat (ski, plage...). En effet, les indicateurs utilisés dans la littérature empirique rapprochent souvent la demande de tourisme de la demande de loisirs alors que ces deux activités ne sont pas nécessairement identiques, par définition. En effet, dans le second cas, il s'agit de prendre en compte le nombre d'heures consacrées aux loisirs à l'extérieur de la maison durant la période de temps libre des agents. Cette période peut être estimée en moyenne à 2% du temps libre des personnes aux Etats-Unis (Nordhaus et al., 2000). Selon ce point de vue, ces activités sont très sensibles à la variation du climat. Une grande majorité de ces études sont centrées sur les pays du nord.

5.1.2. Les coûts anticipés pour les pays du sud de la Méditerranée

Les analyses les plus complètes sur ce thème s'intéressent surtout au tourisme international. Il s'agit par exemple des travaux de Amelung et al. (2004) qui se concentrent en particulier du côté de l'offre et des flux potentiels de touristes dans différentes régions du monde (définies selon leur latitude et longitude). Ils insistent sur l'importance des températures, des précipitations, de l'humidité et du vent dans le choix des destinations. Il ressort de leur analyse des changements de comportement de la part des touristes dans les régions à plus faible latitude. Après avoir privilégié la période estivale, les agents se rendent dans les pays du sud au printemps et à l'automne, puis en hiver. A terme, leurs préférences s'orientent vers des destinations plus au nord et en altitude où l'environnement est plus accueillant. Ainsi, on peut en déduire que dans les pays méditerranéens, dans un premier temps les flux de touristes vont s'intensifier en automne et au printemps et se réduire en été. Puis, les touristes préféreront l'hiver. Et si le phénomène du réchauffement climatique s'accroît, le tourisme dans cette région diminuera progressivement. Le manque à gagner en termes de ressources économiques sera alors très élevé.

Dans une étude plus récente, Hamilton et al. (2005) viennent confirmer ces conclusions à l'aide d'un modèle spécifique (Hamburg Tourism Model – HTM) fondé sur 206 pays et différents scénarios de croissance économique et de la population. A la suite d'une augmentation des températures, les agents vivant dans des zones tempérées privilégieront le tourisme domestique au tourisme international, inversant ainsi la tendance actuelle. Cela est dû, en premier lieu, à un phénomène de saturation du tourisme international du fait d'un ralentissement de la croissance. Mais il est largement amplifié par le climat futur. La région Méditerranée connaîtra une diminution de 10 à 25 % du nombre de touristes internationaux d'ici 2025 alors qu'elle deviendra une des principales zones de départ. Ainsi, les coûts pour les pays d'Afrique dans ce domaine seront d'au moins -0,25% du PIB à la suite d'une augmentation des températures de 2,5° (Nordhaus et al., 2000). Les pays d'Europe de l'Est, plus au nord et moins touristiques, seront moins affectés.

Le secteur du tourisme interagit avec la plupart des autres secteurs de l'économie. Ainsi, l'impact du changement climatique sur le tourisme en Méditerranée va se traduire, dans un premier temps, par une augmentation de la consommation d'énergie (pour la climatisation notamment) et une accélération de l'épuisement des ressources en eaux, en période estivale. Toutefois, dans le plus long terme, il sera conditionné par les effets du climat sur les villes côtières, les transports et l'écosystème. En effet, bien que les études économiques incluent peu le secteur non-marchand, son rôle reste central.

6. LE SECTEUR NON MARCHAND : UNE PART IMPORTANTE DES COUTS TOTAUX

Une des principales faiblesses des études de l'évaluation des impacts du changement climatique vient de la sous-estimation des résultats, du fait d'une prise en compte insuffisante du secteur non-marchand et de ses interactions avec les autres secteurs de l'économie. Ce phénomène est principalement lié à la difficulté d'évaluer, en unité monétaire, les effets néfastes sur l'environnement et la santé d'une variation du climat.

6.1. L'écosystème naturel

Les effets de la variation du climat sur l'environnement sont souvent irréversibles et se traduisent par une destruction des interdépendances de l'écosystème naturel. Dans la région méditerranéenne, l'écosystème est très vulnérable et les risques anticipés sont une augmentation de la désertification, et la dégradation de l'environnement proche des côtes (80% des zones arides ou sèches pourraient connaître la désertification dans le sud et l'est de la Méditerranée (Plan Bleu, 2005)). Toutefois, évaluer les changements dans l'écosystème reste très complexe car il n'est pas possible de distinguer les impacts selon chaque espèce sachant que certaines sont plus résistantes du fait d'une meilleure capacité d'adaptation, que d'autres vont migrer dans des régions où le climat leur est plus favorable, ou vont s'éteindre... Les estimations souffrent donc d'une large incertitude.

6.1.1. Les spécificités des analyses économiques

Les études qualitatives sont un progrès dans cette direction, mais elles restent ciblées et peuvent difficilement être utilisées dans le cadre de l'estimation des impacts économiques de la variation du climat.

Une solution est d'évaluer les services actuels rendus par l'écosystème grâce aux ressources naturelles, par le biais de la régulation et dans le cadre d'activités en extérieur qui disparaîtront avec la variation du climat. Il s'agit de la nourriture, de l'eau, du bois, des énergies fossiles ; mais aussi de l'absorption des gaz à effet de serre qui ralentissent la variation du climat, la purification des eaux ; et enfin du cadre environnemental pour les loisirs, l'attractivité de la zone grâce à la beauté des paysages... En ce sens, il est nécessaire de s'intéresser aux modifications dans la répartition de la végétation et sa productivité, à l'aide d'un modèle dynamique (White et al., 1999). Certains services peuvent facilement être mesurés en unité monétaire. C'est le cas par exemple du prix du bois, de la pêche, des énergies fossiles en fonction des quantités sur le marché. Mais se limiter à ces ressources est insuffisant.

C'est pourquoi, dans le cadre des approches économiques, la valeur de l'écosystème est calculée en fonction de la volonté de payer des agents pour éviter que les températures atteignent un certain niveau et limite l'offre globale de services proposée par l'environnement. Elle varie selon le niveau de développement économique des pays. Elle augmente avec le revenu. Les écarts de richesse entre les pays doivent donc être inclus dans les estimations, en particulier lorsqu'il s'agit d'une extrapolation des études ciblées sur les Etats-Unis (Nordhaus et al., 2000). De même, il est nécessaire de pondérer les résultats en fonction de la surface concernée et la vulnérabilité du système

naturel compte tenu du fait que certaines régions chaudes et sèches sont déjà très sensibilisées. Cette valeur est proche de 50\$ par personne dans les pays de l'OCDE pour Tol (2002b).

Au-delà d'une distinction par pays, il est plus précis de fractionner les dispositions à payer des agents en fonction de la latitude, selon l'écosystème de la région et la probabilité à tendre dans le futur vers un environnement plus proche de celui actuellement plus au sud (Fleischer et al., 2007). Il paraît pertinent de relier les localisations des différentes espèces animales et végétales en fonction de la distribution du climat. Selon les anticipations du climat futur, il est alors possible d'anticiper quel sera l'écosystème dans les différentes zones du monde (Halpin, 1997).

La relation entre l'écosystème et la modification du climat est difficile à évaluer et n'est pas uniforme dans toutes les régions. Toutefois, une hypothèse fréquemment retenue est que, dans une certaine mesure, celle-ci est parabolique. C'est-à-dire que dans un premier temps, la concentration de dioxyde de carbone supplémentaire dans l'atmosphère peut avoir un effet bénéfique sur l'écosystème. Mais cette phase est très courte et les effets néfastes de l'augmentation des températures (accompagnée d'une croissance de l'évapotranspiration) et la diminution des précipitations viendront très vite contrebalancer cette tendance (Hitz et al., 2004). Il s'en suivra une relation exponentielle entre l'augmentation des températures et la perte de biodiversité. En Méditerranée déjà, de plus en plus d'espèces végétales sont considérées comme rares ou en danger. La dégradation de l'écosystème risque donc de s'accélérer dans les années à venir pour devenir catastrophique.

En ce qui concerne le cas particulier de la forêt et du changement du climat, il est important d'anticiper une augmentation des événements extrêmes tels que des incendies de grande ampleur, compte tenu de la fréquence et la croissance des périodes de sécheresse. Cet effet est souvent considéré comme linéaire par rapport à l'augmentation moyenne globale des températures. Il est à noter cependant que ce secteur a un poids négligeable dans les pays du sud de la Méditerranée car le taux de boisement est seulement de 4,7% dans la région (Plan Bleu, 2005).

6.1.2. Les coûts anticipés pour les pays du sud de la Méditerranée

Les différentes analyses mettent l'accent sur les effets négatifs du climat sur l'écosystème. Plus le milieu se réchauffe, plus les variations dans la biodiversité sont élevées (Halpin, 1997). Ce phénomène s'explique par le fait que même si certaines espèces sont très résistantes, elles ne pourront pas supporter une augmentation trop importante des températures. En outre, les larges variations du climat limitent leurs capacités d'adaptation (Hitz et al., 2004). En Méditerranée, plus au nord, où les hivers sont les plus humides (les pluies sont en moyenne de 780 mm et la température moyenne est de 18,1°), la biomasse est plus importante et la végétation plus dense et riche (la biomasse totale est estimée à 19,1 tonnes par hectare). Pour une augmentation des températures de 2°, 15 à 40% des espèces seront en voie d'extinction (Stern, 2006). Les variations du climat tendent à transformer largement cet environnement en zones plus arides à la suite d'une diminution des précipitations (qui varient entre 90 et 300 mm), et d'un réchauffement des températures moyennes (qui peuvent atteindre 19,1°). La biomasse totale est alors réduite à 2,8 – 6,1 tonnes par hectare selon l'ampleur de la modification du climat (Fleischer et al., 2007). Cela souligne la vulnérabilité de l'environnement en Méditerranée à des faibles variations de climat.

Les pertes actuelles des espèces, de l'écosystème et de paysage représentent 0,25% du PIB mondial. Les estimations montrent qu'elles vont doubler d'ici 2200, la perte de bien-être pouvant atteindre 1% du PIB pour cette même échéance (Tol, 2002b). Elle sera de 0,10% en Afrique et en Europe de l'Est à la suite d'une croissance des températures de 2,5° (Nordhaus et al., 2000).

La volonté de payer des agents est très importante dans les latitudes les plus faibles, dans les régions à haut revenu. Pour maintenir la végétation à un même niveau, les agents, en Israël, sont disposés à

payer 2\$ par tonne de biomasse par hectare perdue et 0,05\$ par an pour un millimètre de précipitation. En résumé la population consent à payer près de 100 millions de dollars US par an pour éviter que les zones les plus humides ne deviennent arides. Il s'agit d'un coût bien supérieur aux services rendus par la terre en termes de nourriture pour les troupeaux (évalué à 20000 dollars US en moyenne) car les populations semblent attacher beaucoup d'importance à l'environnement pour leurs loisirs. Cependant, ces résultats doivent être largement relativisés en ce qui concerne les autres pays de la zone, car ils restent très dépendants du niveau de revenu du pays et du PIB par tête. Ainsi, dans certaines régions, il est plus probable que les dispositions des agents à payer soient inférieures ou égales aux services rendus par la terre.

Photographie 1

Paysage Méditerranéen humide



Photographie 2

Paysage Méditerranéen aride



Source. Fleischer et Sternberg (2007)

Dans le cas de la mer, l'augmentation des températures entraînera une baisse de la productivité de l'écosystème marin particulièrement marquée dans les régions à plus basse latitude. Ainsi, dans 80 ans, la production et l'exportation de produits de la mer diminueront de 20% au sud de la Méditerranée (Bopp et al., 2001).

La réaction de la forêt se fera dans le plus long terme, si on ne retient pas les risques croissants d'incendies. En effet, les conséquences des incendies de forêt en pertes humaines et matérielles sont considérables (environ 150 euros par hectare et par an (Plan Bleu, 2005)). Pour une augmentation des températures de 1°, les impacts dans les pays d'Afrique et du Moyen-Orient sont nuls (Tol, 2002b). Par conséquent, dans les années à venir, il est possible que l'on assiste à une augmentation de l'offre de bois (Hitz et al., 2004). Toutefois, dans le long terme, les coûts globaux atteindront 0,003% du PIB en 2100 et 0,06% du PIB en 2200.

Les changements dans l'écosystème à la suite d'une augmentation des températures auront des effets néfastes à la fois sur la population et sur l'économie. En offrant moins de services, notamment de la nourriture (diminution des ressources, de la pêche et de la qualité des sols), les agents les plus pauvres, les plus vulnérables souffriront de famines. Par ailleurs, l'épuisement des richesses énergétiques engendrera une dépendance croissante des pays méditerranéens vis-à-vis du reste du monde. Enfin, la dégradation de l'environnement réduira l'attractivité de certaines zones, qui subiront des pertes du fait d'une réduction du tourisme. Cette détérioration de l'écosystème sera d'autant plus forte que la pollution va s'intensifier, que la croissance démographique est soutenue et que les besoins d'infrastructures augmentent.

6.2. La santé

6.2.1. Les problèmes sanitaires dans le sud de la Méditerranée

Le réchauffement du climat pourrait engendrer une diminution des ressources alimentaires dans les pays méditerranéens à cause d'une baisse de la production agricole et une dégradation de l'écosystème. Les populations les plus pauvres vont être confrontées à des difficultés en termes de malnutrition et de famines qui favoriseront le développement d'épidémies. Ce phénomène est accentué par la raréfaction des ressources en eaux qui favorise le recours à des eaux non potables. Un des risques est le développement de maladies tropicales mortelles de type malaria ou fièvre jaune, dans des zones plus tempérées à la suite du réchauffement du climat, de même que la multiplication des maladies venant fragiliser les jeunes enfants (diarrhées...).

Par ailleurs, les pays de la zone vont voir leurs émissions de CO₂ largement augmenter dans les années à venir, à l'origine d'une croissance de la pollution de l'air des villes. Les maladies respiratoires vont alors se multiplier alors qu'une frange de la population n'aura pas les moyens financiers nécessaires pour recourir à des soins.

Enfin, la croissance démographique et l'exode rural vont gonfler la population urbaine, alors que les villes ne sont pas encore en mesure de proposer suffisamment d'infrastructures de base pour répondre aux besoins des agents vivant en milieu urbain. Se poseront alors de plus en plus des problèmes sanitaires, responsables de la propagation des maladies.

Ces impacts sur la santé liés aux variations du climat viennent accroître considérablement le coût total du changement climatique dans les pays méditerranéens. Cependant, du fait d'un manque d'indicateurs permettant de mesurer ces effets, ils ne sont souvent pas inclus dans les analyses économiques ou le sont de manière partielle. Sur ce point, les analyses effectuées sur le cas Etats-Unis, durant les vagues de chaleur, ne sont absolument pas en mesure de refléter l'impact global grâce à une extrapolation des résultats, notamment dans les pays du sud, de la modification du climat sur la population.

6.2.2. Les spécificités des analyses économiques

Dans les analyses globales les plus précises à ce sujet, une distinction est faite en ce qui concerne les facteurs susceptibles de détériorer la santé des agents, ainsi que les moyens mis à leur disposition pour se soigner. Alors que certaines personnes seront plus concernées par la pollution (au nord et au sud), d'autres seront plus sujets aux épidémies (au sud). De même, en fonction du revenu du pays, l'accès au soin ne sera pas le même. Sur ce point, la plupart des auteurs font référence aux travaux précurseurs de Murray et al. (1996) (Nordhaus et al., 2000 ; Tol, 2002b). Pour calculer ces impacts, il est possible de raisonner en termes de perte d'années de vie. Dissocier les impacts de la pollution et des épidémies sur la santé permet de préciser les effets selon les pays. Il apparaît que la relation entre les épidémies (la malaria, la fièvre jaune notamment) et le réchauffement du climat est linéaire (Tol, 2002b). En ce qui concerne la pollution, les maladies cardiovasculaires qui en résultent touchent en particulier les jeunes enfants et les personnes âgées et sont concentrées dans les villes. Il est donc difficile d'établir une relation globale entre ces deux phénomènes. Enfin, l'accès aux soins dépend du revenu des agents et semble être linéaire par rapport à leur revenu par tête. Ainsi, les personnes ayant un revenu moyen supérieur à 3100 dollars US ne sont pas concernées par les épidémies (Tol, 2002). Ces relations s'appliquent dans les pays du Moyen-Orient mais pas dans les régions d'Afrique où le taux de mortalité est particulièrement élevé.

6.2.3. Les coûts anticipés pour les pays du sud de la Méditerranée

Nordhaus et al. (2000) évaluent à 11,76% de la totalité des années de vie perdues imputées au climat en Afrique pour une température régionale moyenne de 25° et 0,97% au Moyen-Orient pour une température régionale moyenne de 18,9°. Dans les deux cas, la pollution joue un rôle majeur, mais la responsabilité des épidémies est particulièrement forte par rapport aux autres régions du monde, hormis l'Amérique Latine.

Toutefois, il est très difficile de donner une valeur monétaire à une vie. Pour traduire ces résultats en unité monétaire, une hypothèse serait d'estimer qu'une année de vie perdue correspondrait à deux ans de revenu par tête (Nordhaus et al., 2000). Le prix d'une vie peut aussi être évalué à 200 fois le revenu par tête (Tol, 2002b). Cependant, dès lors que l'on raisonne en perte totale de bien-être, les chiffres exprimés en unité monétaire sont faibles car ce sont les personnes les plus pauvres qui sont le plus concernées par les épidémies.

Pour un réchauffement du climat de 1°, les décès supplémentaires dus aux épidémies sont de l'ordre de 57000 en Afrique et de 155 au Moyen-Orient par an. Ces chiffres sont amplifiés par les effets de la pollution responsable de 1820 décès supplémentaires en Afrique et 890 au Moyen-Orient par an, pour une augmentation des températures de 1° (Tol, 2002b).

Suite à une augmentation des températures de 2,5°, les coûts en termes de santé (perte d'années de vie) seront en moyenne de 3 % du PIB en Afrique et 0,02% en Europe de l'est (Nordhaus et al., 2000).

Dès lors que l'augmentation des températures sera de 4°, plus de 80 millions de personnes seront exposées aux épidémies en Afrique (Stern, 2006).

Le changement climatique aura donc un impact direct sur la santé des agents mais qui sera plus ou moins important selon la région et la vulnérabilité des personnes en termes de revenu notamment. Au delà d'un problème lié à la résistance à la chaleur, le développement des épidémies et de la pollution sera une conséquence de l'effet néfaste de la variation du climat sur l'agriculture, l'écosystème, l'urbanisation, et l'énergie. Outre le coût important en termes de vies perdues, le coût économique viendra aussi de la perte d'attractivité de ces régions en matière de tourisme. Les interactions entre les secteurs ne font alors qu'alourdir le coût total futur lié au climat, pour la région.

7. CONCLUSION : LA DIMINUTION DES RESSOURCES EN EAU COMME PRINCIPAL VECTEUR DES COÛTS ECONOMIQUES DANS CHACUN DES SECTEURS

7.1. Des coûts pour les pays du sud et de l'est de la Méditerranée très importants...

A la suite du changement climatique, les pays agricoles, et en particulier les économies spécialisées dans la culture de produits nécessitant d'importantes ressources hydriques, seront les plus touchés. C'est le cas en particulier de la Syrie et dans une moindre mesure du Maroc, de l'Égypte et de la Turquie dans notre échantillon.

Par ailleurs, en plus de l'augmentation des températures et de l'épuisement des ressources en eaux, le développement de tous pays de notre analyse qui entrent dans une phase d'industrialisation intensive

de leur économie va engendrer une explosion de la demande en énergie. Ce phénomène intervient alors que les réserves naturelles s'épuisent et que les productions intensives en carbone, qui sont majoritaires dans la zone, souffrent de plus en plus de leur mauvaise réputation. Les infrastructures de base et la production d'électricité seront impactées négativement. Les périodes de forte demande d'énergie coïncideront de plus en plus avec les périodes les plus contraignantes pour la production : l'été et durant les événements extrêmes de type canicule. Suite à la croissance de la population les villes côtières vont accueillir un nombre supplémentaire de personnes alors que leur vulnérabilité va augmenter à cause des risques de montée des eaux et d'événements extrêmes.

Le tourisme est une des ressources financières importante pour les pays mais il va contribuer à la croissance des besoins énergétiques et en eau dans les villes côtières, dans un premier temps, puis risque de diminuer les années suivantes du fait de températures trop élevées, appauvrissant ainsi les pays en devises.

Enfin, l'environnement et les populations les plus pauvres, déjà fragilisés, verront leur situation s'aggraver. La variation du climat va accroître la perte d'écosystème et le développement d'épidémies, notamment dans les régions les plus au sud, entraînant des pertes catastrophiques pour les personnes, l'environnement et l'économie dans tous les pays de la région et aggravant les écarts de développement et de revenu entre les pays de la rive Nord et de la rive Sud.

7.2. ...peut-être sous-estimés et qui ont pour origine la diminution des ressources en eau

Ces visions peu optimistes du futur, à la suite de la variation du climat, sont une synthèse des travaux empiriques récents, globaux²² et des recherches spécialisées sur la zone méditerranéenne. Elles apparaissent souvent incomplètes et difficilement comparables. Elles convergent toutes cependant pour affirmer que les coûts du changement climatique pour la Méditerranée seront très importants si aucune mesure n'est prise.

Or, il apparaît que ces études pourraient sous-évaluer les coûts anticipés dans la mesure où elles ne prennent pas en compte les effets d'interaction entre les secteurs.

Le schéma récapitulatif suivant illustre les interactions possibles entre les différents secteurs de l'économie suite aux effets du changement climatique. On remarque que la diminution des ressources en eau en Méditerranée est un problème central qui va affecter tous les secteurs de l'économie.

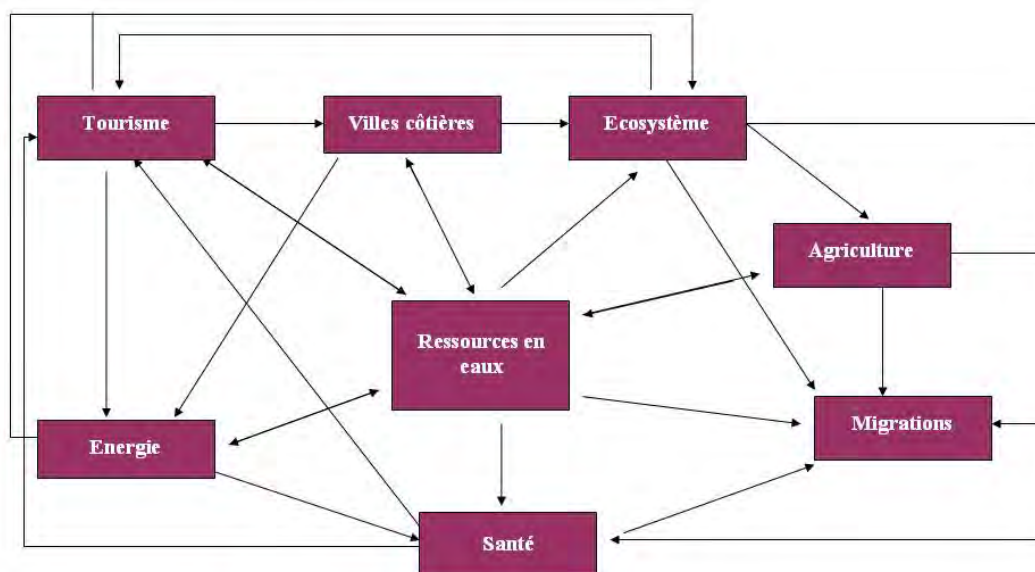
Le tableau qui l'accompagne met l'accent sur la sous-évaluation des impacts économiques dès lors que les auteurs considèrent seulement les effets directs sur chaque secteur de l'économie sans prendre en compte les interactions entre ces secteurs. En colonne sont représentés les principaux secteurs de l'économie qui subissent les effets directs de la variation du climat. En ligne, sont indiquées les répercussions éventuelles de ce choc initial, sur les autres secteurs du pays. Notons la présence de X lorsqu'il n'y a pas de répercussion anticipée d'un secteur sur l'autre à la suite du changement climatique.

²² Se référer au tableau récapitulatif de l'annexe 2.

Tableau 6 - Les interactions entre les différents secteurs marchands et non marchands de l'économie à la suite du changement climatique en Méditerranée

REPERCUSSIONS INTERSECTORIELLES									
	Energie	Tourisme	Villes côtières	Migrations	Agriculture	Santé	Ressources en eaux	Eco-système	
EFFETS RECTS	Energie				Utilisation des sols (biocarburant) Biomasse	Pollution	Utilisation d'énergie pour dessaler l'eau	Dégradation construction infrastructures lourdes	
	Tourisme	Besoins croissants d'énergie		Urbanisation des bords de mer			Assèchement des réserves en été	Dégradation de l'environnement	
	Zones côtières	Besoins croissants d'énergie				Problèmes sanitaires	Epuisement des ressources en eaux	Forte urbanisation	
	Migrations								
	Agriculture				Famine		Famine	Forte consommation d'eau	
	Santé		Baisse de l'attractivité (épidémies)		Pollution et épidémies				
	Ressources en eaux	Manque d'eau pour produire de l'énergie	Baisse de l'attractivité	Manque d'eau pour les besoins des villes	manque de ressources	Baisse de la production	Epidémies		Zones plus arides
	Eco-système		Dégradation de l'environnement , perte d'attractivité		Epuisement de ressources	Terres moins fertiles (Erosion)	Malnutrition		

Source : Auteur



7.3. Quelle réponse face aux coûts du changement climatique ?

Il convient de relativiser les résultats précédents dans la mesure où ils sont issus d'études n'intégrant pas, pour la plupart, la possibilité de réduction des coûts du changement climatique grâce à des mesures d'adaptation. Les résultats de ces analyses peuvent donc s'interpréter comme les coûts possibles de scénario « business as usual » et être qualifiés de « coût de l'inaction ».

En effet, face aux effets attendus du changement climatique, et pour limiter les coûts, deux types de stratégie peuvent coexister : (i) prévenir en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et/ou en les stockant afin de participer à l'effort de ralentissement du changement climatique et (ii) s'adapter à la réalité du changement climatique en anticipant les effets que celui-ci aura inmanquablement sur son développement.

Aujourd'hui, les PSEM sont faiblement émetteurs de gaz à effet de serre (2 à 3% du total mondial) et 70% des émissions méditerranéennes proviennent de la rive Nord. Ainsi, les politiques de réduction immédiate de gaz à effet de serre sont, dans la région, la préoccupation principale des pays de la rive Nord qui ont des objectifs vis-à-vis du protocole de Kyoto.

Compte tenu des montants énormes liés aux coûts probables de l'inaction dans les PSEM tels qu'identifiés précédemment, il semble beaucoup plus stratégique économiquement pour eux d'anticiper systématiquement les risques environnementaux dans les modes de développement à venir afin de limiter au maximum les coûts du changement climatique.

Cependant, les projections tendanciennes montrent que d'ici 20 ans, les PSEM émettront autant de CO₂ que les pays de la rive Nord. Ainsi, dans le cadre des politiques d'adaptation, il convient d'ores et déjà d'intégrer les options les plus 'cost effective'.

La partie suivante analyse les résultats de la littérature économique sur l'adaptation au changement climatique en Méditerranée.

III. L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE, UNE NECESSITE POUR LES PAYS MEDITERRANEENS MAIS UNE QUANTIFICATION INSUFFISANTE

Dès lors que l'on s'intéresse à la réaction des pays par rapport à la variation du climat, il faut définir précisément le champ de l'analyse. Pour cela, il est important de distinguer les deux réponses possibles des pays qui sont : l'adaptation au changement climatique ('adaptation') et la 'mitigation' ou atténuation ('mitigation').

Dans les deux cas, l'objectif est de minimiser les coûts liés au climat. La différence entre ces deux options est que les effets de l'adaptation sont plus ciblés et se feront ressentir assez rapidement. En revanche, les bénéfices plus globaux de la mitigation ne pourront être identifiés qu'à partir d'une centaine d'années (Stern, 2006). Elles sont toutefois complémentaires pour permettre à la fois la gestion des risques dans le court terme et une réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le long terme. L'importance relative de chacune d'elles varie selon la situation des pays (Stern, 2006). Globalement, les pays développés paraissent plus concernés par des mesures de limitation de la pollution que les pays émergents, pour qui la priorité réside dans la rapidité de l'action en vue de limiter les conséquences catastrophiques du changement climatique dans les décennies à venir. Cependant, les pays les plus riches ont les moyens de recourir plus facilement que les pays en développement à des mesures d'adaptation (accès aux nouvelles technologies, environnement institutionnel, infrastructure, spécialisation de la production...).

Compte tenu de l'ampleur des coûts dans le court terme pour les PSEM que nous venons de souligner précédemment, nous allons principalement nous concentrer, dans ce chapitre, sur la première option, l'adaptation.

1. FORMES ET ACTIONS

1.1. Les formes théoriques de l'adaptation

L'« adaptation » peut prendre, d'un point de vue théorique, différentes formes pouvant être complémentaires ou substituables (Frankhauser et al., 1999) :

Premièrement, elle peut être une solution préventive, ou réactive ('réparatrice'). La première est préconisée lorsque les coûts anticipés sont élevés, remettant en cause l'équilibre de pans entiers de l'économie. La seconde permet de compenser les effets ponctuels et spécifiques d'un choc, à la suite de l'impact. L'adoption de mesures préventives dépend du bilan net entre le coût de l'inaction et le coût de l'action. Ce dernier varie en fonction de l'exposition du pays au climat et donc du poids des réformes nécessaires à mettre en œuvre. Dans les pays industrialisés, les secteurs utilisant massivement de l'énergie sont les plus concernés. Dans les pays émergents, à ces derniers s'ajoute l'agriculture.

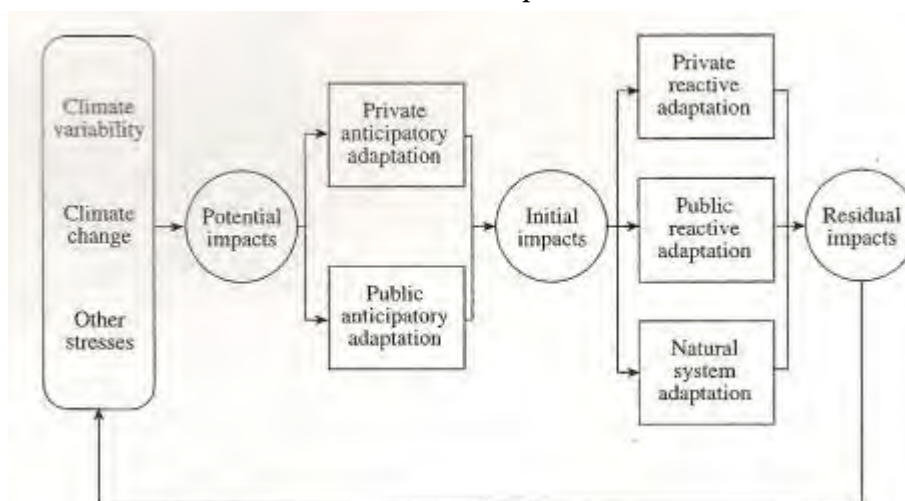
Deuxièmement, il est possible qu'elle soit autonome ou planifiée. Alors que la première option suit naturellement les modifications de l'environnement (il s'agit en particulier de l'évolution de l'écosystème), la seconde suppose une intervention exogène de l'Homme. Cette dernière est soit

publique soit privée. Dans le premier cas, les décisions sont prises par le gouvernement (à l'échelle nationale ou internationale), dans le second, par les agents individuels ou les entreprises.

En général, les adaptations naturelles sont réactives car elles interviennent en même temps ou suivent immédiatement la modification du climat. L'adaptation publique peut être préventive (développement d'infrastructures) et réactive (gestion des événements extrêmes). De même, l'adaptation privée passe soit par une réforme du système de production et la souscription d'assurance, soit par une réaction rapide pour financer les dommages (Klein, 2001).

Pour juger de l'efficacité des actions d'adaptation mises en œuvre, les impacts potentiels, sans aucune option d'adaptation, peuvent être comparés aux impacts résiduels, à la suite de l'adoption de mesures diverses permettant de réduire la vulnérabilité des pays au changement climatique (Schéma 3) (Klein, 2001). La recherche de mesures efficaces est un point essentiel pour les pays en vue d'optimiser leur action. L'objectif est la maximisation du bénéfice net, c'est-à-dire, le bénéfice brut duquel est déduit le coût d'adaptation (Stern, 2006) (Graphique 6).

Schéma 3 - L'adaptation

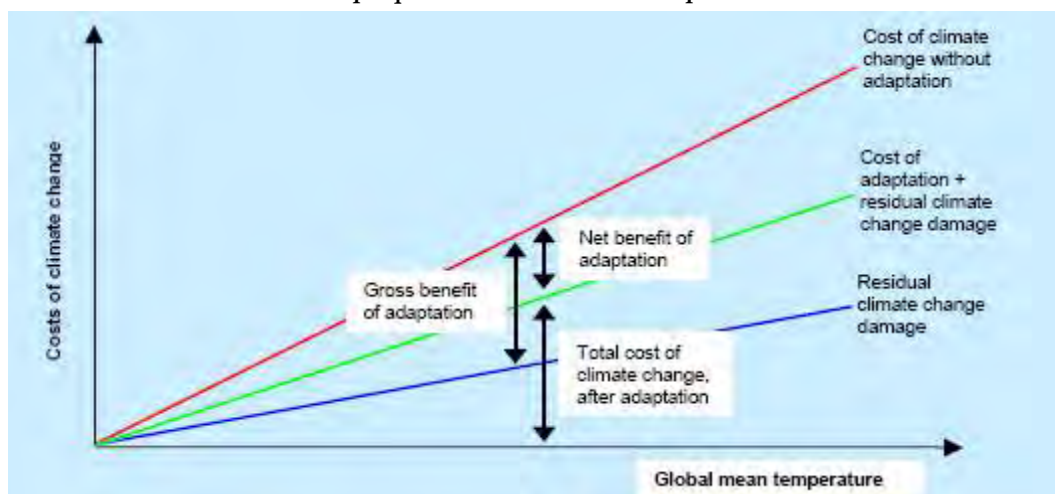


Source. Klein (2001)

Dans tous les cas, les pays cherchent à flexibiliser leur économie afin qu'elle prévienne ou amortisse de manière efficace ces variations exogènes. D'une manière plus concrète, certaines activités, les moins émettrices de CO₂, doivent être privilégiées par rapport à d'autres plus polluantes et plus vulnérables au climat. De même l'adoption de nouvelles technologies, plus économes en énergie, doit être favorisée, même si leur coût est dans un premier temps plus élevé.

Au final, compte tenu des incertitudes, les pays cherchent à mettre en œuvre des politiques dont ils ne regretteront pas plus tard les effets ('no-regrets policies') c'est-à-dire qui procureront des bénéfices sociaux nets, même si la variation du climat est différente de celle qui a été anticipée et n'est pas liée forcément à l'action de Homme (IPCC, 2001). Pour cela, l'information doit être transparente. Car, l'un des principaux problèmes rencontrés par les décideurs (politiciens, chefs d'entreprises) est lié à l'incertitude quand à l'évolution réelle du climat, à la mise en place éventuelle de politiques de régulation et au comportement futur des agents. L'occurrence et l'ampleur des événements extrêmes sont les plus difficiles à anticiper. C'est pourquoi, ils requièrent à la fois des mesures préventives, ex-ante, mais aussi des actions ex-post, compensatrices.

Graphique 6 - Les bénéfices de l'adaptation



Source: Stern (2006)

1.2. Les actions d'adaptation d'un point de vue concret

L'adaptation recouvre un ensemble complexe d'actions. Il n'existe pas une politique unique et générale à mettre en œuvre par les pays, pour répondre au problème du changement climatique. Les pays sont inégaux face à la modification du climat et à ses conséquences. Tout dépend du pays considéré, du secteur mis en cause et de la période retenue (Stern, 2006). Selon les économies, leur niveau de développement, leur spécialisation, leurs ressources naturelles et la réaction des producteurs et des consommateurs, les contraintes ne seront pas les mêmes. L'efficacité et le coût de l'adaptation dépendent donc de la prise de conscience des pays du réchauffement du climat, de leur sensibilité par rapport à la nécessité d'opter pour des mesures préventives et de leur capacité d'adaptation. Pour certains pays, il sera nécessaire de réorienter complètement une part de leur production, la plus vulnérable au climat pour limiter les coûts futurs. Cela nécessitera une longue période et de lourds investissements. Pour d'autres, il suffira de faire quelques efforts en termes d'efficacité énergétique notamment, ce qui ne supposera qu'une modification du processus de production et pourra avoir lieu dans le court terme.

Les études passées en revue convergent pour conclure que les pays du sud de la Méditerranée doivent s'adapter plus rapidement que d'autres régions du monde, car ils sont parmi ceux qui seront le plus rapidement et le plus fortement touchés par le changement climatique. Dans la plupart des cas, il est probable que le coût de l'action soit moins élevé que celui de l'inaction. Les réformes nécessaires touchent tous les secteurs de l'économie. Il s'agit notamment de poursuivre des objectifs compatibles avec un développement durable. En priorité, il s'agira de limiter la sensibilité de l'agriculture des pays. Puis, la recherche d'efficacité dans le domaine énergétique sera un point essentiel à poursuivre, pour que les pays puissent conserver et étendre leur place sur les marchés internationaux. Pour ce faire, les pays devront diversifier leurs activités économiques, en vue d'être plus flexibles et de répartir les risques. L'environnement institutionnel doit favoriser ces réformes. De même, la modernisation de leur processus de production passera obligatoirement par le développement de l'accès à l'éducation, pour former les travailleurs. Par ailleurs, en vue de diminuer les impacts futurs des événements extrêmes, il sera primordial de prévoir la gestion de ces crises. Une action immédiate sera organisée et devra être renforcée grâce à l'amélioration de l'accès au système de santé. Enfin, pour limiter les impacts globaux, il sera important d'agir le plus tôt possible en vue de réduire la part de la population la plus exposée. Toutefois, nous verrons que les études économiques sur la Méditerranée mettant en évidence, d'une manière bien identifiée, la diminution

des coûts du changement climatique (dommages évités) grâce à l'adoption de mesures d'adaptation, sont rares. En outre, et même si les études économiques sectorielles ne le montrent pas forcément, des actions de grande envergure seront nécessaires en ce qui concerne la question de l'eau. Afin de pallier cette insuffisance, et du fait qu'il est d'une extrême importance pour la région, des éléments issus d'approche de type « ingénieur » seront inclus dans cette partie. Nous nous concentrerons sur les secteurs les plus vulnérables au changement climatique (agriculture, énergie / industrie, eau principalement sous l'angle de l'agriculture, zones côtières). Ce point fera l'objet des deux premières sections de ce chapitre.

Compte tenu du fait que les pays méditerranéens n'ont pas suffisamment de ressources pour financer les investissements lourds, nécessaires pour limiter leur vulnérabilité au changement du climat, il est important de s'intéresser aux solutions alternatives permettant à ces pays d'opter pour des mesures préventives. Plusieurs possibilités s'offrent à eux, mais dans tous les cas, la recherche d'efficacité dans la définition de projets prioritaires doit être privilégiée. Ce sujet sera traité très brièvement dans la troisième et dernière section qui présentera quelques options pouvant être envisagées.

2. REORIENTATION DE LA PRODUCTION AGRICOLE

L'adaptation du secteur agricole est une priorité pour les pays, en particulier pour ceux dont le poids relatif de la production agricole reste important par rapport aux autres domaines de l'économie. La question de la sécurité alimentaire des pays en fait un secteur stratégique et, comme nous l'avons vu, ce secteur permet la survie des populations les plus vulnérables. Elle leur fournit à la fois du travail et de la nourriture (34% de la population en moyenne dans la région du Sud de la Méditerranée travaille dans ce secteur). La diminution des récoltes peut donc avoir des conséquences catastrophiques en termes de famine, d'épidémies... En effet, alors que 70% des plus pauvres vivent en zone rurale dans les pays du MENA, l'agriculture ne répond déjà qu'aux besoins de 43% de la population concentrée dans cette zone (World Bank, 2005). En outre, ce secteur est le plus gros utilisateur d'eau.

Dans cette région, les mesures d'adaptation retenues doivent obligatoirement s'inscrire dans un processus de développement durable. Pour cela, elles doivent être en accord avec les Objectifs du Millénaire et de ce fait permettre à la fois un bénéfice supplémentaire pour les agriculteurs (en particulier les exportateurs), mais aussi une réduction de la pauvreté, de la famine et de la malnutrition à l'origine de maladies intestinales graves. Car il est clair que le changement climatique aura un impact néfaste qui viendra, si rien n'est fait, accentuer les problèmes déjà existants (Downing et al., 1997).

L'adaptation de ce secteur peut prendre plusieurs années. On estime en moyenne que 3 à 10 ans sont requis pour l'exploitation de nouvelles terres et le recours à de nouvelles variétés. Et de 50 à 100 ans sont nécessaires pour les investissements lourds : la modification d'infrastructures, la réorientation de la production vers de nouvelles cultures (Reilly, 1997). Par conséquent, les pays doivent réagir dès maintenant en fonction des prévisions du climat futur. En ce sens, différentes options s'offrent à eux. Elles sont à la fois globales et ciblées selon les régions et les cultures, et varient selon la période retenue.

Dans le court et moyen terme, les possibilités d'adaptation des pays passent par une réorientation de certaines cultures et une modification des processus de production pour résister à la variation du climat et répondre aux besoins croissants de la population. Notons que la méthode ricardienne peut introduire ce facteur (Mendelson et al., 2000 ; Kurukulasuriya et al., 2003). Elle prend en compte le

fait que les agriculteurs cherchent à maximiser leurs profits et donc leurs rendements et pour cela utilisent des méthodes alternatives ou substituent certaines cultures à d'autres. Pour évaluer le coût de l'action, il s'agit alors de comparer plusieurs équilibres de l'économie avant et après l'adaptation des agriculteurs à la variation du climat (Kurukulasuriya et al., 2003)²³. Plus globalement, l'adaptation est une des composantes des modèles d'évaluation intégrée (IAM), mais qui ne distinguent généralement pas les coûts et les bénéfices qui lui sont associés (Stern, 2006).

Ces initiatives individuelles ne sont généralement pas suffisantes et demandent d'être accompagnées de politiques d'orientations plus complètes. Dans le long terme, il s'agit d'envisager une réduction significative de la part accordée au secteur agricole au profit d'autres activités économiques.

2.1. Dans le court et moyen terme

Pour ce qui est de la réaction des pays dans le court terme, elle doit s'organiser autour d'un problème central qui est la diminution des ressources en eau, plus ou moins prononcée selon les zones. Pour évaluer les actions à privilégier, il s'agit tout d'abord de différencier les impacts selon les régions et la qualité de la terre. Les effets néfastes sur les cultures irriguées ne se feront ressentir que dans le plus long terme par rapport aux conséquences négatives sur les terres plus arides et le bétail (Kurukulasuriya et al., 2003). C'est pourquoi, il est possible de favoriser leurs rendements dans les années à venir pour compenser les pertes dans les autres types de cultures. Ce gain de productivité nécessite, au préalable, des investissements pour faciliter l'irrigation, des outils et des variétés de graines qui seront plus résistantes aux conditions climatiques futures (c'est-à-dire dont les besoins en eaux sont plus faibles et dont la vulnérabilité à l'augmentation des températures est réduite). En outre, le calendrier des cultures devra être établi en fonction des futures variations saisonnières, pour optimiser leur croissance et limiter les pertes. Par ailleurs, toutes les cultures seront choisies selon les caractéristiques du sol : les cultures irriguées seront abandonnées dans les zones devenant plus arides et développées dans les régions les plus humides. Et les cultures qui requièrent beaucoup d'eau devront être limitées (Rousset et al., 2003).

Les agriculteurs ne pourront pas se lancer dans de telles réformes uniquement de leur propre initiative. Leurs réactions risquent d'être insuffisantes, et trop tardives. D'autre part, leurs moyens sont insuffisants pour assumer de tels investissements. Par conséquent, le rôle du secteur public est déterminant à la fois dans la diffusion de l'information et l'orientation des mesures à adopter pour qu'elles soient les plus efficaces possibles, mais aussi pour supporter les coûts les plus importants en termes d'infrastructures (Challinor et al., 2007). Il s'agit d'abord de sensibiliser les agriculteurs au problème du changement climatique, puis de les convaincre de l'efficacité de ces mesures et de les aider financièrement à acquérir le capital nécessaire... Cela passe, en amont, par le développement des capacités du pays en terme de recherche scientifique, à la fois dans le domaine météorologique et agronomique. Il est nécessaire que le pays soit en mesure d'anticiper les variations du climat et les réponses des cultures, en tenant compte d'une marge d'erreur liée à l'incertitude, pour choisir parmi les options qui s'offrent à lui pour adapter la production agricole. Un investissement à ce stade ne doit donc pas être négligé. Enfin, la gestion des événements extrêmes doit être assurée en grande partie par le secteur public dont le but doit être au préalable de réduire les parts de l'économie et de la population vulnérables à ce type de manifestations, et par la suite, de limiter les dégâts financiers et sur la santé des personnes grâce à une action immédiate et efficace.

²³ Il faut cependant être prudent lors de l'interprétation des résultats car cette modélisation ne permet pas, malgré tout, de considérer les coûts de transition d'une situation à l'autre (Kurukulasuriya et al., 2003).

2.2. L'adaptation du secteur agricole directement lié au problème de la raréfaction des ressources en eau

Au-delà des actions axées uniquement sur le secteur agricole, d'autres solutions doivent être retenues en vue de répondre aux besoins en eau des cultures (Rousset et al., 2003, Plan Bleu, 2007b). Mais, la principale difficulté qu'elles soulèvent, en plus des coûts de mise en service qui peuvent être rapidement amortis, est le délai avant que ces mesures soient opérationnelles, alors que les besoins se font déjà ressentir et vont s'amplifier dans les années à venir. Les options peuvent être classées de la manière suivante :

- A très court terme, il faudrait donner la priorité à une gestion optimale des ressources et de la demande en eau. L'objectif est que tous les secteurs de l'économie soient sensibilisés à ce problème et que chacun cherche à limiter et maîtriser sa consommation. Pour cela, on peut envisager une tarification fixée de manière à ce qu'elle puisse amener de tels comportements.
- Dans le moyen terme, il peut s'agir de développer les techniques de dessalement de l'eau. Mais, il ne faut pas perdre de vue que cela suppose non seulement un coût fixe important lors de la construction des usines, sachant que celui-ci est amplifié par la mise en place d'infrastructures permettant d'acheminer l'eau dans les terres, mais aussi un coût variable qui n'est pas négligeable du fait de l'utilisation intensive d'énergie. Cette solution doit alors se doubler d'investissements dans la production d'énergie (construction de centrales nucléaires par exemple). El-Fadel et al. (2001) estiment ce coût à 1,5 dollars US le m³ par jour en moyenne.
- Une autre option passe par la construction de barrages permettant de retenir l'eau, et ainsi, d'approvisionner les cultures toute l'année, même lorsque les précipitations sont plus espacées et en période de sécheresse. Or, en Méditerranée, les sites potentiels sont maintenant peu nombreux et la hausse des températures a pour inconvénient d'augmenter l'évaporation.
- On peut aussi promouvoir la réutilisation des eaux usées, qui seront ensuite traitées puis redistribuées dans les secteurs agricole et industriel. Cependant, les coûts fixes associés à ce type d'option restent très élevés. Mais les économies d'eau seraient très importantes. Elles s'élèveraient respectivement à 0,9 et 0,5 milliards de mètres cubes par an pour l'Algérie et le Maroc par exemple (Rousset et al., 2003)²⁴. Globalement, ces coûts sont estimés entre 3600 et 5700 dollars US en moyenne, par hectare, en Afrique Subsaharienne et varient selon les régions (Kurukulasuriya et al., 2003).

La mise en place de mesures d'adaptation pour pallier les problèmes de raréfaction des ressources en eau se justifie d'autant plus qu'elle bénéficie à tous les secteurs de l'économie.

2.3. Une modification de la spécialisation des pays dans le long terme ?

Dans le long terme, les coûts de l'adaptation ne vont cesser de s'accroître avec l'appauvrissement de la région en eau et l'augmentation des événements extrêmes (périodes de sécheresse). L'efficacité de l'action adoptée au départ peut être alors remise en cause au bénéfice d'un autre type de mesures : l'abandon progressif de l'agriculture et une réorientation de la production et des travailleurs dans des secteurs moins vulnérables au changement climatique et pour lesquels l'avantage comparatif du pays est dominant. Il serait alors plus intéressant pour les pays d'acheter à l'extérieur des biens agricoles qui coûteraient moins chers qu'à produire. Cette stratégie se justifie d'autant plus que l'agriculture est le secteur qui consomme le plus d'eau (70% de la consommation totale) et à terme, cela pourrait

²⁴ Ces points sont approfondis dans la troisième partie de ce rapport dans le chapitre sur l'adaptation du système « eau-énergie ».

pénaliser grandement les autres secteurs d'activité plus productifs et surtout cela risquerait d'assécher les réserves destinées aux besoins des populations. Les fortes tensions sur les ressources en eau pourraient alors être amoindries par l'importation de produits agricoles riches en eau par les économies du sud de la Méditerranée, ce qui permettrait en outre d'assurer la sécurité alimentaire de ces pays. C'est le principe de l'échange d'« eau virtuelle » (Allan, 1993) à l'échelle internationale, les cultures les plus consommatrices d'eau étant produites et exportées par les pays connaissant les plus fortes précipitations (« eau verte ») et/ou la plus importante quantité d'eau souterraine (« eau bleue ») (Fernandez, 2007).

Cette évolution peut suivre naturellement le changement du climat (Julia, 2005). En effet, les coûts de production de produits agricoles vont augmenter dans certains pays et diminuer dans d'autres du fait de conditions plus ou moins favorables liées à la variation du climat. La productivité du secteur agricole va diminuer dans le sud et augmenter dans le nord. Sur les marchés internationaux, la demande va donc se reporter automatiquement vers les biens les moins chers. La répartition des pays en fonction de leurs avantages relatifs sur la scène internationale va donc se transformer progressivement par le biais du commerce international. Cela permettra de répondre à la demande globale en termes de biens primaires. Toutefois, il n'est pas exclu que les prix des biens agricoles augmentent, en particulier les prix des grains et du bétail car les dépenses dans la production agricole seront plus élevées par rapport aux revenus des agents dans ce secteur (Julia, 2005). Mais cette hausse pourrait s'essouffler et s'inverser à la suite de l'ajustement au climat des pays concernés (Darwin et al., 1995).

Mais la transition de l'économie ne doit pas être le simple fait des agents privés. Elle doit être nécessairement accompagnée par des organismes publics pour qu'elle soit la plus efficiente possible et pour éviter que les populations les plus vulnérables se retrouvent dans des situations catastrophiques. En réduisant leur production agricole, les pays de la région peuvent étendre leur dépendance vis-à-vis du reste du monde. Pour éviter qu'une telle situation se produise, le pays doit se spécialiser dans la production de biens qui lui procurent la meilleure position sur la scène internationale. Pour être attractifs et permettre de gagner des parts de marché, les biens proposés devront être parmi les meilleurs et les moins chers.

L'environnement institutionnel doit donc favoriser cette transition en facilitant notamment les procédures administratives. De même l'ouverture financière permettra l'entrée de devises et d'investissements directs étrangers. A condition que les prises de risque des agents soient encadrées, l'entrée de ressources financières sera un élément décisif pour la croissance de l'économie. Elles viendront alimenter les banques et permettront le développement du crédit. Cela favorisera ainsi les investissements des particuliers et des entreprises. De plus, l'implantation de nouvelles entreprises étrangères sera bénéfique pour les pays dans le sens où elles apporteront un savoir technologique nouveau et seront créatrices d'emplois.

Mais cette transition passe par une réallocation des travailleurs d'un secteur à l'autre de l'économie, ce qui soulève plusieurs problèmes. En premier lieu, cela suppose que les régions agricoles se vident au profit des villes déjà surpeuplées, ce qui ne serait pas une solution envisageable. Le développement industriel doit donc s'étendre dans tous le pays et ne pas rester concentré autour des villes côtières. Par ailleurs, en ce qui concerne les emplois peu qualifiés, la reconversion des agriculteurs ne pose pas de problèmes majeurs. Par contre, l'industrialisation de l'économie engendrera le recours à des technologies de plus en plus développées. Ainsi, les demandes d'emplois de la part des entreprises concerneront les travailleurs les plus qualifiés. Pour que la transition de l'économie soit efficace, il s'agira de développer l'accès à l'éducation et à la formation pour un nombre croissant de personnes.

2.4. L'adaptation dans les études de l'impact économique du changement climatique sur l'agriculture

Les analyses qui introduisent les possibilités d'adaptation des pays comparent, en général, les résultats lors de l'adoption de ces mesures et dans le cas de la non action. Certaines études envisagent plusieurs degrés d'adaptation (Rosenzweig et al., 1995 ; Tol, 2002b). On retrouve souvent les mêmes hypothèses d'une étude à l'autre. Il s'agit de supposer que les agriculteurs modifient leurs dates de plantation, leurs dépenses en eau, la variété de leurs cultures, mixent leur production en fonction des prix des biens, ce qui entraîne des investissements mais aussi des bénéfices supplémentaires (Darwin et al., 1995 ; Rosenzweig et al., 1995 ; Mendelson et al., 2000 ; Fisher et al., 2002 ; Tol, 2002b). La possibilité d'une réorganisation de l'économie n'est pas retenue dans le cadre des études globales de l'impact économique du changement climatique, en particulier car les horizons temporels sont trop courts pour envisager de tels ajustements.

Il ressort des résultats de ces analyses que l'adaptation à un effet relativement bénéfique sur la production, notamment dans les pays développés. Selon l'étude la plus précise sur ce point, elle permet de limiter la baisse de la production de céréales mondiales de -7,6% à -0,5% et de -11% à -10% en moyenne dans les pays en développement (Rosenzweig et al., 1995).

La capacité d'adaptation du secteur industriel est beaucoup plus complexe à introduire dans le cadre d'une analyse des impacts du changement climatique car ce secteur est très large et recouvre différents types de production.

3. ADAPTATION DES SECTEURS INDUSTRIELS ET ENERGETIQUES

Contrairement au secteur agricole où la mise en place de politiques d'adaptation est une nécessité pour la survie des populations, dans le secteur industriel, elle est plutôt liée à la recherche de profits de la part des entreprises. Il faut se placer à l'échelle internationale pour comprendre les motivations des agents à utiliser des énergies plus propres, car les performances environnementales et financières vont être de plus en plus liées. Les firmes seront encouragées à agir si le bénéfice à venir de cette action vient compenser son coût. Pour évaluer leurs avantages futurs, il est nécessaire qu'elles se placent dans une optique de long terme.

La question de la réduction des émissions et de l'adaptation du secteur de l'énergie en Méditerranée est traitée en détail dans les parties 2 et 3 de l'étude. Cette section reprend les conclusions de quelques études économiques sur le sujet.

3.1. Les facteurs économiques et climatiques influant sur les prises de décision

Le Protocole de Kyoto, nous l'avons vu, impose aux firmes des pays du nord d'opter pour des modes de production qui émettent peu de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ces mesures ne touchent pas directement les pays du sud. En effet, les pays méditerranéens contribuent de manière très marginale aux modifications du climat. Kuik et al. (2006) évaluent la responsabilité des pays d'Afrique du Nord en termes de coût marginal des dommages en dollars US par tonne de carbone à 0,16 en 2005 et à 0,13 en 2055 alors que pour les Etats-Unis, ce chiffre est de 2,26 et 1,80 pour les

mêmes années. Cependant, la région méditerranéenne sera tout de même concernée indirectement par ce problème qui se traduira par un détournement de la demande au bénéfice des biens peu intensifs en carbone. Il est donc nécessaire que les firmes des pays méditerranéens qui produisent et utilisent de l'énergie prennent conscience dès à présent de ce phénomène et optent pour des options alternatives afin qu'elles ne soient pas, dans le plus long terme, dépassées par la concurrence internationale. Donc, pour être vraiment efficaces, les mesures d'adaptation doivent être accompagnées d'éléments de mitigation. Les entreprises ont intérêt à intégrer dans leurs décisions d'investissement non seulement la volonté de réduire leur exposition au climat mais surtout l'évolution future du prix des énergies intensives en carbone, de même que la recherche d'efficacité technologique en vue de limiter leurs émissions de gaz à effet de serre (Stern, 2006). Ce facteur est d'autant plus important dans les pays en perte d'avantages comparatifs dans le domaine agricole, qui réorienteront plus tard leur production.

La réorganisation du système productif des pays doit se faire en fonction de considérations stratégiques compte tenu de la situation anticipée des pays. Il s'agit alors pour les pays de s'orienter, dès maintenant, vers des systèmes de production plus propres, à grande ou à petite échelle, pour répondre à la demande croissante d'énergie (cf. partie 2 de ce rapport). Une adaptation préventive permettra donc d'éviter des coûts supplémentaires futurs liés à la restructuration des entreprises peu efficaces en termes d'économie d'énergie. Les firmes qui auront un avantage non négligeable dans les différents secteurs de production seront celles qui auront pris en compte ce phénomène le plus tôt et qui réadapteront le plus rapidement leur mode de production (Mansley et al., 2001 ; ISVA, 2002 ; Llewellyn, 2007).

Il faut par ailleurs que les entreprises considèrent les risques nouveaux, liés au climat, dans leurs prises de décision. Dans la plupart des cas, ils se traduisent par un alourdissement des coûts de production.

En ce qui concerne les énergies fossiles, il s'agit d'anticiper les difficultés pouvant survenir lors de l'extraction et du transport de l'énergie, notamment dans le cas d'événements extrêmes.

Les problèmes rencontrés par certaines régions proches de la mer devront être un des éléments majeurs pouvant orienter le choix de la localisation de certaines industries.

Pour ce qui est des énergies renouvelables, leur utilisation ne se justifie que dans le cas où leur amortissement permettra de couvrir l'investissement de départ. Or, leur efficacité dépend en grande partie du climat à venir.

3.2. Les orientations possibles

Compte tenu de ces facteurs, plusieurs possibilités en termes d'adaptation existent selon les activités industrielles. Elles se traduisent en général par la recherche d'efficacité énergétique et par le recours progressif à des énergies renouvelables²⁵.

Au vu du gaspillage de ressources énergétiques dans les pays méditerranéens, la première solution, moins coûteuse, doit être privilégiée dans ces pays. On estime qu'une économie d'énergie dans les pays du sud de la Méditerranée proche de 50% de la demande totale pourrait être possible en 2025 (Plan Bleu, 2005). Elle permettra ainsi une augmentation de la productivité globale des entreprises. Elle passe notamment par la diversification de l'offre en vue de limiter les impacts négatifs sur les entreprises d'une augmentation du prix de certaines énergies ou de l'épuisement des ressources. En outre, elle suppose une amélioration de la distribution qui passe notamment par un meilleur

²⁵ Ce point sera approfondi dans la troisième partie de ce rapport.

rendement des réseaux. Elle ne demande pas forcément de lourds investissements en infrastructures (Llewellyn, 2007). En ce sens, elle est une option qui peut être adoptée rapidement. Elle touche tous les secteurs de l'économie, mais le domaine de la construction est particulièrement concerné (rénovation des bâtiments avec le recours à une bonne isolation, plus de ventilation, meilleure orientation des bâtiments nouveaux, utilisation de nouveaux matériaux de constructions capables de résister aux événements extrêmes...).

La principale caractéristique de ces pays est que la plupart d'entre eux bénéficient d'importantes ressources en énergies fossiles, mais dont la combustion est très polluante. Avant de recourir à de nouvelles énergies, l'enjeu est d'exploiter les solutions qui leur permettraient d'utiliser ces ressources dont ils disposent, dans un processus de production propre.

Une option déjà retenue par certains pays du nord est de réduire l'intensité en carbone de l'utilisation de ces énergies en favorisant des systèmes de capture et de stockage de CO₂. Cette option est à l'étude dans le Sud de la Méditerranée²⁶. Mais, il semble que cette alternative soit efficace seulement dans une certaine mesure pour plusieurs raisons. Tout d'abord, elle ne répond pas vraiment aux objectifs de diminution des émissions et suppose des coûts fixes (en termes d'infrastructures) et des coûts variables (utilisation de l'énergie) importants. En outre, les impacts environnementaux doivent être analysés plus en détail. Par ailleurs, elle doit être motivée par des actions extérieures (publiques) dans les pays méditerranéens qui ne sont pas encore concernés par les politiques de régulation. Enfin, il n'existe pas d'accord général pour dire qu'elle permettra sur le long terme de limiter la variation du prix des énergies fossiles pour lesquels la demande va nécessairement diminuer. Plutôt que le pétrole, les pays devraient dans un premier temps privilégier l'usage du gaz naturel.

Une autre possibilité actuellement envisagée par les pays méditerranéens est le recours à l'énergie nucléaire, non émettrice de CO₂, pour répondre aux besoins croissants de la région. Les craintes associées à ce type de solution sont liées à l'augmentation de la dépendance des pays vis-à-vis du reste du monde. Cette situation peut être évitée si les pays optent pour une coopération entre les pays d'Europe et d'Afrique du nord (4th EUROMED Energy Forum for 2003-2006). Cela permettrait de faciliter les investissements en infrastructures par le biais de projets d'intérêt commun, et les échanges d'énergie entre les deux régions. Cependant, de nombreux inconvénients et risques liés à l'énergie nucléaire doivent être pris en compte.

De plus, l'approfondissement des relations entre l'Union Européenne et la région méditerranéenne dans le cadre d'une coopération sur les réformes du secteur énergétique, en tant que support pour le développement de politiques énergétiques efficaces ainsi que pour la promotion d'énergies renouvelables permettrait aux pays du sud des gains importants en termes d'économies d'énergie (Marquina, 2004).

Les avantages pour les pays du nord rentreront plus dans le cadre du Protocole de Kyoto. En effet, en favorisant les « mécanismes de développement propre » dans des pays n'appartenant pas à l'annexe 1, ils bénéficieront de nouveaux crédits d'émission.

L'adoption de nouvelles technologies va dans ce sens. Il serait alors opportun de remplacer les systèmes de production obsolètes par des processus nouveaux, qui, même s'ils demandent un investissement lourd au début seront vite amortis grâce aux économies d'énergies produites sur le long terme. Par ailleurs, pour éviter que les rendements des infrastructures en place diminuent et que leur vulnérabilité s'accroisse, des réhabilitations importantes doivent être envisagées pour les installations existantes et l'intégration de technologies adaptées pour les nouvelles constructions, en considérant la durée de vie très longue de la plupart des investissements dans ce domaine (40 ans pour une centrale à gaz, 60 ans pour une centrale nucléaire). Se pose toutefois le problème de

²⁶ Analysé en détail en Partie II

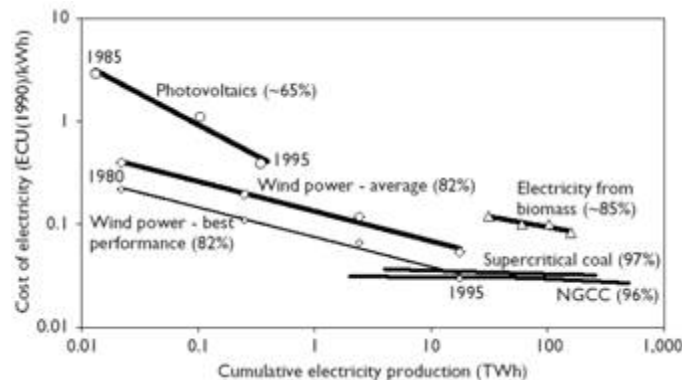
financements massifs nécessaires et des coûts non marchands liés à l'impact environnemental de la mise en place de telles structures.

Sur le point des énergies renouvelables, les pays de la Méditerranée bénéficient d'un privilège par rapport aux autres pays lié en particulier à leur exposition au soleil et au vent. Ils devront nécessairement exploiter cet atout. Au niveau national, il sera intéressant de substituer progressivement l'utilisation de certaines énergies traditionnelles polluantes et de plus en plus coûteuses, aux énergies renouvelables (hydraulique, énergie solaire, éoliennes...). D'autant que leur coût d'investissement dans les équipements requis est généralement plus faible que le renouvellement des infrastructures pour les énergies traditionnelles. On peut citer comme exemple réussi dans ce domaine, l'adoption de chauffe-eau solaires en Tunisie.

A un niveau plus global, le développement de ces nouvelles énergies pourra engendrer de nouvelles opportunités pour les pays en termes d'emplois et de part de marché. En effet, les pays qui progresseront le plus rapidement dans cette voie auront un avantage comparatif sur la scène internationale et pourront exporter leur énergie et leurs procédés dans les autres pays du monde qui cherchent à diversifier leurs ressources pour limiter leur dépendance au pétrole (Mansley et al., 2001 ; ISVA, 2002 ; Stern, 2006 ; Llewellyn, 2007).

Le problème est le coût en amont de l'adoption de telles énergies. Ce domaine nécessitera beaucoup de main d'œuvre, ce qui viendra, dans une certaine mesure juguler le chômage mais qui requiert d'importants efforts dans le domaine de l'éducation et de la formation. En outre, il sera nécessaire que le pays développe sa recherche scientifique pour pouvoir exploiter au mieux ces procédés et travailler sur les énergies renouvelables de seconde génération. Ces activités pourraient s'organiser en parallèle avec les pays européens. Il faut cependant être conscient du fait que même si l'investissement au départ est énorme, ces coûts seront rapidement amortis avec l'échelle et l'expérience des pays (Stern, 2006). Le tableau ci-dessous, issu du rapport IEA (2000) et repris par Stern (2006) illustre bien ce phénomène dans le cas de plusieurs nouvelles énergies.

Graphique 7 - L'évolution des coûts des énergies renouvelables



Source. IEA (2000), Stern (2006)

Pour inciter à l'utilisation de ce type d'énergie, il est nécessaire d'une part de sensibiliser les populations à ces nouvelles ressources et d'autre part de mettre en place des incitations financières.

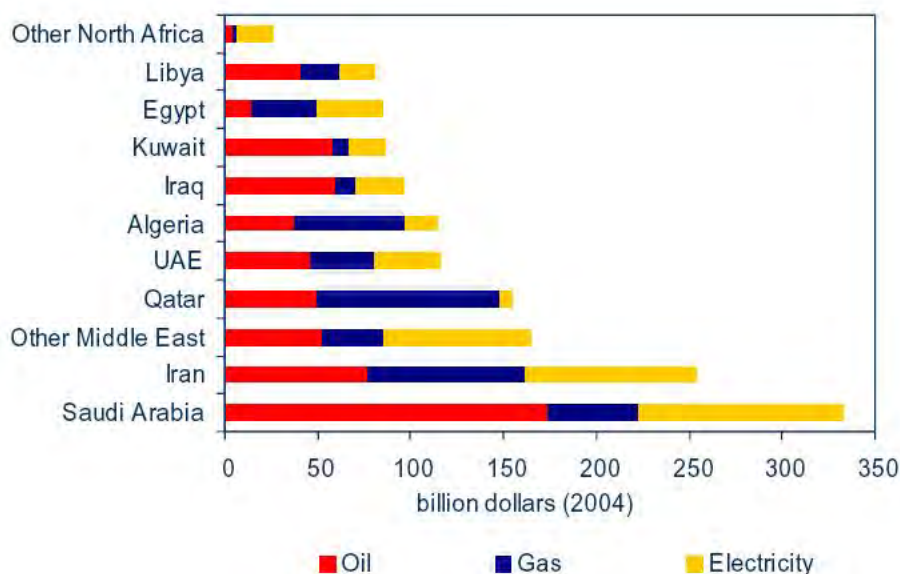
Bien que les principales décisions relèvent du secteur privé, le secteur public joue, la aussi, un rôle important (Stern, 2006). Il doit offrir un environnement économique, financier et institutionnel propice aux nouveaux investissements des agents, tout en orientant leurs décisions grâce à la transparence de l'information, de manière à promouvoir leur efficacité. Il doit en outre s'adapter aux besoins des entreprises en offrant des services qui leur correspondent. C'est pourquoi, il doit se charger de mettre en place un système d'éducation qui soit accessible à tous et qui permette d'augmenter les qualifications de la main d'œuvre. Par ailleurs, il doit favoriser la venue et le

développement de nouvelles technologies qui peuvent se substituer à certains mécanismes, gros consommateurs d'énergie. En ce sens, il est nécessaire d'ouvrir les marchés financiers des pays, notamment d'assouplir la législation concernant les conditions de rapatriement des profits des entreprises, en vue de rendre l'économie plus attractive pour les investissements directs internationaux.

3.3. L'évaluation des coûts dans les secteurs de l'énergie et de l'industrie

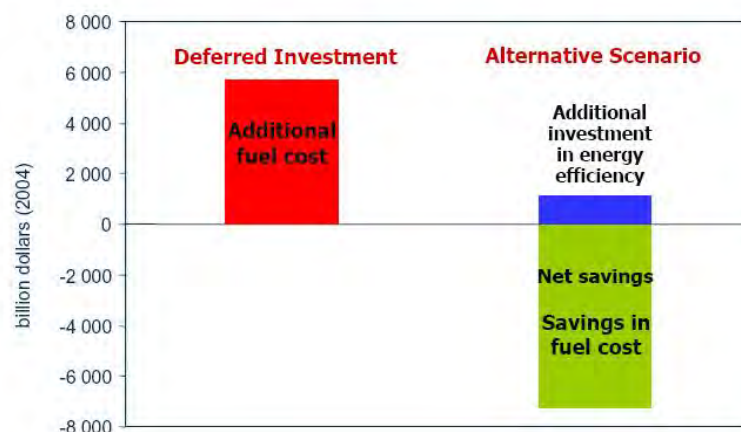
Les investissements nécessaires pour adapter, dans le court terme, l'offre d'énergie à la demande croissante dans les MENA passent par une augmentation des capacités de production et le renouvellement de structures obsolètes. Dans les trois principaux secteurs énergétiques (pétrole, gaz et électricité) ces coûts seront de 30 milliards de dollars US à plus de 150 milliards de dollars US selon les pays de la région d'ici 2030 (Graphique 8). Mais, ces chiffres ne comprennent pas les coûts associés à la recherche d'efficacité énergétique et l'utilisation d'énergies renouvelables, moins polluantes, car ils ne considèrent pas les mesures de mitigations que les pays vont être contraints d'adopter. Dans ce second cas, les investissements requis seraient beaucoup moins élevés et la recherche d'efficacité énergétique permettrait aux pays une épargne importante (Graphique 9).

Graphique 8 - Investissements en énergie requis dans les pays MENA d'ici 2030



Source. AIE (2005)

Graphique 9 - Les coûts et les bénéfices associés à la recherche d'efficacité énergétique en 2030



Source: AIE (2005)

La littérature économique ciblée sur l'étude des coûts du changement climatique avec l'adoption de mesures préventives dans le domaine énergétique reste peu précise. Rares sont celles qui mesurent les coûts de mise en place d'options d'adaptation dans les secteurs industriels et énergétiques. Cela s'explique par le fait que les investissements requis varient en fonction des secteurs d'activité, des technologies disponibles dans le pays, selon l'exposition du pays au climat, la flexibilité de la main d'œuvre... Elles se concentrent en général plutôt sur l'évaluation des coûts des politiques de mitigation. Plusieurs facteurs en sont à l'origine. Tout d'abord, par opposition au secteur agricole, le secteur de l'énergie est autant concerné par l'adaptation que par la mitigation pour pouvoir offrir des solutions dans le court terme tout en limitant les effets néfastes sur la pollution dans la plus longue période. Par ailleurs, l'intérêt porté à l'efficacité des différentes mesures envisageables a été décuplé ces dernières années avec le Protocole de Kyoto, compte tenu de la volonté des pays d'opter pour les solutions les moins coûteuses. Enfin, d'un point de vue méthodologique, il est relativement simple d'estimer des coûts à partir de l'évolution du prix des ressources énergétiques, traditionnelles et nouvelles, selon plusieurs scénarios. En outre, il est possible, en recourant à une analyse du coût social d'une émission supplémentaire d'une tonne de carbone dans l'atmosphère (Tol, 2005, 2007) d'évaluer le prix de cette tonne supplémentaire et de comparer ce résultat au coût marginal de la réduction de cette émission, selon différents procédés.

Dans le cadre de la mitigation, les coûts sont liés principalement à l'adoption de nouvelles technologies plus efficaces et moins émettrices et qui se répercutent sur le prix supporté par les consommateurs dans le cadre de la réorientation de leurs approvisionnements énergétiques, sachant que les nouvelles ressources restent encore plus chères que les traditionnelles. Globalement, les coûts engendrés par le maintien des émissions à un niveau inférieur à 550 ppm en 2050 grâce à la substitution d'énergies faibles en carbone aux énergies fossiles sont estimés à 1% du PIB en moyenne (Stern, 2006). La plus grosse partie des coûts sera supportée par les pays les plus polluants.

Les études plus détaillées, concentrées sur l'énergie en particulier, introduisent, en plus, le comportement des producteurs et des consommateurs (Barker et al., 2006, par exemple). Les résultats sont très dépendants des hypothèses fondatrices du modèle concernant le niveau d'émission actuel du pays, l'évolution des prix de l'énergie, l'élasticité de substitution des consommateurs et des producteurs... Recourir à un mode de production plus propre engendre donc des coûts qui varient entre un bénéfice de 2% du PIB par an à partir de 2050 dans les pays où les conditions sont les plus favorables et pour qui les politiques climatiques sont de nouvelles opportunités de croissance, et un coût de 4% du PIB dans les pays qui connaissent les plus grosses difficultés (Stern, 2006). Ils restent généralement inférieurs aux coûts de la non-action. Dans tous les

cas, les coûts de la mise en place de politiques préventives sont marginaux, compte tenu de la croissance anticipée des pays.

3.4. La protection des zones côtières

Une solution pour limiter les impacts de la variation du niveau de la mer et du climat serait de mettre en place une protection efficace des côtes. Le montant des investissements directs requis pour la protection des côtes face à une augmentation du niveau de la mer de 1 mètre sont estimés à 92 milliards de dollars US pour l'Afrique et 5 milliards de dollars US pour le Moyen-Orient (Tol, 2002b). L'importance de ce coût est due au fait qu'une part dominante de l'activité économique se concentre dans cette zone dans les pays méditerranéens.

Ces investissements restent importants, notamment pour les pays émergents. Les actions en termes d'adaptation dans les pays méditerranéens sont alors largement liées aux opportunités de financement qui s'offrent à eux. Plusieurs solutions doivent donc être envisagées pour aider ces pays à assumer les coûts d'adaptation et de mitigations nécessaires à la croissance et au développement de leur économie.

4. COUTS TOTAUX ET FINANCEMENTS: QUI VA PAYER ?

Pour que les pays du sud de la Méditerranée puissent réduire leur vulnérabilité tout en ayant recours à des solutions qui soient soutenables dans le long terme, diverses options de financement, pour la plupart complémentaires, peuvent être adoptées. Elles supposent d'une part une implication des secteurs privé et public des pays au niveau national, et d'autre part une aide internationale par l'intermédiaire des Institutions notamment.

Il est clair que les pays du sud de la Méditerranée ne disposent pas suffisamment de ressources financières pour adapter leur économie au changement climatique lorsqu'on se réfère aux premières estimations du coût de l'action. Cependant, le manque d'informations quantitatives et précises concernant les besoins des pays et des différents secteurs représente une difficulté à la mise en place des financements.

4.1. Une action coordonnée ?

Pour que l'action soit efficace, le choix des programmes à suivre doit se faire nécessairement dans le cadre d'une coordination des secteurs privés et public pour chaque activité économique (Kurukulasuriya et al., 2003, Mendelson et al., 2006). Ce dernier aidé des Institutions internationales doit promouvoir et assister la mise en place de stratégies nationales. Son intervention peut prendre différentes formes.

Dans le cadre de la gestion des biens publics, il se doit d'agir, avec l'aide des Institutions internationales, dans le sens d'une protection des ressources naturelles, des côtes, et des populations. Cela suppose d'une part d'établir une réglementation claire pour encadrer l'urbanisation et les constructions, et d'autre part de faciliter l'accès aux soins des plus démunis. Par ailleurs, nous l'avons vu, il doit offrir une éducation et des formations accessibles à tous pour que les entreprises puissent faire appel à une main d'œuvre plus qualifiée. Enfin, il doit prendre en charge le développement de

la recherche scientifique pour anticiper les effets à venir du changement du climat et proposer des politiques adaptées.

En ce qui concerne l'orientation des secteurs marchands, son rôle consisterait à évaluer les besoins réels de l'économie, gérer la demande, transmettre les informations, établir des règles pour encadrer au mieux les investissements et faire en sorte que les normes environnementales soient respectées. Il s'agirait alors d'une approche multiple, en fonction de chaque secteur, doublée d'une expertise pour les problèmes spécifiques. Il assurerait par ailleurs, grâce à l'aide des Institutions internationales, les lourds investissements en infrastructures requis pour chaque activité. De même, il jouerait un rôle dominant dans le financement des dégâts provoqués par les événements extrêmes en venant en aide notamment aux populations les plus pauvres. La stabilité et l'efficacité des programmes étant assurées, cela engendrerait une attractivité des investisseurs privés (Bode, 2005 ; Winkler et al., 2005).

Cette stratégie est défendue par la Banque Mondiale, en particulier dans le domaine agricole, où cette organisation demande d'être encore plus déconcentrée. Elle doit tenir compte des intérêts locaux des agents et de leurs stratégies propres car il peut y avoir une possibilité d'adaptation différente pour chaque zone agricole en fonction de ses caractéristiques (Kurukulasuriya et al., 2003). Le secteur public doit prendre à sa charge la gestion des ressources en eau (tarification, le développement d'infrastructures...) mais aussi aider au désenclavement de certaines régions en développant l'accès à l'énergie par exemple. En complément, le secteur privé devra s'investir dans l'amélioration du rendement agricole, la commercialisation des produits, l'expansion des technologies et la modernisation des modes de production (World Bank, 2005).

Mais l'extension du secteur privé au niveau national demande en amont que se développent les services financiers aux particuliers et aux entreprises. Le secteur bancaire aura un rôle prépondérant dans les années à venir. En offrant des opportunités de financement par le biais de crédits, il encouragera l'initiative privée. Une condition nécessaire est que les prises de risque soient encadrées pour limiter les comportements excessifs responsables de larges crises financières venant remettre en question la stabilité de l'économie dans son ensemble. Ces garanties permettront en outre aux secteurs bancaire et financier d'attirer un montant de liquidités internationales suffisant pour répondre aux besoins croissants de l'économie. En outre, si les projets qui respectent des normes environnementales sont valorisés, cela incitera les agents à chercher à réaliser des économies d'énergies. Dans le même temps, cela répondra aux Objectifs du Millénaire car en offrant des ressources financière à chacun, il sera un des vecteurs de la réduction des inégalités (Daymon et al., 2007).

Pour ce qui est du secteur financier de ces pays, une ouverture plus prononcée et encadrée leur permettrait de participer aux échanges internationaux des droits à polluer. Ainsi, ils pourraient bénéficier de liquidités supplémentaires. En outre, ce facteur serait à l'origine d'une plus grande diversification du portefeuille des investisseurs, permettant une allocation efficace des ressources en privilégiant les entreprises les moins polluantes (ISVA, 2002). Cela nécessitera cependant une multiplication des intermédiaires financiers facilitant les liens avec les pays industrialisés et les Institutions internationales. (Stern, 2006).

En parallèle, il est nécessaire que se développent les assurances privées pour les firmes et les particuliers en vue de couvrir les coûts ponctuels et importants liés aux événements extrêmes. Dans certains cas, une collaboration avec le secteur public sera nécessaire et permettra aux agents de disposer d'une plus grande marge de manœuvre (UNEP-FI, 2006)

4.2. Le rôle des Institutions internationales

Les Institutions internationales semblent être les mieux à même de gérer les financements à l'échelle mondiale permettant d'aider les pays plus pauvres à s'adapter en vue de limiter l'impact du changement climatique.

Une des options passe par l'adoption d'un système de compensation sur le modèle du GEF (Global Environment Facility) qui met en œuvre les objectifs de l'UNFCCC²⁷ (United Nation Framework Convention on Climate Change), avec comme support la Banque Mondiale et le PNUE. L'objectif est d'aider à financer les programmes fondés sur l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables dans les pays en développement. Cette initiative a été enrichie par les accords de Marrakech (2001) qui ont instauré trois fonds d'aide à l'adaptation des pays : un fonds spécial pour le changement climatique, un fonds pour les pays les moins avancés, et un fonds d'adaptation. Cependant, les investissements doivent être à l'origine de profits globaux futurs pour être adoptés.

Une deuxième proposition que l'on rencontre dans la littérature économique serait de créer un fonds d'assurance lié au climat pour les pays les plus exposés et largement touchés par le changement climatique et les événements extrêmes dus aux émissions de CO₂. Mais un tel mécanisme serait très difficile à mettre en place car il supposerait que les dédommagements dépendent de la responsabilité des émissions de carbone qui sont impossibles à déterminer. Par ailleurs, il existe un risque d'« aléa moral » (de la même manière qu'il a pu se manifester à la veille des crises de change dans les pays émergents (Hellman et al., 2000)). En effet, les pays comptant sur des compensations de la part des organismes internationaux pour financer les impacts du climat sur leur économie seront peu motivés pour adopter des mesures permettant de réduire, en amont, leur vulnérabilité.

Une alternative serait d'envisager un fond d'assurance international destiné uniquement à financer les impacts catastrophiques des événements extrêmes dans les pays en développement (Linnerooth-Bayer et al., 2006). Son rôle serait de renforcer les recours des secteurs privé et public lors de chocs exogènes de grande ampleur liés au climat. Il constituerait une option pour protéger les populations les plus pauvres car son accès serait étendu à l'ensemble de la société. Pour être réellement efficace, il serait accompagné de mesures de prévention. Les financements pourraient provenir de pays donateurs, qui seraient les économies les plus riches du monde.

Enfin, une dernière solution consisterait à mettre en place des programmes d'aide au développement des pays les plus pauvres, orientés et administrés par la Banque Mondiale. Ils répondraient aux Objectifs du Millénaire. Il s'agirait en parallèle de réduire les inégalités pour limiter l'exposition des populations les plus sensibles, d'impulser la croissance de l'économie, mais dans le cadre d'une réglementation permettant d'améliorer leur efficacité énergétique et de protéger l'environnement. Ainsi, les pays du sud réduiraient leur vulnérabilité au changement climatique. Les fonds proviendraient des pays qui contribuent le plus aux émissions de carbone.

5. CONCLUSION

Les quelques éléments d'ordre économique identifiés convergent pour laisser penser que si la région du sud de la Méditerranée prend conscience dès à présent des difficultés à venir dues au changement du climat et qu'elle cherche à en limiter les impacts, les coûts liés à la variation future des températures et des précipitations peuvent être largement amoindris.

²⁷ http://unfccc.int/cooperation_and_support/financial_mechanism/items/2807.php

En effet, la priorité doit être accordée, à la gestion efficace des ressources en eaux. En premier lieu, cela suppose d'adopter des réformes nécessaires dans le secteur agricole, pour réduire la consommation d'eau. Les mesures entreprises, visant à réduire la vulnérabilité des régions agricoles, dépendront des caractéristiques de chaque zone. Il s'agira de réorienter certaines cultures au bénéfice d'autres, plus résistantes et mieux adaptées au climat, ou d'abandonner la production agricole dans les régions les plus exposées, au profit du secteur secondaire. Plus globalement, le pays doit s'investir dans la diffusion de l'information, la gestion de la demande en eau et la mise à disposition d'infrastructures nécessaires pour soutenir les initiatives privées. Dans ce secteur, il s'agira de donner la priorité à l'adaptation car les effets néfastes vont se faire rapidement ressentir.

Dans le secteur énergétique, de nombreuses synergies existent entre les actions de mitigation et d'adaptation. Les économies d'énergie et d'eau, et la recherche d'efficacité énergétique permettront à la fois de réduire la sensibilité des pays au climat tout en répondant à la demande croissante d'énergie, mais aussi de réduire dans le plus long terme ses émissions de gaz à effet de serre. Cette nécessité est en outre accentuée par la tendance actuelle, à l'échelle internationale, de privilégier les biens et services faibles en carbone. Le coût de l'action dans ce secteur est très élevé car il est dépendant des investissements en infrastructures, de l'adoption de nouvelles technologies, mais aussi de la formation des agents et de la recherche et développement. Cependant, l'exploitation de nouvelles ressources énergétiques, faibles en carbone pourrait être doublement profitable pour le pays. Tout d'abord, elle lui permettrait une économie d'énergie importante. En outre, la région ayant des atouts pour exploiter ce type de ressources pourrait, si elle agit rapidement et en coordination avec les pays européens, connaître un avantage comparatif non négligeable dans ce secteur par rapport au reste du monde.

Les plus grosses difficultés à gérer sont liées aux événements extrêmes. Ils sont difficilement prévisibles et les coûts qu'ils engendrent sont très lourds. C'est pourquoi, il est important que se renforce l'aide internationale pour compenser les dégâts liés à ces catastrophes dans les pays en développement.

Par ailleurs, les politiques d'adaptation et de mitigation doivent être choisies à l'issue d'une étude précise pour répondre de manière efficace aux besoins des pays. Pour atteindre cet objectif, il s'agit de combiner les approches nationales et locales avec une amélioration de la gouvernance (transparence dans la prise de décision, action de la société civile...). La stabilité de l'environnement économique encouragera donc la participation du secteur privé. En effet, une coordination entre les décisions prises par le secteur public, les Institutions internationales et le secteur privé permettra de gérer au mieux les difficultés engendrées par le changement climatique. Dans les pays du sud de la Méditerranée, ce sera l'Europe du Nord qui aura le plus gros rôle à jouer.

IV. CONCLUSION

Les résultats de l'ensemble des études prises en compte convergent pour affirmer que les impacts économiques du changement climatique sur les pays du sud de la Méditerranée seront considérables si aucune mesure n'est entreprise pour réduire leur vulnérabilité à ces variations.

Bien que très peu d'études complètes se concentrent sur cette zone, il ressort des analyses globales un coût très important pour les pays dès les décennies à venir. Ce dernier est d'autant plus élevé qu'il existe de nombreuses interactions entre les différents secteurs de l'économie des pays. Les résultats sont largement entachés d'incertitude quant à l'évolution future du climat et des économies, donc ils ne doivent être cités qu'à titre informatif. De même, ils sont très dépendants des hypothèses sous-jacentes du modèle. Ainsi, les études les plus objectives sont celles qui reposent sur plusieurs scénarios climatiques, qui évaluent à la fois les impacts du climat et des événements extrêmes sur les secteurs marchands et non marchands d'un point de vue dynamique, qui comparent différents procédés de pondération et qui fixent le taux d'actualisation à des niveaux intermédiaires.

Avec la variation du climat qui s'accélèrera probablement, les pays de la région méditerranéenne qui connaissent déjà des températures élevées et des difficultés en termes de ressources en eau verront leurs problèmes s'accroître. Même si le réchauffement du climat est bénéfique pour les pays n'ayant pas encore atteint la température permettant d'optimiser leur production, les pays méditerranéens, pour la plupart, ont déjà dépassé ce seuil et connaissent une diminution de leur bénéfice et une augmentation de leurs coûts. Les études soulignent ainsi que les efforts d'adaptation doivent donc être accélérés et pour s'avérer réellement efficaces dans le long terme être accompagnés de politiques de mitigation. Une association entre les secteurs public et privé et les Institutions internationales est conseillée par la majorité des auteurs pour assurer à la fois le développement d'un environnement économique stable, une orientation efficace des politiques et pour offrir une assurance en cas d'événements extrêmes de grande ampleur.

Les pays les plus concernés par ces difficultés sont les pays dont la production est spécialisée dans l'agriculture, secteur très exposé au climat (la Syrie notamment mais aussi le Maroc, l'Égypte et la Turquie). Ce sont en particulier les zones les plus arides qui verront le plus rapidement leur productivité diminuer. Ainsi, il est important de mettre en place des mesures préventives visant à réduire la vulnérabilité des pays agricoles aux variations du climat. Les options à adopter varient selon les spécificités locales des terres mais dans certains cas, la réorientation vers des cultures plus résistantes ne suffit plus. Ainsi, les pays ont intérêt à privilégier le développement de leur secteur secondaire et tertiaire avant que la demande pour leurs produits agricoles ne se réoriente vers d'autres pays bénéficiant de meilleures conditions climatiques. Seuls les agriculteurs ne sont pas en mesure de répondre intégralement à ce problème. Bien qu'ils aient une capacité d'adaptation importante, celle-ci suit la variation du climat et ne l'anticipe pas. Par ailleurs, elle suppose des coûts très élevés, en infrastructures d'irrigation notamment, qui ne peuvent pas être supportés uniquement par le secteur privé.

Enfin, pour permettre aux décideurs d'orienter efficacement la production, une information plus complète et précise est jugée primordiale par de nombreuses études. Le rôle du secteur public est alors dominant. En plus de fournir une structure stable aux prises de décisions, il doit gérer les événements extrêmes et s'assurer que les zones rurales puissent bénéficier d'un accès à l'énergie, à l'eau et à l'éducation. En complément, le secteur privé est incité à investir dans des filières stratégiques. Mais pour financer ce processus d'adaptation, les Institutions internationales doivent apporter leur soutien en obtenant des dédommagements de la part des pays les plus pollueurs par exemple.

En ce qui concerne les secteurs industriel et énergétique, deux problèmes sont à considérer. D'une part, les pays vont connaître dans les années à venir une demande croissante d'énergie liée non seulement au climat mais aussi à la croissance de la production industrielle, de la population et à l'élévation du niveau de vie des agents. Mais cette augmentation va s'accompagner d'un détournement de la demande internationale pour les produits intensifs en carbone. C'est pourquoi, les pays doivent accompagner les mesures d'adaptation de leurs secteurs par des considérations sur la plus longue période axées sur l'efficacité énergétique. Bien que relativement peu d'analyses sur le coût de l'adaptation soient disponibles, les coûts anticipés semblent considérables. Mais, dès lors que les pays se positionnent sur des stratégies industrielles porteuses (par exemple les équipements d'énergies renouvelables), ils pourraient bénéficier d'un avantage comparatif sur la scène internationale. En vue de maximiser l'efficacité des nouvelles industries productrices ou consommatrices d'énergie, plusieurs considérations doivent être retenues. Les auteurs préconisent que le secteur public incite le secteur privé à optimiser ses installations compte tenu des contraintes directes du climat et des événements extrêmes, mais aussi de l'influence indirecte des politiques de régulation dans les autres pays sur le prix des ressources énergétiques. De plus, il doit favoriser les investissements en développant le secteur bancaire et en améliorant le cadre institutionnel. En outre, en offrant une formation appropriée à la main d'œuvre, il est susceptible de répondre efficacement à ses besoins. Dans ce secteur aussi, le rôle des Institutions internationales et de la coopération euro-méditerranéenne est dominant pour l'introduction de nouvelles technologies, le financement et l'orientation des projets prioritaires.

Pour ce qui est des autres secteurs de l'économie, en tant que principale action préventive, les zones côtières ont intérêt à limiter les constructions dans les régions exposées soit à l'augmentation du niveau de la mer, soit aux événements extrêmes. Ces dernières doivent de plus être optimisées pour économiser un maximum d'énergie. Dans le cas des transports, ils risquent de subir le contrecoup des politiques de régulation dans les autres secteurs. Pour l'instant, peu d'alternatives s'offrent à eux, si ce n'est dans le cas des véhicules individuels. Enfin, dans le secteur non-marchand, les effets néfastes du climat sur l'écosystème peuvent difficilement être évités. Une action dans le sens de l'amélioration de l'accès à la santé peut cependant réduire considérablement les risques d'épidémies. Dans tous les cas, la priorité dans l'immédiat doit être donnée à des mesures destinées à diminuer la vulnérabilité des populations les plus pauvres en agissant dans un souci de réduction des inégalités. En ce sens, les mesures les plus 'cost effective' en Méditerranée s'inscriront dans le cadre des objectifs du Millénaire et de développement durable que la région s'est fixée.

ANNEXES

ANNEXE 1. LES MODELES ECONOMIQUES LES PLUS UTILISES DANS LA LITTERATURE EMPIRIQUE

1.1. Les modèles d'évaluation intégrée

Les modèles d'évaluation intégrée, Integrated Assessment Models (IAM), ont pour effet de juger des coûts et des bénéfices d'une action, compte tenu des variations futures du climat. Ces modèles peuvent prendre différentes formes : modèles d'optimisation ou d'évaluation, (Tol, 2006). Alors que le premier modèle est principalement utilisé par les économistes en tant qu'instrument d'aide pour l'orientation des politiques économiques, le second fait plutôt l'objet d'analyses plus larges et plus orientées dans les domaines de la science naturelle (étude du cycle du carbone, du changement dans l'utilisation des terres...), (Weyant et al., 1996).

Dans les modèles d'optimisation apparaissent à la fois des composantes économiques et climatiques. Ils se concentrent en général sur les objectifs en termes d'émission de gaz à effets de serre à fixer (qui limitent des impacts du changement climatique) pour maximiser les bénéfices, et minimiser les coûts (engendrés par les politiques de régulation). La croissance économique future et l'évolution du climat sont simulées conjointement. Il s'agit alors d'évaluer les conséquences sur une économie en termes de production, de revenu ou d'utilité de différentes politiques de régulation. Toutefois, les hypothèses sur lesquelles s'appuient les modèles peuvent influencer les résultats et doivent par conséquent être largement explicitées et justifiées (choix du modèle climatique, description de la croissance économique en précisant si le progrès technique est pris en compte, capacité d'adaptation de l'économie...).

Parmi les exemples les plus cités on retrouve les travaux de Nordhaus (1994) et Nordhaus et al. (2000) qui reposent sur l'élaboration du modèle DICE (et sa version régionale RICE), caractérisé par le couplage d'un modèle climatique et économique simple, inspirés de la littérature. Il s'agit de maximiser une fonction d'utilité sociale sous une double contrainte économique et environnementale. Toutefois, se pose le problème de la globalité des modèles climatiques lors des études régionales Nordhaus et al. (2000). Une alternative au modèle d'optimisation considérant simultanément les coûts et les bénéfices d'une action, et le modèle axé uniquement sur l'évaluation des coûts dans lesquels les objectifs à atteindre sont généralement fixés de manière exogène (Tol, 2006).

1.2. Les modèles "bottom-up" et "top-down"

Parmi les modèles empiriques d'évaluation du coût du changement climatique et des options de substitution entre les secteurs pour en amoindrir les conséquences, on trouve le plus souvent les modèles "bottom-up" et "top-down" pouvant être intégrés au modèle IA (Mendelson et al., 2000). Le premier est généralement utilisé dans le cadre d'analyses ciblées sur un ou plusieurs secteurs, car il capture les effets individuels directs du changement climatique. Par conséquent, on peut lui reprocher de ne pas donner suffisamment d'informations en ce qui concerne l'évolution plus globale de la consommation ou de la production. Le second, plus complet, prend à la fois en considération

les coûts, la fonction de production, et les préférences des consommateurs. Il offre donc la possibilité de calculer les impacts globaux liés à une variation des températures. Par conséquent, une de ses limites est liée à son manque d'efficacité dans le cas d'études régionales ou locales (Goulder et al., 2006). En outre, ses fondements empiriques peuvent être largement critiquables dès lors qu'ils reposent sur des jugements d'experts et non sur des tests empiriques (Mendelson et al., 2000).

Au vu des limites respectives de ces modèles, il semble pertinent de les intégrer au sein d'une même analyse pour établir une étude plus complète (Mendelson et al. (2000)).

1.3. Les modèles d'équilibre général calculable

Il est à noter que l'approche "top-down" inclut les modèles d'équilibre général calculable (computable general equilibrium models (CGE)). Ces modèles sont utilisés pour quantifier les coûts et bénéfices des politiques environnementales. Ils offrent l'avantage d'être plus maniables que les modèles économiques traditionnels, intégrant des comportements macroéconomiques. Ce ne sont pas des instruments de prévision du niveau futur des variables, mais d'aide à la décision grâce à l'évaluation des impacts de différentes politiques mises en œuvre. Ils reposent sur la littérature économique. En général, ils sont établis à partir du modèle d'équilibre général d'Arrow-Debreu. Les modèles d'équilibre général calculable peuvent prendre plusieurs formes pour répondre à différentes problématiques environnementales (réchauffement global, déforestation, dégradation de la qualité de l'air, de l'eau, des sols...) (Conrad, 2002).

Dans le domaine du changement climatique, ils sont utilisés dans le cadre d'études concentrées sur les interactions entre l'énergie, l'environnement et l'économie. L'objectif est de définir la politique optimale à mettre en place, en tenant compte des contraintes du climat. Ces modèles supposent d'intégrer conjointement les sphères physiques et économiques, pour évaluer les conséquences de la variation du climat ou de la mise en place de politiques de régulation sur le bien-être. Il s'agit de poser des hypothèses concernant le développement économique et environnemental du pays concerné (notamment en termes d'élasticité de substitution, de variables exogènes, de changement technologique). Il est plus courant que les effets de l'environnement soient considérés de manières externes du fait de la difficulté à envisager une boucle de rétroaction entre l'économie et l'environnement. Par ailleurs, l'évaluation traditionnelle du bien-être, mesurée par la variation du revenu, doit être enrichie en introduisant la qualité de l'environnement.

De même, les modèles d'équilibre partiel sont utilisés pour évaluer le coût de l'action, en considérant les conditions de marché et les processus de substitution de la production et de la consommation. Cependant, ils ne prennent pas en compte les liens entre tous les secteurs de l'économie (Conrad, 2002). Dans le cadre des études sur le changement climatique, les modèles d'équilibre général calculable reposent sur l'hypothèse selon laquelle la variation des températures va influencer l'offre et la demande de tous les biens et services modifiant ainsi leurs prix relatifs. Or, les modifications du climat sont très faibles et auront des impacts visibles seulement dans le long terme. Ainsi, il n'est pas justifié d'utiliser cette méthode pour juger des effets économiques globaux de la variation du climat (Mendelson et al., 2006). Dans ce cas, les modèles d'équilibre partiel concentrés sur l'impact du climat sur les secteurs les plus sensibles de l'économie sont plus appropriés.

Peters et al. (1999) soulignent le manque d'efficacité de ces modèles dans le cadre de l'évaluation des bénéfices et des coûts associés aux politiques mises en œuvre pour limiter les impacts néfastes du changement climatique. Leurs critiques portent, en particulier, sur l'écart entre le modèle et le monde réel. Ils soulignent la non prise en compte de nombreux paramètres importants (tels que le progrès technique, les changements structurels...) pouvant, dans certains cas, biaiser les résultats. Par ailleurs, les auteurs mettent l'accent sur la difficulté d'obtenir un équilibre unique stable et efficace.

De plus, l'introduction de l'incertitude, inhérente aux études portant sur l'évaluation des effets de la variation future du climat va à l'encontre du concept d'allocation optimale des ressources par le marché. Selon eux, le modèle doit être largement amélioré pour donner des résultats concrets pouvant être utilisés par les politiques axées sur changement climatique.

1.4. Les modèles « Ricardiens »

Les modèles en données transversales de type « Ricardien » sont particulièrement utilisés dans le cadre des études ciblées sur l'impact du changement climatique sur l'agriculture (Kurukulasuriya et al., 2006), mais peuvent être élargis à d'autres secteurs (Mendelson et al., 2000). Il s'agit d'une étude empirique élaborée à partir du modèle théorique ricardien (Ricardo, 1815) qui a été impulsée notamment par les travaux de Mendelson et al. (1994). L'objectif est de mesurer la variation sur le long terme des revenus des agriculteurs ou de la valeur de la terre, en fonction de la variation du climat et d'autres facteurs. Dans le cadre des autres secteurs, l'impact est considéré en terme de modification du prix du bois ou de dépenses énergétiques dans les secteurs de la forêt et de l'énergie par exemple (Mendelson et al., 2000).

Le modèle standard est une fonction quadratique du climat pour mettre en valeur la relation non-linéaire entre la variation des températures et celle du revenu agricole. En général, on suppose que la relation entre ces deux variables est concave (Mendelson et al. (2000) ; Kurukulasuriya et al., 2006), c'est-à-dire que le revenu net augmente avec le niveau des températures jusqu'à un seuil au-delà duquel cette relation s'inverse. Cette hypothèse peut être élargie à tous les secteurs sensibles au climat, ce qui signifie que pour chacun d'entre eux il existe une température qui maximise le bien-être de ce secteur (Tol, 2002a ; Mendelson et al., 2006). En effet, selon que le pays connaisse des températures inférieures ou supérieures à ce maximum, il en retire des bénéfices ou des coûts. Il est cependant nécessaire de prendre en compte l'influence des variations saisonnières, spécialement en ce qui concerne le secteur agricole (Kurukulasuriya et al., 2006). Enfin, la courbe n'aura pas la même forme selon le niveau de développement du pays et l'exposition du secteur aux variations du climat (Mendelson et al., 2006).

L'avantage de cette méthode est qu'elle offre la possibilité d'observer les stratégies d'adaptation et d'en évaluer les bénéfices. En revanche, elle est très dépendante de la période sur laquelle repose l'analyse. En effet, il est impossible, par exemple, de mesurer l'impact de la variation de la concentration de carbone qui est une variable qui évolue très peu sur la période d'analyse considérée. Dans ce cas, elle doit être couplée à une analyse expérimentale. De même, l'impact des événements extrêmes ne peut être mesuré que s'ils interviennent sur la période d'analyse (Kurukulasuriya et al., 2006).

1.5. Les modèles dynamiques vs les modèles statiques

Les modèles dynamiques sont une représentation plus proche de l'évolution du monde réel que les modèles statiques. En effet, ils considèrent, d'une part, les variations climatiques et, d'autre part les modifications socio-économiques du pays, c'est-à-dire la croissance future de la production industrielle et de la population, les progrès technologiques et les changements institutionnels.

L'introduction de cette dynamique demande de prendre en considération un grand nombre d'hypothèses supplémentaires lors de la mise en place du modèle, ce qui ouvre la voie à de nombreuses critiques. Le point de départ de l'étude est en général une analyse statique que l'on

cherche à extrapoler selon différents scénarios climatiques et de développement économique. Il s'agit donc de fixer les paramètres de l'analyse en fonction des principales conclusions de la littérature ou par le calcul. Pour Tol (2002b), il est indispensable de mesurer la vulnérabilité économique au changement climatique en fonction du revenu par tête des pays. Compte tenu du poids de l'incertitude, les résultats doivent être encadrés par un intervalle de confiance.

On peut trouver cette dynamique dans les modèles IA. C'est le cas de l'étude de l'impact du réchauffement global sur le bien-être social de Frankhauser et al. (2005) par exemple, fondée sur la théorie néo-classique de la croissance qui introduit l'évolution future de l'épargne et de l'accumulation du capital dans le cadre du modèle DICE de Nordhaus (1994).

Ainsi, il est clair que les analyses dynamiques sont beaucoup plus complètes que les analyses statiques, mais il convient d'être prudent lors de la formulation des conclusions. En effet, les résultats sont largement dépendants des hypothèses en termes d'anticipations du système futur et de la capacité d'adaptation du pays, et des paramètres qui varient selon la période et le pays ou la région retenus.

1.6. Le coût marginal de l'émission de dioxyde de carbone

Une technique pour mesurer le coût de l'inaction (« business as usual ») est de calculer le coût marginal de l'émission de dioxyde de carbone, c'est-à-dire le coût présent anticipé des dommages causés (en terme de bien-être ou d'utilité) par une tonne supplémentaire de dioxyde de carbone émise dans l'atmosphère. Ce coût est généralement exprimé en unité monétaire, en dollar US. Cette estimation résulte d'une analyse coûts-bénéfices.

Pour calculer ce coût au niveau mondial, il est nécessaire de faire la somme des coûts dans le passé liés aux émissions de carbone dans les différentes régions du monde. L'impact dépend à la fois de la durée de présence du gaz dans l'atmosphère, mais aussi du stock global de gaz à effet de serre. Il s'agit ensuite de poser des hypothèses en ce qui concerne la valeur du temps (taux d'actualisation) qui dépend du niveau de consommation et de l'utilité dans le futur, ainsi que le poids des pays. Cela fait appel nécessairement à un jugement subjectif. Les résultats des études sur ce thème semblent largement influencés par le choix de ces paramètres, ce qui explique la diversité des résultats dans la littérature empirique récente²⁸. En effet, les anticipations varient de 0 dollar US la tonne supplémentaire de carbone à 400 dollars US selon les prix de l'année 2000 (Stern, 2006).

Pour décider de la mise en place d'une politique de régulation, il s'agit de comparer le coût de l'action et celle de l'inaction. Par conséquent, le coût social d'une émission supplémentaire d'une tonne de carbone est confronté au coût marginal de la réduction de cette émission. L'objectif est d'estimer et de classer les différentes politiques de réduction des émissions de carbone en fonction de leur efficacité, c'est-à-dire en termes de coûts sociaux. La politique qui sera retenue est celle pour laquelle le coût de réduction est le plus faible par rapport au coût social. Toutefois, il n'est pas possible d'apprécier l'ensemble des possibilités qui s'offrent aux décideurs politiques du fait de leur nombre important. C'est pourquoi, la plupart des analyses n'ont que de faibles fondements microéconomiques.

Ce type de modèle est beaucoup utilisé pour répondre à la question des politiques climatiques à mettre en œuvre dans chacun des pays dans le cadre du Protocole de Kyoto. Le coût de l'action varie selon la situation initiale des pays et est d'autant plus fort que le pourcentage de réduction nécessaire pour atteindre les objectifs fixés est grand.

²⁸ Pour une vision plus détaillée des résultats des différentes analyses, se référer aux travaux de Tol (2005).

1.7. Les analyses agrégées

Les analyses agrégées partent du principe selon lequel, pour évaluer l'impact du changement climatique au niveau international, il faut additionner les effets anticipés du climat dans chaque pays et région du monde. L'avantage de cette méthode est la lisibilité des indicateurs utilisés. En effet, pour établir une comparaison correcte entre les pays, les effets sont souvent mesurés dans une même unité, la plupart du temps en unités monétaires. Par ailleurs, cette technique synthétise un ensemble d'informations complexes pour offrir une vision simplifiée des résultats globaux, à condition que l'analyse se fonde sur des hypothèses communes. Toutefois, cette méthode souffre de nombreuses limites pouvant biaiser les principaux résultats.

Premièrement, face à la difficulté d'observer simultanément l'ensemble des impacts sur une économie, le choix des auteurs se porte généralement sur une sélection de quelques indicateurs. La plupart des analyses repose sur des modèles sous forme réduite (Mendelson et al., 2000, 2006). De nombreux effets ne sont alors pas mesurés.

Par ailleurs, se pose le problème d'une comparaison objective entre les régions, les secteurs et dans le temps.

ANNEXE 2. TABLEAU RECAPITULATIF DES PRINCIPALES ETUDES GLOBALES

Periode	Nordhaus (2000)	Mendelsohn (2000)	Toi (2002)	Nordhaus (2006)	Mendelsohn (2006)	Stern (2006)
<i>Modele meteorologique</i>	2100 +2,5° (RICE 99) et événements extrêmes 6°	2100 3 scénarios IPCC : faible (1°), moyen (2°), fort (3,5°). A chaque scénario est appliqué 2 GCM (General Circulation Model) concernant le climat mondial (rechauffement de l'air, montée des eaux)	2000-2200 General Circulation Model +1°	2100 2 scénarios fondés sur l'IPCC 3 ^{er} report : -3° dans toute la grille (changement dépendant de la latitude (cf modèles GCM) (1) -même changement et -15% de précipitations à moins de 500km dans région moyenne latitude des côtes et +7% sinon (2)	2100 - Parallele Climate Model - Center for Climate Research Study - Canadian General Circulation Model Scénario climatiques différents selon les régions	2060 : 2100 : 2200 - Baseline climate scenario (IPCC 3 rd Assessment Model) (1), (IPCC 3 rd Report : +3,9° pre-industriel, en 2100) - High Climate scenario (2) (Business As Usual (BAU) : 1 + 2,3° à la fin du siècle) augmentation des températures de 2,6 à 6,5°
<i>Methode de simulation</i>	Approche « volonté de payer » (game d'assurance) Création d'un « impact index » $\theta(T, Y)$ pour chaque sous-région (revenu par tête), une augmentation des températures donne et une élasticité du revenu/indice	2 fonctions de réponses de la productivité nette des secteurs au changement climatique : - Modèle sous forme réduite (1). - Comparaison en cross-section (modèle Ricardien) (2)	Analyse coût-bénéfice de la réduction des émissions (modèle propre à chaque secteur à partir de l'analyse statique de Toi (2002a))	- Technique Ricardienne (comparaison de la productivité économique globale avec le climat existant et selon les 2 scénarios) - Simulations Boostrap (100)	Mesure de l'impact selon une méthode expérimentale et en données transversales	PAGE 2002 IAM - Calcul des coûts en termes de PIB, - Calcul des coûts en termes de Bien-être (Consommation) Estimation Monte-Carlo
<i>Pays</i>	13 sous-régions appartenant à 8 régions (USA, autres PI, Europe ouest, Russie et Europe de l'Est, Pays à revenu moyen, Chine et faible revenus)	178 pays dans le monde	9 régions: OCDE-Amérique, OCDE-Europe, OCDE-Pacifique, Europe Centrale et de l'Est, Moyen-Orient, Amérique Latine, Asie du Sud et Sud-Est, Asie Centrale et Afrique	Pays émergents et industrialisés divisés en territoires (25 572) selon une grille (latitude 1° et longitude 1°)	Pays industrialisés et pays émergents divisés en quartile	Pays industrialisés et pays en développement
<i>Secteurs</i>	Agriculture, niveau des mers (côtes), autres secteurs marchands, santé, autres secteurs non marchands (loisir en extérieur), maladie, écosystème	Agriculture, forêt, énergie commerciale et résidentielle, eau, zones côtières	Agriculture, forêt, eau, consommation d'énergie, niveau de la mer, écosystème, maladies et problèmes cardiovasculaires	Analyse globale	Somme des impacts (par t et par PIB) des secteurs sensibles au climat dans l'économie	Analyse globale
<i>Hypotheses</i>	- Inscrit à la suite des études de 1 ^{er} génération (base sectorielle) - Secteur marchand et non-marchand - Effets catastrophiques - Pondération par la surface(1), la population(2) et l'output(3) - Secteurs vulnérables au changement climatique : 7% économie - Indice de vulnérabilité côlière. 'Year of Life Lost', 'outdoor recreation'	- Secteur marchand uniquement - Modèle dynamique - Pour chaque secteur, il existe une température qui maximise la production de ce secteur (courbe en U inversée) - Extrapolation des résultats des analyses sur les USA, donc approximation pour les PED (sous-estimation) - Impact au sein des pays pas pris en compte - Pondération par l'output	- Approche dynamique - Secteurs marchand et non-marchand - Pondération par le PIB (1) et l'équité (2) - Mesure de la vulnérabilité - Paramètres estimés à partir de la littérature - Variation courante de la vulnérabilité (Rev/1) utilisée pour estimer les effets de la croissance éco sur la vulnérabilité au changement climatique	- Equilibre, LT des économies/ au climat (modèle Ricardien) - Agrégation ; pondération/ population (Revenu) /output (N)/surface (localisation) - Secteur marchand uniquement pas d'événements extrêmes - Modèles dynamiques à améliorer	- Secteur marchand uniquement - Modèle dynamique - Calcul de l'impact par tête et par rapport au PIB - Pour chaque secteur, il existe une température qui maximise la production de ce secteur (courbe en U inversée) - Critique des MECG : pas prise en compte des effets par secteur (1) - Impact au sein des pays pas pris en compte	- Secteur marchand et non-marchand - Risque de catastrophe

Suite

Étude	Période	Nordhaus (2000)	Mendelsohn (2000)	Toi (2002)	Nordhaus (2006)	Mendelsohn (2006)	Stern (2006)	
Résultats principaux		<p>- De +0,7% PIB en Russie à -5% en Inde et Afrique</p> <p>- Impact moyen global : 1,5% (3) ; 1,9% (2)</p> <p>- Choc : Europe (catastrophe) ; Inde (mousson) ; Afrique (maladies)</p> <p>- Choc + : Russie, Japon, USA, Chine (amélioration agri et loisirs)</p>	<p>- Globalement, impact positif mais faible (0,16% PIB) du réchauffement durant une première période (jusqu'à 1° (1) et 2° pour (2))</p> <p>- Bénéfices les plus importants pour les USA, l'Asie et l'Europe de l'Est</p> <p>- Pertes les plus lourdes pour l'Afrique, l'Am Latine et l'Océanie (après 2° (2) - à -5% du PIB)</p> <p>- L'agriculture est le secteur qui s'ajuste le plus rapidement (sans agri, impact 0,01% PIB)</p> <p>- Coût important pour l'Europe (Est et Ouest), Asie à la suite de la montée des eaux</p>	<p>- Dans le CT la sensibilité estimée d'un secteur au changement climatique est un paramètre crucial</p> <p>- Dans le LT, l'importance du changement dans la vulnérabilité de ce secteur</p> <p>- Dans les régions les plus pauvres, dans le LT, les effets négatifs dominent</p> <p>- Augmentation initiale des 1° (+0,5°) et (0,5%) (2)</p> <p>- Augmentation initiale des 1° (>+2,2,5°) (1) et (1°) (2) baisse le bénéfice global de 0,5 à 2% PIB global</p>	<p>- Nécessité de prendre en compte une nouvelle variable qui inclut l'aspect géo et environnemental (Gross Cell Product / aire) calculé par territoires</p> <p>- Relation outpuit^r négative si mesurée par tête et positive selon une surface</p> <p>- (1) Impact négatif sur l'outpuit selon les 3 pondérations (de -0,9 à -1,7%)</p> <p>- (2) Impact négatif surtout dans les zones où la densité est la plus forte (-3%)</p>	<p>- Impact différent selon la richesse du pays, de l'exposition de leur production (agriculture), des technologies, et surtout de la position géographique</p> <p>- Population mondiale divisée en quartile, le 1er le plus pauvre, le plus vulnérable : de -12 à -24% de leur PIB et +0,1 à 0,9% de gains pour les PII</p> <p>- Les pays industrialisés doivent aider les pays du Sud (UNFCCC, Accords de Marrakech, GEF, Fonds d'assistance pour le climat ou investissements guidés par la Banque Mondiale)</p>	<p>- (2) : Impact marchand + risque de catastrophe : pertes en terme de PIB global 0,4% en 2060, 2,7% en 2100, 12,9% en 2200</p> <p>+ impact non marchand : 1,3%, 5,9%, 24,4%</p> <p>- (1) : perte en terme de Bien Etre (consommation) : Baisse de 2,1% (Impact marchand) à 10,9 (+ non-marchand+ catastrophes)</p> <p>(2) : perte en terme de Bien Etre (consommation) : de 2,5% (Impact marchand) à 14,4 (+ non-marchand+ catastrophes)</p>	
	Coût par secteurs Région Méditerranée		<p>- Agriculture, coûts : ME 0,46% du PIB, AFR 0,05% du PIB</p> <p>- Zones côtières, coûts : ME 0,01% du PIB, AFR 0,05% du PIB</p> <p>- Santé, coûts : ME 0,02% du PIB, AFR 3% du PIB</p> <p>- Loisirs : ME +0,36% du PIB, AFR -0,25% du PIB</p> <p>- Evénements extrêmes, coûts : ME de 0,47% à 3,23% du PIB ; AFR de 0,39% à 2,68% du PIB supplémentaires</p>	<p>- Agriculture : ME de -80 milliards de \$ (2) à + 37 milliards de \$ (1) ; AFR de +11 milliards de \$ (2) à -131 milliards de \$ (1)</p> <p>- Forêt : ME de +3 milliards de \$ (2) à + 4 milliards de \$ (1) ; AFR de -1 milliards de \$ (2) à 2 milliards de \$ (1)</p> <p>- Energie : ME de -8 milliards de \$ (2) à 17 milliards de \$ (1)</p> <p>- AFR de -3 milliards de \$ (2) à -7 milliards de \$ (1)</p> <p>- Eau : ME +18 milliards de \$ (2) et (1) ; AFR -6 milliards de \$ (2) et (1)</p> <p>- Côtes : ME -4 milliards de \$ (2) et (1) ; AFR 0 milliards de \$ (2) et (1)</p>	<p>- Agriculture : T° optimale ME : +3,08/1990 AFR : +3/1990</p> <p>- Eau, coûts : ME 1 million de \$, AFR 2 millions de \$</p> <p>- Chauffage, gains : AFR 8 millions de \$</p> <p>- Climatization, coûts : ME 1 millions de \$, AFR 5 millions de \$</p> <p>- Mortis supplémentaires dues aux maladies liées au climat : ME 1000, AFR 60000</p> <p>- Augmentation du niveau de la mer : Perte de terres humides : AFR 38000km²</p> <p>Pertes de terres arides : ME 600 km², AFR 15400km²</p>	<p>- Désavantage de l'Afrique par rapport aux autres pays : géographie explique 20% des différences d'outpuit entre l'Afrique et les pays l'indus, impact marginal par rapport aux régions de faible latitude</p>	<p>- Coût pour l'Afrique pour un réchauffement de 2,5° coût de 4,1% du PIB</p>	
Coûts totaux Région Méditerranée		<p>- Selon les 2 fonctions de réponse, l'Afrique est parmi les + touchés par le réchauffement (surout LIUC11), tous les secteurs enregistrant de forts coûts.</p>						

BIBLIOGRAPHIE

- African Development Bank, Asian Development Bank, Department for International Development, United Kingdom, Directorate-General for Development, European Commission, Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, Germany Ministry of Foreign Affairs - Development Cooperation, The Netherlands Organization for Economic Cooperation and Development, United Nations Development Programme United Nations Environment (2003), *Poverty and Climate Change: Reducing the Vulnerability of the Poor through Adaptation*, Sperling, F. (eds.).
- Allan, J.A. (1993), "Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible. In priorities for water resources allocation and management", ODA: 13-25, London (UK)
- Amelung, B., Viner, D. (2004), The vulnerability to climate change of the Mediterranean as a tourist destination, in *Climate Change and Tourism: Assessment and Coping Strategies*, Amelung, B., Blazejczyk, K., Matzarakis, A., Viner, D. (eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
- Anthoff, D., Hepburn, C., Tol, R.S.J. (2007), "Equity weighting and the marginal damage costs of climate change", *The Fondazione Eni Enrico Mattei Note di Lavoro*, 43.
- Barker, T., Kohler, J., Villena, M. (2002), "The cost of greenhouse gas abatement: A meta-Analysis of post SRES mitigation scenarios", *Environmental Economics and Policy Studies* 5(2), 135-166.
- Bode, S. (2005), "Tenders – an option for developing countries to support renewable energies under the CDM ", *Climate Policy* 5, 221 – 228.
- Boer, G., G. Flato, and D. Ramsden (2000), "A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate for the 21st century", *Climate Dynamics* 16, 427–450.
- Bopp, L., Monfray, P., Aumont, O., Dufresne, J., Le Treut, H., Madec, G., Terray, L., Orr, J.C. (2001), "Potential Impact of Climate Change on Marine Export Production," *Global Biogeochemical Cycles* 15, 81-99.
- Challinor, A., Wheeler, Garforth, C., Craufurd, P., Kassam, A. (2007), "Assessing the vulnerability of food crop system in Africa to climate change", *Climatic Change* 83(3), 381-399.
- Cline, W.R. (1991), "The Economics of the Greenhouse Effect", *The Economic Journal* 101, 920-937.
- Cline, W.R. (1992), *The Economics of Global Warming*, Washington : Institute for International Economics.
- Cline, W.R. (2005), "Le coût de l'inaction face au changement climatique," *Session spéciale à haut niveau de l'EPOC sur les coûts de l'inaction*, avril.
- Conrad, K. (2002), Computable general equilibrium models in environmental and resource economics, in *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 2002-2003*, Tietenberg, T., Folmer, H., (eds.), Cheltenham: Edward Elgar, 66-114.
- Darwin, R., Tsigas, M., Lewandrowski, J., Ranases, A (1995), "World Agriculture and Climate Change: Economic Adaptations", *Agricultural Economic Report* 703. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture.
- Daymon, C., Gimet, C. (2007), "Les déterminants de l'inégalité et le rôle de l'équité dans les pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord", à paraître dans *la Revue Région et Développement*, 25.
- Downing, T.E., Ringius, L., Hulme, M., Waughray, D. (1997), "Adapting to climate change in Africa," *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 2, 19-44.
- Edenhofer, O., Carraro, C., Kohler, J., Grubb, M., (2006), *The Energy Journal: Special Issue Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilisation*, Edenhofer, O., Carraro, C., Kohler, J., Grubb, M. (eds.), International Association for Energy Economics, USA.
- El Fadel, M., Bou-Zeid, E., (2001), "Climate change and water resources in the Middle East: Vulnerability, socio-economic impacts and adaptation", *Note de travail Fondazione Eni Enrico Mattei*.
- Emori, S., Nozawa, T., Abe-Ouchi, A., Namaguti, A., Kimoto, M. (1999), "Coupled ocean-atmospheric model experiments of future climate change with an explicit representation of sulphate aerosol scattering", *Journal Meteorological Society Japan* 77, 1299–1307.
- Fankhauser, S. (1995), *Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse*. London: Earthscan Publications Ltd.

- Fankhauser, S., Smith, J., Tol, R.S.J. (1999), "Weathering climate change: Some simple rules to guide adaptation decisions", *Ecological Economics* 30(1), 67-78.
- Fankhauser, S., Tol, R.S.J. (2003), "On climate change and economic growth", *Resource and Energy Economics* 27, 1-17.
- Fankhauser, S., Tol R.S.J. (2005), "On climate change and economic growth", *Resource and Energy Economics* 27, 1-17.
- Femise, 2003, Rapport du Femise 2003 sur le partenariat euro-méditerranéen. Analyses et propositions du Forum Euro-Méditerranéen des Instituts Economiques, Heba Handoussa, Economic Research Forum, Egypte, Jean-Louis Reiffers, Institut de la Méditerranée, France, Coordonnateurs.
- Fernandez, S., ENGREF (2007), "L'eau virtuelle dans les pays méditerranéens : un indicateur pour contribuer à l'analyse des questions de gestion et de répartition de l'eau en situation de pénurie ?", Rapport d'étude régionale du Plan Bleu.
- Fischer, G., Shah, M., Van Velthuisen, H. (2002), *Climate Change and Agricultural Vulnerability*. Vienna: International Institute of Applied Systems Analysis.
- Fleischer, A., Sternberg, M. (2006), "The economic impact of global climate change on Mediterranean rangeland ecosystems: A Space-for-Time approach", *Ecological Economics*, 59, 287-295.
- Giannakopoulos Ch., Psiloglou B.E. (2006), "Trends in energy Load Demand for Athens, Greece: Weather and non-weather Related Factors", *Climate Research*, 31, 97-106
- Goulder, H.L., Pizer, W.A. (2006), "The economics of climate change", Discussion Paper Resources for the Future.
- Hallegatte, S., Hourcade, J.C., Dumas, P. (2007), "Why economic dynamics matter in assessing climate change damages: Illustration on extreme events", *Ecological Economics* 62(2, 20), 330-340.
- Halpin, P.N. (1997), "Global climate change and natural area protection: Management responses and research directions," *Ecological Applications* 7, 828-843.
- Hamilton, J.M., Maddison, D.J., Tol R.S.J. (2005), "Effects of climate change on international tourism", *Climate Research* 29, 245-254.
- Harribey, J.M. (2002), "Le développement durable est-il soutenable ? ", Séminaire de l'OFCE – 18 juin 2002.
- Hellman, T.F., Murdock, K.C., Stiglitz, J.E. (2000), "Liberalization, Moral Hazard in Banking and Prudential Regulation: Are Capital Requirements Enough?", *The American Economic Review*, Vol. 90 (1), pp. 147-165.
- Hitz, S., Smith, J.B. (2004), "Estimating global impacts from climate change", *The Benefits of Climate Change Policies*. J.-C. Morlot and S. Agrawala. Paris: OECD, 31-82.
- Innovest Strategic Value Advisors, Inc. (2002), *Value at Risk: Climate Change and the Future of Governance*. CERES Sustainable Governance Project Report.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2001), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, et al. (Eds.), Cambridge: Cambridge University Press. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 183-224
- International Energy Agency (2000), *Experience Curves for Energy Technology Policy*, Paris, OECD/IEA.
- International Energy Agency (2005), *World Energy Outlook 2005 – Middle East and North Africa Insights*. IEA. Paris
- International Energy Agency (2007), *Climate Policy Uncertainty and Investment Risk*, OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Julia, R., Duchin, F. (2005), "World trade as the adjustment mechanism of agriculture to climate change", *Rensselaer Working Paper*, 0507.
- Kanagawa, M., Nakata, T. (2007), "Analysis of the energy access improvement and its socio-economic impacts in rural areas of developing countries", *Ecological Economics* 62, 319-329.
- Kieken, H. (2003), "Le rôle des modèles dans la gestion de l'environnement ", *Le Statut épistémologique de la simulation - Actes des 10èmes journées de Rochebrune : rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels*.

- Klein, J.T. (2001), "Adaptation to climate variability and change: What is optimal and appropriate?", *Climate change in the Mediterranean: Socio-Economic Perspectives of Impacts Vulnerability and Adaptation*. The Fondazione ENI Enrico Mattei (FEEM) Series on Economics and the Environment.
- Kuik, O., Buchner, B., Catenacci, M., Gorla, A., Karakaya, E., Tol, R.S.J. (2006), "Methodological aspects of recent climate change damage cost studies", Working Paper FNU-122.
- Kurukulasuriya, P., Mendelsohn, R., Hassan, R., Benhin, J., Deressa, T., Diop, M., Eid, H. M., Fosu, K.Y., Gbetibouo, J., Jain, G.S., Mahamadou, A., Mano, R., Kabubo-Mariara, J., El-Marsafawy, S., Molua, E., Ouda, S., Ouedraogo, M., Se'ne, I., Maddison, D., Seo, S.N., Dinar, A. (2006), "Will African Agriculture Survive Climate Change?", *World Bank Review* 20(3), 367-388.
- Kurukulasuriya, P., Rosenthal, S. (2003), *Climate change and agriculture: A review of impacts and adaptations*, The World Bank Environment Department.
- Linnerooth-Bayer, J., Mechler, R. (2006), "Insurance for assisting adaptation to climate change in developing countries: a proposed strategy", *Climate Policy* 6, 621–636.
- Llewellyn, J. (2007), *The Business Cost of Climate Change: Challenges and Opportunities*. Lehman Brother, february.
- Lohmann, M., Kaim, E. (1999), "Weather and holiday destination preferences, image attitude and experience," *The Tourist Review* 2, 54-64.
- Mansley, M., Dlugolecki, A. (2001), "Climate change – a risk management challenge for institutional investors", *Universities Superannuation Scheme Discussion Paper 1*. London.
- Marquina, A. (2004), "Energy and climate change: Some EU approaches and opportunities for the southern Mediterranean countries", *UNISCI Discussion Papers*.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens, W.W. (1972), *The limits to Growth*, New York, Universe Books.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W., Shaw, D. (1994), "The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis", *American Economic Review* 84(4), 753–71.
- Mendelson, R. (2007), "Measuring climate impact with cross-sectional analysis", *Introduction to the Special Issue in Climatic Change* 81(1).
- Mendelson, R., Dinar, A., Williams, L. (2006), "The distributional impact of climate change on rich and poor countries", *Environment and Development Economics* 11, 159–178.
- Mendelson, R., Morrison, W., Schlesinger, M. E., Andronova, N.G. (2000), "Country-specific market impacts of climate change", *Climatic change* 45, 553-569.
- Mendelson, R.O., Neuman, J.E. (1999), *The Impact of Climate Change on the United States Economy*, Mendelson, R.O., Neuman, J.E. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge.
- Munich Re, 2005. *Topics Geo, Annual Review: Natural Catastrophes 2004*. Munich Reinsurance Group, Munich.
- Murray, C.J.L., Lopez, A.D. (1996), *The Global Burden of Disease – A Comprehensive Assessment by Mortality and Disability from Diseases, Injuries, and Risk Factors in 1990 and Projected to 2020*, Murray, C.J.L., Lopez, A.D. (eds.), Cambridge: Harvard University Press.
- Newell, R., Pizer, W. (2001), *Discounting the Benefit of Climate Mitigation : How much Do Uncertain Rates Increase Valuations ?*, Pew Centre.
- Newell, R., Pizer, W. (2000), "Discounting the distant future: How much do uncertain rates valuations?", *Discussion Paper 00-45, Resources for the Future*, Washington DC.
- Nicholls, R.J., Hoozemans, F.M.J., Marchand M. (1999), "Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses", *Global Environmental Change* 9, S69-S87.
- Nordhaus, W. D. (1994), *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change* The MIT Press, Cambridge.
- Nordhaus, W.D. (2006), "Geography and macroeconomics: New data and new findings", *Proceedings of National Academy of Sciences* 103(10), 3510-3517.
- Nordhaus, W.D., Boyer, J.G. (2000), *Warming the World: The Economics of the Greenhouse Effect*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Nyong, A. (2006), Africa's Vulnerability to Climate Variability and Change, OECD Global Forum on Sustainable Development on the Benefits of Climate Change Policies, Paris, 6 – 7 July 2006.
- Peters, I., Ackerman, F., Bernow, S. (1999), "Economic theory and climate change policy", *Energy Policy* 27, 501-504.
- Plan Bleu (2005), *MEDITERRANEE – Les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement*, Benoit, G, Commeau, A., éditions de l'Aube.
- Plan Bleu (2007a), "Vers un renouveau rural en Méditerranée",
LES NOTES DU PLAN BLEU, n°5, avril 2007
- Plan Bleu (2007b), *Le secteur de l'eau dans la politique de coopération avec les pays méditerranéens, Etude régionale Coopération internationale et aide au développement dans le secteur de l'eau en Méditerranée.*
- Plan Bleu (2007c), "Protéger et valoriser le littoral méditerranéen, bien commun menacé",
Les Notes du Plan Bleu, n°6, mai 2007
- PNUD-FEM (1998), *Changements Climatiques et Ressources en Eau dans les pays du Maghreb, Algérie - Maroc - Tunisie, enjeux et perspectives. Projet RAB/94/G31.*
- Reilly, J. (1997), "Changement de climat, agriculture globale et vulnérabilité régionale", Chapitre 10 de *Changement du Climat et Production Agricole : Effets Directs et Indirects du Changement des Processus Hydrologiques, Pédologiques et Physiologiques des Végétaux*, FAO, Rome et Polytechnica, Paris.
- Ricardo, D. (1815), *An Essay on Profits*, London: John Murray.
- Rosenthal, D.H., Gruenspecht, H. K., Moran, E.A. (1994), *Effects of Global Warming on Energy Use for Space Heating and Cooling in the United States*, Mimeo, US Department of Energy, Washington, DC.
- Rosenzweig, C., Parry, M., Fischer, G. (1995), "World Food Supply." In *As Climate Changes: International Impacts and Implications*, Strzepek, K.M., Smith, J.B. (eds.). Cambridge, UK: Cambridge University Press, 27-56.
- Rousset, N., Arrus, R. (2006), "L'agriculture du Maghreb au défi du changement climatique : quelles stratégies d'adaptation face à la raréfaction des ressources hydriques?", Communication à WATMED 3, 3ème Conférence internationale sur les Ressources en Eau dans le Bassin Méditerranéen, Tripoli (Liban), 1 -3 novembre 2006.
- Schär, C., Vidale, P.D.L., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M., Appenzeller, C., (2004), "The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves", *Nature* 427, 332–336.
- Shérif, A. (2005), "The Cost of Inaction in the Middle East and North Africa Countries", Presented at the 2nd International Expert Meeting on Sustainable Consumption and Production Costa Rica, San Jose 5 September, 2005.
- Smith, J.B. Schellnhuber, H.-J., Mirza, M.M.Q., Fankhauser, S., Leemans, R., Lin, E., Ogallo, L., Pittock, B., Richels, R.G., Rosenzweig, C., Tol, R.S.J., Weyant J.P., Yohe, G.W. (2001), "Vulnerability to climate change and reasons for concern: a synthesis" *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 913-967.
- Stern, N. (2006), "The Economics of Climate Change", *The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Swiss Re, 2005. *Sigma, Natural Catastrophes and Man-Made Disasters in 2004*. Swiss Reinsurance Company, Zurich.
- Tol, R.S.J. (2002 a), "Estimates of the Damage Costs of Climate Change, Part I: Benchmark Estimates", *Environmental and Resource Economics* 21 (1), 47-73.
- Tol, R.S.J. (2002 b), "Estimates of the damage costs of climate change – part II: dynamic estimates", *Environmental and Resource Economics* 21, 135-160.
- Tol, R.S.J. (2005), "The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: An assessment of the uncertainties", *Energy Policy* 33(16), 2064-2074.
- Tol, R.S.J. (2006), "Integrated Assessment Modelling", Working Paper FNU-102.
- Tol, R.S.J. (2007), "Why Worry About Climate Change? A Research Agenda", *Nota di Lavoro* 136, Fondazione Eni Enrico Mattei.
- Tol, R.S.J., Fankhauser, S., Kuik, O.J., Smith, J.B. (2001), "Recent economic insights into the impacts of climate change", *Climate change in the Mediterranean Socio-Economic Perspectives of Impacts, Vulnerability and Adaptation*. The Fondazione ENI Enrico Mattei (FEEM) Series on Economics and the Environment.

- Tol, R.S.J., Yohe, G.W. (2007), “The Stern Review: a Deconstruction”, Working Papers FNU 125.
- UNEP (2007a), La diversité biologique et les changements climatiques, Convention sur la diversité biologique, Journée internationale de la diversité biologique.
- UNEP (2007b), Changement Climatique en Méditerranée, Energie et Changement Climatique, Tourisme et Changement Climatique, Douzième réunion de la Commission Méditerranéenne du développement durable, Istanbul, 30-31 mai.
- UNEP Finance Initiative (2006), “Adaptation and vulnerability to climate change: The role of finance sector”, A document of the UNEP FI Climate Change Working Group, November.
- Washington, W., Weatherly, J., Meehl, G., Semmer, A., Bettge, T., Craig, A., Strand, W., Arblaster, J., Wayland, V., James, R., Zhang, Y. (2000), “Parallel climate model (PCM): control and transient simulations”, *Climate Dynamics* 16, 755–774.
- Weitzman, M.L. (1998), “Why the far-distant future should be discounted at its lowest possible rate”, *Journal of Environmental Economics and Management* 36(3), 201-208.
- Weyant, J. P., Davidson, O., Dowlatabadi, H., Edmonds, J. A., Grubb, M. J., Parson, E. A., Richels, R. G., Rotmans, J., Shukla, P. R., Tol, R. S. J., Cline, W. R., & Fankhauser, S. (1996), “Integrated Assessment of Climate Change: An Overview and Comparison of Approaches and Results”, in *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions -Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*,
- White, A., Cannell, M.G.R., Friend, A.D. (1999), “Climate change impacts on ecosystems and the terrestrial carbon sink: A new assessment,” *Global Environmental Change* 9, S21-S30.
- Winkler, H., Davidson, O., Mwakasonda, S. (2005), “Developing institutions for the clean development mechanism (CDM): African perspectives ”, *Climate Policy* 5, 209–220.
- World Bank (2005), “Agriculture et développement rural au Moyen-Orient et en Afrique du Nord », World Bank Search, Aout.
- WTO (2003), *Yearbook of Tourism Statistics*, World Tourism Organisation, Madrid
- Yohe, G. W., Schlesinger, M. E. (1998), “Sea-Level Change: The Expected Economic Cost of Protection or Abandonment in the United States,” *Climatic Change*, Vol. 38, 337-342.

CHAPITRE 3

Les tendances et la structure des émissions de CO₂ issues de l'énergie dans les économies méditerranéennes

Roméo PRENGERE
Plan Bleu

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie S. Quefelec, C. Roddier-Quefelec et C. Gimet pour leurs suggestions et commentaires.

TABLE DES MATIERES

MESSAGES CLES	6
INTRODUCTION	7
I. LES EMISSIONS DE GES : ELEMENTS MONDIAUX ET MEDITERRANEENS	9
1. Les tendances des émissions globales pour le monde, l'UE et la Méditerranée	9
2. Répartition des émissions de GES mondiales et méditerranéennes en l'an 2000	17
II. TENDANCES DES REGIONS ET PAYS : DECOMPOSITION DES EMISSIONS DE CO₂ LIEES A L'UTILISATION D'ENERGIE	22
1. Emissions totales de CO ₂ liées à l'utilisation d'énergie et émissions par tête	22
2. L'intensité carbone des économies, la richesse et la démographie : les tendances et les responsabilités respectives	26
III. ANALYSE SECTORIELLE DES EMISSIONS DE CO₂ LIEES A L'UTILISATION D'ENERGIE	33
1. Contribution des secteurs aux émissions par régions : l'électricité et les transports, sources d'enjeux	33
2. L'électricité et le chauffage	35
3. Le secteur des transports	38
4. L'industrie et la construction	39
5. Les émissions fugaces et les autres émissions	42
IV. CONCLUSION	46
ANNEXES	48
1. Annexe 1 – Pays, Régions et sous-régions utilisés et désignés dans l'étude	48
2. Annexe 2 - Sources des données	49
3. Annexe 3 - Répartition par gaz des émissions de GES en 2000, approche de référence	53
4. Annexe 4 - Niveaux en 2004 des variables issues de la décomposition de la variation des émissions par pays et régions (Partie II)	55
5. Annexe 5 - Emissions sectorielles de CO ₂ par pays et régions en 2004, niveaux et variations 1990-2004 (Partie III)	56
BIBLIOGRAPHIE	57

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 - Emissions historiques de dioxyde de carbone lié à l'utilisation d'énergie de 1850 à 2005, millions de T de CO ₂	10
Figure 2 - Emissions de CO ₂ liées à l'utilisation d'énergie de l'UE et de la Méditerranée et scénarios de référence, 1950-2020, millions de tonnes de CO ₂	12
Figure 3 - Emissions mondiales de gaz à effet de serre en 1990, 1995 et 2000 par gaz, millions de Te CO ₂	14
Figure 4 - Emissions de gaz à effet de serre des PSE de la Méditerranée en 1990, 1995 et 2000 par gaz, millions de Te CO ₂	14
Figure 5 - Emissions de gaz à effet de serre des PN de la Méditerranée en 1990, 1995 et 2000 par gaz, millions de Te CO ₂	15
Figure 6 - Répartition mondiale des émissions anthropiques de gaz à effet de serre, Te CO ₂ , Année 2000. Total mondial des émissions de 42 milliards de Te CO ₂	17
Figure 7 - Répartition mondiale des émissions de CO ₂ liées à l'utilisation d'énergie, T de CO ₂ , Année 2000. Total mondial 23 milliards de T de CO ₂	18
Figure 8 - Tendances régionales des émissions de CO ₂ issu de l'énergie, 1990-2004, millions de T de CO ₂	23
Figure 9 - Emissions absolues (Echelle de droite) et émissions par habitant (Echelle de gauche) de CO ₂ issu de l'utilisation d'énergie par régions et pays en 2004.....	25
Figure 10 - Emissions absolues de CO ₂ issu de l'utilisation d'énergie (Echelle de droite) et intensité carbone des économies (Echelle de gauche) par régions et pays en 2004	27
Figure 11 - Niveaux relatifs (PNM=100) des émissions de CO ₂ et des facteurs de la décomposition pour les régions PNM, PSEM et FEMIP, 2004.....	29
Figure 12 et Figure 13 - Variation en % par régions et sous régions des émissions de CO ₂ liées à l'utilisation d'énergie et des facteurs issus de la décomposition, variation 1990-2004.....	30
Figure 14 - Répartition sectorielle (%) des émissions de CO ₂ issues de l'utilisation d'énergie par régions, 2004	34
Figure 15 - Contribution sectorielle absolue à la variation absolue des émissions de CO ₂ issu de l'utilisation d'énergie par régions, variation 1990-2004, millions de T CO ₂	34
Figure 16 et Figure 17 - Emissions de CO ₂ issu de l'électricité et du chauffage (Echelle de gauche) et production d'électricité (Echelle de droite) dans les régions et sous régions de la Méditerranée, 1990-2004	36
Figure 18 - Emissions de CO ₂ issues du secteur des transports (Echelle de gauche) et PIB (Echelle de droite, PPA) dans les régions de la Méditerranée, 1990-2004.....	38
Figure 19 - Emissions de CO ₂ issues du secteur de l'industrie et de la construction (Echelle de gauche) et VA Industrie (Echelle de droite, US\$) dans les régions de la Méditerranée, 1990-2004.....	40
Figure 20 et Tableau 8 - Emissions de CO ₂ issu de la décarbonatation (Echelle de gauche) et production de ciment (Echelle de droite) en Méditerranée, 1990-2004.....	41
Figure 21 t Tableau 9 - Emissions de CO ₂ issues des émissions fugaces (Echelle de gauche) et production d'énergie primaire (Echelle de droite) pour quelques pays méditerranéens, 1990-2004.....	42
Figure 22 - Emissions de CO ₂ issues des autres combustions de carburants dans les régions et sous-régions de la Méditerranée, 1990-2004	44
Tableau 1 - Les émissions de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie de 1850 à 2005.....	11
Tableau 2 - Emissions absolues et émissions par tête de CO ₂ issu de l'utilisation d'énergie par régions et pays, valeurs 2004 et évolutions récentes.....	24
Tableau 3 - Emissions absolues de CO ₂ issu de l'énergie et intensité carbone des économies par régions et pays, valeurs 2004 et évolutions récentes.....	28

Tableau 4 - Variation en % par pays et régions des émissions de CO ₂ liées à l'utilisation d'énergie et des facteurs issus de la décomposition, variation 1990-2004	31
Tableau 5 - Emissions de CO ₂ issu de l'électricité et du chauffage et production d'électricité par régions, niveau en 2004 et variation 1990-2004.....	37
Tableau 6 - Emissions de CO ₂ issues du secteur des transports, niveau en 2004 et variation 1990-2004.....	39
Tableau 7 - Emissions de CO ₂ issues du secteur de l'industrie et de la construction dans les régions et sous régions de la Méditerranée, 1990-2004	40
Figure 20 et Tableau 8 - Emissions de CO ₂ issu de la décarbonation (Echelle de gauche) et production de ciment (Echelle de droite) en Méditerranée, 1990-2004.....	41
Figure 21 t Tableau 9 - Emissions de CO ₂ issues des émissions fugaces (Echelle de gauche) et production d'énergie primaire (Echelle de droite) pour quelques pays méditerranéens, 1990-2004.....	42
Tableau 10 - Emissions de CO ₂ issues des autres combustions de carburants dans les régions et sous régions de la Méditerranée, 1990-2004	44
Encadré 1 - Informations sur les données	16
Encadré 2 - Quelques chiffres sur les émissions de CO ₂ en Méditerranée et la décarbonation dans l'industrie du ciment.....	41
Schéma 1 - Répartition par secteurs et par gaz ²⁷ des émissions mondiales de GES en 2000, % des émissions totales (41641 millions de Te CO ₂)	19
Schéma 2 - Répartition par secteurs et par gaz ²⁷ des émissions de GES dans les PSE de la Méditerranée en 2000, % des émissions totales (941 millions de Te CO ₂).....	19
Schéma 3 - Répartition par secteurs et par gaz ²⁷ des émissions de GES dans les PN de la Méditerranée en 2000, % des émissions totales (1757 millions de Te CO ₂)	20

MESSAGES CLES

Les futures émissions de CO₂ de la Méditerranée : vers une contribution beaucoup plus forte des pays de la rive Sud

La croissance des émissions de CO₂ est beaucoup plus rapide dans les PSEM que dans les PNM. Avec 1393 MTCO₂ issues de l'énergie émises en 2004, les PNM enregistrent une augmentation de 18% entre 1990 et 2004. Les émissions des PSEM sont de 663 MTCO₂ et ont augmenté de 58% sur la même période. Ce rythme de croissance dépasse de vingt points le rythme mondial. Selon le scénario de référence, la part des PSEM dans les émissions en question émanant de la Méditerranée pourrait approcher 50% en 2020.

La contribution de la Méditerranée aux émissions de CO₂ : des responsabilités passées localisées majoritairement sur la rive Nord

L'ensemble des 21 pays méditerranéens a émis 7,4 % des émissions mondiales cumulées de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie entre 1850 et 2005. Ils émettent aujourd'hui environ 8% de ces mêmes émissions mondiales de CO₂. Les émissions cumulées des pays de la rive Sud et Est de la Méditerranée (PSEM) depuis 1850 représentent seulement 1,4% des émissions mondiales cumulées et ils ont émis en 2005, moins de 3% des émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie. Ainsi, en 2005, les pays de la rive Nord de la Méditerranée (PNM) ont émis environ les deux tiers des émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie de l'ensemble du bassin méditerranéen. Les émissions de CO₂ par tête varient de 2,6 t dans les PSEM, 2,4 t dans les pays « FEMIP » à 7,1t dans les PNM.

Le CO₂ issu de l'utilisation d'énergie au sud de la Méditerranée : principale source de gaz à effet de serre, ces émissions progressent plus rapidement que la moyenne mondiale

En 2000, 72% des émissions de GES méditerranéennes sont imputables au CO₂ lié à l'utilisation d'énergie. Cette part atteint 77% dans les PNM et 64% dans les PSEM. Ces proportions sont plus élevées que celles se rapportant à la situation mondiale. Dans les PSEM, ces émissions de CO₂ progressent en effet plus vite que les émissions mondiales. L'intensité carbone des économies des PSEM (464 TCO₂/millions dollars de PIB) et pays FEMIP a très faiblement baissé entre 1990 et 2004. Il est également intéressant de noter que la variation passée totale des émissions de CO₂ depuis 1990 résulte en priorité dans les PNM de l'augmentation de la richesse par habitant alors que dans les PSEM, la croissance de la population est le premier facteur.

Les émissions de CO₂ issues de l'énergie par secteur et leurs évolutions depuis 1990

- Les émissions issues de l'électricité et du chauffage représentent le premier secteur d'émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie en Méditerranée (38% en 2004). Ce secteur est, en particulier dans les PSEM, le premier contributeur à la hausse des émissions depuis 1990.
- Les émissions du secteur des transports sont fortement liées au niveau de richesse. Elles sont ainsi élevées dans les PNM où elles occupent 29% des émissions totales et où elles constituent la principale composante de la hausse des émissions. Le découplage de ces émissions avec la croissance économique ne s'observe ni dans les PSEM (+55% depuis 1990) ni même dans les PNM (+30%).
- Le secteur de l'industrie et de la construction (émissions directes) représente 20% des émissions de CO₂ issues de l'énergie dans les PSEM. La croissance a été plus faible que dans les deux précédents secteurs : +11% dans les PNM et +46% dans les PSEM entre 1990 et 2004. Cependant, ces émissions progressent alors que dans le même temps l'UE27 a connu un fort recul de ce type d'émissions. La question des émissions issues des cimenteries dans les PSEM devrait faire l'objet d'une attention particulière.
- Les émissions de CO₂ issues des « autres combustions de carburant » sont principalement le fait de la combustion directe d'énergie fossile par le secteur résidentiel et commercial. Ces émissions sont à 70% issues des PNM mais progressent plus vite dans les PSEM (c'est le cas de la Tunisie avec 20% du total de ses émissions de CO₂ qui s'y rapportent et +77% entre 1990 et 2004). Les émissions fugaces de CO₂ en Méditerranée, dont plus de 50% proviennent d'Algérie, sont quant à elles en baisse constante. Parallèlement, les émissions de méthane issues de la même origine ont fortement augmenté.

Les émissions de CO₂ : un enjeu mondial et des défis spécifiques

Ainsi, si les PNM sont confrontés à la nécessité de réduire immédiatement leurs émissions de CO₂, pour les PSEM et les pays bénéficiaires de la FEMIP, l'enjeu réside dans la maîtrise des émissions futures qui seront elles-mêmes déterminées par les degrés d'anticipation intégrée dans les investissements et les choix de développement effectués aujourd'hui. Les secteurs clefs qui détermineront les émissions futures en particulier liés au bâtiment (construction, cimenteries, commerce et tertiaire, résidentiel) et à l'utilisation d'électricité (notamment dans les bâtiments : chauffage, climatisation, équipements ménagers), ainsi que celles liées aux transports (passagers et marchandises). Si les options d'investissement et de développement retenues en matière d'énergie se font à l'image des 30 dernières années, et compte tenu de la croissance démographique et économique dans les PSEM, une très forte hausse des émissions est à prévoir dans la rive Sud.

INTRODUCTION

« Les activités humaines contribuent au changement climatique en ce qu'elles transforment l'atmosphère terrestre en modifiant les quantités des gaz à effet de serre, des aérosols (minuscules particules) et en altérant la nébulosité. Le facteur déterminant le plus connu est l'utilisation des combustibles fossiles qui dégagent du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Les gaz à effet de serre, ainsi que les aérosols, affectent le climat en altérant le rayonnement solaire en entrée et le rayonnement infrarouge en sortie de la Terre. La modification de la densité ou des propriétés de ces gaz et particules dans l'atmosphère, peut entraîner un réchauffement ou un refroidissement du système climatique. Depuis la révolution industrielle (vers 1750) l'ensemble des activités humaines a provoqué le réchauffement du climat. L'impact anthropique sur le climat durant cette période excède de loin celui des processus naturels, tels que les éruptions solaires et volcaniques. »¹

La contribution des différents pays du monde et de la Méditerranée au processus décrit ci-dessus apparaît cependant très variée et hétérogène. Ainsi, la structure par gaz ou par type d'activité des émissions de gaz à effet de serre (GES) et de dioxyde de carbone (CO₂) est très spécifique à chaque secteur et pays. Ainsi, une étape importante dans la réflexion sur la réduction des émissions de GES est celle de la quantification des émissions et de l'analyse de leurs structures, en particulier celles de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie.

Ce chapitre vise à dresser une image factuelle de l'importance des émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie dans le total des GES, de leur évolution et structure dans les pays méditerranéens.

Tout au long de ce chapitre un ensemble d'indicateurs sera sélectionné, calculé et analysé afin de :

- mettre en évidence l'évolution et l'importance relative des émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie dans l'ensemble des émissions de GES méditerranéennes et mondiales.
- mettre en évidence les tendances, la structure, les facteurs explicatifs et les dynamiques sectorielles des émissions de CO₂ en provenance de l'utilisation d'énergie, dans l'ensemble du bassin méditerranéen (20 pays riverains de la mer méditerranée² ainsi que la Jordanie³)
- caractériser ces évolutions par zone géographique intra-méditerranéenne en analysant et comparant l'origine et l'évolution des émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie dans les pays de la rive Sud et Est et ceux bénéficiaires de la FEMIP avec celles issues de la rive Nord de la Méditerranée.
- caractériser autant que possible la responsabilité des différents paramètres et secteurs d'activité (par sous région) déterminant les émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie.

Afin de répondre à ces objectifs, ce chapitre se compose de trois parties. Une première partie analyse les émissions de CO₂ sur le très long terme (1850-2005) et met en évidence les évolutions des pays méditerranéens du Sud et du Nord par rapport aux tendances mondiales. Cette première partie analyse aussi la part des émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie dans l'ensemble des émissions de GES. La deuxième partie de ce chapitre considère uniquement les émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie. L'analyse est détaillée pour la période récente (depuis 1990) par pays. L'intensité carbone des pays est comparée et une décomposition des facteurs habituellement utilisés pour expliquer les émissions de CO₂ est présentée. Enfin la troisième partie analyse les émissions de

¹ Source : GIEC (2007).

² Absence de données relatives à l'Autorité Palestinienne.

³ La Jordanie est incluse dans l'analyse des parties II et III.

CO₂ issues de l'utilisation d'énergie par secteur et permet de souligner autant que possible les secteurs porteurs d'enjeux et nourrissant la croissance actuelle et future des émissions de CO₂.

Les chiffres sur les émissions de GES présentés et analysés dans ce chapitre sont extraits du « Climate Analysis Indicator Tool » du « World Resources Institute (WRI) »⁴. Cette base de données a été retenue car elle apparaît comme étant la source d'information chiffrée sur ce sujet la plus complète à ce jour. Les données les plus récentes possibles disponibles dans cette base de données au moment de la préparation des différentes parties de ce chapitre ont été utilisées. Ainsi, la version 4.0 du « Climate Analysis Indicator Tool » a été utilisé pour la partie I (en octobre/novembre 2007) et la version 5.0 pour les parties II et III (décembre 2007/janvier 2008). Des informations méthodologiques détaillées sur les données sont incluses dans l'Encadré 1. Le programme de coopération statistique euro-méditerranéen MEDSTAT II, secteur environnement, a également été consulté pour vérifier les informations d'ordre méthodologiques dans les pays MEDA. Les résultats sont agrégés par zone géographique (PSEM, Femip⁵, PNM... : composition détaillée en Annexe 1). En outre, des sources complémentaires (en particulier AIE et OME) sont utilisées pour compléter certaines séries ou pour les scénarios de référence. Les chiffres de population, PIB et autres informations complémentaires sont principalement issus de la base de données WRI.

⁴ <http://cait.wri.org/>

⁵ L'agrégat Femip est inclus dans l'analyse des parties II et III.

I. LES EMISSIONS DE GES : ELEMENTS MONDIAUX ET MEDITERRANEENS

Cette partie présente dans un premier temps les émissions historiques de dioxyde de carbone issues de l'utilisation d'énergie. Ensuite, des éléments temporels, pour chaque gaz à effet de serre et pour chaque secteur sont fournis pour des périodes plus récentes. Voici quelques éléments chiffrés* clés que l'on peut retenir :

Les pays méditerranéens ont émis 7,4 % des émissions mondiales cumulées de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie depuis 1850. Ils émettent désormais environ 8% des émissions mondiales de CO₂. Les PSEM émettent moins que les PNM : ils sont responsables de moins de 3% des émissions mondiales en 2005, contre 5% pour les PNM.

Les PSEM représentent actuellement environ un tiers des émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie en Méditerranée mais leurs émissions progressent fortement. Ils ont en particulier multiplié par plus de 5 leurs émissions entre 1969 et 2005. Selon le scénario tendanciel de l'OME cette part pourrait approcher 50% en 2020.

Du point de vue plus vaste des émissions anthropiques de GES en 2000, 72% des émissions méditerranéennes sont imputables au CO₂ lié à l'utilisation d'énergie. Cette part atteint 77% dans les PNM. La même année le volume total des émissions* de GES représentait ainsi 941 millions de tonnes équivalent CO₂ dans les PSEM et 1757 millions dans les PNM.

D'un point de vue sectoriel les émissions de GES des PSEM se caractérisent par une part relativement importante des émissions fugaces (9% en 2000), des émissions issues des déchets et des cimenteries.

L'utilisation d'énergie est responsable de plus de 75% des émissions de GES dans les PNM. Les secteurs relativement prééminents des PNM sont les secteurs des transports (22%) et le secteur résidentiel et tertiaire.

*Cf. Infra pour des détails sur les données.

1. LES TENDANCES DES EMISSIONS GLOBALES POUR LE MONDE, L'UE ET LA MEDITERRANEE

1.1. 1850-2005 : Les émissions mondiales et euro-méditerranéennes de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie

1.1.1. 150 ans de croissance soutenue des émissions mondiales

La combustion des énergies fossiles émet du dioxyde de carbone. La consommation d'énergie fossile commerciale a accompagné la croissance économique naissante en Europe au 19^{ème} siècle. Les révolutions industrielles ont ainsi entraîné un décuplement rapide des émissions de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie⁶. Les données disponibles⁷ permettent d'observer raisonnablement ces émissions depuis 1850. Le Graphique 1 illustre ces évolutions de long terme au cours du siècle et demi achevé pour l'ensemble du monde, l'Union Européenne à 27 membres, la Méditerranée et les PSEM. Les évolutions observées sont caractérisées par les grandes étapes suivantes :

- Les émissions mondiales liées à l'utilisation d'énergie ont connu un ralentissement de leur progression entre les deux guerres, les économies de nombreux pays ont été fragilisées au cours de ces trente années (1915-1945). Les décennies suivantes ont notamment connu le boom

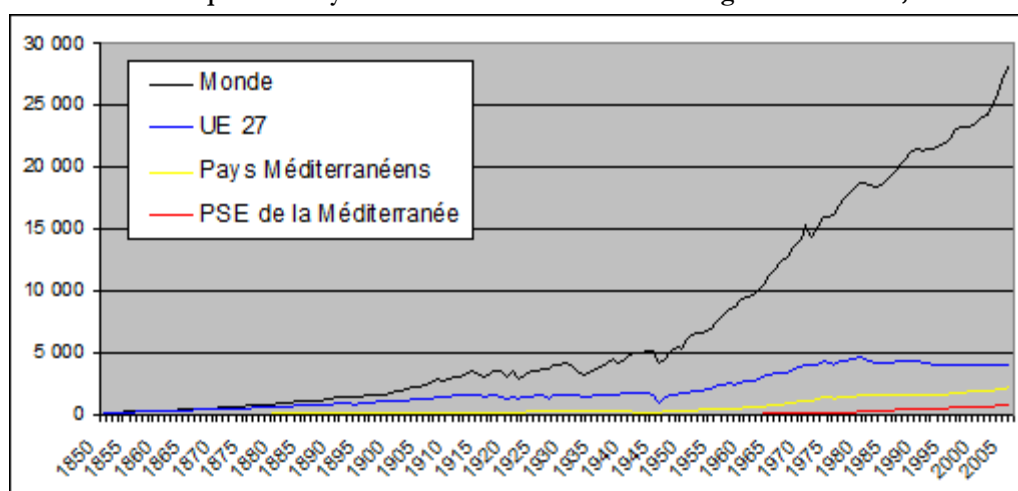
⁶ Dans les parties 1.1.1 et 1.1.2., lorsque le terme « utilisation d'énergie » est employé, les émissions issues du process du ciment sont incluses car les données historiques « Cait-Excel® » ne distinguent pas les deux, par la suite la distinction est toujours opérée.

⁷ Données WRI Cait issues notamment du CDIAC, cf. Encadré 1.

économique et démographique des pays industrialisés entraînant l'ensemble du monde dans une forte croissance des émissions de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie.

- Les chocs pétroliers des années 70, la montée du nucléaire et une moindre croissance des pays industrialisés ont légèrement ralenti la croissance des émissions. Néanmoins, depuis 1968, les émissions mondiales ont plus que doublé, reflétant des évolutions qui ont aussi affecté le monde depuis le milieu des années 80. Le recul de la production dans les pays de l'Est à la fin des années 80 et au début des années 90, le boom des pays asiatiques et notamment la forte croissance de la consommation d'énergie riche en charbon qui a émané de la Chine et de l'Inde sont autant d'événements qui ont marqué l'histoire récente des émissions de dioxyde de carbone.
- La situation mondiale actuelle nous indique que lors des trois dernières années disponibles (2003-2005), les émissions liées à l'utilisation d'énergie ont progressé en moyenne annuelle de 4,4%. Cette variation est supérieure au rythme historique d'augmentation qui est de 3,2% par an.

Figure 1 - Emissions historiques de dioxyde de carbone lié à l'utilisation d'énergie de 1850 à 2005, millions de T de CO₂



Source : Calculs Plan Bleu d'après les données WRI CAIT et autres sources.

Note : Emissions de dioxyde de carbone issues de la combustion de carburants fossiles (approche de référence) et de la fabrication du ciment (1850-2002) WRI CAIT, Module « CAIT Excel ». Pour les données 2003, les « totaux nationaux » de dioxyde de carbone émis agrégés en régions sont issus de l'interface WRI Cait en ligne. Estimations Plan Bleu pour les données 2004 et 2005 à partir de OME (Rapport pour le Plan Bleu, 2006), EEA (site Internet), WEO (2006) et IEA (« Emissions de CO₂ dues à la combustion d'énergie », 2007). Les estimations Plan Bleu 2004 et 2005 sont réalisées à l'aide d'une méthode de variation appliquée avec année de base récente commune.

1.1.2. Les émissions de l'Union Européenne et de la Méditerranée : « à chacun son rythme »

La tendance des émissions de dioxyde de carbone reconstituée pour l'Union Européenne à 27 laisse apparaître une déconnexion progressive de cette dernière au regard de la tendance mondiale (cf. Figure 1). A partir de 1905, les pays constituant aujourd'hui l'UE27 ont contribué pour moins de la moitié aux émissions mondiales de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie. Après la seconde guerre mondiale, le rythme de croissance des émissions européennes s'est accentué conduit par la dynamique des « trente glorieuses ». Les émissions connaissent alors un maximum absolu en 1980. Les politiques liées à l'utilisation d'énergie et le recul de la production à l'Est ont contribué à stabiliser depuis les émissions régionales de dioxyde de carbone. En 2005, l'UE27 ne représente plus que 14,6% du total mondial, alors que sa contribution historique s'élève à 26,6% (cf. Tableau 1).

Tableau 1 - Les émissions de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie de 1850 à 2005.

Région	Cumul des émissions de 1850 à 2005, Millions de T de CO ₂	Part dans le cumul mondial des émissions de 1850 à 2005, %	Emissions en 2005, Millions de T de CO ₂	Part dans les émissions mondiales de 2005, %
Monde	1 147 890	100.0	28 224	100.0
UE 27	305 166	26.6	4 116	14.6
12 nouveaux membres de l'UE depuis 2004	53 768	4.7	738	2.6
Pays méditerranéens	85 397	7.4	2 211	7.8
PN de la Méditerranée	68 805	6.0	1 454	5.1
PSE de la Méditerranée	16 592	1.4	757	2.7

Source : Calculs Plan Bleu d'après les données WRI CATT et autres sources.

Note : Identique à la Figure 1.

Les émissions issues de l'ensemble des pays méditerranéens (20 pays riverains⁸) paraissent faibles à l'échelle mondiale jusqu'en 1950. Ainsi, en 1926 la région méditerranéenne émettait cinq fois moins de dioxyde de carbone que l'UE27. Le développement des pays du Nord de la Méditerranée puis plus récemment des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée a porté le total des émissions de cette région à hauteur de la moitié de celui de l'UE27 en 2002. Au début du 21^{ème} siècle la Méditerranée représente près de 8% du total mondial des émissions de dioxyde de carbone. Cette tendance est fortement influencée par les pays de la rive Sud et Est. En effet les émissions de ces pays ont été multipliées par dix tous les 25 ans au 20^{ème} siècle, portant la part mondiale des PSEM à 2,7% en 2005. Néanmoins, il apparaît clairement que jusqu'à aujourd'hui, les pays de la rive Sud ont contribué pour beaucoup moins aux émissions de CO₂ que ceux de la rive Nord (environ 4,1 fois moins selon le cumul 1850-2005).

Ces grandes tendances d'émissions mondiales et régionales sont parfois difficilement interprétables et feront donc l'objet d'une décomposition économique et énergétique pour la période récente 1990-2004⁹.

1.2. 1950-2020 : Les émissions de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie et scénarios régionaux : la dynamique préoccupante du bassin méditerranéen

Les émissions de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie sont analysées au regard des sous régions pour la période 1950-2005, ainsi que leur scénario de référence¹⁰ à 2020, lorsque celui-ci est disponible.

Les émissions de l'Union européenne ont été affectées par les chocs pétroliers des années soixante-dix et les politiques énergétiques qui en ont découlé. Cette situation est accentuée pour les pays de l'UE à quinze pays (cf. Figure 2). Cette même zone a depuis le début des années quatre-vingts quasi stabilisé ses émissions de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie. La région UE27 se caractérise par une baisse des émissions absolues en tendance depuis 1979, bien que lors de la décennie écoulée cette tendance se soit assez nettement ralentie. Les émissions de dioxyde de carbone de l'UE27 ont été influencées depuis 1990 par la chute de la contribution des douze nouveaux états membre de l'UE. Ce sous-ensemble a vu ses émissions baisser d'un tiers depuis 1989. Ainsi, ces nouveaux membres qui sont essentiellement des pays d'Europe de l'Est ont émis en 2005 moins que ce qu'ils avaient émis en 1969. Ces pays ont subi des mutations de leur structure économique et des changements de leur niveau de production, ce qui explique cette évolution.

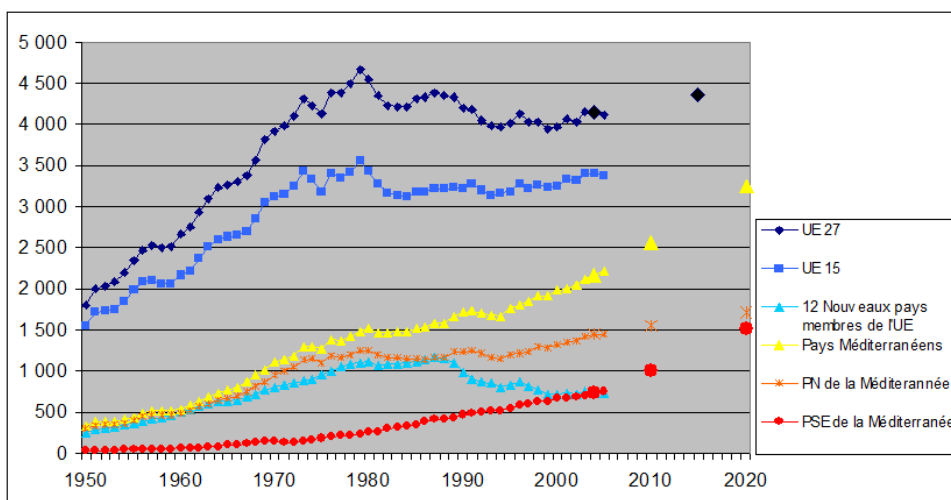
⁸ Absence de données relatives à l'Autorité Palestinienne.

⁹ Cf. Partie II.

¹⁰ Le scénario de référence ou scénario tendanciel est issu d'une prolongation des tendances par les institutions internationales spécialistes des questions d'énergie et n'incorpore pas les éventuelles conséquences d'un changement de comportement de la part des parties prenantes.

La situation des nouveaux états membres de l'UE contraste avec celle des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée. Ces derniers ont à titre de comparaison multiplié par plus de cinq leurs émissions depuis 1969. La croissance des émissions de dioxyde de carbone des PSEM est assez stable, elle s'inscrit dans une croissance annuelle de 5,9%. Cette croissance est en tendance bien plus soutenue que celle de leurs voisins méditerranéens du Nord. Néanmoins, les PNM enregistrent une forte augmentation de leurs émissions de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie depuis 1995¹¹. Les pays de l'Est Adriatique ont été, depuis trente ans¹², plus dynamiques que le reste des PNM (qui sont en fait les pays méditerranéens membres de l'UE27), cependant la taille des économies de l'Adriatique reste faible au regard de celle de leurs voisins européens.

Figure 2 - Emissions de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie de l'UE et de la Méditerranée et scénarios de référence, 1950-2020, millions de tonnes de CO₂.



Source : Calculs Plan Bleu d'après les données WRI CAIT et autres sources.

Notes : Emissions de dioxyde de carbone issues de la combustion de carburants fossiles (approche de référence) et de la fabrication du ciment (1850-2002) WRI Caït, Module « CAIT Excel ». Pour les données 2003 les « totaux nationaux » de dioxyde de carbone agrégés en régions sont issus de l'interface WRI Caït en ligne. Estimations Plan Bleu pour les données 2004, 2005 et scénarios de référence à partir de OME (Rapport pour le plan bleu, 2006), EEA (site Internet, uniquement pour les données 2004 et 2005), WEO (2006) et IEA (« Emissions de CO₂ dues à la combustion d'énergie », 2007, uniquement pour l'estimation mondiale de 2005). Les estimations Plan Bleu 2004, 2005 et scénarios de référence sont réalisées à l'aide d'une méthode de variation appliquée avec année de base récente commune.

Les scénarios de référence des sous régions euro-méditerranéennes permettent d'entrevoir la dynamique et la part relative des émissions régionales qui pourraient se dessiner à l'horizon 2015 ou 2020 (cf. Figure 2), dans l'hypothèse où les tendances observées dans le passé restent inchangées. Ainsi, ces scénarios établissent une croissance annuelle des émissions de 0,5% pour l'UE27 alors que cette augmentation pourrait atteindre 2,7% pour la région méditerranéenne¹³. Ce différentiel de croissance conduirait les pays riverains de la Méditerranée à émettre en 2020¹⁴ autant de dioxyde de carbone lié à l'utilisation d'énergie que l'UE15 en 1999, portant ainsi la part de la Méditerranée à 8,7% du total mondial¹⁵. La zone méditerranéenne n'est cependant pas homogène en termes de dynamique interne des scénarios de référence des émissions. En effet, les PSEM pourraient observer une augmentation plus rapide de leurs émissions, conditionnée en partie par la convergence Sud/Nord des économies. En 2005, les PSEM ont pour la première fois émis plus de dioxyde de carbone lié à l'utilisation d'énergie que les douze nouveaux pays membres de l'UE. Cette tendance

¹¹ Les pays riverains d'Ex-Yougoslavie sont inclus dans les PNM.

¹² Hormis pendant les périodes 1991-1994 et 1999.

¹³ Comme dans toute cette étude la région méditerranéenne est considérée comme l'ensemble PNM plus PSEM.

¹⁴ La croissance des émissions à 2020 pour la Méditerranée est issue du scénario OME (2006), le scénario UE 2015 est extrait du WEO (2006).

¹⁵ Cette part est de 7,8% en 2005, cf. Tableau 1.

pourrait se traduire à l'horizon 2020 par une part des PSEM dans le total mondial des émissions liées à l'utilisation d'énergie de 3,8%¹⁶.

1.3. Evolution récente des émissions de GES en Méditerranée

Après avoir étudié les tendances historiques régionales des émissions de dioxyde de carbone issues de l'utilisation d'énergie, les données plus récentes nous permettent d'appréhender les émissions d'une façon plus complète en intégrant dans l'analyse les gaz à effet de serre suivants :

- Le dioxyde de carbone [CO₂]
- Le méthane [CH₄]
- Le protoxyde d'azote [N₂O]
- les composés fluorés [HFCs, PFCs, SF₆]

Le but de cette répartition par gaz¹⁷ est ici d'étudier la dynamique temporelle¹⁸ propre à chaque type de gaz et ceci pour « l'ensemble mondial », la région PSEM et la région PNM et d'identifier la part du CO₂ issu de l'utilisation d'énergie (qui sera elle même analysée en détail dans les parties II et III de ce chapitre).

Le dioxyde de carbone répertorié (cf. Figure 3, Figure 4 et Figure 5) est issu de l'utilisation d'énergie, des réservoirs internationaux de carburants et de la biomasse¹⁹. Ainsi, la part globale du dioxyde de carbone dans le total des gaz à effet de serre en 2000 est au moins égale à 70% dans les trois zones étudiées. Les émissions de méthane sont principalement issues de l'agriculture, des déchets et des systèmes pétrole et gaz dans les pays producteurs d'énergie. Le protoxyde d'azote est quant à lui émis à l'occasion de l'utilisation des engrais en agriculture ou lors de processus de combustions incomplètes.

Enfin, les composés fluorés sont générés lors des processus industriels.

Les évolutions observées pour chacun des gaz sont les suivantes :

- Les émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie (réservoirs internationaux compris) représentent²⁰ respectivement 57%, 64% et 77% des émissions de GES en 2000 des régions « monde », PSEM et PNM.
- Les émissions de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie sont en hausse dans toutes les régions, néanmoins cette hausse est plus marquée pour les PSEM et le monde qu'elle ne l'est pour les pays de la rive Nord. Cette croissance s'observe aussi pour le secteur particulier des réservoirs internationaux de carburants. Celui-ci connaît une croissance très forte dans toutes les régions étudiées. Cette tendance est influencée par l'augmentation du trafic maritime et aérien international. La part de ce secteur dans le total des gaz reste la plus élevée dans les pays du Nord de la Méditerranée.

¹⁶ Cette part est de 2,7% en 2005, cf. Tableau 1 Scénario PSEM à 2020 généré à partir de OME (2006), scénario de référence 2020 pour le monde généré à partir de IEO (2007).

¹⁷ Un diagramme gazier en bâtons pour chaque région est disponible pour les années 1990, 1995, 2000, cf. Figure 3, Figure 4 et Figure 5. Des diagrammes à secteurs sont disponibles en annexe pour l'année 2000 et font appel à une méthode de référence pour le dioxyde de carbone lié à l'utilisation d'énergie.

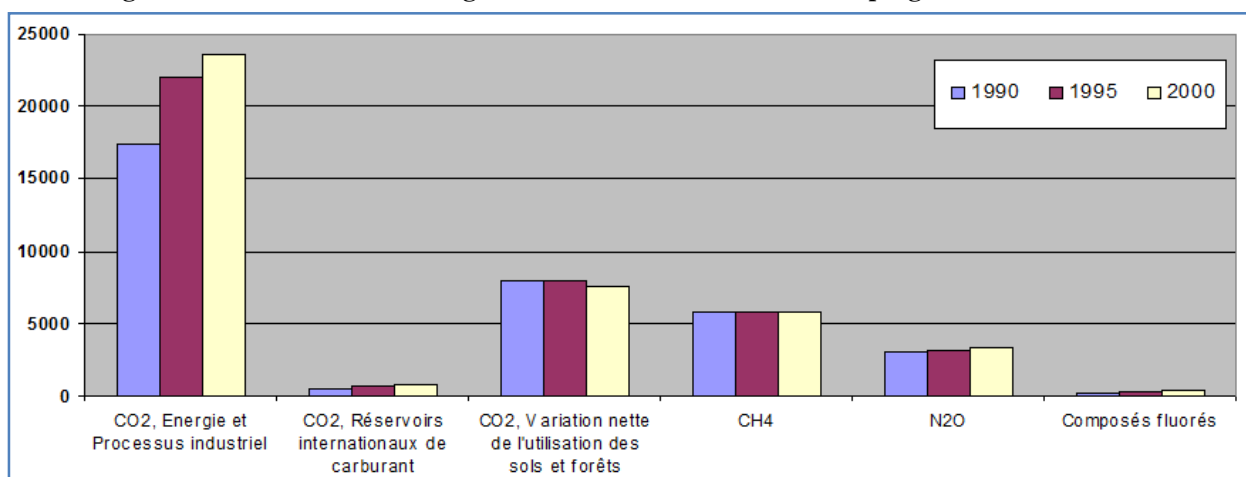
¹⁸ Seules trois années (1990, 1995, 2000) sont disponibles quant aux émissions de gaz non- CO₂.

¹⁹ Houghton (2003). Cf. Encadré 1.

²⁰ Ces pourcentages sont calculés à l'aide d'une approche de référence pour le CO₂ énergie qui diffère très peu (en valeur) de l'approche sectorielle pour ce secteur présentée dans les schémas. Ces pourcentages sont respectivement de 55%, 61% et 72% si l'on exclue les réservoirs internationaux de l'analyse. Des diagrammes par régions sont disponibles en annexe pour l'année 2000 avec une approche de référence pour chaque part représentant un gaz à effet de serre.

- Les émissions de dioxyde de carbone engendrées par des changements dans l'utilisation des sols et forêts sont relativement stables dans le temps. L'estimation de la contribution de ce secteur au bilan des émissions anthropiques est difficile à réaliser²¹. Cependant, on observe clairement que si ce secteur est un véritable enjeu pour le monde en termes de réchauffement climatique en tant que deuxième « secteur » émetteur net, ce n'est pas le cas pour la région Méditerranéenne. L'estimation pour les PNM indique même un faible stockage net en provenance du changement dans l'utilisation des sols et forêts.

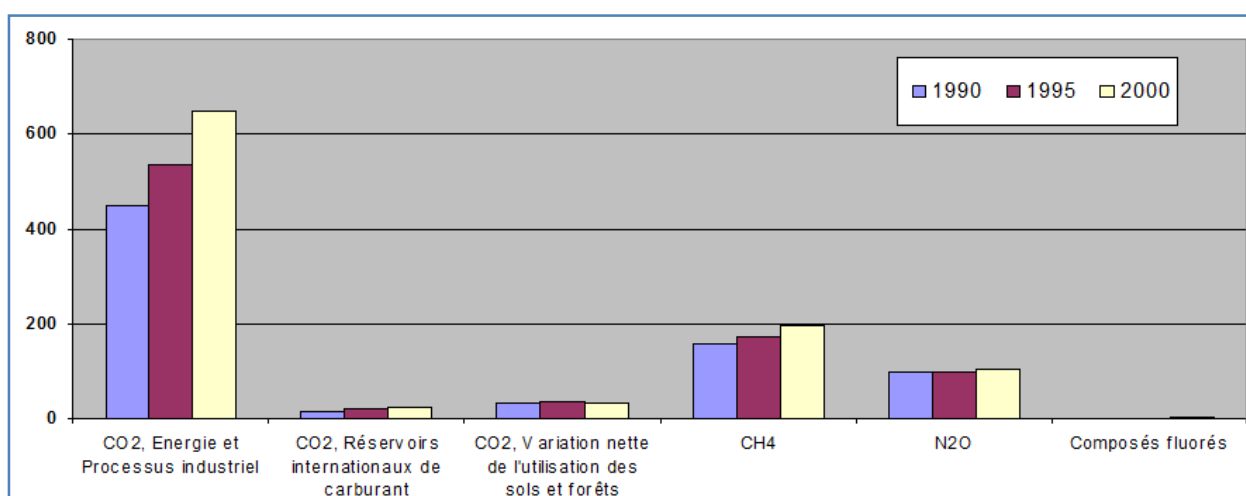
Figure 3 - Emissions mondiales de gaz à effet de serre en 1990, 1995 et 2000 par gaz, millions de Te CO₂.



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données pour l'année 2000 du WRI CAIT.

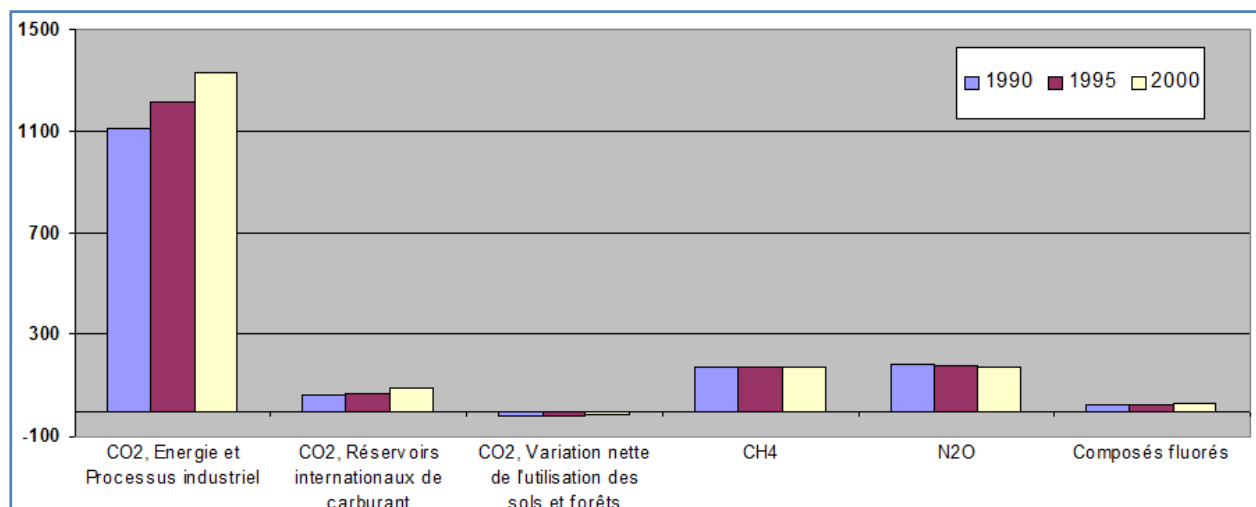
Note : L'estimation 1990 de l'agrégat «CO₂ énergie et processus industriel » est biaisé à la baisse en raison de pays manquants. L'approche sectorielle adoptée pour le CO₂ énergie tend à minorer légèrement sa part dans la répartition des gaz mais n'affecte pas les dynamiques comparées. Les gaz non-CO₂ sont les « totaux nationaux » non issus d'une sommation sectorielle, à l'inverse de la sous-partie 2.2. Emissions de gaz à effet de serre anthropiques normalisées en équivalent CO₂ (pouvoir de réchauffement planétaire pour 100 ans, recommandations du GIEC[1996]). Pourcentages et mise en forme Plan Bleu à partir des données de l'an 2000 fournies par l'interface en ligne WRI CAIT. Les sources des données utilisées par la base CAIT sont disponibles en annexe. L'attention est attirée sur le degré d'incertitude des données de base qui fait l'objet d'un encadré (cf Encadré 1). Une réserve particulière doit être émise sur le secteur « Changement dans l'utilisation des sols et forêts » (estimation Houghton, 2003) dont les estimations peuvent différer. Les marges d'erreurs sont par ailleurs élevées. Le secteur « Réservoirs internationaux de carburants » est inclus au schéma à titre indicatif. Ce secteur doit figurer de façon indépendante comme le recommande le GIEC, sa présence s'inscrit ici dans une vision globale et régionale des émissions de GES. Les données «CO₂, Energie et Processus Industriel » ne tiennent pas compte dans cette présentation des réservoirs internationaux présentés à droite.

Figure 4 - Emissions de gaz à effet de serre des PSE de la Méditerranée en 1990, 1995 et 2000 par gaz, millions de Te CO₂.



²¹ Les estimations sont celles obtenues par Houghton (2003). Cf. Encadré 1 pour le classement des données en fonction de leur incertitude.

Figure 5 - Emissions de gaz à effet de serre des PN de la Méditerranée en 1990, 1995 et 2000 par gaz, millions de T_e CO₂



Source et note : Cf. Figure 3. En 1990, le dioxyde de carbone issu de l'énergie est indisponible pour la Croatie, la Bosnie-H. et la Serbie-M. En 1995, ces trois pays constituaient 5% du total des émissions de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie des PN de la Méditerranée. L'estimation 1990 de cet agrégat est donc biaisée à la baisse.

- Les émissions de méthane sont constantes pour les données quinquennales des années quatre-vingt-dix pour le monde et les PNM, alors que celles-ci ont significativement augmenté pour les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée. Néanmoins, les PSEM ont pour point commun avec l'ensemble du monde d'émettre une quantité de méthane qui fait de ce gaz, le deuxième gaz à effet de serre d'origine anthropique pour ces deux régions.
- Les émissions de protoxyde d'azote sont restées stables au cours de la période de référence. Seuls les PNM ont vu ces émissions très faiblement se réduire. Cependant, ils constituent encore la seule région parmi les trois étudiées pour laquelle le protoxyde d'azote est en 2000 la deuxième source d'émissions de gaz à effet de serre²².
- Les émissions de gaz fluorés [ici, HFCs, PFCs et SF₆] sont significatives dans les pays du Nord de la Méditerranée alors qu'elles restent marginales dans les émissions mondiales et plus encore dans les PSEM. Cependant, ces gaz générés dans les processus industriels connaissent une croissance importante dans le monde et dans les PSEM. En général, les hydrofluorocarbures (HFCs) constituent la part la plus dynamique des composés fluorés, ce constat est notamment du au fait que les HFCs constituent un substitut aux CFCs et HCFCs²³.

Au cours des années quatre-vingt-dix, les émissions de gaz à effet de serre ont ainsi progressé de 34%²⁴ dans les PSEM. L'UE27 a pendant la même période réduit ses émissions de GES de 5%.

²² Les deux principales composantes des GES sont en général soit le CO₂ énergie, le CO₂ biomasse ou encore le méthane.

²³ Gaz dont l'utilisation a été interdite par le Protocole de Montréal en 1987 en raison de leurs effets sur la couche d'ozone. La législation européenne en la matière n'a pas d'équivalent dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée.

²⁴ Ces pourcentages de variation sont à prendre avec beaucoup de précaution. Ils sont issus d'une variation de valeurs annuelles pour lesquelles seulement dix années les séparent (1990 et 2000), ce qui rend ces variations sensibles aux conjonctures annuelles. De plus, il faut rappeler que le CO₂ énergie est ici estimé par une approche de sommation sectorielle qui peut légèrement différer des approches de référence. La variation estimée pour les PSEM et l'UE27 ne peut être calculée raisonnablement pour les PNM et le monde en raison de données géographiques manquantes pour l'année 1990 dans Cait 4.0 au regard des données 2000 pour ces mêmes régions.

Encadré 1 - Informations sur les données

Sources, méthodologie, incertitude, estimations et scénarios

Sources :

Les données de cette étude qui portent sur la période 1850-2003 sont exclusivement issues ou dérivées des estimations chiffrées fournies par le World Resources Institute [WRI] et en particulier son outil sur le climat intitulé « Climate Analysis Indicator Tool » [CAIT]. La version 4.0 en ligne de cet outil est utilisée pour la partie I (WRI, 2005b). Les parties II et III bénéficient elles de la version 5.0 (WRI, 2007a ; WRI, 2007b) [<http://cait.wri.org/>], ce qui permet une analyse en détails couvrant l'année 2004. Le module « CAIT-Excel® » est aussi employé pour les émissions historiques de dioxyde de carbone. Les modules statistiques assemblent des sources non officielles d'émissions de gaz à effet de serre, à distinguer des inventaires et communications faits par les pays dans le cadre du Protocole de Kyoto. Les sources compilées sont des références internationales et un arbitrage a été effectué par CAIT entre couverture géographique, temporelle et niveau qualitatif des données. Les six sources utilisées sont les suivantes : l'IEA [Agence Internationale de l'Energie], l'EIA [Agence américaine de l'énergie], Houghton [Auteur des estimations issues de la biomasse], CDIAC [Carbon Dioxide Information Analysis center, Etats-Unis, Tennessee], EDGAR [Emission Database for Global Atmospheric Research, Pays-Bas] et l'EPA [Agence américaine de la protection de l'environnement]. Quelques rares estimations ont été effectuées par le WRI lui-même. Chaque source couvre des gaz et parfois des périodes particulières*.

Méthodologie :

Les émissions de gaz à effet de serre de la Partie I font l'objet d'une analyse régionale, avec des agrégats dont le contenu exact est précisé en annexe. Les principaux agrégats européens sont l'Union Européenne à 27 membres, l'UE à quinze et les 12 nouveaux pays membres de l'Union Européenne depuis 2004. En Méditerranée, les Pays du Nord de la Méditerranée (PNM) et les Pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM) composent l'ensemble « Méditerranée ». Une analyse sous régionale et par pays est incluse dans les parties II et III de l'étude, avec notamment l'apparition de l'agrégat FEMIP et donc du pays Jordanie.

Les émissions historiques de dioxyde de carbone sont estimées par une approche de référence (la fourniture des énergies commerciales est pondérée pour chaque type d'énergie afin d'obtenir une émission globale correspondante de dioxyde de carbone). Les émissions de dioxyde de carbone de la partie I en 1990, 1995 et 2000 incluses dans l'analyse des gaz à effet de serre font l'objet d'une approche sectorielle, notamment dans la partie liée à l'utilisation d'énergie. Les séries temporelles historiques d'émissions de dioxyde de carbone étaient à l'origine exprimée en unité carbone. Elles ont subi une conversion vers l'unité dioxyde de carbone afin d'unifier les unités de compte de cette étude (le facteur de conversion est 44/12). Les émissions de CO₂ des parties II et III sont supportées par une approche sectorielle.

Enfin, les données CAIT d'émissions de gaz à effet de serre sont exprimées en termes d'équivalent dioxyde de carbone selon le pouvoir de réchauffement planétaire de chaque gaz pour une durée de 100 ans, conformément aux recommandations du GIEC (1996).

Incertain et fiabilité :

CAIT fournit des indications quant au niveau relatif d'incertitude des données sur les émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, on peut en déduire que l'incertitude des données présentées se réduit suivant cet ordre : les émissions de dioxyde de carbone issues du changement dans l'utilisation des sols et forêts, les émissions de protoxyde d'azote, les émissions de méthane et enfin les émissions de dioxyde de carbone issues des secteurs liés à l'utilisation d'énergie. Les composés fluorés** (HFCs, PFCs et SF₆) sont aussi recensés et sont présentés sous une seule étiquette. La couverture géographique, temporelle et la qualité des données sont supérieures dans les pays développés à celle des pays en développement. Un soin particulier doit être apporté à la lecture des notes et notes de bas de pages accompagnant chiffres, graphiques, tableaux et schémas pour que les approches et le contenu des données présentées apparaissent clairement au lecteur.

Estimations Plan Bleu et scénarios de référence :

Dans la partie I de l'étude, les séries mondiales et régionales d'émissions de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie ont fait l'objet d'estimations pour les années 2004 et 2005 ainsi que d'un complément avec leurs scénarios de référence lorsqu'ils existent. Les données OME [Observatoire Méditerranéen de l'Energie, 2006] ont servi de base pour les données régionales méditerranéennes 2004 et 2005 ainsi que pour les scénarios de référence de cette région. Les données de l'Agence Européenne de l'Environnement sont utilisées pour les données 2004 et 2005 des régions européennes. Le World Energy Outlook 2006 et l'AIE [2007, « Emissions de CO₂ dues à la combustion d'énergie »] fournissent les données mondiales respectivement pour 2004 et 2005. La source WEO 2006 permet aussi une estimation du scénario de référence 2015 pour l'UE27. Les estimations ainsi que les scénarios de référence ont été incorporés aux données de base par la méthode des variations appliquées.

* Cf. annexes pour une répartition précise des données en fonction de leur source d'origine.

** Cait ne classe pas le degré d'incertitude et de fiabilité relatif à ces gaz.

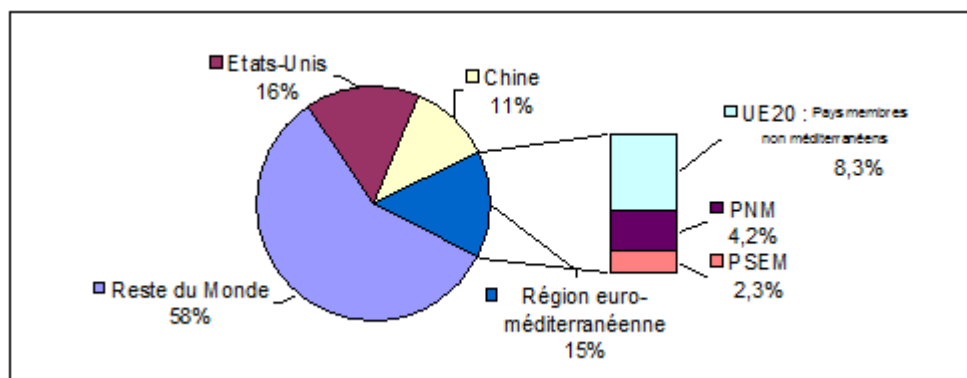
2. REPARTITION DES EMISSIONS DE GES MONDIALES ET MEDITERRANEENNES EN L'AN 2000

2.1. Répartition géographique des émissions mondiales de GES et de CO₂

2.1.1. La Méditerranée émet 6,5% des émissions mondiales de GES

La Chine et les Etats-Unis ont émis à eux deux 27% des émissions mondiales de gaz à effet de serre²⁵ en 2000²⁶ (cf. Figure 6). La même année la région euro-méditerranéenne, composée de l'UE27 et des pays méditerranéens restants, représentait 15% des émissions de GES. En termes d'émissions cette région est dominée par les pays non méditerranéens de l'UE [UE20] qui ont ainsi représenté en 2000 8,3% du total mondial, alors que cette même part des émissions provenant des pays méditerranéens, i.e. les PNM et les PSEM, était de 6,5%.

Figure 6 - Répartition mondiale des émissions anthropiques de gaz à effet de serre, Te CO₂, Année 2000. Total mondial des émissions de 42 milliards de Te CO₂.



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données pour l'année 2000 du WRI CAIT.

Notes : Pourcentages relatifs aux émissions de gaz à effet de serre anthropiques normalisées en équivalent CO₂ (pouvoir de réchauffement planétaire pour 100 ans, recommandations du GIEC [1996]). Estimations Plan Bleu à partir des données agrégées de l'an 2000 fournies par l'interface en ligne WRI CAIT. Les données sont issues d'une approche sectorielle (notamment pour les gaz non- CO₂). Les émissions issues du changement dans l'utilisation des sols et forêts (Houghton, 2003) sont incluses, avec réserve sur l'incertitude d'estimation. Cette approche sectorielle tend à sous estimer le total des émissions de gaz non- CO₂ notamment pour les PSEM. Les réservoirs internationaux de carburants sont aussi incorporés dans les données présentées.

2.1.2. La Méditerranée émet 8,2% des émissions mondiales de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie

Le dioxyde de carbone, principal gaz à effet de serre, provient du secteur de l'utilisation d'énergie, des processus industriels²⁷ et enfin des changements dans l'utilisation des sols et forêts²⁸. Il s'agit de se concentrer ici uniquement sur la répartition mondiale et méditerranéenne des émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie.

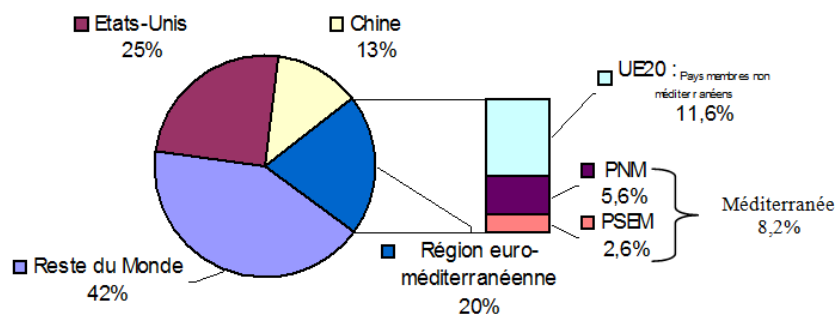
²⁵ Les émissions mondiales de gaz à effet de serre considérées comme la somme des gaz dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote et composés fluorés se répartissent géographiquement dans le monde et en Méditerranée comme présenté dans la Figure 5.

²⁶ Cf. notes de la Figure 6 et l'Encadré 1 pour l'obtention de précisions sur les données utilisées.

²⁷ L'origine des émissions de dioxyde de carbone dans les processus industriels est ici uniquement la fabrication du ciment.

²⁸ On peut ajouter à cette liste les réservoirs internationaux de carburants qui sont souvent traités indépendamment comme le recommande le GIEC.

Figure 7 - Répartition mondiale des émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie, T de CO₂, Année 2000. Total mondial 23 milliards de T de CO₂.



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données pour l'année 2000 du WRI CAIT.

Notes : Emissions liées de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie en 2000. Estimations Plan Bleu d'après les émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie (approche sectorielle comprenant aussi le brûlage et le ventage des gaz) fournies par l'interface en ligne WRI CAIT. Les réservoirs internationaux de carburants sont exclus.

L'origine géographique des émissions mondiales de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie (cf. Figure 7) est plus concentrée que celle des émissions de GES. En effet, le triptyque [Etats-Unis-Chine²⁹ -Euro-Méditerranée] représente 58%³⁰ du total mondial (contre 42% pour les GES). Cette augmentation dans leurs parts respectives provient notamment du fait que ces pays ont pour particularité d'avoir des émissions très faibles de dioxyde de carbone issues des changements dans l'utilisation des sols et forêts³¹. Ainsi, la part de l'ensemble Euro-Méditerranée est de 20% du total mondial des émissions de dioxyde de carbone liées à l'utilisation d'énergie (contre 15% pour les GES). La part des PNM et de l'UE20 est alors globalement de 17,2% alors que les PSEM ne représentaient en 2000 que 2,6% du total mondial. Néanmoins, cette faible part mondiale des PSEM est à mettre en perspective avec les éléments clés de dynamique tendancielle forte apportés dans les parties [1.2][1.3] pour cette région.

2.2. Répartition par secteurs et par gaz des émissions de GES

Les émissions de gaz à effet de serre décrites dans ce chapitre trouvent leurs origines dans les actions humaines. Les émissions de GES en l'an 2000, dernière année disponible, sont reportées dans cette partie³² en fonction de leur secteur d'origine. Les secteurs considérés sont l'énergie, les changements dans l'utilisation des sols et forêts, l'agriculture, les processus industriels et les déchets. Le secteur qui concerne les changements dans l'utilisation des sols et forêts et celui des réservoirs internationaux ont uniquement des émissions de dioxyde de carbone répertoriées par Caït. Les autres secteurs ont des émissions diversifiées de gaz, le cas extrême en la matière étant le secteur des processus industriels qui par sa nature et sa diversité est amené à rejeter les quatre grands gaz répertoriés : le dioxyde de carbone, le méthane, le protoxyde d'azote et les gaz fluorés [ici, HFCs, PFCs et SF6].

²⁹ Le cas de la Chine est à prendre avec précaution et en particulier les parts mondiales qui sont attribués à ce pays. En effet, la forte croissance économique de ce pays et son type d'alimentation énergétique conduit sa part mondiale à évoluer rapidement. Si sa part dans le CO₂ énergie était légèrement inférieure à 13% en 2000, en 2005 cette part mondiale est portée à presque 19% (AIE 2007, approche sectorielle).

³⁰ Ces émissions de CO₂ sont issues de l'agrégation des approches sectorielles et peuvent légèrement différer des estimations par la méthode de référence. La part dans le total mondial des Etats-Unis bondit aussi en raison du fait que ses émissions non-CO₂ sont faibles.

³¹ Estimations Houghton (2003).

³² Se reporter aux différentes notes et à l'Encadré 1 pour des précisions sur les données et approches retenues.

Les Schémas 1, 2 et 3 permettent une lecture synthétique et estimée des flux secteurs-gaz et de leurs proportions dans le total des émissions de gaz³³ à effet de serre en 2000 pour la région étudiée. Cet exercice est réalisé pour « le monde », les PNM et les PSEM.

Schéma 1 - Répartition par secteurs et par gaz²⁷ des émissions mondiales de GES en 2000, % des émissions totales (41641 millions de T_e CO₂)

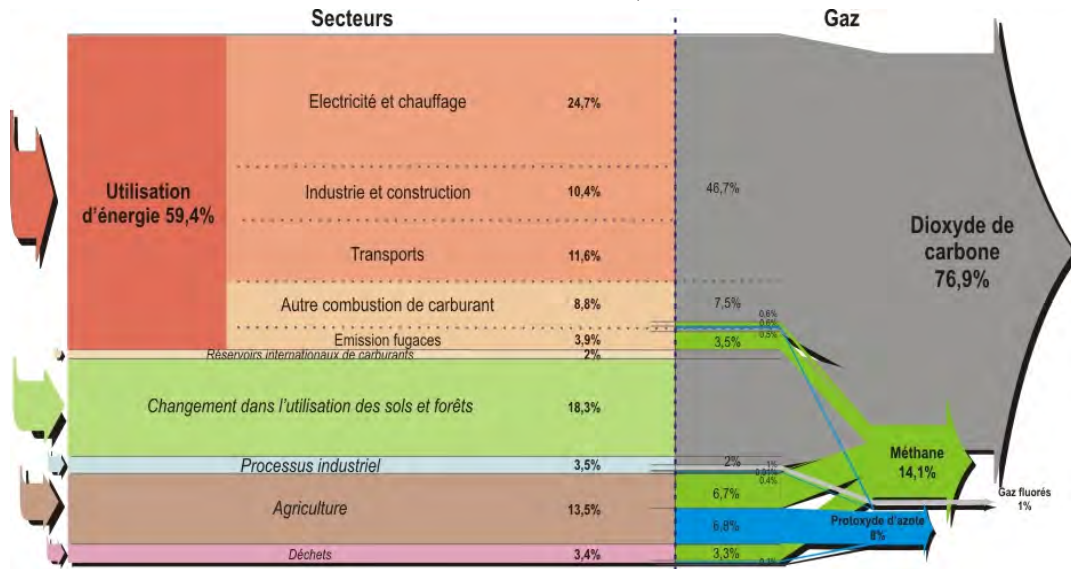
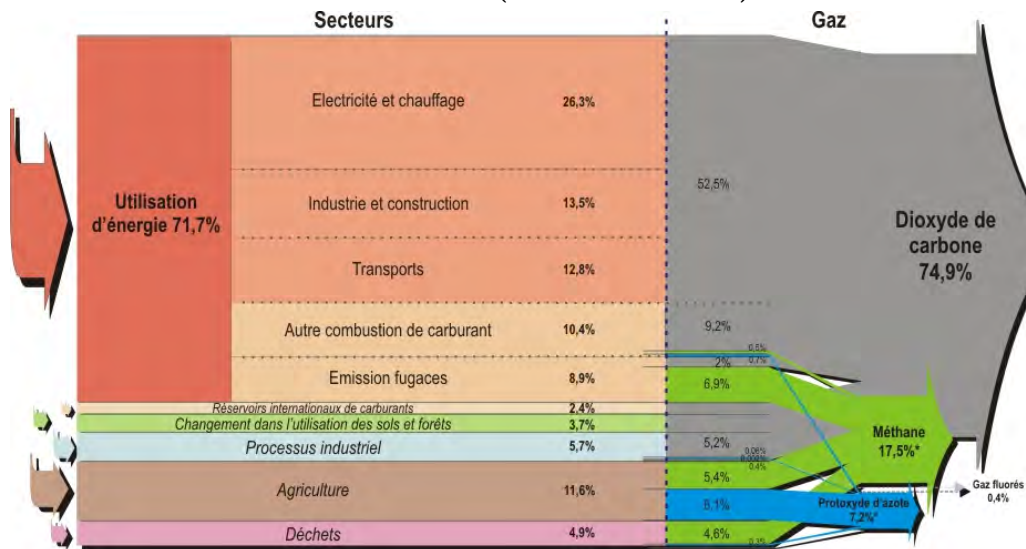
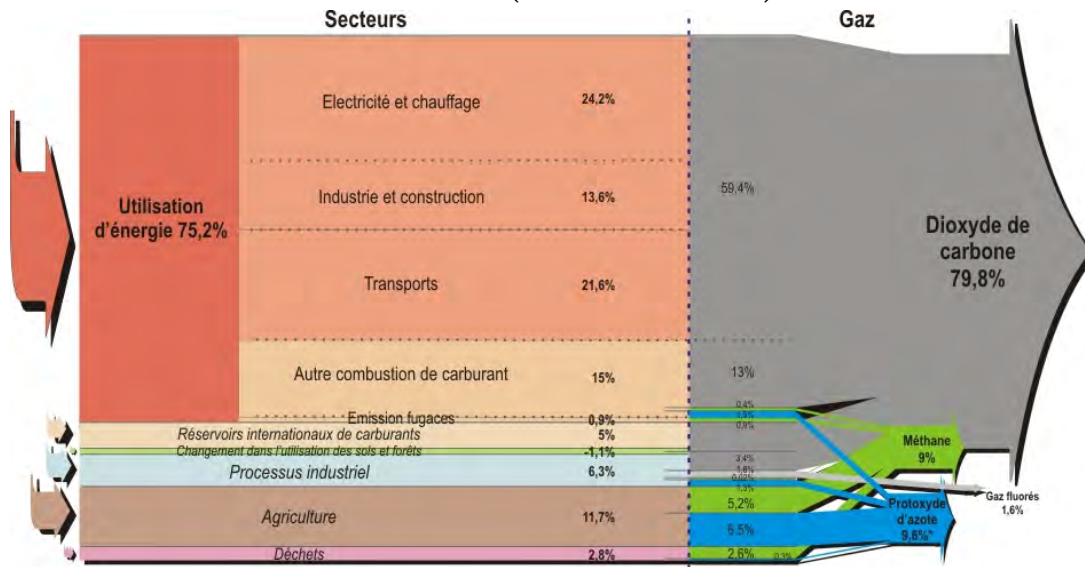


Schéma 2 - Répartition par secteurs et par gaz²⁷ des émissions de GES dans les PSE de la Méditerranée en 2000, % des émissions totales (941 millions de T_e CO₂)



³³La répartition par gaz est issue des sommations sectorielles. Compte tenu de la disponibilité des données, la répartition par gaz des PNM et des PSEM est légèrement biaisée. Ainsi, les émissions de gaz non- CO₂ sont sous estimées pour les PSEM. Une répartition gazière par la méthode de référence pour les gaz est disponible en annexe.

Schéma 3 - Répartition par secteurs et par gaz²⁷ des émissions de GES dans les PN de la Méditerranée en 2000, % des émissions totales (1757 millions de T_e CO₂)



Source des schémas 1,2,3 : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données pour l'année 2000 du WRI Cait 4.0.

Notes des schémas 1,2,3 :

*Les émissions de méthane et de protoxyde d'azote sont non disponibles pour le secteur des processus industriels et des émissions fugaces pour la région PSEM. Cette indisponibilité tend à minorer la part de ces deux gaz dans le total des GES. Avec une méthode de référence, les parts respectives en 2000 du méthane et du protoxyde d'azote sont pour les PSEM de 19% et 10%. Le protoxyde d'azote généré par le secteur des émissions fugaces est non disponible pour les PNM, ce biais ne modifie pas significativement la répartition des émissions par gaz des PNM. Une répartition par gaz des émissions avec une méthodologie de référence (utile pour les PSEM) est disponible en annexe.

Les pourcentages présentés dans les schémas sont relatifs aux émissions de gaz à effet de serre anthropiques normalisées en équivalent CO₂ (pouvoir de réchauffement planétaire pour 100 ans, recommandations de la GIEC[1996]). Pourcentages et mise en forme Plan Bleu à partir des données de l'an 2000 fournies par l'interface en ligne WRI Cait 4.0. Les sources des données sectorielles utilisées par la base CAIT sont disponibles en annexe. L'attention est attirée sur le degré d'incertitude des données de base qui fait l'objet d'un encadré. Une réserve particulière doit être émise sur le secteur « Changement dans l'utilisation des sols et forêts » (estimation Houghton, 2003) dont les estimations peuvent différer ; les marges d'erreurs sont par ailleurs élevées. Le secteur « Réservoirs internationaux de carburants » est inclus au schéma à titre indicatif. Ce secteur doit figurer de façon indépendante comme le recommande la GIEC, sa présence s'inscrit ici dans une vision globale et régionale des émissions de GES.

A partir de la composition gazeuse des émissions de chaque secteur, on peut déduire une répartition totale et régionale par gaz³⁴ qui se caractérise de la façon suivante :

- Que ce soit pour le « monde », les PSEM ou les PNM, le dioxyde de carbone représente plus de 70% des émissions totales de GES. Il est le plus important gaz à effet de serre d'origine anthropique. Le gaz méthane est particulièrement présent dans les PSEM, on le trouve habituellement dans les pays plutôt agricoles et ses émissions varient selon le type d'agriculture³⁵. Le protoxyde d'azote est en termes relatif fortement présent dans les PNM puisqu'il constitue le deuxième gaz émetteur dans cette région devant le gaz méthane. Il est produit lors de l'utilisation d'engrais en agriculture et lors de phénomènes de combustions incomplètes.
- Les PSEM et les PNM ont des émissions de GES plus liées à l'utilisation d'énergie. En proportion, elles sont plus importantes que la situation de référence mondiale. Ce constat est pour partie dû à l'absence d'émissions anthropiques issues du changement dans l'utilisation des sols et forêts en Méditerranée.
- Les processus industriels sont en proportion responsables de plus d'émissions en Méditerranée que dans le reste du monde. Cette observation est principalement la résultante d'émissions régionales générées lors du processus industriel de la fabrication du ciment (Cf. Encadré 2). Ainsi, dans les PSEM le phénomène de décarbonatation inhérent à la fabrication du ciment est en 2000

³⁴Idem.

³⁵ Ce gaz est aussi présent dans le secteur des déchets ainsi que dans les pays exportateurs de produits liés à l'utilisation d'énergie, deux secteurs fortement émetteur dans les PSEM.

responsable de 5% des émissions globales de GES de cette région. Ces émissions dans les PSEM ont augmenté de 57%³⁶ entre 1990 et 2000.

- De la même manière, le secteur des transports en Méditerranée est fortement émetteur de CO₂ avec une hypertrophie particulière dans les PNM, causée essentiellement par le niveau et le mode de développement de ces pays. Les PNM ont aussi pour caractéristique un sous secteur « autre combustion de carburant³⁷» nettement plus imposant que le monde dans son ensemble ou même que celui des PSEM.
- Dans le cadre d'une analyse succincte des émissions liées à l'utilisation d'énergie, on peut également noter que les émissions fugaces dans les PSEM constituent un secteur très émetteur. Les émissions fugaces³⁸ de cette région sont dépendantes de l'existence de pays producteurs et parfois exportateurs de produits énergétiques. –
- Par ailleurs, quelle que soit la région présentée, le secteur intra-énergétique « électricité et chauffage », qui émet uniquement du dioxyde de carbone, représente à lui seul un quart des émissions de GES en 2000.
- Les PSEM présentent aussi une surdimension relative du secteur des déchets avec les émissions de méthane qui en résultent. Ces dernières sont principalement issues du brûlage et de la décomposition non encadrés des déchets.

³⁶ Cette augmentation pour les PSEM entre 1980 et 2003 est de 204%. En Méditerranée et en l'an 2000, 45% des émissions de CO₂ issues du phénomène de décarbonatation lors de la fabrication du ciment émane des PSEM. Le rythme de croissance des émissions de l'Égypte issues de ce phénomène est d'environ 10% par an entre 1980 et 2003. Ce rythme de croissance est proche de celui connu par la Chine sur la même période. La production de ciment nécessite par ailleurs de grandes quantités d'énergie. En 2000, l'Égypte et la Turquie produisaient déjà chacun d'eux plus de ciment que la France. La Chine devrait en 2010 produire la moitié du ciment mondial. [Sources des données: WRI Cait et Mineral Commodity Summaries (u.s.g.s, différentes années)] Se reporter à Encadré 2 pour des éléments complémentaires sur la question des émissions issues de la décarbonatation attribuées aux industries du ciment en Méditerranée.

³⁷ Ce secteur contient notamment une partie des émissions du secteur résidentiel et des activités commerciales et institutionnelles. Ces trois entités émettent essentiellement du CO₂. Pour plus de détails sur le contenu des secteurs se reporter à la partie III ainsi qu'au document WRI Cait (2005).

³⁸ Emissions évanescences issues des systèmes énergétiques pétroliers et gaziers dont les brûlages et ventages techniques des gaz.

II. TENDANCES DES REGIONS ET PAYS : DECOMPOSITION DES EMISSIONS DE CO₂ LIEES A L'UTILISATION D'ENERGIE

Cette partie analyse les émissions de CO₂ provenant de l'utilisation d'énergie. Les éléments clés de cette analyse sont les suivants :

- Avec 1393 MT CO₂ émis en 2004, les PNM ont vu leurs émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie augmenter de 18% entre 1990 et 2004.
- Les émissions des PSEM comptabilisées en 2004 au niveau de 663 MT CO₂ ont augmenté de 58% au cours de la même période. Ce rythme dépasse de vingt points le rythme mondial de croissance.
- Les émissions par tête de CO₂ en Méditerranée (4,6 T CO₂/h) révèlent une forte hétérogénéité dans leurs niveaux, ainsi cet indicateur laisse apparaître des ratios supérieurs à 2,5 entre l'indicateur PNM et celui des PSEM. Ce rapport peut atteindre plus de 7 entre deux pays riverains. Globalement en Méditerranée, les émissions par tête ont connu une croissance de 10% entre 1990 et 2004.
- La distribution des intensités carbone des économies méditerranéennes est plus resserrée que celle des émissions par tête, et assez faiblement corrélée avec le niveau de développement économique. En 2004, les PSEM ont émis 464 T CO₂ issues de l'énergie par millions de dollars de PIB (PPA, 2000), ce qui constitue une baisse de 2% sur la période observée. Les PSEM et les pays FEMIP ont ainsi connu une très faible baisse de leur IC, par ailleurs inférieure à celle des PNM.
- L'analyse proposée permet de mettre en évidence le faible impact relatif en Méditerranée des facteurs intensité énergétique et mix énergétique sur la variation passée des émissions. Cette dernière résulte en Méditerranée et particulièrement dans les PNM de l'augmentation de la richesse par habitant. La croissance de la population est aussi prédominante pour la région dans son ensemble mais particulièrement dans les PSEM, où ce facteur est premier. Les PSEM ont ainsi un profil de contribution des facteurs quasiment à l'opposé de celui observé pour le monde dans son ensemble.

1. EMISSIONS TOTALES DE CO₂ LIEES A L'UTILISATION D'ENERGIE ET EMISSIONS PAR TETE

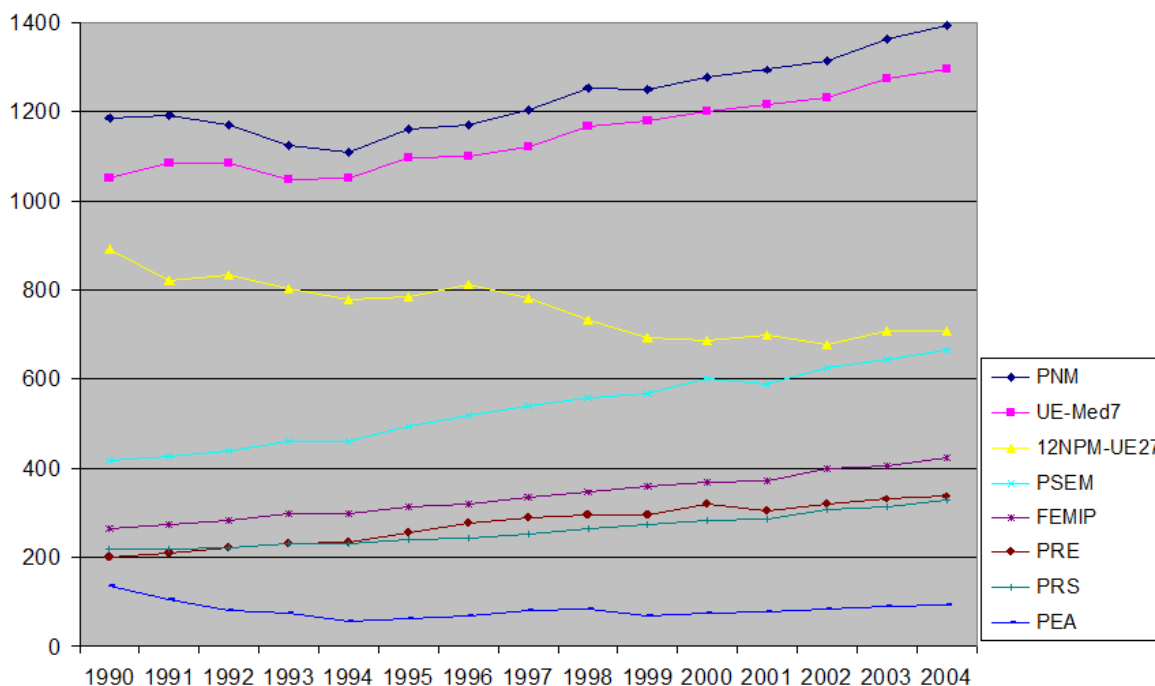
1.1. Emissions totales : forte croissance dans les PSEM

Les émissions de gaz à effet de serre présentées dans cette partie sont les émissions de dioxyde de carbone issues de l'utilisation d'énergie. L'analyse est centrée sur les niveaux d'émissions de CO₂ dans le bassin méditerranéen et leurs variations entre 1990 et 2004.

Les émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie en Méditerranée ont globalement connu une croissance de 28% entre 1990 et 2004 (cf. Tableau 2). Cette forte hausse reste néanmoins inférieure au rythme mondial de croissance. Cette tendance méditerranéenne est aussi bien le fait des PNM que des PSEM. Néanmoins, si les deux rives de ce bassin sont des contributeurs nets à la hausse, les PSEM se distinguent par une tendance de vingt points supérieure au rythme mondial de croissance de ces émissions. En termes de contribution absolue à la hausse, les PSEM ont par ailleurs dépassé les PNM sur la période observée (cf. Figure 15). Les PSEM constituent donc une des nombreuses régions du monde qui soutient la croissance mondiale des émissions de CO₂ issues de l'énergie. L'année 2001 (année de récession économique) fut la seule année de décroissance des émissions pour cette région. L'agrégat des pays FEMIP se comporte d'une façon similaire aux PSEM sur la période étudiée.

Les PNM ont émis en 2004 près de 1400 T CO₂ issues de l'utilisation d'énergie, contre 663 T CO₂ attribuées aux PSEM. La tendance des émissions de CO₂ propre aux PNM est moins linéaire que celle des PSEM. Néanmoins, la baisse observable sur la période 1990-1994 est principalement due à la situation qui pesait alors sur les Pays de l'Est Adriatique (PEA). Ainsi, les pays de l'UE-Med7 ont connu une baisse de leurs émissions uniquement en 1993 (année de récession économique). Les douze nouveaux pays membres de l'UE depuis 2004 ont quant à eux connu une baisse de leurs émissions globales sur la période, même si cette baisse semble aujourd'hui stoppée. Après une décennie de changements structurels qui ont affectés ces pays, ceux-ci émettent aujourd'hui autant que les PSEM dans leur ensemble.

Figure 8 - Tendances régionales des émissions de CO₂ issu de l'énergie, 1990-2004, millions de T de CO₂



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Cait 5.0

La dynamique de la croissance des émissions est différenciée pour les PNM et les PSEM. Si la Méditerranée a, comme les PNM et l'UE-Med7, connu une croissance plus forte de ces émissions entre 1997 et 2004 qu'entre 1990 et 1997, le contraire est manifestement vrai pour les PSEM. Le ralentissement de la croissance relative sur la période est particulièrement marqué pour les Pays de la Rive Est (PRE)³⁹.

L'Italie (22,5% du total des émissions de la région), la France (19%) et l'Espagne (16%) sont dans l'ordre les premiers contributeurs aux émissions de CO₂ issu de l'utilisation de l'énergie en Méditerranée. Le quatrième pays émetteur, la Turquie est un PSEM avec plus de 10% des émissions du bassin méditerranéen en 2004. L'Espagne pour les PNM, les pays du Machrek ainsi que la Jordanie sont les pays qui ont connu une forte croissance de leurs émissions issues de l'utilisation de l'énergie. Les PEA, la France, l'Italie ou Malte pour les PNM et l'Algérie et la Libye pour les PSEM sont les pays pour lesquels on observe soit des baisses (pour les PEA) soit des hausses relativement plus modérées que la région dans son ensemble.

³⁹ La croissance annuelle des émissions pour cette région est de 5,3% entre 1990 et 1997 et de 2,2% entre 1997 et 2004. Ces chiffres sont respectivement de 0,9% et de 2,1% pour l'UE-Med7. Ces mouvements sont principalement dus au ralentissement de la croissance des émissions de la Turquie pour les PRE et à l'accélération de la croissance des émissions en Italie pour les résultats relatifs à l'UE-Med7.

Tableau 2 - Emissions absolues et émissions par tête de CO₂ issu de l'utilisation d'énergie par régions et pays, valeurs 2004 et évolutions récentes

Pays et Régions	émissions absolues				émissions par tête	
	2004, millions de tonnes de CO ₂	Taux de variation des émissions, 1997-2004, %	Taux de variation des émissions, 1990-2004, %	Emissions 2004, Méditerranée = 100	2004, tonnes de CO ₂ par habitant	Taux de variation des émissions par tête, 1990-2004, %
Albanie	5	234,5	-22,5	0,2	1,5	-18,1
Algérie	85	14,5	23,5	4,1	2,6	-3,5
Bosnie-Herzégovine	16	81,1	-50,8	0,8	4,2	-45,8
Chypre	7	26,0	79,1	0,3	9,3	40,4
Croatie*	21	18,4	30,0	1,0	4,6	31,9
Egypte	142	48,7	74,5	6,9	2,0	33,8
Espagne	330	35,7	59,0	16,0	7,7	44,6
France	387	6,3	8,9	18,8	6,4	2,1
Grèce	94	18,2	33,0	4,6	8,5	22,2
Israël	62	22,5	85,3	3,0	9,2	26,9
Italie	462	12,5	16,1	22,5	7,9	13,2
Jordanie	17	27,5	81,4	0,8	3,1	7,5
Liban	15	-1,9	139,5	0,7	4,3	85,5
Libye	45	11,8	23,7	2,2	7,9	-6,6
Malte	3	2,4	10,5	0,1	6,2	-0,9
Maroc	36	36,7	81,0	1,7	1,2	45,2
Serbia-Monténégro	53	-0,8	-32,1	2,6	6,6	-11,6
Slovenie	16	1,3	24,8	0,8	7,8	24,9
Syrie	48	16,1	51,5	2,3	2,6	4,7
Tunisie	21	24,9	70,1	1,0	2,1	39,7
Turquie	210	15,9	62,8	10,2	2,9	28,5
UE-Med7	1298	15,8	23,6	63,1	7,4	16,4
PEA**	95	16,5	-30,0	4,6	4,8	-18,0
PRE	335	16,1	67,2	16,3	3,4	27,7
PRS	328	30,0	50,3	15,9	2,2	17,3
FEMIP	425	27,7	61,9	20,7	2,4	23,4
PSEM	663	22,6	58,4	32,3	2,6	22,5
PNM	1393	15,9	17,5	67,7	7,1	13,3
Méditerranée	2056	18,0	28,2	100,0	4,6	9,9
12NPM-UE27	708	-9,5	-20,6	34,4	6,8	-18,0
UE27	4034	3,3	0,6	196,3	8,3	-2,8
Monde	28228	16	38,9	1373,3	4,4	14,8

Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Cait 5.0

Notes : * Les émissions de CO₂ de 1991 et non de 1990 sont utilisées pour les calculs relatifs à la Croatie. ** L'agrégat PEA de 1990 utilisé dans les calculs a fait l'objet d'une estimation.

1.2. Des émissions par tête trois fois plus fortes dans les PNM que dans les PSEM

Les émissions de CO₂ [issues de l'utilisation d'énergie] par tête (i.e. par habitant) sont un indicateur complémentaire qui permet de passer d'agrégats bruts d'émissions par régions ou pays à une vision démographique de ces mêmes émissions. Le niveau de peuplement des pays et régions du bassin méditerranéen étant très divers⁴⁰, les grands pays émetteurs par tête ne sont pas les grands pays émetteurs en valeur absolue. Globalement, les niveaux d'émissions par tête dépendent relativement du niveau de revenu par habitant. Néanmoins, cette relation est imparfaite.

Les émissions de CO₂ par habitant liées à l'utilisation d'énergie sont, en Méditerranée (4,6 T CO₂/habitant), très proches en moyenne de celles observées pour l'ensemble du monde. Les émissions par tête sont, en 2004, 2,7 fois plus élevées dans les PNM que dans les PSEM⁴¹ et elles

⁴⁰ Les extrêmes en termes de niveau de population de l'échantillon de pays présentés dans le Tableau 2 sont la Turquie avec 71 millions d'habitants et inversement Malte avec 0,4 millions d'habitants en 2004.

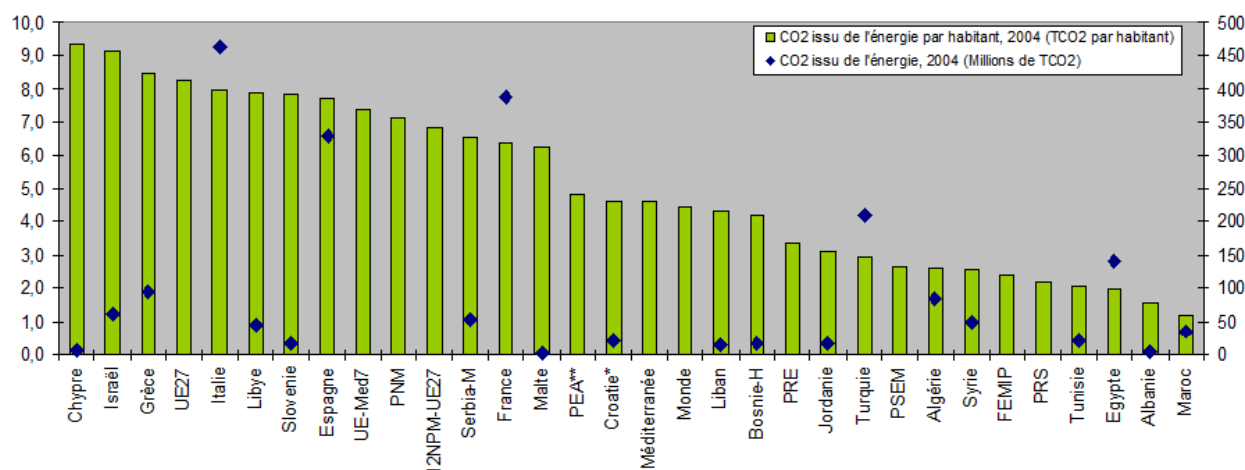
⁴¹ Les émissions de GES globales par tête conduiraient à une légère remontée des PSEM dans le classement présenté dans la Figure 9. En effet, les PSEM émettent une part plus grande de gaz non-CO₂ que les PNM (cf. Schémas 2 et 3).

sont proches en niveau dans les PNM et les « 12NPM-UE27⁴²». Israël et la Libye sont les deux seuls PSEM ayant des émissions par tête supérieures à la moyenne des PNM. Chypre et Israël sont les pays méditerranéens qui émettent le plus de CO₂ par habitant, alors que l'Albanie et le Maroc se situent à l'opposé de l'échelle de ces mêmes émissions. Un ratio de 7 sépare les valeurs d'émissions par tête de ces deux types de pays émetteurs. Les Pays de l'Est Adriatique constituent au regard de cet indicateur un ensemble intermédiaire entre les pays de l'UE-Med7 et les PSEM. Au niveau sous régional, les émissions par habitant sont plus élevées dans les PRE que dans les Pays de la Rive Sud (PRS).

En termes dynamiques, la hausse des émissions par tête dans les PNM (13%) entre 1990 et 2004 a été plus faible que dans les PSEM. Néanmoins, l'hétérogénéité des variations est forte au sein même des sous régions. Ainsi, la hausse des émissions par tête en Espagne (45%) est à l'opposé de celle observée en France (2%) et dépasse la croissance observée dans la grande majorité des PSEM. A l'inverse, les PEA (excepté la Croatie) ont connu une importante régression de leurs émissions par tête à l'image, et dans une plus forte mesure, de quelques PSEM comme la Libye et l'Algérie.

Globalement, les émissions par tête de la Méditerranée ont progressé de 10% entre 1990 et 2004. Cette augmentation est bien plus élevée que celle de l'UE27 (-2,8%). Néanmoins cette croissance est plus faible que celle de ses deux sous régions PNM et PSEM observées séparément⁴³ et un peu moins soutenue que la croissance mondiale de ce même indicateur.

Figure 9 - Emissions absolues (Echelle de droite) et émissions par habitant (Echelle de gauche) de CO₂ issu de l'utilisation d'énergie par régions et pays en 2004



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Cait 5.0

⁴² Les 12 Nouveaux Pays Membres de l'UE27 depuis 2004.

⁴³ Cette caractéristique plutôt surprenante est le résultat d'une augmentation des émissions relativement modeste au nord (avec une masse des émissions de CO₂ principalement au nord) et d'une augmentation de la population relativement importante au sud (avec une masse de la population équilibrée entre le nord et le sud en 1990). Ce résultat est possible car les émissions par tête de la Méditerranée sont le résultat d'un ratio composé des pays du nord et du sud de la Méditerranée.

2. L'INTENSITE CARBONE DES ECONOMIES, LA RICHESSE ET LA DEMOGRAPHIE : LES TENDANCES ET LES RESPONSABILITES RESPECTIVES

2.1. L'intensité carbone des économies : vers une dé-carbonisation ?

L'intensité carbone des économies est définie comme le ratio entre les émissions de CO₂ d'un pays et son PIB. Elle mesure la capacité des pays à générer de la richesse économique au regard de leurs émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie. Dans cette étude, la production de biens et services des pays et des régions est évaluée en parité de pouvoir d'achat (PPA, dollars internationaux 2000) afin de faciliter les comparaisons internationales.

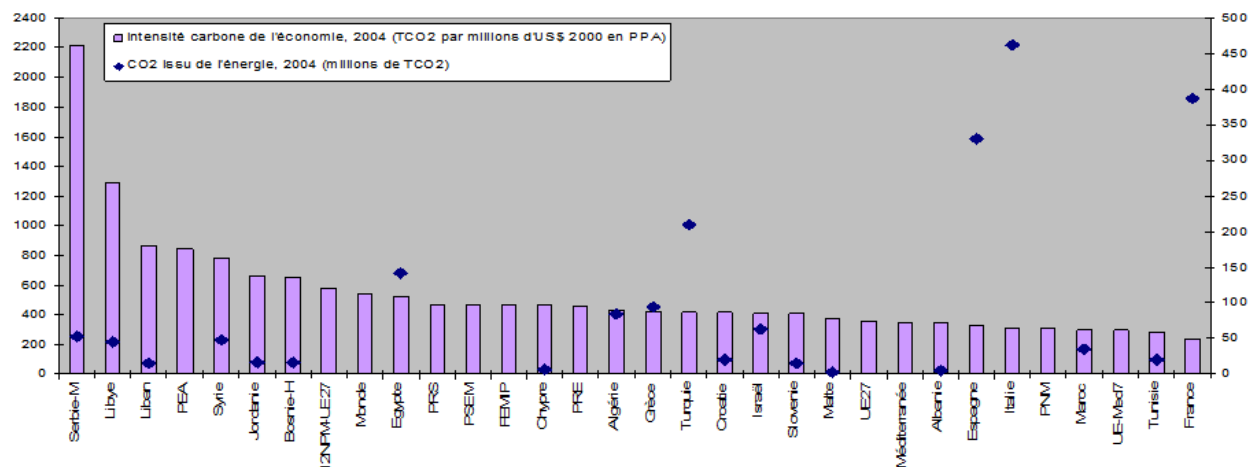
Plusieurs facteurs sont susceptibles d'influencer l'intensité carbone. La structure et la spécialisation des économies ainsi que les niveaux d'efficacité énergétique sont les principaux éléments qui déterminent les niveaux de consommation d'énergie primaire en rapport avec les niveaux de production. Par ailleurs, le contenu en carbone des sources énergétiques utilisées par les pays pour satisfaire leurs besoins constitue un facteur explicatif du niveau observé des émissions de dioxyde de carbone issues de l'utilisation d'énergie. Dans ce chapitre, on appelle ainsi par extension « mix énergétique » la résultante des choix d'approvisionnement d'énergie primaire en termes de CO₂. En effet, l'utilisation de pétrole, de gaz naturel, de charbon, de nucléaire ou d'énergies renouvelables implique des émissions de carbone très différenciées. L'intensité carbone des économies (IC), l'intensité énergétique des économies (IE) et le « mix énergétique » (ME) peuvent se définir et s'articuler comme suit :

- $$\frac{CO_2}{PIB} = \frac{Energie}{PIB} \times \frac{CO_2}{Energie} \quad (1)$$

[IC = IE × ME]

L'intensité carbone des économies méditerranéennes se situe en moyenne à un niveau très inférieur à la situation mondiale. Ce constat s'explique simultanément par une IE et un ME moins élevés (cf. Tableau 3). Le niveau de l'intensité carbone des PNM (308 T CO₂/millions de \$ 2000 PPA) est inférieur à celui observé pour les PSEM (464). Cet écart est à la fois le résultat d'un différentiel dans la composition du « mix énergétique » et dans les niveaux d'intensité énergétique.

Figure 10 - Emissions absolues de CO₂ issu de l'utilisation d'énergie (Echelle de droite) et intensité carbone des économies (Echelle de gauche) par régions et pays en 2004



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Cait 5.0

L'intensité carbone des économies semble néanmoins assez faiblement corrélée avec le niveau de richesse économique. Le bassin méditerranéen en constitue une illustration (cf. Figure 10 et Tableau 3). Les grands PNM sont les pays ayant une intensité carbone parmi les plus basses en Méditerranée, cependant des pays comme le Maroc ou la Tunisie se situent à leur niveau. Ces deux pays ont des intensités énergétiques faibles de leurs économies notamment dues à la spécialisation respective de leurs économies, une contrainte énergétique forte (cas de la Tunisie) ou à de faibles niveaux de consommation par habitant (cas du Maroc).

L'intensité carbone des économies méditerranéennes a diminué au cours des quinze années passées. Cette baisse (-6,8%) reste cependant moins importante que la réduction mondiale ou européenne (-24,2%). Globalement, la composition relative de la baisse est différente en Méditerranée. En effet, la décroissance en Méditerranée de l'intensité carbone est principalement le fait d'un affaiblissement en carbone de la fourniture énergétique primaire, alors que pour l'UE27 la variation de l'IE et du ME est équivalente. Globalement pour le monde, la baisse de l'intensité énergétique de l'économie justifie la diminution de l'intensité carbone. La décroissance de la valeur du « mix énergétique » en Méditerranée est notamment due à l'apport du gaz naturel dans l'approvisionnement énergétique dont la part est passée de 15% à 24% entre 1990 et 2004.

Au niveau méditerranéen, les PNM et les PSEM ont dans l'ensemble connu sur la période 1990-2004 une réduction des trois indicateurs observés (Cf. Tableau 3). La décroissance de l'IC est plus forte dans les PNM que dans les PSEM. Les PNM ont laissé apparaître une baisse soutenue du « mix énergétique » portée par la France et l'Italie, alors qu'au contraire l'Espagne a connu un mouvement positif significatif affectant les deux composantes de l'IC. Dans les PSEM, des hausses de 20% (Maroc) de l'IC côtoient des baisses de même amplitude (Syrie). Si les agrégats PRE et PRS de l'IC reculent de près de 2%, les PRE (notamment Israël) ont un ME qui se dégrade (i. e. qui augmente) alors que pour les PRS l'intensité énergétique (notamment le Maroc) augmente entre 1990 et 2004⁴⁴.

Les chiffres laissent penser que la décarbonisation des économies méditerranéennes n'en est qu'à ses premiers balbutiements. Des différences parfois significatives subsistent entre les économies d'une même rive méditerranéenne laissant transparaître les enjeux, contraintes et politiques énergétiques individuelles des pays. Des éléments d'ordre tendanciel positifs comme la pénétration croissante du gaz naturel doivent s'accompagner de politiques économiques et sectorielles volontaristes.

⁴⁴ Données OME (2006).

Tableau 3 - Emissions absolues de CO₂ issu de l'énergie et intensité carbone des économies par régions et pays, valeurs 2004 et évolutions récentes

Pays et régions	Intensité énergétique (Energie/PIB)			"Mix énergétique" (CO ₂ /Energie)			Intensité carbone (CO ₂ /PIB)		
	2004, Kép par K\$ 2000 en PPA	variation 1997-2004, %	variation 1990-2004, %	2004, KCO ₂ par Kép	variation 1997-2004, %	variation 1990- 2004, %	2004, TCO ₂ par millions de \$ 2000 en PPA	variation 1997- 2004, %	variation 1990- 2004, %
Albanie	169	46,9	-37,1	2,0	38,7	-12,8	342	103,8	-45,2
Algérie	168	-5,8	-3,4	2,6	-9,2	-10,4	431	-14,5	-13,5
Bosnie-Herz.*	188	16,5	-24,0	3,5	5,6	39,3	650	23,1	5,9
Chypre	175	-4,0	1,0	2,6	1,3	5,2	462	-2,7	6,3
Croatie*	178	-11,1	-11,4	2,3	5,7	2,4	417	-6,0	-9,3
Egypte	209	8,7	2,1	2,5	2,5	-2,1	522	11,4	-0,1
Espagne	140	1,6	5,0	2,3	2,9	1,8	325	4,5	6,8
France	169	-5,7	-6,8	1,4	-4,7	-10,1	238	-10,1	-16,2
Grèce	137	-9,0	-8,9	3,1	-2,8	-3,2	421	-11,5	-11,8
Israël	137	-1,8	-4,3	3,0	4,3	8,2	411	2,4	3,6
Italie	124	2,6	3,1	2,5	-0,8	-6,9	311	1,8	-4,0
Jordanie	260	-2,6	-10,2	2,6	-6,3	-2,6	665	-8,7	-12,6
Liban	307	-20,3	-2,2	2,8	-0,9	2,5	870	-21,0	0,2
Libye*	520	20,0	20,0	2,5	-1,5	-21,5	1289	21,9	21,9
Malte	135	-14,6	-26,3	2,8	7,3	-5,8	372	-8,4	-30,6
Maroc	95	-4,3	13,1	3,1	9,0	6,3	295	4,3	20,2
Serbie-M*	741	-4,5	4,4	3,0	-3,8	-5,3	2219	-8,1	-1,1
Slovenie*	188	-16,6	-9,6	2,2	-6,4	-5,4	409	-21,9	-14,5
Syrie	300	0,2	-16,7	2,6	-4,8	-4,1	785	-4,6	-20,1
Tunisie	121	-4,3	-17,1	2,4	-6,0	8,2	286	-10,1	-10,3
Turquie	163	-4,9	-5,5	2,6	0,4	5,3	417	-4,5	-0,4
UE-Med7	146	-1,9	-1,4	2,0	-0,6	-4,7	294	-2,4	-6,1
PEA*	299	-9,7	-8,8	2,8	-0,2	3,9	842	-9,9	-5,3
PRE	173	-4,4	-5,8	2,7	0,3	4,5	458	-4,1	-1,5
PRS	184	1,3	4,3	2,6	-1,6	-6,6	471	-0,3	-2,7
FEMIP	176	-0,3	-1,4	2,6	-1,7	-1,8	464	-2,0	-3,2
PSEM	178	-1,6	-0,9	2,6	-0,7	-1,3	464	-2,3	-2,2
PNM	150	-2,1	-3,0	2,1	-0,5	-7,8	308	-2,6	-10,5
Méditerranée	156	-1,8	-1,8	2,2	-0,3	-5,1	345	-2,1	-6,8
12NPM-UE27	219	-25,8	-28,8	2,6	-4,9	-13,8	577	-29,4	-38,6
UE 27	159	-10,3	-15,5	2,2	-2,9	-10,4	354	-12,9	-24,2
Monde	212	-10,8	-20,2	2,6	-0,8	8,5	543	-11,5	-13,4

Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Caït 5.0

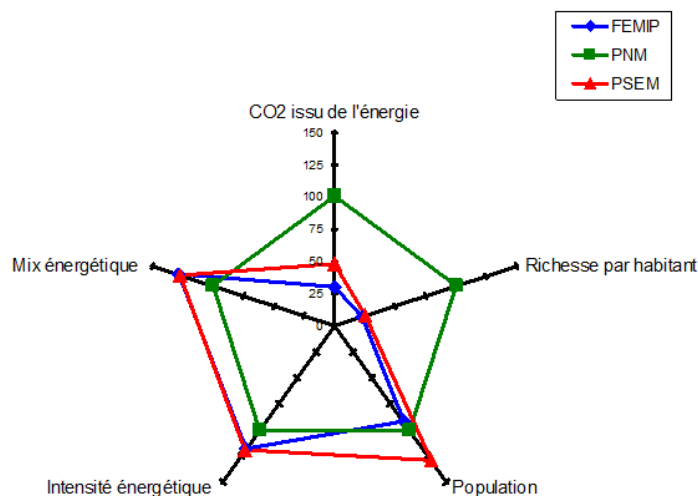
* Notes : Pour les pays et régions Bosnie-H., Croatie, Serbie-M, Slovenie et PEA l'année de référence pour les variations « 1990-2004 » est respectivement 1994,1992, 1993,1992 et 1994. L'année de référence pour la Libye est 2000 pour l'intensité énergétique et l'intensité carbone, alors qu'elle est de 1990 pour le « mix énergétique ».

2.2. Une décomposition ex-post des variations d'émissions : les poids différenciés de la richesse par habitant et de la démographie

L'augmentation des émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie est le résultat de l'interaction de nombreux facteurs et dépend des choix présents mais aussi passés effectués par les acteurs. Ce paragraphe a pour objectif de proposer une décomposition des émissions de CO₂⁴⁵ permettant d'attribuer une importance relative à chaque facteur économique, démographique, technique et énergétique pour une variation observée des émissions. L'exercice proposé ici se base, notamment, sur une partie de l'article de Ang et Liu (2001). Les facteurs de la décomposition sont conformes à l'esprit retenu par ces auteurs au sujet du développement factoriel possible des émissions de CO₂, appliqué au cas présent. L'exercice s'apparente à l'adaptation réalisée par le WRI (2005).

⁴⁵ Cette analyse de la hausse des émissions en Méditerranée se focalise uniquement sur la hausse des émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie laissant de côté les émissions de GES non- CO₂ et le CO₂ LUCF. Ces dernières émissions sont plus faibles en Méditerranée que dans le reste du monde en général et progressent moins vite que les émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie.

Figure 11 - Niveaux relatifs (PNM=100) des émissions de CO₂ et des facteurs de la décomposition pour les régions PNM, PSEM et FEMIP, 2004



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Cait 5.0

Cet exercice est contingent à une vision initiale des facteurs directeurs. Les facteurs⁴⁶ sont ici la richesse par habitant (Rh), la population (P), l'intensité énergétique (IE) de l'économie et « le mix énergétique » (ME). Par construction, les résultats présentés ne permettent pas, par exemple, de déduire l'impact de l'augmentation anticipée d'un des facteurs sur les autres ou sur les émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie. La formule suivante résume le développement ex-post adopté des émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie :

$$\bullet \quad CO_2 = \frac{PIB}{Population} \times Population \times \frac{Energie}{PIB} \times \frac{CO_2}{Energie} \quad (2)$$

$$[CO_2 = Rh \times P \times IE \times ME]$$

Dans la formule (2), les changements de structure de l'économie tels une désindustrialisation de l'économie, une progression du secteur des services ou bien encore des importations grandissantes de produits manufacturés riches en carbone (cf. les travaux de [Ahmad&Wyckoff] (2003)⁴⁷) transitent par le facteur IE. La Figure 11 rappelle les niveaux d'émissions de CO₂ liées à l'utilisation de l'énergie ainsi que les niveaux relatifs des quatre facteurs de trois régions méditerranéennes. Ce rappel est utile car les résultats présentés ici se focalisent uniquement sur la variation, en pourcentage, des variables entre 1990 et 2004 des régions et des pays étudiés.

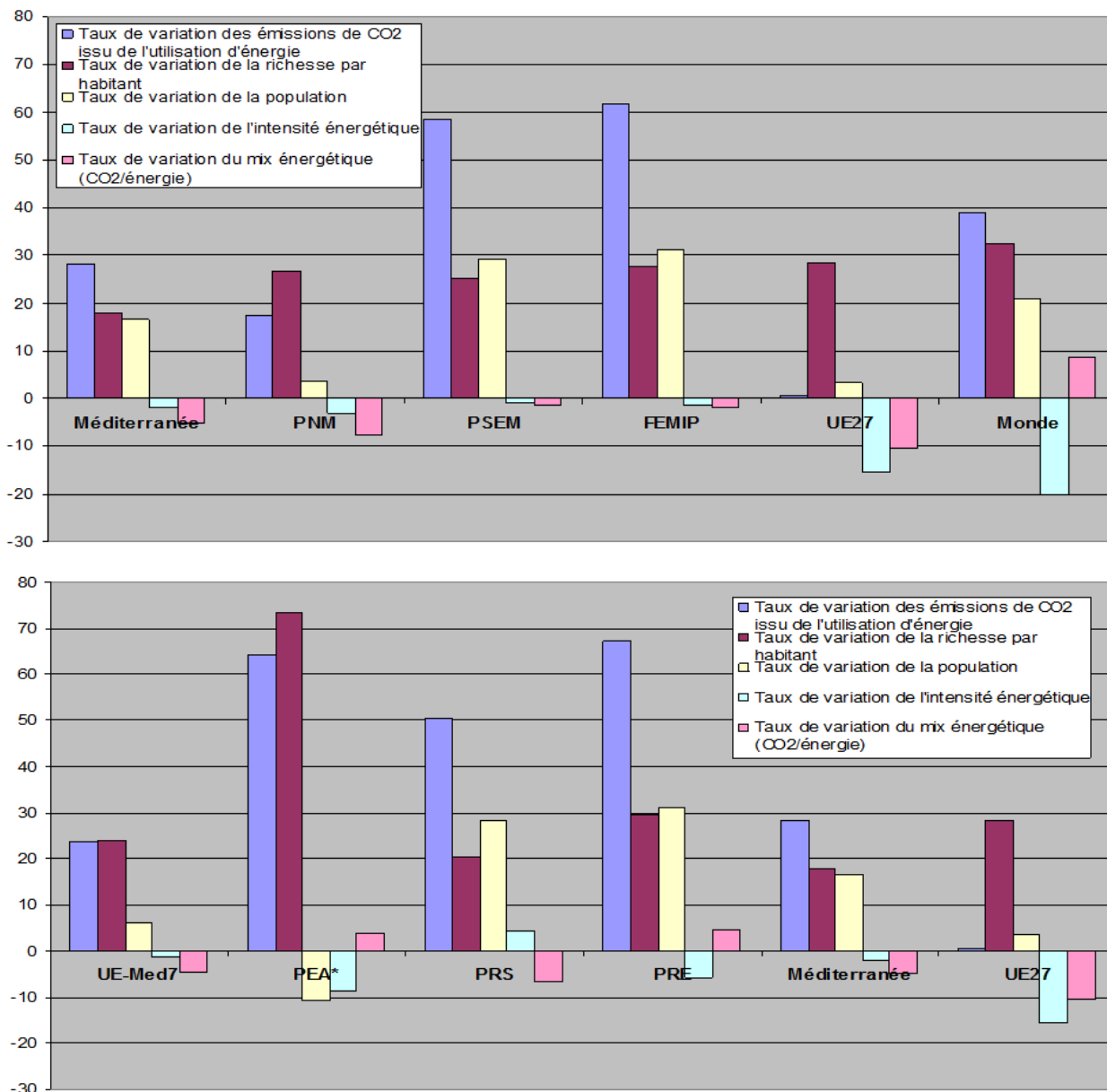
Les Figures 12 et 13 illustrent le fait que la Méditerranée et les PSEM et les pays FEMIP n'enregistrent pas de facteurs connaissant une forte décroissance sur la période.

Au contraire pour l'UE27, l'amélioration de l'intensité énergétique (IE) et l'évolution du mix-énergétique (ME) permettent d'atténuer complètement l'augmentation de la richesse par habitant (mesurée en PPA) et pour le monde dans son ensemble, c'est la baisse de l'intensité énergétique qui réduit l'augmentation potentielle des émissions de CO₂. L'importante baisse de l'intensité énergétique mondiale est notamment portée par la forte décroissance de ce facteur pour la Chine.

⁴⁶ Cf. WRI (2007a) pour les sources secondaires des données utilisées.

⁴⁷ La question soulevée est celle de l'approche des émissions de CO₂ (par la consommation de biens et services ou par la production de ceux-ci) et du commerce international. Par exemple, en 1995 en France les émissions issues de la consommation de biens manufacturés étaient supérieures de 15% aux émissions issues de la production de ce même type de biens [Ahmad&Wyckoff] (2003).

Figure 12 et Figure 13 - Variation en % par régions et sous régions des émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie et des facteurs issus de la décomposition, variation 1990-2004



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Caït 5.0

* Notes : Pour la région PEA l'année de référence pour les variations est 1994 et non 1990.

Le profil de la variation des facteurs pour les PSEM et les PNM est assez différent. La convergence Sud/Nord de la richesse par habitant des pays méditerranéens est faible ou négative selon les sous régions comparées. Néanmoins, la Rh des PRS n'a pas convergé vers celle des PNM ou même vers celle de l'UE-Med7. La situation des PRE est différente puisque ces pays ont globalement connu un rythme de croissance par tête sur la période 1990-2004 de six points supérieur à celui des pays de l'UE-Med7. Le Tableau 4⁴⁸ indique que l'augmentation de la richesse par tête est tirée vers le haut par la Syrie, la Turquie et le Liban dans les PRE alors que dans les PRS la faible augmentation relative de la Rh de cette région est dominée par la moindre croissance en Algérie. Le rythme de

⁴⁸ Les variables en niveau du Tableau 4 sont disponibles pour l'année 2004 en Annexe.

croissance de la Rh s'est, par ailleurs, accru dans les PNM au cours de la période alors qu'il a légèrement ralenti dans les PSEM.

La croissance démographique en Méditerranée du Sud (PSEM et FEMIP) est globalement forte. Cette croissance a la particularité d'être plus soutenue que la croissance de la richesse par tête. Cette situation ne s'observe pas pour l'ensemble mondial. En Méditerranée, la croissance des émissions de CO₂ peut dans le cadre de cette décomposition être attribuée aussi bien à la hausse de la Rh qu'à l'augmentation de la population. L'effet population domine dans les PSEM, alors que dans le PNM, c'est l'effet richesse par habitant qui est supérieur à une croissance très limitée de la population. Cette dernière est la même sur l'ensemble de la période dans les PRE et les PRS. Les PEA ont quant à eux connu un recul de leur population au cours de la période 1990-2004. Du point de vue des pays, la croissance démographique a été très forte en Jordanie (+69%), en Israël ou en Syrie alors qu'elle a été quasi nulle en Italie et dans toute l'UE27. En termes dynamiques, la croissance démographique dans les PSEM a ralenti sur la période observée tout en restant à un niveau élevé, alors que la croissance de la population dans les PNM s'est légèrement accrue.

Les deux derniers facteurs, IE et ME, qui sont des facteurs techniques et énergétiques ont contribué au Nord et dans une certaine mesure au Sud de la Méditerranée à modérer faiblement la hausse des émissions de CO₂. Ces facteurs n'ont pas eu l'importance décisive en Méditerranée qu'ils ont eu dans les pays en transition d'Europe ou même aux Etats-Unis. L'intensité énergétique des économies de l'UE-Med7 a stagné alors qu'elle a largement régressé pour les pays de l'UE27. L'IE a même progressé pour l'Italie ou l'Espagne.

Tableau 4 - Variation en % par pays et régions des émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie et des facteurs issus de la décomposition, variation 1990-2004

Pays et régions	Émissions de CO ₂ liées à l'énergie, variation 1990-2004	Richesse (PPA) par habitant, variation 1990-2004	Population, variation 1990-2004	Intensité énergétique de l'économie, variation 1990-2004	Mix énergétique (CO ₂ /E), variation 1990-2004
Albanie	-23	49	-5	-37	-13
Algérie	23	12	28	-3	-10
Bosnie-H (1994)*	342	277	11	-24	39
Chypre	79	32	28	1	5
Croatie (1992)*	34	49	-1	-11	2
Egypte	75	34	30	2	-2
Espagne	59	35	10	5	2
France	9	22	7	-7	-10
Grèce	33	39	9	-9	-3
Israël	85	23	46	-4	8
Italie	16	18	3	3	-7
Jordanie	81	23	69	-10	-3
Liban	139	85	29	-2	2
Libye (2000)*	9	-18	8	20	2
Malte	10	43	11	-26	-6
Maroc	81	21	25	13	6
Serbie-M (1993)*	32	73	-23	4	-5
Slovenie (1992)*	35	58	0	-10	-5
Syrie	52	31	45	-17	-4
Tunisie	70	56	22	-17	8
Turquie	63	29	27	-5	5
UE-Med7	24	24	6	-1	-5
PEA (1994)*	64	73	-11	-9	4
PRE	67	30	31	-6	5
PRS	50	20	28	4	-7
FEMIP	62	28	31	-1	-2
PSEM	58	25	29	-1	-1
PNM	17	27	4	-3	-8
Méditerranée	28	18	17	-2	-5
12NPM-UE27	-21	33	-3	-29	-14
UE27	1	28	3	-15	-10
Monde	39	33	21	-20	8

Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Cait 5.0

* Notes : Pour les pays et régions Libye, Bosnie-H., Croatie, Serbie-M, Slove nie et PEA l'année de référence pour les variations est respectivement 2000, 1994, 1992, 1993, 1992 et 1994.

Les politiques d'URE conduisent notamment à une réduction de l'IE des économies, alors que le développement des énergies non émettrices de CO₂ (ERs ou nucléaire) affecte à la baisse la valeur mesurée du « mix énergétique ». Le résultat des actions dans les deux cas mène à une décarbonisation progressive des économies. Les résultats précédents laissent penser que la décarbonisation de certaines économies méditerranéennes commence, en particulier sur la rive Nord alors que dans de nombreux pays de la rive Sud, elle est moins marquée. Il faut cependant garder en tête que ces résultats ne signifient pas que le développement énergétique d'une rive est plus durable que sur l'autre. Sur la rive Nord, qui enregistre de meilleures performances en termes d'évolution de l'IC, les émissions par habitant augmentent encore constamment. En outre, les PNM enregistrent de moins bonnes performances que les pays de l'UE dans leur ensemble. Une analyse sectorielle des émissions de CO₂ s'avère donc nécessaire pour compléter l'analyse des émissions de CO₂ en Méditerranée.

III. ANALYSE SECTORIELLE DES EMISSIONS DE CO₂ LIEES A L'UTILISATION D'ENERGIE

Cette partie présente les émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie par secteur. Les éléments clés sont les suivants :

- Les émissions issues de l'électricité et du chauffage représentent le premier secteur d'émissions de CO₂ en Méditerranée (37%). Ce secteur est dans les PSEM le premier contributeur absolu à la hausse. L'augmentation de ces émissions (+92%) dépasse dans cette région la croissance économique, mais reste inférieure au rythme effréné de croissance de la production d'électricité (+142%).
- Les émissions de CO₂ attribuées au secteur des transports sont assez fortement liées au niveau de richesse par pays. Ces émissions sont ainsi particulièrement fortes dans les PNM et plus généralement dans l'UE27. Si ces émissions occupent la deuxième place en termes d'émissions totales dans ces deux régions (29% dans les PNM), elles sont les principales responsables de la hausse des émissions entre 1990 et 2004, avec un cas extrême pour l'UE27. Le découplage de ces émissions avec la croissance ne s'observe ni dans les PSEM (+55%) ni dans les PNM (+30%).
- Le secteur de l'industrie et de la construction représente 20% des émissions de CO₂ dans les PSEM en 2004. La croissance des émissions directes issues de l'énergie de ce secteur a été plus faible que les deux précédents, 11% dans les PNM et 46% dans les PSEM entre 1990 et 2004. Les émissions continuent néanmoins à progresser alors que l'UE27 a connu un fort recul de ce type d'émissions contribuant à leur stabilisation globale entre 1990 et 2004. Une attention particulière doit, par ailleurs, être apportée à la question de la production de ciment dans les PSEM.
- Les émissions fugaces de CO₂ induites par le brûlage et le ventage des gaz lors de la production et de gaz ou de pétrole sont en baisse constante en Méditerranée. Ces émissions sont le fait de pays producteurs et exportateurs. L'Algérie représente plus de la moitié de ces émissions méditerranéennes. Parallèlement, les émissions de méthane issues du même phénomène ont fortement augmenté entre 1990 et 2004.
- Les émissions de CO₂ issues des « autres combustions de carburant » sont principalement le fait de la combustion directe d'énergie fossile par le secteur résidentiel et commercial. Ces émissions sont à 70% issues des PNM et sont assez liées au niveau de richesse. La croissance de ces émissions est forte dans les PSEM avec en particulier une augmentation de 71% dans les PRS entre 1990 et 2004.

* Les émissions sectorielles en niveau et en variation sont disponibles pour chaque pays en annexe.

1. CONTRIBUTION DES SECTEURS AUX EMISSIONS PAR REGIONS : L'ELECTRICITE ET LES TRANSPORTS, SOURCES D'ENJEU

Les émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie se répartissent en cinq grands secteurs dans le cadre des émissions répertoriées par le WRI Cait. Ces secteurs se rapprochent fortement de la classification des émissions proposée par le cadre de notification commun des émissions de GES du GIEC⁴⁹. Ces cinq secteurs⁵⁰ émetteurs sont les transports, l'industrie et la construction, les émissions fugaces, l'électricité et le chauffage et enfin les autres combustions de carburants. Le contenu de chaque secteur et la dynamique des émissions par région qui s'y rapporte sont précisés dans les sections suivantes.

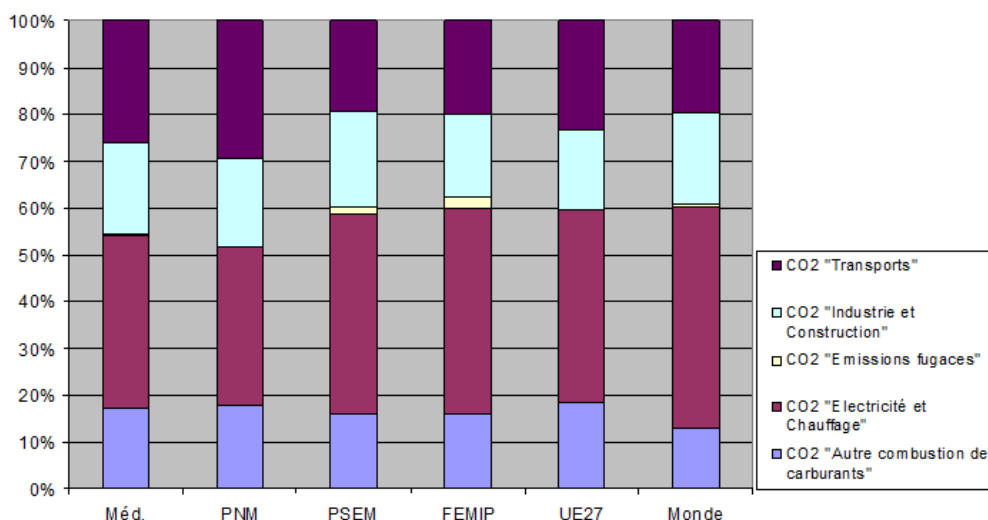
Chaque région du monde fait face à une demande différenciée d'énergie pour chacun de ses secteurs en fonction de la spécialisation de son économie, de son niveau de développement, des conditions naturelles auxquelles elle fait face (aussi bien en termes d'exposition qu'en termes de dotations) ou bien encore dans son niveau d'intégration et d'application des questions d'utilisation rationnelle de

⁴⁹ Un tableau résumant la correspondance des deux systèmes pour l'ensemble des émissions présentées dans cette étude est disponible en Annexe.

⁵⁰ Les émissions en provenance des réservoirs internationaux de carburant ne pas inclus dans cette partie de l'étude.

l'énergie. La réponse à ce besoin d'énergie possède une contrepartie en termes d'émissions de CO₂ et la Figure 14 illustre ces émissions relatives par secteur en 2004⁵¹.

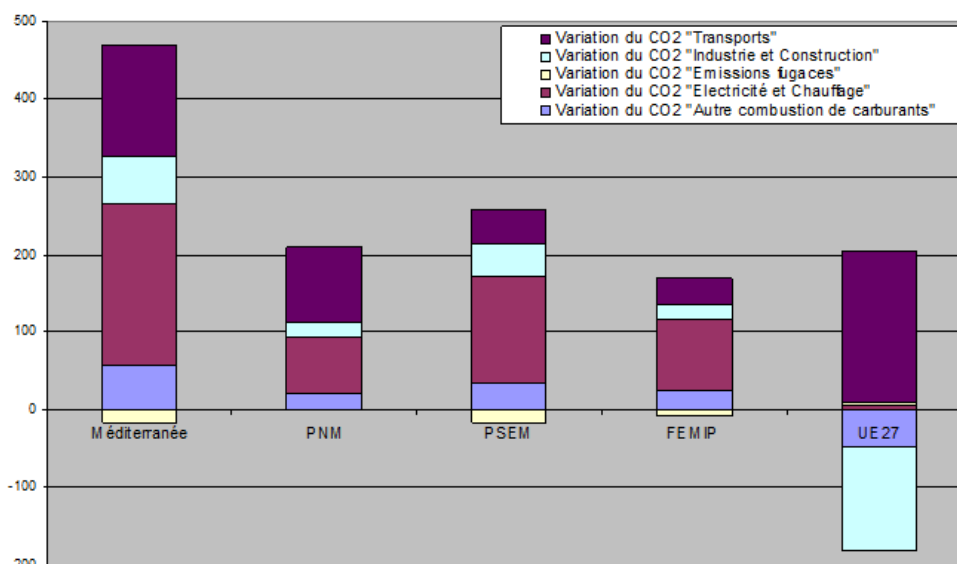
Figure 14 - Répartition sectorielle (%) des émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie par régions, 2004



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Cait 5.0

Les émissions méditerranéennes⁵² sont dominées, comme l'ensemble des régions, par une place prépondérante des émissions issues de l'électricité sans pour autant atteindre la part très élevée (47% du total) qu'elle occupe dans la situation mondiale au sein des émissions présentées issues de l'énergie. Le secteur des transports et celui des émissions issues de la construction et de l'industrie représentent une place intermédiaire dans le bilan des émissions. La responsabilité du secteur des transports est plus importante dans les régions dont la richesse par habitant est élevée comme dans les PNM (29% du total).

Figure 15 - Contribution sectorielle absolue à la variation absolue des émissions de CO₂ issu de l'utilisation d'énergie par régions, variation 1990-2004, millions de T CO₂



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Cait 5.0

⁵¹ Tableau en annexe.

⁵² Les émissions sectorielles en niveau et en variation sont disponibles pour chaque pays en annexe.

La croissance des émissions de CO₂ peut être considérée à partir de la contribution de chaque secteur à cette même croissance. Cette approche, matérialisée par la Figure 15, indique la variation absolue des émissions par secteur et par région⁵³ entre 1990 et 2004⁵⁴. Les PSEM ont donc plus contribué à la hausse absolue des émissions de CO₂ que les PNM sur la période observée.

Dans les PSEM, la croissance des émissions provient majoritairement de la hausse des émissions de l'électricité, alors que dans les PNM elle provient en premier de la hausse de celles du transport. L'augmentation des émissions dans l'UE27 est uniquement due au secteur des transports alors que dans les PSEM, ce secteur arrive en troisième position en termes de contribution absolue à la hausse.

La quasi-stagnation des émissions de l'UE27 entre 1990 et 2004 est principalement le fait d'un recul important des émissions issues de l'industrie et de la construction alors que dans les PSEM ce secteur contribue plus aux émissions que le secteur des transports. L'UE27 et les PSEM ont donc fait face à des mutations radicalement différentes de la structure de leurs émissions au cours de la période 1990-2004.

2. L'ELECTRICITE ET LE CHAUFFAGE

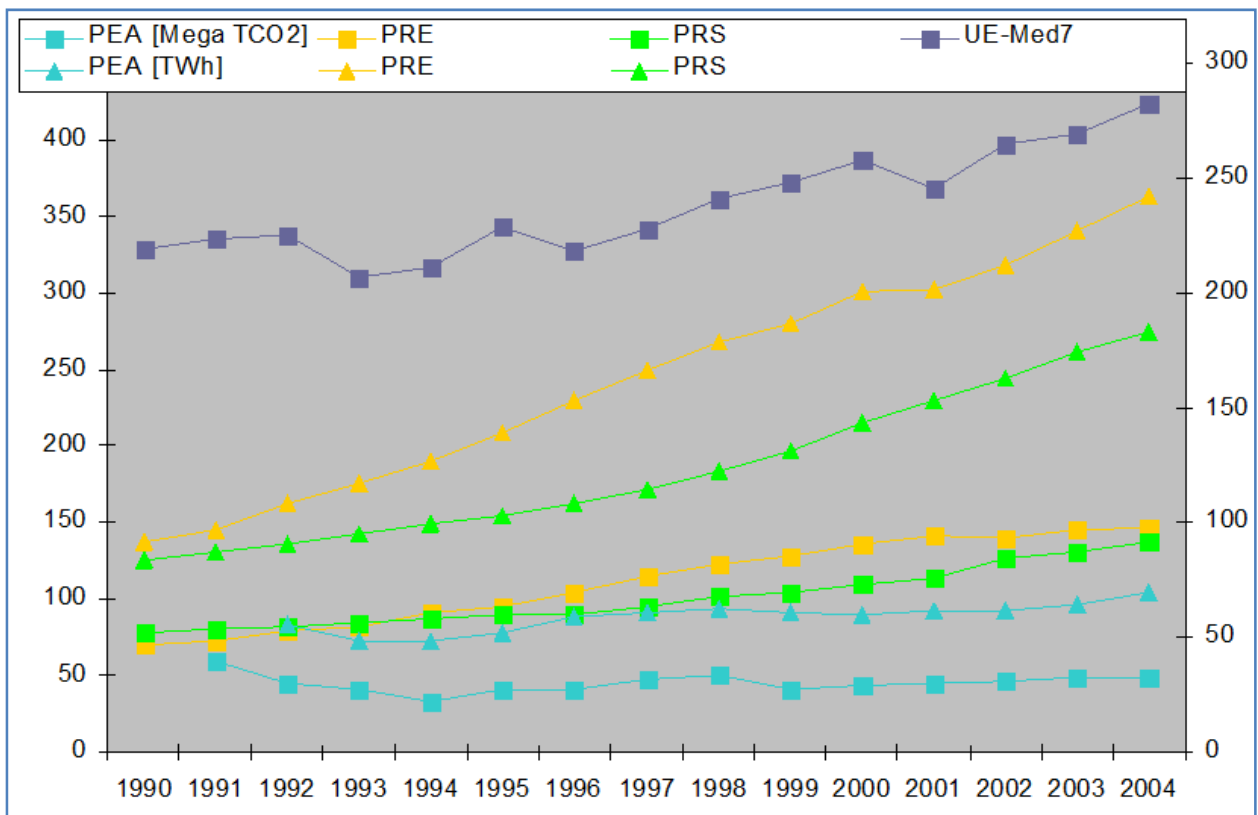
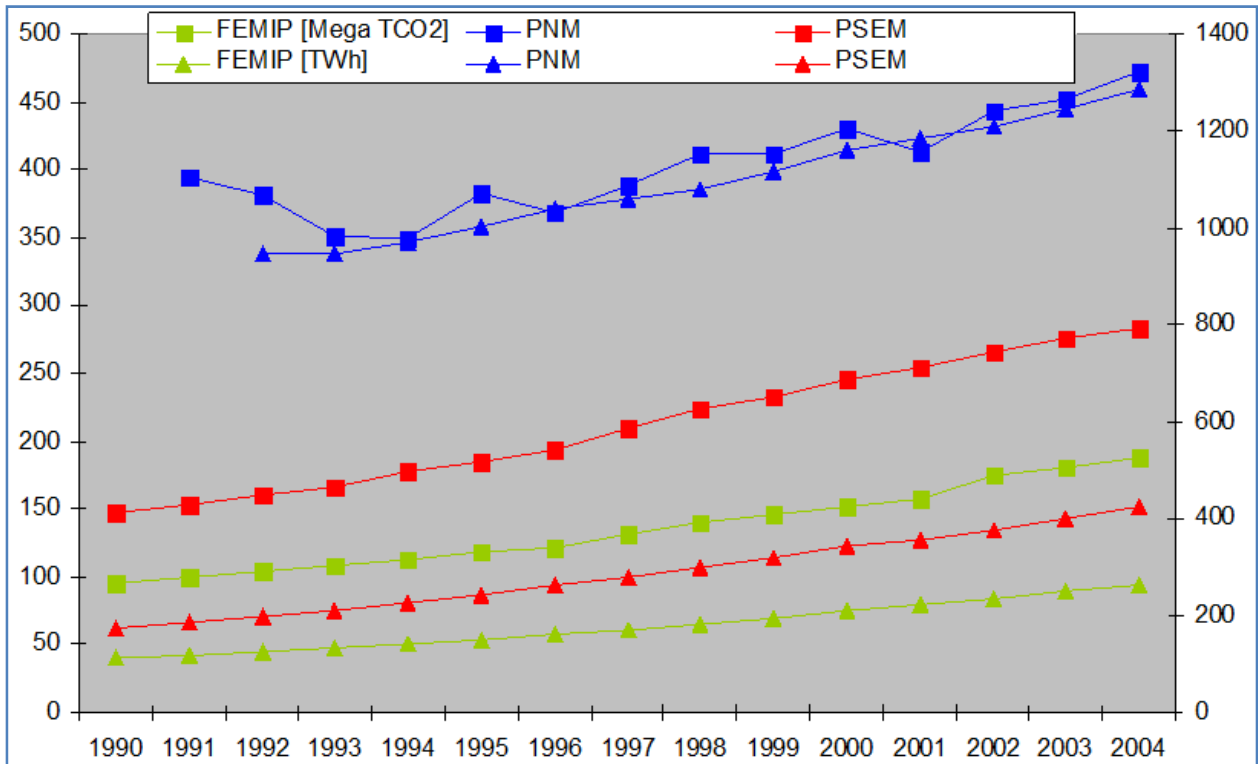
Cette section répertorie les émissions de CO₂ issues de la production à des fins commerciales ou pour son propre compte d'électricité et de chaleur (ou les deux combinés) et les émissions issues de la combustion d'énergie fossile par les autres industries de l'énergie. Ces émissions s'apparentent à celles de la catégorie « 1A1 » du GIEC.

En 2000, au niveau mondial, les émissions issues du secteur de l'électricité et du chauffage représentaient 25% des émissions de GES, soit la plus importante contribution aux émissions anthropiques (Schéma 1). Dans les PNM et les PSEM cette part était respectivement de 26% et 24% (Schéma 2 et Schéma 3). En 2004, la part de ces émissions au sein des émissions de CO₂ liées à l'énergie est de 34% pour les PNM et 43% pour les PSEM.

⁵³ Dans la Figure 15, certains flux sont négatifs (comme la baisse des émissions issues de l'industrie pour le monde entier entre 1990 et 2004), il faut alors les retrancher aux flux positifs pour obtenir la variation absolue totale sur la période.

⁵⁴ Un tableau reprenant les flux de la Figure 15 est disponible en annexe.

Figure 16 et Figure 17 - Emissions de CO₂ issu de l'électricité et du chauffage (Echelle de gauche) et production d'électricité (Echelle de droite) dans les régions et sous régions de la Méditerranée, 1990-2004



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Caït 5.0 et AIE

L'électricité est un bien premier et stratégique pour les pays et leur développement. La demande pour ce bien difficilement stockable peut émaner essentiellement des industries ou bien du secteur résidentiel. La production d'électricité en Méditerranée diffère de la situation mondiale dans le sens où sa production est bien moins satisfaite par le charbon mais plus par l'énergie nucléaire (émanant du poids de la situation française en Méditerranée) et par le gaz naturel. Donc l'intensité carbone de la production d'électricité est plus faible dans cette région que dans le monde dans son ensemble. Néanmoins, la hausse du prix du pétrole a introduit une certaine résistance à l'utilisation du charbon pour la production d'électricité.

Tableau 5 - Emissions de CO₂ issu de l'électricité et du chauffage et production d'électricité par régions, niveau en 2004 et variation 1990-2004

Région	2004, Millions de TCO ₂ issues du secteur "Electricité et chauffage"	Variation 1990-2004, %	2004, Production d'électricité, TWh	Variation 1990-2004, %
PRE	146	110	242	164
PRS	138	76	183	118
PEA*	49	-19	70	26
UE-Med7*	424	29	332	36
FEMIP	187	96	262	135
PSEM	284	92	424	142
PNM*	472	20	1288	36
UE27	1655	0		
Monde	13293	64	17373	47

Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Caït 5.0 et AIE

*Note : L'année de référence pour le taux de variation des émissions et de 1991 pour les PEA et les PNM. L'année de référence pour le taux de variation de la production d'électricité et de 1992 pour les PEA, PNM et UE-Med7.

Cependant, cette région fait face à une explosion de la demande d'électricité (par exemple à des fins d'alimentation de nouveaux appareils électriques et à l'augmentation du standing de ceux-ci), qui est la composante la plus dynamique de la hausse de la consommation d'énergie et de l'augmentation des émissions de CO₂. Ainsi, la croissance de la production d'électricité dans les PRE a atteint plus de 164% entre 1990 et 2004 ayant pour conséquence une augmentation de plus de 110% des émissions émanant du secteur électricité et chauffage dans cette sous région.

Certains PSEM⁵⁵ ont alors connu de très fortes hausses de ces émissions comme la Syrie (+157%) ou l'Egypte (+123%). La croissance des émissions des PNM a été plus mesurée avec des pays comme la France et l'Italie dont les émissions ont peu augmenté. Néanmoins, la croissance des PNM (+ 20%) reste très supérieure à la stagnation des émissions issues de l'électricité et du chauffage en provenance de l'UE27.

En termes de niveau d'émissions de ce secteur, l'Italie puis l'Espagne sont de loin les émetteurs les plus imposants du bassin méditerranéen. Israël (66% de ses émissions proviennent de ce secteur) et Malte ont, en termes d'émissions relatives, une part très élevée émanant de ce secteur par opposition à la Tunisie ou à la Turquie (35% et 38%). En général, l'augmentation de la demande d'électricité est plus forte que la croissance économique.

Par conséquent, la réduction de l'intensité électrique de la croissance (politiques d'URE) et la baisse de l'intensité carbone de la production d'électricité (énergies renouvelables) peuvent contribuer à endiguer la hausse des émissions issues de la consommation de ce bien stratégique.

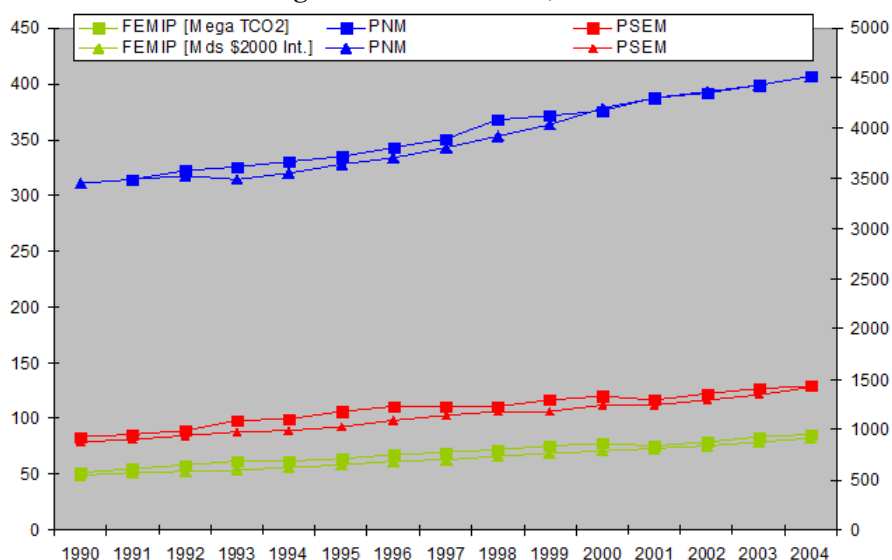
⁵⁵ Les émissions et la croissance des émissions par pays de ce secteur sont disponibles sous forme de tableau en annexe.

3. LE SECTEUR DES TRANSPORTS

Les émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie comme celles du secteur des transports comportent les émissions du transport aérien intérieur (vols internationaux exclus), routier, ferroviaire, par pipeline, par navigation intra-nationale et autres transports. Les émissions issues des réservoirs internationaux de carburant à destination de l'aviation et de la marine sont exclues. Ces émissions de CO₂ correspondent aux émissions de la catégorie « 1A3 » du GIEC.

Les émissions de CO₂ de ce secteur représentaient en 2000 pour le monde, les PNM et les PSEM respectivement 12%, 22% et 13% du total des émissions de GES anthropiques (cf. Schéma 1,2,3). En 2004, la part de ce secteur dans les émissions présentée dans la partie III est de 19% dans les PSEM et 29% dans les PNM. La part des émissions de ce secteur en Méditerranée provenant des PNM est très forte. En effet, plus des trois quarts de ces émissions méditerranéennes sont le résultat d'activités de transport dans les PNM. La fourniture énergétique de ce secteur est quasi-exclusivement assurée par le pétrole. Au niveau mondial, les émissions de ce secteur sont largement dominées par la composante transport routier.

Figure 18 - Emissions de CO₂ issues du secteur des transports (Echelle de gauche) et PIB (Echelle de droite, PPA) dans les régions de la Méditerranée, 1990-2004



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Caït 5.0

La faible part relative des émissions du secteur des transports⁵⁶ dans les PSEM cache une dynamique forte. En effet, la croissance des émissions des PSEM dans ce secteur a atteint 55% entre 1990 et 2004, faisant des transports le deuxième contributeur à la hausse des émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie dans les PSEM. Le constat est le même pour l'agrégat des pays FEMIP dans leur ensemble avec cependant une croissance et une part de ces émissions plus fortes. En termes d'émissions relatives aux autres secteurs, les transports représentent 26% du total en Jordanie et au Liban alors qu'ils ne représentent que 5% au Maroc. Les pays fortement émetteurs⁵⁷ sont la France, l'Italie et l'Espagne au nord et la Turquie et l'Egypte dans les PSEM. Cependant, la France et Malte ont connu des croissances « faibles » sur la période alors que l'Egypte et le Liban ont vu leurs émissions de CO₂ issues des transports plus que doubler entre 1990 et 2004. Par ailleurs, la croissance en Méditerranée des émissions de ce secteur a été plus forte dans les PRS que dans toutes les autres sous régions. Malgré ce différentiel de croissance des émissions Sud/Nord, le niveau d'équipement brut par personne en

⁵⁶ Les émissions sectorielles en niveau et en variation sont disponibles pour chaque pays en annexe.

⁵⁷ Les émissions et la croissance des émissions par pays de ce secteur sont disponibles sous forme de tableau en annexe.

véhicules particuliers dans les PSEM est douze fois inférieur⁵⁸ à celui des économies de l'UE-Med7 en 2002.

Tableau 6 - Emissions de CO₂ issues du secteur des transports, niveau en 2004 et variation 1990-2004

Région	2004, Millions de TCO ₂ issu du secteur "Transports"	Variation 1990-2004, %	Milliers de véhicules particuliers, 2002
PRE*	63,1	37	
PRS*	65,7	76	5460
PEA*	16,3	50	
UE-Med7	390,8	33	86649
FEMIP*	85,3	65	7642
PSEM*	128,8	55	
PNM*	407,1	30	
UE27*	947,6	26	209614
Monde	5589,3	44	

Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Caït 5.0 et Eurostat/Medstat

*Notes : L'année de référence pour les variations d'émissions est 1991 pour les PEA et les PNM. Le nombre de véhicules particuliers exclu la Libye et le Liban des agrégats.

Les émissions des régions semblent fortement liées au niveau de production (en PPA). Ce couplage (cf. Figure 18) est une réelle source d'enjeux dans le cadre d'un scénario de convergence Sud/Nord des niveaux de développement économique. Le découplage croissance économique/émissions du transport n'est pas encore survenu dans les PNM au début des années 2000. La question peut, la encore, se découper en deux sous enjeux : celui du mode de développement des pays (organisation spatiale et place du transport dans le cœur du mécanisme de croissance et de la société) et celle des intensités carbone des modes de transports (passagers et marchandises).

4. L'INDUSTRIE ET LA CONSTRUCTION

Les émissions de « l'industrie et de la construction » contiennent les émissions directes de CO₂ issues de la combustion d'énergie fossile. Ces émissions de CO₂ ont le même périmètre que celles de la catégorie « 1A2 » du GIEC. Cependant les émissions issues de l'autoproduction d'électricité et de chaleur sont exclues. Ces dernières sont incluses dans les émissions de la section 2 de cette partie « électricité et chauffage ».

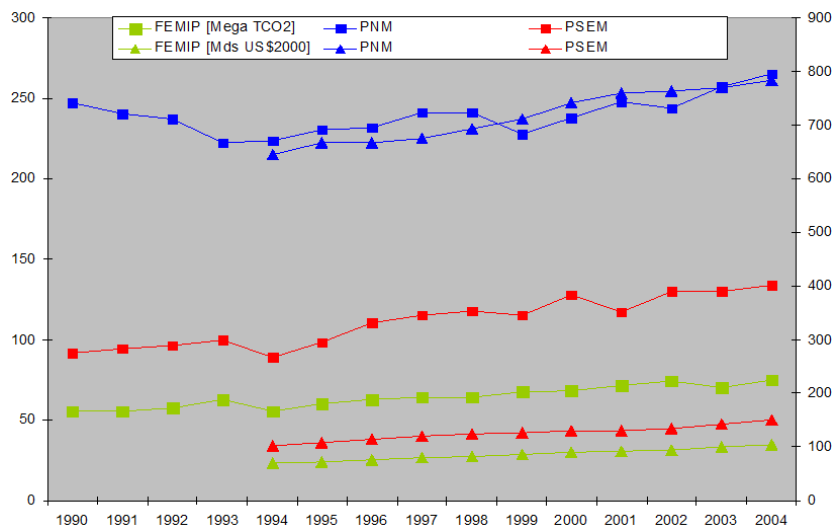
Les émissions de CO₂ provenant de l'utilisation d'énergie du secteur « industrie et construction » représentaient en 2000 près de 14% des émissions de GES dans les PNM et les PSEM et un peu plus de 10% au niveau mondial (cf. Schémas 1, 2, 3). Ce secteur agrège des industries de nature très différente. Les principales industries en termes de combustion directe d'énergie fossile sont notamment celles de la chimie et pétrochimie, du fer et de l'acier et celles du ciment (cf. Encadré 2 pour les émissions de CO₂ issues du processus industriel du ciment). La part des émissions de ces trois industries due à la combustion directe d'énergie fossile était au niveau mondial respectivement de 51%, 43% et 70% de leurs émissions totales de GES en 2000⁵⁹. Selon les technologies de production, le niveau d'efficacité énergétique et le contenu en carbone de l'énergie utilisée, la distribution relative et le niveau des émissions de GES sont susceptibles de varier significativement d'une région du monde à l'autre. Globalement, les émissions mondiales de l'industrie et de la

⁵⁸ Chiffre dérivé des données Eurostat/Medstat, excluant la Libye, la Turquie et le Liban. Ce ratio n'est pas redressé pour le différentiel de taille des ménages et la plus grande jeunesse de la population dans les PSEM.

⁵⁹ WRI (2005a).

construction issues de la combustion d'énergie représentaient en 2000 49%⁶⁰ des émissions totales de GES de ce même secteur.

Figure 19 - Emissions de CO₂ issues du secteur de l'industrie et de la construction (Echelle de gauche) et VA Industrie (Echelle de droite, US\$) dans les régions de la Méditerranée, 1990-2004



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Cait 5.0 et WDI 2007

Notes : La VA Industrie correspond à division ISIC 10-45 et comprend la division ISIC 15-37. La VA n'est pas estimée en PPA donc il subsiste des biais liés au taux de change surévalués dans les séries. Malte est absent dans l'ensemble des séries. La Libye et Chypre sont absents des séries sur la VA Industrie. La série PNM de la VA Industrie intègre la Serbie-M. seulement à partir de l'année 2000.

Deux tiers des émissions méditerranéennes de ce secteur⁶¹ sont le fait des PNM en 2004, le tiers restant est attribué aux PSEM. La croissance de ces émissions est soutenue dans les PSEM alors que celle-ci est relativement faible au nord. Les émissions du secteur « industrie et construction » ont même reculé pour l'UE27⁶². Ce recul sectoriel en UE a en grande partie permis une stagnation des émissions globales de CO₂ issues de l'énergie. En France et en Italie, les émissions de ce secteur ont quasi-stagné entre 1990 et 2004 alors qu'elles progressaient fortement en Espagne.

Tableau 7 - Emissions de CO₂ issues du secteur de l'industrie et de la construction dans les régions et sous régions de la Méditerranée, 1990-2004

Région	2004, Millions de TCO2 issu du secteur "Industrie et construction"	Variation 1990-2004, %	Variation VA Industrie (US\$ 2000), 1994-2004, %
PRE	71,8	61	41
PRS*	61,9	32	51
PEA	16,9	-28	
UE-Med7*	248,4	11	21
FEMIP	75,1	35	50
PSEM*	133,7	46	46
PNM*	265,3	7	22
UE27	682,6	-16	
Monde	5499,3	14	

Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Cait 5.0 et WDI 2007

Notes : La VA Industrie correspond à division ISIC 10-45 et comprend la division ISIC 15-37. La VA n'est pas estimée en PPA donc il subsiste des biais liés au taux de change surévalués. Malte est absent dans l'ensemble des séries. La Libye et Chypre sont absents de la VA Industrie. La VA Industrie des PNM intègre la Serbie-M. seulement à partir de l'année 2000, ce qui surestime légèrement la hausse de la VA.

⁶⁰ Id.

⁶¹ Les émissions sectorielles en niveau et en variation sont disponibles pour chaque pays en annexe.

⁶² La production industrielle dans les pays de l'Est de l'UE27 a été sévèrement réduite au début des années 90. Ce recul de la production à l'Est s'est ajouté à des phénomènes de désindustrialisation à l'Ouest de l'Europe.

Néanmoins, des gains en termes d'intensité énergétique des industries sont venus contribuer aussi à cette modération. Le commerce international de biens industriels peut, par ailleurs, conduire des pays à importer plus qu'exporter des produits manufacturés intensifs en carbone (cf. Ahmad, 2003). La Jordanie, la Syrie ou la Turquie ont parallèlement connu des croissances supérieures à 60% de leurs émissions sur la période observée. Pour l'Égypte, Chypre ou la Turquie, les émissions industrielles constituent plus du quart des émissions totales de CO₂ issues de l'énergie, alors que cette part n'est que de 12% pour l'Algérie en 2004. Les niveaux d'émissions sont notamment influencés par la spécialisation des économies, la technologie de production, le type d'industrie (lourde ou plus intensive en main d'œuvre) le niveau d'efficacité énergétique et le mix énergétique des industries.

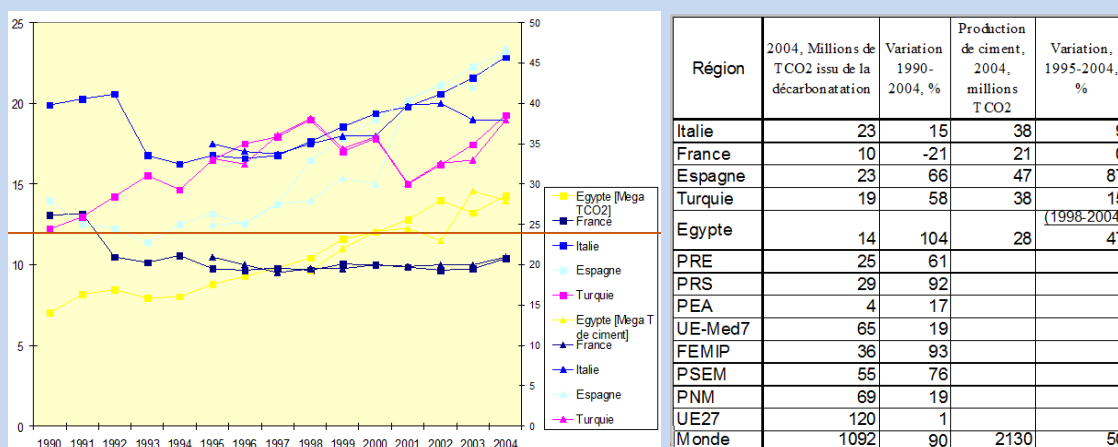
Encadré 2 - Quelques chiffres sur les émissions de CO₂ en Méditerranée et la décarbonatation dans l'industrie du ciment

Au niveau mondial, les émissions de GES issues du ciment représentent 3,8% du total en 2000*. Les émissions issues des industries du ciment ont trois origines : les intrants énergétiques directs (énergies fossiles), la consommation d'électricité et celles émanant de la spécificité du processus industriel appelé « décarbonatation ». Ainsi, au niveau mondial la part respective de ces trois sources dans les émissions totales de GES ciment était en 2000 de 43%, 5% et 52%*.

Les émissions présentées ici sont celles clairement identifiées du processus de décarbonatation à l'œuvre lors de la production du clinker (produit intermédiaire). Ces émissions n'ont rien en commun au niveau de leur nature avec les autres présentées dans cette Partie III de cette étude, il ne s'agit pas d'utilisation d'énergie. La décarbonatation intervient lors de la cuisson à très haute température du calcaire qui induit la production de chaux et de CO₂. Ces émissions de CO₂ représentent au niveau mondial, dans les PNM et les PSEM respectivement 2%, 4% et 5% du total des émissions de GES en 2000 (cf. Schémas)

L'activité des cimenteries est fortement liée au développement économique des pays et à la construction d'infrastructures. Désormais, la demande additionnelle pour ce bien émane principalement des pays en développement et certains pays méditerranéens ont connu une croissance très forte de la production de ce bien particulier. La croissance de ce secteur « nourrit » et alimente la hausse des émissions liées à l'énergie en créant de nouvelles structures potentiellement émettrices de CO₂ (émissions directes et induites des bâtiments, émissions du secteur des transports...). En ce sens, ce secteur est un secteur clé. De plus, le WRI Cait permet une différenciation claire des émissions issues de la décarbonatation qui sont des données fournis par le CDIAC et correspondent à la catégorie d'émissions «2A1 » du GIEC.

Figure 20 et Tableau 8 - Emissions de CO₂ issu de la décarbonatation (Echelle de gauche) et production de ciment (Echelle de droite) en Méditerranée, 1990-2004



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Cait 5.0 et des USDIGS

En niveau, ces émissions** se situent encore en majorité dans les PNM mais la croissance de ces émissions en Méditerranée provient des PSEM. Ceci est notamment du au fait que les PNM font face à une demande de ciment essentiellement à des fins de renouvellement et de maintenance des structures existantes. Cependant, la croissance espagnole accompagnée d'un boom de l'immobilier a eu pour conséquence une hausse de 66% de ses émissions. La croissance de ces émissions au Sud est particulièrement élevée au Liban, au Maroc ou en Jordanie qui ont tous plus que doublé ces émissions en 15 ans, soit un rythme supérieur à la croissance mondiale. Ainsi, les agrégats PRS ou FEMIP ont observé des tendances proches de la situation mondiale, ou la demande exponentielle est notamment entraînée à la hausse par les grands pays asiatiques. Les émissions relatives de CO₂ laissent apparaître que le seul phénomène de décarbonatation des industries du ciment représente plus de 15% de l'échelle des émissions de CO₂ issues de l'utilisation de l'énergie de la Tunisie ou du Maroc.

Les principaux pays producteurs de ciment en Méditerranée sont l'Espagne, la Turquie, l'Italie et l'Égypte. Le bassin méditerranéen constitue un haut lieu européen du commerce international de ciment et de clinker***. La Turquie est le premier fournisseur extérieur mondial de ciment vers l'UE et en particulier à destination de l'Italie. Le commerce du produit intermédiaire clinker à destination de l'UE est assuré essentiellement par la Chine et l'Égypte. L'Espagne importe du clinker en provenance d'Égypte, qui constitue ainsi son deuxième fournisseur mondial. Néanmoins, les flux internationaux de ciment et de clinker varient rapidement. Ce commerce international constitue un apport de matériel de construction riche en carbone en provenance de pays où les technologies de production, le mix énergétique et surtout la législation sur les émissions de CO₂ sont parfois assez différents de ceux des pays importateurs.

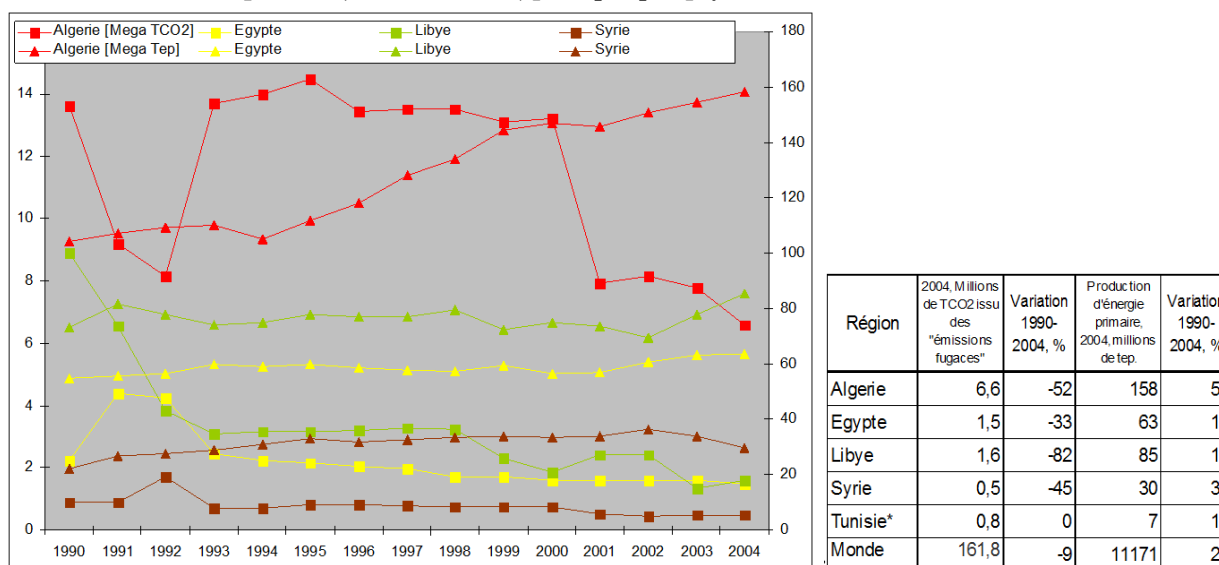
*WRI (2005a). **Les émissions sectorielles en niveau et en variation sont disponibles pour chaque pays en annexe. *** Les descriptions des flux commerciaux sont notamment inspirés d'une présentation intitulée « Emissions Trading and cement : what does the empirical data suggest ? » de N. Walker.

5. LES EMISSIONS FUGACES ET LES AUTRES EMISSIONS

5.1. Les émissions fugaces

Les émissions « fugaces » sont les émissions de GES relâchées de façon volontaire ou involontaire lors des activités humaines. Ces émissions peuvent avoir lieu tout au long de la chaîne allant de la production jusqu'à l'utilisation de l'énergie si ces émissions ne supportent pas une activité productive. Les émissions fugaces totales (CO₂ et non- CO₂) représentaient en 2000, 3,8 % des émissions mondiales de GES, 0,9% dans les PNM et 8,9% dans les PSEM (Schémas 1,2,3). Les émissions de méthane issues des systèmes énergétiques pétroliers ou gaziers ainsi que des mines de charbon ne sont pas incluses dans les données présentées ci-dessous. Les émissions fugaces étudiées dans cette section sont celles de CO₂ engendrées par le brûlage à la torche et le ventage du gaz notamment lors de la production d'énergie pour des raisons de sécurité ou d'usage. Ces émissions correspondent à la catégorie « 1B2c » dans le cadre de notification des émissions du GIEC. Les données présentées sont issues du Caït 5.0, la source secondaire étant l'EIA.

Figure 21 t Tableau 9 - Emissions de CO₂ issues des émissions fugaces (Echelle de gauche) et production d'énergie primaire (Echelle de droite) pour quelques pays méditerranéens, 1990-2004



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Caït 5.0 et AIE

*Note : L'année de référence pour la variation des émissions de Tunisie est 1993.

Les émissions fugaces de CO₂ telles que définies ci-dessus⁶³ sont en Méditerranée le fait de quelques pays producteurs et exportateurs de gaz et pétrole. Ces émissions ont globalement fortement baissé entre 1990 et 2004 alors même que la production d'énergie a augmentée sur la même période. En 2004 dans les PRS, ces émissions constituaient 3,2% des émissions de CO₂ liées à l'énergie. Le premier contributeur en niveau aux émissions fugaces de CO₂ est l'Algérie. Les émissions de ce pays représentent plus de la moitié du total des émissions méditerranéennes en 2004 malgré une baisse sensible de celles-ci dans un contexte de hausse de sa production d'énergie sur la période observée (cf. Figure 21 et Tableau 9). En 2004, ces émissions fugaces représentent 8% des émissions totales de CO₂ de l'Algérie. Les autres grands émetteurs sont l'Égypte et la Libye. La Tunisie est le seul pays à avoir maintenu au même niveau ce type d'émissions alors que le contexte régional est à la baisse.

Les émissions fugaces de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie suivent donc une tendance à la baisse encourageante dans les pays méditerranéens producteurs de gaz et pétrole. Cependant la décennie quatre-vingt-dix a connu une progression des émissions fugaces de méthane issues des systèmes énergétiques. Ces émissions fugaces de méthane dans les PSEM ont ainsi progressé de plus de 80% entre 1990 et 2000. Des efforts supplémentaires doivent aussi s'appliquer à ce type précis d'émissions. Les émissions fugaces pourraient dans le cas d'exportation de gaz et pétrole et dans une logique de « consommation de CO₂ » être au moins en partie attribuées aux pays importateurs de ces matières premières énergétiques.

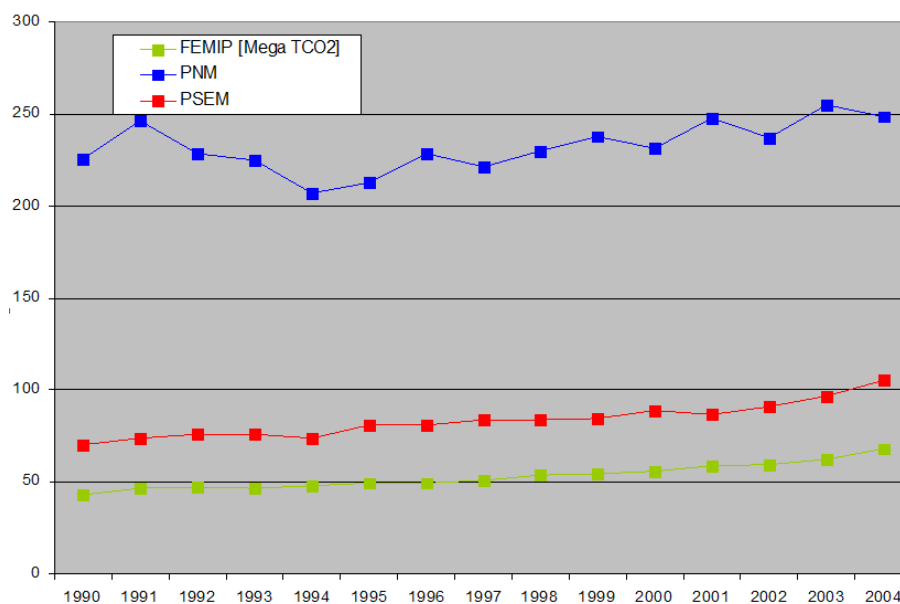
5.2. Les émissions issues des autres combustions de carburant

Les émissions de ce secteur sont un regroupement hétérogène des émissions de CO₂ des secteurs non traités précédemment. Ces émissions sont celles issues de la combustion directe individuelle ou en district d'énergie fossile émanant des activités commerciales et institutionnelles et du secteur résidentiel. Cette section regroupe aussi les émissions en provenance de la combustion d'énergie fossile par les activités agricoles, de pêche et forestières. « Cait 5.0 » ne permet pas de différencier ces diverses composantes. Ces émissions correspondent aux émissions de CO₂ de la catégorie « 1A4 » de la classification du GIEC.

Au niveau mondial, les émissions de cet agrégat hétérogène trouvent essentiellement leurs origines dans le secteur résidentiel, puis dans le secteur commercial et enfin dans les intrants énergétiques de la production agricole. En 2000, les émissions de GES de ce secteur représentaient dans le monde 9% du total, alors que cette part était respectivement de 10% et de 15% dans les PSEM et les PNM. En 2004, les émissions de CO₂ de ce secteur constituaient pour ces mêmes régions respectivement 13%, 16% et 18% de leurs émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie.

⁶³ Les émissions sectorielles en niveau et en variation sont disponibles pour chaque pays en annexe.

Figure 22 - Emissions de CO₂ issues des autres combustions de carburants dans les régions et sous-régions de la Méditerranée, 1990-2004



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Caït 5.0

Les émissions mondiales issues des bâtiments du secteur résidentiel représentent le double de celles issues des bâtiments commerciaux ou institutionnels⁶⁴. Leur nature et leur usage conduisent les bâtiments commerciaux et institutionnels à émettre en proportion plus de CO₂ de façon indirecte à travers leurs approvisionnements en électricité. Ces émissions indirectes ne sont comptabilisées dans cette section. Le poids relatif de ces deux secteurs (i. e. résidentiel et commercial) ne peut pas être connu en Méditerranée en raison d'un agrégat Caït commun. Néanmoins, les émissions de CO₂ directes attribuées à cette section⁶⁵ connaissent en Méditerranée une répartition géographique en provenance à 70% des PNM. Ces émissions ont pour origines le chauffage et le refroidissement des bâtiments ou encore les activités de cuisine. La part de ces émissions de CO₂ directes dans le total des émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'énergie progresse avec le niveau de richesse par tête mais dépend aussi du climat, et de la prise en compte des questions d'efficacité énergétique dans les bâtiments.

Tableau 10 - Emissions de CO₂ issues des autres combustions de carburants dans les régions et sous régions de la Méditerranée, 1990-2004

Région	2004, Millions de TCO ₂ issu des "Autres combustion de carburants"	Variation 1990-2004, %
PEA	13	-42
UE-Med7	235	16
PRE	54	36
PRS	52	71
FEMIP	68	58
PSEM	105	51
PNM	248	10
UE27	743	-6
Monde	3684	10

Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Caït 5.0

Les émissions de CO₂ issues de ce secteur sont en forte progression entre 1990 et 2004 dans les PSEM (progression cinq fois supérieure au rythme mondial), particulièrement dans les PRS comme

⁶⁴ WRI (2005a)

⁶⁵ Les émissions sectorielles en niveau et en variation sont disponibles pour chaque pays en annexe.

au Maroc⁶⁶ (+108%) ou en Libye (+102%). L'Algérie et la Tunisie sont aussi caractérisées par une croissance forte des émissions de ce secteur à laquelle on peut ajouter une part attribuée désormais à 20% du total de leurs émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie. En revanche, l'augmentation reste modérée en moyenne dans les PNM avec 16% de croissance dans les pays de l'UE-Med7. Cette faible croissance cache la forte augmentation des émissions pour l'Espagne (+78%). Elle est en partie expliquée par un niveau élevé de constructions nouvelles dans ce pays.

Ce secteur des émissions directes de CO₂ issues de l'énergie en provenance de ces autres combustions de carburant et en particulier des bâtiments laisse une grande place à la régulation juridique tant en termes de couplage des constructions avec la création de capacités de production d'énergies renouvelables qu'en termes de qualité énergétique des constructions. L'existence et l'application adéquate de ces législations sont d'autant plus pressantes que la durée de vie de ce type de capital induisant des émissions est très longue. Les bâtiments laissent ainsi une trace de plusieurs décennies dans la moyenne de la qualité énergétique du parc immobilier. Ce fait plaide pour une action volontariste rapide dans les PSEM, les villes et les littoraux où la croissance du secteur de la construction est forte. Le secteur des bâtiments a pour caractéristique de se situer au carrefour de la lutte contre les émissions de GES et de la question de l'adaptation au changement climatique.

⁶⁶ Les éléments suivants relatifs à ce secteur au Maroc sont observés dans l'étude nationale Maroc de l'UNEP/MAP/PlanBleu (MTS N°167, 2007, page 506) « Absence de considérations énergétiques dans la conception, la construction, l'équipement et la gestion des bâtiments collectifs ; augmentation sensible des dépenses énergétiques suite à des attentes de qualité de service et de confort social de la part des usagers. »

IV. CONCLUSION

Le bassin méditerranéen est caractérisé par des émissions de GES anthropiques fortement composées de CO₂ issu de l'utilisation d'énergie fossile. Les émissions de CO₂ sont en Méditerranée quasi-exclusivement le fait de l'utilisation d'énergie comme le pétrole, le gaz ou le charbon qui sont naturellement présents sur la rive Sud de cette région.

A l'échelle méditerranéenne, les « changements dans l'utilisation des sols et forêts » engendrent peu d'émissions de CO₂ contrairement au bilan d'émissions d'autres pays africains. Au final, les émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie représentaient dans les PSEM environ 64% des émissions de GES en 2000, cette part était de 77% dans les PNM et de seulement 57% pour la situation mondiale.

Dans les PSEM, le niveau élevé des émissions issues des déchets et des industries du ciment constitue deux faits remarquables au regard de la structure des émissions mondiales ou même de celle des émissions des PNM.

Les émissions cumulées de CO₂ issu de l'énergie des PSEM depuis 1850 représentent seulement 1,4% des émissions mondiales cumulées sur la même période. En 2005, cette région émettait moins de 3% des émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie. La contribution historique aux émissions cumulées est de 6% pour les PNM et ils émettent encore aujourd'hui près de deux tiers des émissions méditerranéennes.

Sans changements de comportement de la part des acteurs, les différents rythmes de croissance des émissions que connaissent les deux rives de la Méditerranée pourraient conduire les PSEM à émettre près de la moitié des émissions méditerranéennes à l'horizon 2020. La croissance des émissions des PSEM a déjà été supérieure à la croissance mondiale entre 1990 et 2004.

Le défi démographique et de convergence économique Sud / Nord attendu dans les PSEM conduit à une grande responsabilité des politiques d'anticipation et de lutte contre les émissions de GES dans ces pays. Les PNM font eux déjà face à une nécessité légitime de limitation immédiate de leurs émissions. La capacité à générer de la richesse à travers une intensité carbone des économies maîtrisée est un des canaux de transmission au cœur des émissions de GES.

D'un point de vue sectoriel, l'enjeu immédiat se porte dans les PNM sur la question des émissions issues des transports dont le découplage avec la croissance économique apparaît comme un point majeur dans le cadre de la modération des émissions de GES. Ce secteur a été dans les PNM le premier contributeur à la hausse des émissions de CO₂ entre 1990 et 2004.

Les émissions de CO₂ en provenance des PSEM et des pays FEMIP soulignent l'importance de la question des émissions émanant de la production d'électricité. Ces pays font face à une explosion de la demande de ce bien notamment à destination du secteur résidentiel. Globalement, les diverses émissions émanant des bâtiments (construction, cimenteries, électricité, combustion directe d'énergie,...) et ainsi des secteurs résidentiels, commerciaux et institutionnels constituent aujourd'hui le principal enjeu en termes de maîtrise des émissions de GES. Les bâtiments sont un secteur stratégique dès aujourd'hui d'autant plus que ce secteur est par nature soutenu par des investissements de long terme et se situe au carrefour des questions de lutte contre les émissions de GES et d'adaptation au changement climatique. Le secteur des transports (passagers et marchandises) est lui aussi préoccupant dans les pays de la rive Sud au regard de l'anticipation relative à la pression démographique et à la demande de mobilité susceptible d'évoluer et de peser sur les émissions de ce secteur.

Les investissements physiques et humains adéquats et l'évolution et l'application des législations relatives au secteur multidimensionnel des bâtiments ainsi que celui des transports devraient fortement contribuer à contenir les émissions de GES en provenance des PSEM ainsi que des pays FEMIP pour les décennies à venir.

ANNEXES

1. ANNEXE 1 - PAYS, REGIONS ET SOUS-REGIONS UTILISES ET DESIGNES DANS L'ETUDE

Elément complémentaire 1 : Liste des pays, sous régions et régions géographiques utilisés

PAYS et REGIONS	REGION 1	FEMIP	REGION 2	SOUS REGION	NOMBRE DE PAYS
Spain	Med		PNM	UE-Med 7	1
France	Med		PNM	UE-Med 7	1
Italy	Med		PNM	UE-Med 7	1
Slovenia	Med		PNM	UE-Med 7	1
Greece	Med		PNM	UE-Med 7	1
Cyprus	Med		PNM	UE-Med 7	1
Malta	Med		PNM	UE-Med 7	1
Croatia	Med		PNM	PEA	1
Bosnia & Herzegovina	Med		PNM	PEA	1
Serbia & Montenegro	Med		PNM	PEA	1
Albania	Med		PNM	PEA	1
Morocco	Med	FEMIP	PSEM	PRS	1
Algeria	Med	FEMIP	PSEM	PRS	1
Tunisia	Med	FEMIP	PSEM	PRS	1
Libya	Med		PSEM	PRS	1
Egypt	Med	FEMIP	PSEM	PRS	1
Israel	Med	FEMIP	PSEM	PRE	1
Lebanon	Med	FEMIP	PSEM	PRE	1
Syria	Med	FEMIP	PSEM	PRE	1
Turkey	Med		PSEM	PRE	1
Jordan		FEMIP			1
PRS [Pays de la Rive Sud]	Med		PSEM	PRS	5
PRE [Pays de la Rive Est]	Med		PSEM	PRE	4
UE-Med7 [Pays de l'Union Européenne ayant une rive méditerranéenne]	Med		PNM	UE-Med7	7
PEA [Pays de l'Est Adriatique]	Med		PNM	PEA	4
FEMIP [Facilité euro méditerranéenne d'investissement et de partenariat, Turquie non comprise]		FEMIP			8
PSEM [Pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée]	Med		PSEM		9
PNM [Pays du Nord de la Méditerranée]	Med		PNM		11
Méditerranée [Pays ayant une rive méditerranéenne et pour lesquels Caït fournis des données]	Med		Med		20
12NPM-UE27 [Les 12 Pays Membres de l'Union Européenne depuis 2004]	UE27		12NPM-UE27		10 [Bulgaria, Cyprus, the Czech Republic, Estonia, Hungary, Latvia, Lithuania, Malta, Poland, Romania, Slovakia, Slovenia]
UE27 [Union Européenne à 27 pays]	UE27		UE27		27
World	World				

Notes : Données Caït indisponibles pour l'Autorité Palestinienne et données Monaco incluses dans France

2. ANNEXE 2 - SOURCES DES DONNEES

2.1. Partie I.

2.1.1. *Cait "Excel 3.0"*

<http://cait.wri.org/>

2.1.2. *Cait 4.0*

World Resources Institute / Climate Analysis Indicator Tool

<http://cait.wri.org/>

WRI (2005), "CAIT: Greenhouse Gas Sources & Methods".

2.1.3. *Sources secondaires des émissions (utilisées par Cait 4.0) :*

CDIAC Marland, G., T.A. Boden, and R. J. Andres. 2005. "Global, Regional, and National Fossil Fuel CO₂ Emissions." In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. Available online at: http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/emis/meth_reg.htm.

EIA. 2004. *International Energy Annual 2002*. Available online at: <http://www.eia.doe.gov/ica/carbon.html>.

EDGAR 3.2 by RIVM/TNO. 2003. (Olivier, J.G.J. and Berdowski, J.J.M., 2001, Global emission sources and sinks. In: J. Berdowski, R. Guicherit and B.J. Heij, eds. *The Climate System: 33-77*. Lisse: Swets & Zeitlinger Publishers). Available at: <http://arch.rivm.nl/env/int/coredata/edgar/>.

EPA. 2004a. Personal communications based on "Global Non- CO₂ Greenhouse Gas Emissions: 1990 - 2020." (forthcoming 2005). Partial draft data available at: http://www.epa.gov/non_CO2/econ-inv/international.html.

Houghton Houghton, R.A. 2003. "Emissions (and Sinks) of Carbon from Land-Use Change." (Estimates of national sources and sinks of carbon resulting from changes in land use, 1950 to 2000). Report to the World Resources Institute from the Woods Hole Research Center. Available at: <http://cait.wri.org>.

IEA IEA. 2004. *CO₂ Emissions from Fuel Combustion (2004 edition)*. Available online at: http://data.iea.org/ieastore/CO2_main.asp.

2.1.4. *Sources complémentaires*

OME/Plan Bleu (2006).

IEA/WEO (2006).

Agence Européenne de l'Environnement [<http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice>]

IEA (2007).

EIA/IEO (2007).

2.1.5. *Sources pour l'approche de référence des émissions de GES et les émissions historiques de CO₂ par pays méditerranéen (Cait Excel 3.0 et Cait 4.0 ; Partie I.)*

Elément complémentaire 2 : Sources pour l'approche de référence des émissions de GES et les émissions historiques de CO₂ par pays méditerranéen (Cait Excel 3.0 et Cait 4.0 ; Partie I.)

Country	CO ₂ from fossil fuels	CO ₂ from land Use Change & Forestry	Non-CO ₂ Gases (1990, 1995, 2000)	
			CH ₄ & N ₂ O	HFCs, PFCs, SF ₆
Albania	1933-1970 (CDIAC); 1971-2003 (IEA)	1950-2000 (Houghton)	EPA	EPA
Algeria	1916-1970 (CDIAC); 1971-2003 (IEA)	1950-2000 (Houghton)	EPA	EPA
Bosnia & Herzegovina	1916-1970 (CDIAC); 1971-2003 (IEA)	1990-2000 (Houghton)	EDGAR († 2000)	EPA
	Based on WRI estimates prior to 1992 (Yugoslavia).			
Cyprus	1950-1970 (CDIAC); 1971-2003 (IEA)	1950-2000 (Houghton)	EDGAR († 2000)	EPA
Croatia	1885-1970 (CDIAC); 1971-2003 (IEA)	1976-2000 (Houghton)	EPA	EPA
	Based on WRI estimates prior to 1991 (Yugoslavia).			
Egypt	1911-1970 (CDIAC); 1971-2003 (IEA)	1950-2000 (Houghton)	EPA	EPA
France	1850-1959 (CDIAC); 1960-2003 (IEA) Includes Monaco, and excludes overseas departments, including French Polynesia, Guadeloupe, Martinique, and La Réunion. (CDIAC and IEA).	1950-2000 (Houghton)	EPA	EPA Includes Monaco.
Greece	1867-1959 (CDIAC); 1960-2003 (IEA)	1950-2000 (Houghton)	EPA	EPA
Israel	1930-1970 (CDIAC); 1971-2003 (IEA)	1950-2000 (Houghton)	EPA	EPA
Italy	1860-1959 (CDIAC); 1960-2003 (IEA) Includes San Marino and the Vatican (CDIAC and IEA).	1950-2000 (Houghton)	EPA	EPA Includes San Marino.
Lebanon	1931-1970 (CDIAC); 1971-2003 (IEA)	1950-2000 (Houghton)	EDGAR († 2000)	EPA
Libya	1950-1970 (CDIAC); 1971-2003 (IEA)	1950-2000 (Houghton)	EDGAR († 2000)	EPA
Malta	1950-1970 (CDIAC); 1971-2003 (IEA)	1950-2000 (Houghton)	EDGAR († 2000)	EPA
Morocco	1928-1970 (CDIAC); 1971-2003 (IEA)	1950-2000 (Houghton)	EDGAR († 2000)	EPA
Serbia & Montenegro	1885-1970 (CDIAC); 1971-2003 (IEA) Formerly the "Federal Republic of Yugoslavia"; Based on WRI estimates prior to 1988 (Yugoslavia).	1976-2000 (Houghton)	EDGAR († 2000)	EPA
Slovenia	1885-1970 (CDIAC); 1971-2003 (IEA) Based on WRI estimates prior to 1980 (Yugoslavia).	1992-2000 (Houghton)	EPA	EPA
Spain	1850-1959 (CDIAC); 1960-2003 (IEA) Includes the Canary Islands.	1950-2000 (Houghton)	EPA	EPA
Syria	1931-1970 (CDIAC); 1971-2003 (IEA)	1950-2000 (Houghton)	EDGAR († 2000)	EPA
Tunisia	1916-1970 (CDIAC); 1971-2003 (IEA)	1950-2000 (Houghton)	EDGAR († 2000)	EPA
Turkey	1865-1959 (CDIAC); 1960-2003 (IEA)	1950-2000 (Houghton)	EPA	EPA

Note : [†] Estimation WRI

2.1.6. Approche sectorielle et sources des émissions de GES ; [Cait 4.0]

[WRI (2005b), p. 15]

Elément complémentaire 3 : Sources pour l'approche de référence des émissions de GES et les émissions historiques de CO₂ par pays méditerranéen (Cait Excel 3.0 et Cait 4.0 ; Partie I.)

Table 3. Summary of CAIT Sector Data				
CAIT Sector Category	CAIT Sector Contents	IPCC Category	Gas	Data Source (years)
<u>Energy</u>		1		
Electricity & Heat ¹	Electricity & heat plants (fossil fuels)			
	- Public plants (electricity, heat, CHP)	1 A 1 a	CO ₂	IEA (1980 to 2002)
	- Autoproducers (electricity, heat, CHP)	1 A	CO ₂	IEA (1980 to 2002)
	Other Energy Industries (fossil fuels)	1 A 1 b,c	CO ₂	IEA (1980 to 2002)
Manufacturing & Const.	Manufacturing & Const. (fossil fuels)	1 A 2	CO ₂	IEA (1980 to 2002)
Transportation	Transportation (fossil fuels)	1 A 3	CO ₂	IEA (1980 to 2002)
Other Fuel Combustion ²	Other Sectors (fossil fuels)	1 A 4	CO ₂	IEA (1980 to 2002)
	Biomass Combustion	1 A 5	CH ₄ , N ₂ O	EPA (90, 95, 2000)
	Stationary and Mobile Sources	1 A 5	CH ₄ , N ₂ O	EPA (90, 95, 2000)
Fugitive Emissions	Gas Venting/Flaring	1 B 2c	CO ₂	EIA (1980 to 2002)
	Oil & Natural Gas Systems	1 B 2	CH ₄ , N ₂ O	EPA (90, 95, 2000)
	Coal Mining	1 B 1	CH ₄ , N ₂ O	EPA (90, 95, 2000)
<u>Industrial Processes</u>	Cement	2 A 1	CO ₂	CDIAC (1980 to 2002)
	Adipic and Nitric Acid Production	2 B 2,3	N ₂ O	EPA (90, 95, 2000)
	Other Industrial non-Agriculture	2	CH ₄ , N ₂ O	EPA (90, 95, 2000)
	All Fluorinated Gases	2	HFCs, PFCs, SF ₆	EPA (90, 95, 2000)
<u>Agriculture</u> ³	Enteric Fermentation (Livestock)	4 A	CH ₄	EPA (90, 95, 2000)
	Livestock Manure Management	4 B	CH ₄ , N ₂ O	EPA (90, 95, 2000)
	Rice Cultivation	4 C	CH ₄	EPA (90, 95, 2000)
	Agricultural Soils	4 D	N ₂ O	EPA (90, 95, 2000)
	Other Agricultural Sources	4	CH ₄ , N ₂ O	EPA (90, 95, 2000)
<u>Land Use Change & Forestry</u>	All	5	CO ₂	Houghton (1950-2000)
<u>Waste</u>	Landfills (Solid Waste)	6 A	CH ₄	EPA (90, 95, 2000)
	Wastewater Treatment	6 B	CH ₄	EPA (90, 95, 2000)
	Human Sewage	6 B	N ₂ O	EPA (90, 95, 2000)
	Other	6 D	CH ₄ , N ₂ O	EPA (90, 95, 2000)
<u>International Bunkers</u>	Aviation Bunkers	1 A 3a <i>i</i>	CO ₂	IEA (1980 to 2002)
	Marine Bunkers	1 A 3d <i>i</i>	CO ₂	IEA (1980 to 2002)
Sources: IPCC, 1996b; IEA, 2004a; CAIT-UNFCCC. Notes: ¹ Refers mainly, but not exclusively to electricity and heat (including CHP) produced by entities whose primary activity is to supply the public. Here, this category also includes <i>autoproducers</i> and <i>other energy industries</i> . <i>Autoproducers</i> generate electricity, wholly or partly for their own use as an activity which supports their primary activity. They may be privately or publicly owned. Ideally these emissions should be allocated to the sector for which the electricity and/or heat was generated. CO ₂ and energy statistics from the IEA do not allow for this. <i>Other energy industries</i> refer to emissions from fuel combusted in association with production and processing (for example, petroleum refineries) of fossil fuels, and is thus not strictly electricity or heat (IEA, 2004a). ² Emissions from fuel combustion in (1) commercial and institutional buildings, (2) residential buildings, (3) agriculture, forestry, or domestic inland, coastal and deep-sea fishing, and (4) remaining non-specified emissions (IEA, 2004a). ³ Consistent with IPCC Source/Sink categories, CO ₂ associated with fuel combustion in the agricultural sector is included under the Energy, not Agriculture Sector.				

Note : La dernière année disponible pour Cait 4.0 est 2003, bien que ce tableau affiche 2002.

2.2. Partie II. et III.

2.2.1. Cait 5.0

World Resources Institute / Climate Analysis Indicator Tool

<http://cait.wri.org/>

WRI (2007b), "CAIT: Greenhouse Gas Sources & Methods". Version 2007. Disponible à l'adresse Internet: http://cait.wri.org/downloads/cait_ghgs.pdf

2.2.2. Sources secondaires des émissions (utilisées par Cait 5.0 et dans les parties II. et III.)

CDIAC Marland, G., T.A. Boden, and R. J. Andres. 2007. "Global, Regional, and National Fossil Fuel CO₂ Emissions." In Trends: A Compendium

EIA 2007. International Energy Annual 2005. Available online at: <http://www.eia.doe.gov/iea/carbon.html>.

IEA 2006. CO₂ Emissions from Fuel Combustion (2006 edition). Available online at: http://data.iea.org/ieastore/CO2_main.asp.

of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. Available online at: http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/emis/meth_reg.htm.

2.2.3. Principales Sources des données autres que les émissions de GES de la Partie 2

WRI (2007a), "CAIT: Indicator Framework Paper."

http://cait.wri.org/downloads/framework_paper.pdf

2.2.4. Autres sources

USGS (2007). Disponible à l'adresse : <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>

EUROSTAT Programme MEDSTAT II.

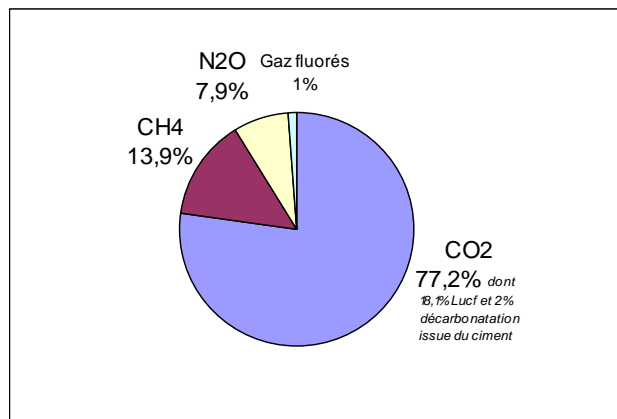
2.2.5. Approche sectorielle et sources des émissions de GES et correspondance avec le cadre des émissions du GIEC ; [Cait 5.0] (Élément complémentaire : 4)

WRI (2007b), "CAIT: Greenhouse Gas Sources & Methods", p. 15.

http://cait.wri.org/downloads/cait_ghgs.pdf

3. ANNEXE 3 - REPARTITION PAR GAZ DES EMISSIONS DE GES EN 2000, APPROCHE DE REFERENCE

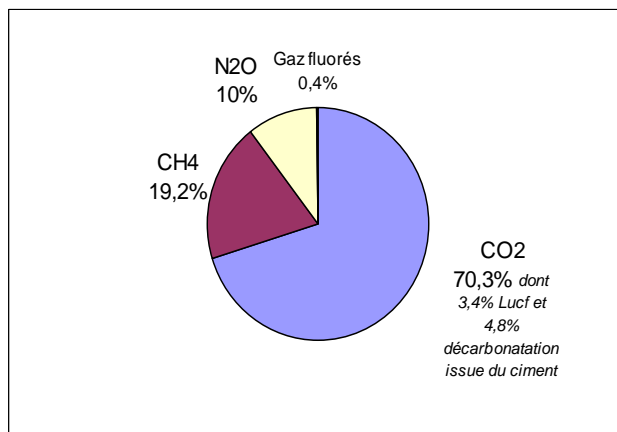
Elément complémentaire 5 : Répartition par gaz des émissions mondiales de GES en 2000, total 42 Mds de Te CO₂



Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données pour l'année 2000 du WRI Caït 4.0.

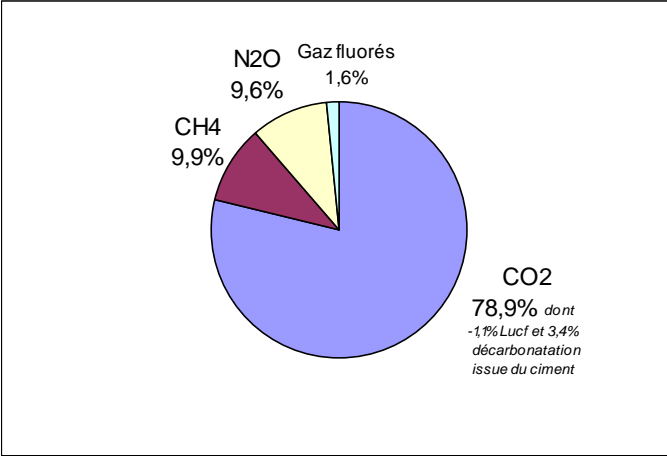
Notes : Pourcentages relatifs aux émissions de gaz à effet de serre anthropiques normalisées en équivalent CO₂ (pouvoir de réchauffement planétaire pour 100 ans, recommandations du GIEC[1996]). Estimations Plan Bleu à partir des données agrégées de l'an 2000 fournies par l'interface en ligne WRI CAIT. Les données sont issues d'une approche de référence (notamment pour les gaz non CO₂). Les émissions issues du changement dans l'utilisation des sols et forêts (Houghton, 2003) sont incluses, avec réserve sur l'incertitude d'estimation. Les réservoirs internationaux de carburants sont aussi incorporés dans les données présentées.

Elément complémentaire 6 : Répartition par gaz des émissions de GES des PSEM en 2000, total 1,02 Mds de Te CO₂



Source et notes : Identique à l'élément complémentaire 1

Elément complémentaire 7 : Répartition par gaz des émissions de GES des PNM en 2000, total 1,76 Mds de Te CO₂



Source et notes : Identique à l'élément complémentaire 1

4. ANNEXE 4 - NIVEAUX EN 2004 DES VARIABLES ISSUES DE LA DECOMPOSITION DE LA VARIATION DES EMISSIONS PAR PAYS ET REGIONS (PARTIE II)

Elément complémentaire 8 : Niveau en 2004 des variables issues de la décomposition de la variation des émissions (Partie II), pays et régions.

Pays et régions	Emissions de CO ₂ liées à l'énergie en 2004, millions TCO ₂	Richesse par habitant (PPA) en 2004, K\$ internationaux 2000	Population 2004, Khabitants	Intensité énergétique de l'économie en 2004, Kép par K\$ 2000 en PPA	Mix énergétique (CO ₂ /E) en 2004, KCO ₂ par Kép
Albanie	4,8	4,5	3 112	169	2,0
Algérie	84,5	6,1	32 358	168	2,6
Bosnie-Herzégovine	16,3	6,4	3 909	188	3,5
Chypre	6,9	20,2	740	175	2,6
Croatie	20,6	11,1	4 443	178	2,3
Egypte	142,0	3,7	72 642	209	2,5
Espagne	329,8	23,8	42 692	140	2,3
France	386,9	26,9	60 521	169	1,4
Grèce	93,9	20,1	11 062	137	3,1
Israël	62,3	22,3	6 804	137	3,0
Italie	462,3	25,6	58 175	124	2,5
Jordanie	16,7	4,7	5 350	260	2,6
Liban	15,3	5,0	3 540	307	2,8
Libye	45,1	6,1	5 740	520	2,5
Malte	2,5	16,8	401	135	2,8
Maroc	35,5	4,0	29 824	95	3,1
Serbie-Monténégro	53,0	3,0	8 085	741	3,0
Slovenie	15,6	19,1	1 997	188	2,2
Syrie	48,2	3,3	18 582	300	2,6
Tunisie	20,5	7,2	9 932	121	2,4
Turquie	209,5	7,1	71 150	163	2,6
UE-Med7	1 297,9	25,1	175 588	146	2,0
PEA	94,7	5,8	19 549	299	2,8
PRE	335,3	7,3	100 076	173	2,7
PRS	327,6	4,6	150 496	184	2,6
FEMIP	425,0	5,1	179 032	176	2,6
PSEM	662,9	5,7	250 572	178	2,6
PNM	1 392,6	23,2	195 137	150	2,1
Méditerranée	2 055,5	13,4	445 709	156	2,2
12NPM-UE27	707,8	11,8	103 580	219	2,6
UE27	4 034,0	23,3	487 903	159	2,2
Monde	28 227,5	8,2	6 361 888	212	2,6

Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Caït 5.0

5. ANNEXE 5 - EMISSIONS SECTORIELLES DE CO₂ PAR PAYS ET REGIONS EN 2004, NIVEAUX ET VARIATIONS 1990-2004 (PARTIE III)

Elément complémentaire 9 : Emissions sectorielles de CO₂ (énergie et ciment) par pays et régions en 2004, niveaux et variations 1990-2004.

Pays et Régions	Emissions de CO ₂ issu de l'utilisation d'énergie										Complément sur les émissions de CO ₂ émises lors du processus industriel du ciment (décarbonation), millions de TCO ₂ en 2004 et variation 1990-2004 [%]	
	Emissions du secteur électricité et chauffage en 2004 [millions de TCO ₂] et taux de variation 1990-2004 [%]		Emissions du secteur des transports en 2004 [millions de TCO ₂] et taux de variation 1990-2004 [%]		Emissions du secteur industrie et construction en 2004 [millions de TCO ₂] et taux de variation 1990-2004 [%]		Emissions du secteur "Autre combustion de carburant" en 2004 [millions de TCO ₂] et taux de variation 1990-2004 [%]		Emissions fugaces en 2004 [millions de TCO ₂] et taux de variation 1990-2004 [%]			
Albania	0,3	-61	2	228	0,8	-72	1,5	-29			0,3	-24
Algeria	34,1	40	16	39	10,2	31	17,1	59	6,6	-52	4,50	42
Bosnia & Herzegovina	8,6	-51	2	-50	2,2	-63	3,3	-40			0,50	268
Croatia	7,2	27 (1991)	6	82 (1991)	4,1	-6 (1991)	3,8	34 (1991)			1,90	35
Cyprus	3,2	86	2	44	1,8	129	0,2	33 (1991)			0,80	49 (1992)
Egypt	57,5	123	32	103	36,8	30	14,2	52	1,5	-33	14,30	104
France	68,3	7	136	19	83,1	4	99,8	3			10,40	-21
Greece	49,3	34	22	41	9,4	-10	13,5	66			7,50	11
Israel	4,12	111	10	48	1,9	-55	9,5	189			2,20	57
Italy	174,7	23	120	24	85,3	2	82,2	9			22,90	15
Jordan	6,7	90	4	63	2,6	97	3,1	81			1,90	114
Lebanon	5,7	108	4	114	3,4	966	2,2	50			1,50	246 (1991)
Libya	24,1	48	11	82	5,6	56	2,6	102	1,6	-82	1,80	34
Malta	1,9	8	1	13			0,1	44				
Morocco	14,9	89	2	54	5,2	30	13,7	108			5,50	162
Serbia & Montenegro	32,4	-33	6	-12	9,8	-7	4,4	-63			1,10	-17
Slovenia	6,1	15	4	54	2,7	-1	2,7	51			0,60	-14
Spain	120,0	56	107	67	66,1	45	36,8	78			23,20	66
Syria	20,0	157	13	37	10,9	70	3,9	-47	0,5	-45	2,40	35 (1991)
Tunisia	7,1	80	4	77	4,1	24	4,1	77	0,8	0 (1993)	3,20	93
Turkey	79,2	101	37	29	55,6	66	38,1	39			19,30	58
UE-Med7	423,5	29	391	33	248,4	11	235,3	16			65,40	19
PEA	48,5	-19 (1991)	16	7	16,9	-28	13	-42			3,80	17
PRE	146,1	110	63	37	71,8	61	53,7	36	0,5	-45	25,40	61
PRS	137,7	76	66	76	61,9	32	51,7	71	10,5	-59	29,30	92
FEMIP	187,2	96	85	65	75,1	35	67,8	58	9,4	-46	35,50	93
PSEM	283,8	92	129	55	133,7	46	105,4	51	11	-58	54,70	76
PNM	472,0	20 (1991)	407	31	265,3	7	248,3	10			69,20	19
Med	755,8	38 (1991)	536	36	399	18	353,7	20	11	-58	123,90	39
NPM-UE	382,4	-19	102	61	120,3	-41	103,4	-31			17,80	-23
UE27	1654,8	0	948	26	682,6	-16	743,3	-6	5,7	1036	120,10	1
World	13293,0	64	5589	44	5499,3	14	3684,1	10	161,8	-9	1091,90	90

Source : Calculs et mise en forme Plan Bleu d'après les données du WRI Cait 5.0

Note : L'année de référence pour le taux de variation est précisée entre parenthèse dans la case correspondante si celle-ci n'est pas 1990.

BIBLIOGRAPHIE

- Ahmad (2003), "A Framework For Estimating Carbon Dioxide Emissions Embodied in International Trade of Goods." OECD, Paris. Disponible à l'adresse: <http://www.oecd.org/doc/M00042000/M00042108.doc>.
- Ang, B.W. & F.L. Liu (2001), "A New Energy Decomposition Method: Perfect in Decomposition and Consistent in Aggregation.", *Energy* 26: 537-548.
- Caisse des Dépôts et Consignations (2007), « Croître sans réchauffer ? », Mission Climat, Note d'étude N°10 (janvier 2007). Disponible à l'adresse : http://www.caissedesdepots.fr/IMG/pdf_2007-01_MC_Croissance_et_CO2.pdf
- EIA (2007), "International Energy Outlook". Version 2007. Washington, DC. Disponible à l'adresse: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/>
- European Environment Agency (2007a), Annual European Community greenhouse gas inventory 1990–2005 and inventory report 2007, Technical report No 7/2007. Disponible à l'adresse: http://reports.eea.europa.eu/technical_report_2007_7/en
- European Environment Agency (2007b), "Europe's environment; the fourth assessment", State of the environment report No 1/2007, pp. 146-175 et pp.322-339. Disponible à l'adresse: http://reports.eea.europa.eu/state_of_environment_report_2007_1/en
- Eurostat (2006), « Les émissions de polluants atmosphériques dans les pays partenaires méditerranéens », Statistiques en bref, thème Environnement et énergie, n° 9/2006. Disponible à l'adresse : <http://www.ec.europa.eu/eurostat>
- GIEC (2007), Bilan 2007 des changements climatiques - Les éléments scientifiques physiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z.Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Citation disponible en français [p.106] à l'adresse : <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-faqs-fr.pdf>
- Houghton (2003), "Emissions (and Sinks) of Carbon from Land-Use Change." Report to the World Resources Institute from the Woods Hole Research Center. Disponible à l'adresse: <http://cait.wri.org>.
- IEA (2006), "World Energy Outlook 2006". Paris: OECD/IEA
- IEA (2007), "CO₂ emissions from fuel combustion". Version 2007.Paris.
- IPCC (1996), "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories", Reference Manual (Vol. 3, chapitre Energie). Disponible à l'adresse : <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6a.htm>
- OME/Plan Bleu (2006), "Energy prospects in the mediterranean region up to 2020 », Etude dans le cadre du suivi de la SMDD. Disponible à l'adresse : http://www.planbleu.org/themes/atelier_energie_monaco.html
- Plan Bleu (2005), Méditerranée : Les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et développement, G. Benoit & A. Comeau (dir.), Edition de l'Aube.
- Stern N. (2006), "The Economics of Climate Change", The Stern Review. Cambridge: Cambridge University Press. Partie III, Chapitre 7. Disponible à l'adresse : http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm
- UNEP/MAP/Blue Plan (2007), "Energy and sustainable development in the Mediterranean: Proceedings of the Regional Workshop, Monaco, 29-30 March 2007", MAP Technical Reports N°167. Disponible à l'adresse : http://www.planbleu.org/publications/publications_recentesUk.html
- USGS (US Geological Survey) (Années 1997 à 2006), "Mineral Commodity Summaries". Disponibles à l'adresse: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>
- WRI, Baumert K, Herzog T., Pershing J., (2005a), « Navigating the Numbers, Greenhouse Gas Data and International Climate Policy ». Disponible à l'adresse : <http://www.wri.org/publication/navigating-the-numbers>
- WRI (2005b), "CAIT: Greenhouse Gas Sources & Methods". Version 2005.
- WRI (2007a), "CAIT: Indicator Framework Paper."
- WRI (2007b), "CAIT: Greenhouse Gas Sources & Methods". Version 2007. Disponible à l'adresse Internet: http://cait.wri.org/downloads/cait_ghgs.pdf

PARTIE 2

Atténuation des effets du changement climatique : vers un secteur énergétique faible en carbone

CHAPITRE 4

Energie en Méditerranée : Situation et perspectives

CHAPITRE 5

*Simulation économique de stratégies énergétiques dans les
Pays de la rive sud de la Méditerranée : Egypte, Maroc,
Tunisie*

CHAPITRE 6

*Énergies renouvelables et utilisation rationnelle de l'énergie
dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée : situation
et perspectives*

CHAPITRE 7

Coût d'un scénario moins émetteur en gaz à effet de serre
A. En Tunisie
B. En Egypte

CHAPITRE 8

*Le défi du secteur de l'électricité, les émissions de CO₂ liées et
les solutions potentielles*

INTRODUCTION

Cette partie a pour objectif d'identifier et d'analyser les options possibles pour se diriger vers un scénario énergétique moins émetteur de CO₂.

Le chapitre 4 analyse les caractéristiques structurelles du système énergétique méditerranéen, les tendances énergétiques passées et futures possibles. L'analyse des principaux indicateurs permet de fournir une réponse à la question : le développement énergétique de la région est-il durable et quels sont les risques associés ?

Le chapitre 5 simule, selon une approche économique, des stratégies énergétiques plus diversifiées en faveur des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. A partir de simulations pour trois pays de la région, un « coût de la non action » dans le domaine de l'énergie est estimé pour l'ensemble des pays de la rive Sud et Est (PSEM), permettant de répondre à la question : Investir aujourd'hui dans l'efficacité énergétique (EE) et les énergies renouvelables (ER) présente-il des avantages économiques réels à l'horizon 2015 ?

Le chapitre 6 analyse la mise en œuvre concrète observée d'actions dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique dans les PSEM. En passant en revue les actions réussies et les obstacles rencontrés dans les pays, ce chapitre répond à la question : comment développer un marché des ER et de l'EE à grande échelle dans la région ?

Les deux analyses de cas du chapitre 7, sur l'Egypte et la Tunisie, permettent de détailler plus précisément les efforts des pays en matière de réduction des émissions issues de l'utilisation d'énergie et d'identifier les investissements nécessaires pour se diriger vers un scénario alternatif. L'objectif final de ces études est de répondre à la question : quel est le coût d'un scénario alternatif ?

Enfin, le chapitre 8 analyse en détail le secteur de la production d'électricité à partir de combustibles fossiles qui est l'un des principaux émetteur de CO₂. Il vise à identifier et chiffrer les actions possibles de réduction des émissions et leurs coûts.

CHAPITRE 4

Energie en Méditerranée : Situation et perspectives

Houda ALLAL, Habib ELANDALOUSSI, Thomas NIESOR
Observatoire Méditerranéen de l'énergie

TABLE DES MATIERES

MESSAGES CLES	7
INTRODUCTION	8
I. ENERGIE PRIMAIRE EN MEDITERRANEE : UNE DEMANDE CROISSANTE DEPENDANTE PRINCIPALEMENT DES HYDROCARBURES	10
1. Une demande à forte croissance, notamment dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM)	11
2. Tendances démographiques et économiques: principaux vecteurs de la demande d'énergie	13
3. Approvisionnement en énergie dans la région	15
4. Demande d'énergie primaire par source en Méditerranée : Domination des hydrocarbures et pénétration du gaz	17
II. CROISSANCE SPECTACULAIRE DE LA DEMANDE D'ELECTRICITE	22
III. CONSOMMATION FINALE TOTALE PAR SECTEUR : IMPORTANCE DES TRANSPORTS AU NORD ET DU RESIDENTIE/INDUSTRIE AU SUD	24
IV. RISQUES ET IMPACTS DE L'EVOLUTION DU SYSTEME ENERGETIQUE	26
1. Emissions de CO ₂ dues à la consommation d'énergie : D'ici 2025, plus que le double par rapport à 1990	26
2. L'enjeu de la dépendance énergétique	28
3. Accroissement de la vulnérabilité énergétique et risques socio-environnementaux	32
V. CEPENDANT, UN DEVELOPPEMENT ENERGETIQUE DURABLE ET MOINS EMETTEUR DE CARBONE EST ENCORE POSSIBLE EN MEDITERRANEE	34
1. Scénario alternatif du Plan Bleu	34
2. Actions pour changer de scénarios : proposition de la SMDD	35
VI. CONCLUSION	36

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 - Demande d'énergie primaire	12
Figure 2 - Production d'énergie primaire (en Mtep).....	16
Figure 3 - Tendances de la consommation primaire d'énergie en Méditerranée (par source)	18
Figure 5 - Pénétration du gaz naturel dans les PSEM et les PNM (en Mtep & en %)	20
Figure 6 - Méditerranée: Tendances de certains paramètres retenus (1970 = index 100)	22
Figure 8 - Consommation finale totale des PNM (par secteur).....	25
Figure 9 - Consommation finale totale des PSEM (par secteur)	25
Figure 10 - Activités émettrices de CO ₂ , PNM - PSEM, scénario de référence 1971-2025.....	27
Figure 11 - Emissions de CO ₂ par habitant (en kg CO ₂).....	28
Figure 12 - Dépendance énergétique globale des pays méditerranéens importateurs.....	29
Figure 13 - Dépendance vis à vis du pétrole et du gaz naturel des pays méditerranéens importateurs	29
Figure 14 - Economie d'énergie selon le scénario alternatif du Plan Bleu, 2000-2025	34
Tableau 1 - La Méditerranée par rapport au Monde	10
Tableau 2 - Evolutions de la consommation d'énergie primaire	13
Tableau 3 - Consommation d'énergie primaire par habitant (en kep/hab.)	13
Tableau 4 - Tendances démographiques dans les pays méditerranéens (1971-2025).....	14
Tableau 5 - Taux de croissance du PIB (%).....	14
Tableau 6 - PIB par habitant dans les pays méditerranéens (1971-2025).....	15
Tableau 7 - Importations nettes en Méditerranée (en Mtep)	16
Tableau 8 - Dépendance des importations d'énergie 2006 (en %).....	17
Tableau 9 - Consommation d'énergie primaire par Source & par Région	21
Tableau 10 - Consommation d'électricité par habitant (en kWh/hab.).....	23
Tableau 11 - Emissions totales de CO ₂ dues à la consommation d'énergie (en Mt CO ₂).....	27
Tableau 12 - Emissions de CO ₂ par habitant (en kg CO ₂ /hab.)	28
Tableau 13 - Quantités de pétrole importées par Origine en 2005 (en Mt).....	30
Tableau 14 - Volumes de gaz naturel importés par pays d'origine en 2006 (en Milliards de mètres cube).....	30
Tableau 15 - Volumes d'électricité échangés via interconnexion en 2006 (GWh)	31

MESSAGES CLES

L'extension et la mise à jour du scénario tendanciel de l'OME (2007), basé sur l'agrégation des évolutions estimées par les pays et les grandes compagnies énergétiques, montre que, la demande d'énergie primaire dans le bassin méditerranéen sera multipliée par 1,5 entre 2006 et 2025. Sur la même période, les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM) pourraient connaître des taux de croissance de leur demande énergétique quatre fois plus élevés que dans les pays du Nord de la Méditerranée (PNM). Entre 2006 et 2025, la demande d'énergie primaire dans les PSEM, qui sont en plein développement et dont la population augmente sensiblement, pourrait ainsi être multipliée par 2,2. Les PSEM représenteraient alors 42% de la demande d'énergie totale du bassin méditerranéen contre 29% en 2006, le reste étant absorbé par les pays de la rive Nord (PNM).

En 2006, la Turquie a absorbé 34% de la consommation d'énergie primaire des PSEM, ce qui en fait le plus gros consommateur d'énergie de la sous-région. L'Egypte se place deuxième, en représentant 23% de la consommation des PSEM. A l'horizon 2025, la Turquie pourrait accentuer son poids (devenant le second plus gros consommateur du bassin) en consommant 43% de la demande d'énergie primaire des PSEM.

La demande énergétique se caractérise par une croissance spectaculaire de la demande d'électricité beaucoup plus rapide que celle du PIB, de la consommation d'énergie primaire ou de la population, en particulier dans les PSEM. Pour ce groupe de pays, elle pourrait être multipliée par 2,6 entre 2006 et 2025, notamment du fait d'un triplement des consommations en Turquie, Tunisie et Algérie et un doublement en Egypte et au Maroc. Le développement attendu du secteur industriel, l'amélioration de l'accès à l'électricité et la hausse des niveaux de vie (directement liée à la consommation du résidentiel) sont la source de ces augmentations fulgurantes de consommation.

En 2006, les énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon) dominent l'approvisionnement énergétique à 80% pour l'ensemble des pays méditerranéens et à 94% pour les seuls PSEM (75% pour les PNM). Quatre pays sont exportateurs d'hydrocarbures (Algérie, Libye, Egypte, Syrie) et fournissent en 2005 22% et 35% des importations de pétrole et de gaz de l'ensemble du bassin méditerranéen. Tous les autres pays sont importateurs nets d'énergie. D'ici à 2025, selon le scénario tendanciel de l'OME, le poids des énergies fossiles devrait se maintenir à des niveaux équivalents. Le gaz naturel prendra de plus en plus d'importance et sera disponible dans tous les pays d'ici à 2009 ; il pourrait atteindre 37% de la demande en énergie primaire en 2025 dans les PSEM. Le charbon résiste, en particulier pour la production d'électricité. La part des énergies renouvelables (biomasse non compris et hydraulique inclus) resterait limitée et passerait de 2,8% de l'énergie primaire à 3% dans les PSEM (de 3 à 4,2% dans les PNM). Pour les seules énergies renouvelables éoliennes, solaires et géothermiques ce chiffre est de 0,8% dans les PSEM (0,9% dans les PNM).

La demande finale par secteur montre que dans les PNM le transport a enregistré la plus forte croissance de consommation depuis 30 ans pour représenter 32% en 2005. Dans les pays du Sud, tous les secteurs augmentent fortement leur consommation et l'industrie et le résidentiel sont les plus gros consommateurs en 2005 (36 et 27%).

Un tel scénario tendanciel annonce une croissance des risques et des impacts :

- Les émissions de CO₂ issues de la consommation d'énergie devraient augmenter, entre 2006 et 2025 de 55% dans les PNM et de 119% dans les PSEM. Au final, en 2025, les PSEM pourrait émettre presque autant que les PNM (47% des émissions de CO₂ du bassin) en valeur absolue contre 33% en 2006. Ils émettraient cependant en tonne par habitant 56% moins que les PNM en 2025.
- La dépendance énergétique des pays importateurs pourrait s'accroître sensiblement et plus rapidement pour les PSEM importateurs (passant de 77% en 2006 à 88% en 2025) que pour les PNM (passant de 68% à 73% sur la même période).
- Les risques sociaux et économiques liés à la hausse des coûts d'approvisionnement et ses répercussions sur la facture énergétique des pays, des ménages et des entreprises sont déjà fortement ressentis dans le contexte actuel de hausse généralisée du prix des hydrocarbures et de la volatilité des cours.

La prise de conscience de l'importance de desserrer les contraintes énergétiques et de l'évidence des liens entre environnement et développement en Méditerranée est grandissante. Elle s'est notamment concrétisée au Nord par l'adoption de mesures drastiques pour le développement de l'efficacité énergétique, des énergies renouvelables et la réduction des émissions de gaz à effet de Serre. A l'échelle de la région, et au niveau politique l'adoption en novembre 2005, de la «Stratégie Méditerranéenne pour le Développement Durable» (SMDD) par les 21 pays et territoires signataires de la Convention de Barcelone pour la protection de la Mer Méditerranée constitue un signal fort. De même, plusieurs projets régionaux sont en cours dans différents domaines (maîtrise de l'énergie, énergies renouvelables ...). Par ailleurs, au niveau national plusieurs PSEM s'orientent également vers une plus grande sobriété énergétique.

Plusieurs options existent donc pour à la fois réduire les émissions de CO₂, faire en sorte que la demande de services attendue de l'énergie soit satisfaite et sécuriser les approvisionnements.

Ces options, leurs faisabilités dans les PSEM, leurs bénéfices et leur coût sont analysées tout au long des parties 2 et 3 de ce rapport.

INTRODUCTION

Contexte et objectifs

Globalement, les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM) font face à une croissance démographique rapide, associée à des revenus relativement faibles, ainsi qu'à un rythme d'urbanisation accéléré, outre des besoins importants de développement socio-économique. Ceci se traduit par une nouvelle demande croissante en termes de services énergétiques et d'infrastructures y afférentes. En effet, dans tous les PSEM, la demande énergétique (l'électricité, en particulier) ne cesse de s'accroître. En revanche, les PNM sont caractérisés par des économies matures. Ceci est illustré par des transformations sectorielles de leurs économies vers le secteur des services et une saturation de certaines demandes énergétiques et services.

Bien qu'ils soient groupés autour d'une mer partagée, les pays méditerranéens sont caractérisés par quelques différences importantes, entre les rives Nord et Sud-Est. Quatre pays sont exportateurs d'hydrocarbures (Algérie, Egypte, Libye et Syrie); tous les autres sont importateurs (dont la Tunisie, petit producteur). Les pays du Nord représentent les deux tiers de l'utilisation d'énergie au niveau du bassin. Ils cherchent à diversifier leur approvisionnement énergétique tout en essayant de réduire leurs impacts environnementaux et de réaliser leurs objectifs dans le cadre du Protocole de Kyoto de réduction des émissions de gaz à effet de serre. S'agissant des pays du Sud, le défi principal est de répondre aux besoins énergétiques à croissance rapide, tout en minimisant les impacts sur l'environnement (tant globaux que locaux), gagnant davantage de compétitivité, et assurant la sécurité énergétique dans une perspective macro-économique et sociale.

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude est d'analyser la manière dont la demande croissante dans la région méditerranéenne serait abordée, d'évaluer les impacts d'un tel développement et de faire le point sur les réflexions/ actions visant à améliorer la durabilité et l'intensité de carbone du secteur de l'énergie.

Sources d'information

Ce chapitre est basé sur une mise à jour et une analyse poussée de l'étude prospective déjà réalisée par l'OME en 2005 et 2007 en collaboration avec et dans le cadre des activités du Plan Bleu. Des informations supplémentaires ont été recueillies auprès des membres de l'OME et des organismes internationaux, ainsi que puisées dans la littérature. Un questionnaire a été distribué, par le biais des compagnies nationales (membres de l'OME). Les données des prévisions des grandes compagnies énergétiques dans la région que l'OME a rassemblées à travers ce questionnaire, ont été agrégées et ont fourni les entrées de cette analyse du dénommé 'scénario tendanciel'. On notera qu'un travail exhaustif est en train d'être effectué par l'OME en vue de la mise au point d'un modèle de projection pour la région méditerranéenne qui fournira des scénarios internes.

Contenu du chapitre

Telle que définie dans ce chapitre, la Méditerranée est divisée en deux sous-régions: les Pays du Sud et l'Est de la Méditerranée (PSEM) et les Pays du Nord de la Méditerranée (PNM). Les PSEM comprennent, pour l'Est, la Turquie, Israël, la Palestine, la Syrie et le Liban et, pour le Sud, l'Egypte, la Libye, la Tunisie, l'Algérie et le Maroc. Quant aux PNM, ils comprennent l'Espagne, la France, l'Italie, la Grèce, Chypre, Malte, Monaco, l'Albanie, la Slovénie, la Croatie, la Serbie, et la Bosnie-Herzégovine (les cinq derniers constituant les Pays de l'Adriatique Est (PAE)).

Le chapitre est constitué de trois parties principales :

- La première partie analyse les principales tendances de la demande d'énergie dans la région méditerranéenne, en ce qui concerne à la fois la demande d'énergie primaire, d'électricité et la demande d'énergie finale ;
- La deuxième partie analyse quelques défis relatifs aux principales tendances, notamment les questions de dépendance et d'émissions de CO₂ ;
- Enfin, la dernière partie rappelle que les options sont disponibles pour éviter des tendances non durables et que plusieurs initiatives existent à cet effet.

I. ENERGIE PRIMAIRE EN MEDITERRANEE : UNE DEMANDE CROISSANTE DEPENDANTE PRINCIPALEMENT DES HYDROCARBURES

La région méditerranéenne représente 7,2% de la population mondiale, 9% de la consommation totale en énergie primaire (CEP), 10% de la consommation d'électricité et 8% des émissions de CO₂. La consommation d'énergie primaire par habitant dans la Méditerranée est légèrement plus élevée (+16%, 2100 contre 1800 tep/hab.) que la moyenne mondiale, alors que la consommation d'électricité par habitant est de 1,5 fois supérieure à la moyenne mondiale (3900 kWh/hab., contre 2596 kWh/hab.). Pour ce qui concerne les paramètres d'émissions de CO₂, les pays méditerranéens se situent au même niveau que la moyenne mondiale de CO₂ par habitant et de CO₂ par tep de la consommation d'énergie primaire (4,6 t CO₂/hab., contre 4,2 t CO₂/hab. dans le monde ; et 2,2 t CO₂/tep, contre 2,4 t CO₂/tep dans le monde) (Tableau 1).

Comparée à celle des pays industrialisés (tels les pays de l'OCDE), la consommation méditerranéenne d'énergie par habitant se situe à environ la moitié de leurs niveaux (2,1 tep/hab., contre 4-4,7 tep/hab. à l'OCDE). La même proportion pour ce qui concerne la consommation d'électricité par habitant est valable (3900 kWh/hab., contre 8200 kWh/hab.). Quant aux émissions de CO₂ dues à la consommation d'énergie primaire, la Méditerranée émet un niveau à peu près identique de CO₂ par tep (2,19 CO₂/tep, contre 2,34 CO₂/tep). Le niveau par habitant des émissions de CO₂, cependant, est plus faible (4,6 t CO₂/hab., contre 11,1 t CO₂/tep pour les pays de l'OCDE).

Tableau 1 - La Méditerranée par rapport au Monde

		MONDE	MED	% Med/Monde
Population	<i>million</i>	6432	461	7,2%
PIB	<i>Mds\$2000</i>	36281	4269	11,8%
PIB (ppa)	<i>Mds\$2000</i>	54618	6250	11,4%
Prod. Énerg.	<i>Mtep</i>	11468	643	5,6%
Importations nettes	<i>Mtep</i>	4476	576	12,9%
CEP	<i>Mtep</i>	11434	968	8,5%
Prod. Elec	<i>TWh</i>	18235	1816	10,0%
Cons. Elec	<i>TWh</i>	16695	1664	10,0%
Emissions CO ₂	<i>Mt CO₂</i>	27136	2118	7,8%
CEP/pop	<i>tep/hab.</i>	1,778	2,1	118%
CEP/PIB	<i>Tep/1000\$2000</i>	0,315	0,227	73%
Prod. Elec/pop	<i>kWh/hab.</i>	2835	3944	139%
Cons. Elec/pop	<i>kWh/hab.</i>	2596	3477	
CO ₂ /CEP	<i>t CO₂/tep</i>	2,373	2,188	93%
CO ₂ /pop	<i>t CO₂/hab.</i>	4,219	4,600	109%
CO ₂ /PIB	<i>kg CO₂/\$2000</i>			
% Dépendance	<i>Import. nettes/TPES</i>		59%	

Infrastructure		MONDE	MED OME	% Med/Monde
Capacité installée	GW	3754	412	11,0%
Nbre de raffineries	Unité	661	89	13,5%
Capacité de raffinage	Mt/an	4362	496	11,4%
Nb d'usines GNL	Unité	18	7	39%
Nb de trains GNL	Unité	77	24	31%
Capacité GNL	Mt/an	186	37	20%
Réserves gaz.	x1000 bcm	181	8,1	4,4%
Réserves pétrol.	Gt	164	8,1	4,9%

Sources: Indicateurs WDI 2007 pour la période entre 1971 et 2005, & communication directe auprès de l'OME.

Comparée à l'UE-25, la Méditerranée compte actuellement la même population (environ 460 millions). Les consommations d'énergie primaire et d'électricité en région Méditerranéenne représentent environ la moitié des consommations UE-25. Par conséquent, la consommation de l'énergie primaire et de l'électricité par habitant dans la Méditerranée est environ la moitié de celle de l'UE-25. Bien que les pays méditerranéens représentent seulement la moitié de la consommation d'énergie de l'UE-25, les pays méditerranéens émettent le même niveau de CO₂ par tep (environ 2,2 t CO₂/tep).

La dépendance énergétique sur les importations est bien moindre pour les pays méditerranéens (35%) comparée à 55% dans l'UE-25 ; ceci est principalement dû à la production énergétique importante en provenance des PSEM exportateurs.

Cependant, la situation méditerranéenne cache des disparités significatives entre les 2 parties de la région et entre les pays eux-mêmes. En effet, la plus grande part de l'énergie est consommée par les PNM (72%) et le reste (28%) par les PSEM (14,7% pour le SE & 13,6% pour le SO).

1. UNE DEMANDE A FORTE CROISSANCE, NOTAMMENT DANS LES PAYS DU SUD ET DE L'EST DE LA MEDITERRANEE (PSEM)

La Figure 1 illustre les tendances de la consommation d'énergie primaire. La consommation méditerranéenne totale d'énergie est passée de 402 Mtep en 1971 à 968 Mtep en 2006, croissant à un taux annuel moyen de 2,5% au cours de cette période. La région méditerranéenne représente environ 8,5% de la consommation mondiale. La consommation d'énergie des PSEM est passée de 48 Mtep en 1971 à 278 Mtep en 2006, croissant à un taux annuel moyen de 5,1%, tandis que la croissance des PNM, plus lente, s'élève à environ 1,9% (354 à 691 Mtep entre 1971 et 2006).

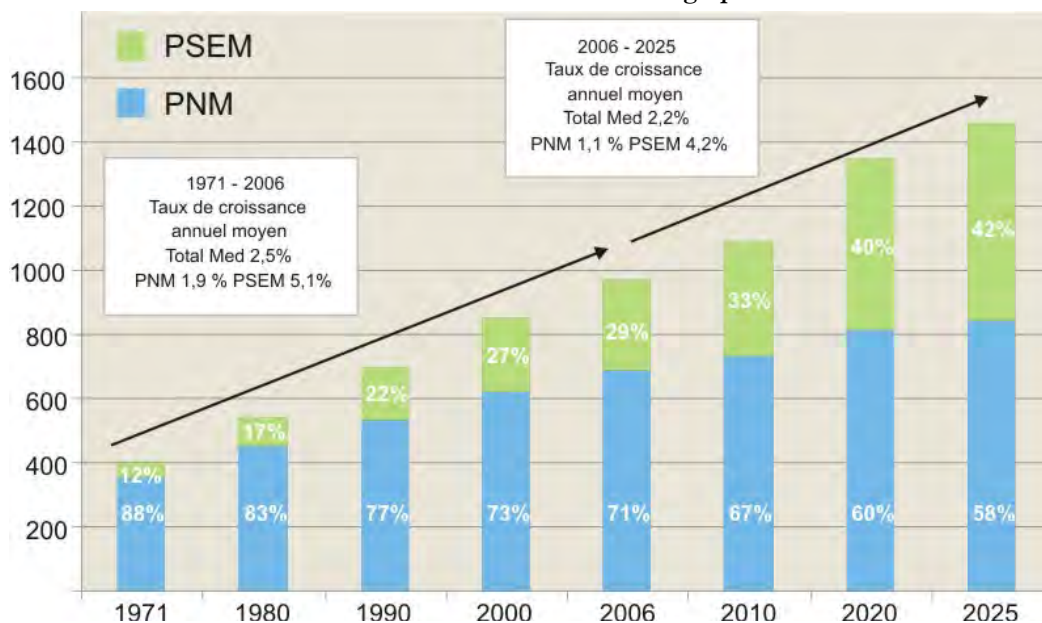
À l'avenir, et selon les prévisions issues des principales compagnies énergétiques opérant dans les pays méditerranéens, la demande d'énergie primaire est appelée à augmenter fortement : de 968 Mtep en 2006, elle devrait atteindre 1454 Mtep d'ici 2025 (Tableau 7). On notera que, par comparaison avec le scénario tendanciel publié en 2005 par le Plan Bleu, une accélération de la hausse de la demande est enregistrée (la consommation totale d'énergie primaire a été estimée à 1365 millions de TEP dans le scénario 2005).

L'augmentation rapide de la demande d'énergie des PSEM est d'abord liée à la tendance en Turquie. En effet, ce pays représente en 2006 quelques 34% de toute la demande dans les PSEM. Le même chiffre se monterait à 43% en l'an 2025, ce qui ferait de la Turquie le deuxième plus grand consommateur dans la région méditerranéenne. Il est prévu que l'Algérie et l'Egypte soient de grands consommateurs à l'horizon 2025. La part des autres pays est relativement moins importante puisqu'ils sont plus petits, mais certains d'entre eux pourraient bien enregistrer le taux de croissance le plus rapide dans la consommation d'énergie (Palestine, Tunisie et Syrie notamment).

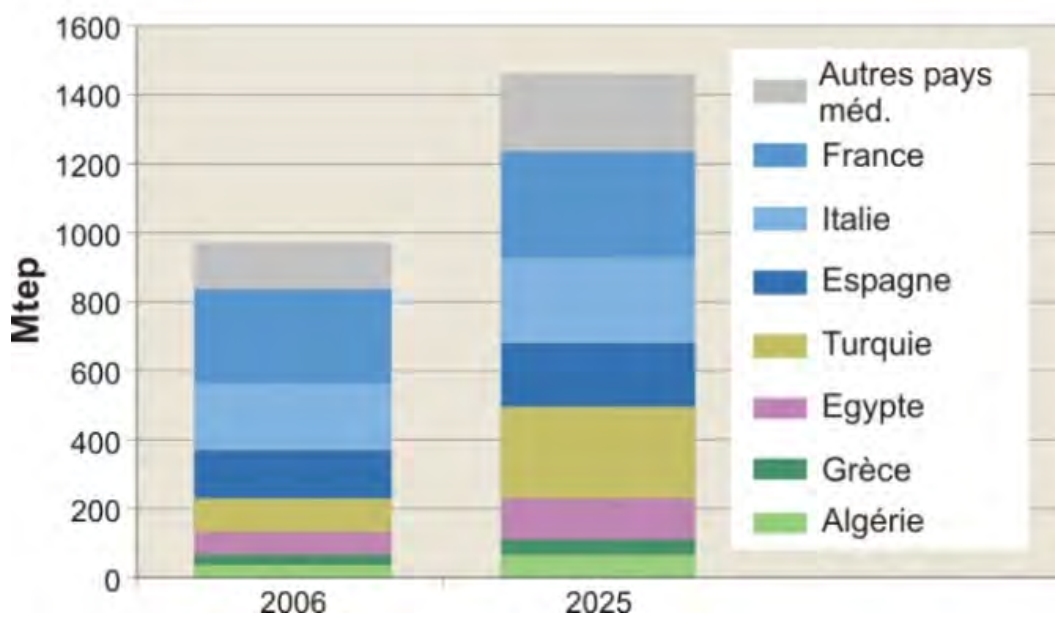
La part de la consommation des PSEM dans l'ensemble de la région méditerranéenne n'a cessé de grimper, passant de 12%, au début des années soixante dix, à 29% en 2006. On s'attend à ce que cette part atteigne les 42% de la consommation totale en 2025.

La croissance de la consommation d'énergie primaire par habitant a atteint une moyenne de 1,3% par an entre 1971 et 2006 (Tableau 8). La croissance des PNM a atteint 1,6%, tandis que celle des PSEM a été de 2,8%, réduisant de ce fait l'écart entre les deux régions. En fait, la consommation par habitant des PSEM se situe actuellement à un tiers de celle des PNM, contre un cinquième en 1971. Ce rapport devrait atteindre environ un demi, d'ici l'an 2025.

Figure 1 - Demande d'énergie primaire
Tendances en matière de demande d'énergie primaire



Les 7 principaux consommateurs d'énergie en Méditerranée



Source: OME

Tableau 2 - Evolutions de la consommation d'énergie primaire

	Consommation d'énergie primaire (en Mtep)				Taux de croissance moyen (%)	
	1971	1990	2006	2025	1971-2006	2006-2020
Nord Med	354	535	691	848	1,9%	1,1%
SE Med	31	79	141	352	4,5%	4,9%
SO Med	18	80	137	257	6,0%	3,4%
PSEM	48	159	278	609	5,1%	4,2%
TOTAL	402	694	968	1457	2,5%	2,2%
FEMIP	28	98	172	325	5,4%	3,4%

Source: OME

Tableau 3 - Consommation d'énergie primaire par habitant (en kep/hab.)

Kep/hab.	1971	1990	2000	2006	2025
Nord Med	2078	2843	3273	3483	4120
SE Med	631	1009	1227	1319	2671
SO Med	242	678	778	881	1320
PSEM	397	810	961	1059	1866
TOTAL	1379	1807	1988	2103	2738
FEMIP	326	705	822	912	1369

Source: OME

2. TENDANCES DEMOGRAPHIQUES ET ECONOMIQUES: PRINCIPAUX VECTEURS DE LA DEMANDE D'ENERGIE

Les principaux facteurs de l'évolution de la demande d'énergie sont les tendances démographiques et économiques.

Tendances démographiques: Croissance au Sud et à l'Est, stabilisation au Nord

La population de la région Méditerranée compte 461 Millions d'habitants en 2006, avec celle des PSEM dépassant rapidement la population des PNM (Tableau 4). Alors que le taux moyen annuel de la croissance démographique des PSEM tendrait à décliner à 1,2% (contre 2,2% dans la période 1971-2006), la population totale des PSEM devrait atteindre les 326 millions d'ici l'an 2025. En revanche, la population des PNM s'est stabilisée et devrait s'accroître à un rythme de 0,2% par an jusqu'en 2025, où elle atteindrait les 206 millions d'habitants (voir Tableau 4). On notera également que, en ce qui concerne la population des PSEM, la masse de la population sera concentrée en Egypte, Turquie, Algérie et Maroc, qui représenteront ensemble 80% de la population totale dans les PSEM.

Tableau 4 - Tendances démographiques dans les pays méditerranéens (1971-2025)

	Population (en million d'habitants)				Taux de croissance moyen (%)	
	1971	1990	2006	2025	1971-2006	2006-2025
Nord Med	170	188	198	206	0,4%	0,2%
SE Med	48	78	107	132	2,3%	1,1%
SO Med	73	117	155	195	2,2%	1,2%
PSEM	121	196	262	326	2,2%	1,2%
TOTAL	291	384	461	532	1,3%	0,8%
FEMIP	84	138	189	238	2,3%	1,2%

Sources: Indicateurs WDI 2007 pour la période entre 1971 et 2005, & communication directe auprès des organismes nationaux pour les prévisions 2006-2025.

Développement économique : une croissance plus forte au Sud et à l'Est

La croissance économique est un autre déterminant fondamental de la consommation d'énergie. La croissance économique méditerranéenne globale a atteint une moyenne de 2,8% par an entre le début des années 70 et 2006. Cette croissance s'est légèrement ralentie pendant les cinq dernières années (2%). La croissance économique des PSEM a été deux fois supérieure à celle des PNM (4 et 1,6%, respectivement) entre 2000 et 2006 (Tableau 3).

Tableau 5 - Taux de croissance du PIB (%)

	Taux de croissance annuel (%)	
	1971-2006	2006-2025
Nord Med	2,5%	2,0%
SE Med	4,2%	4,1%
SO Med	4,5%	3,4%
PSEM	4,3%	3,8%
TOTAL	2,8%	2,4%
FEMIP	4,3%	3,4%

Sources: Indicateurs WDI 2007 pour la période entre 1971 et 2005, & communication directe auprès des organismes nationaux pour les prévisions.

En dépit d'une croissance économique globale plus soutenue des PSEM, l'écart du PIB par habitant entre les deux régions demeure considérable, atteignant en moyenne un rapport de l'ordre de 1 à 6,3 en 2005 (Tableau 4). La disparité entre le PIB le plus bas et le plus élevé par habitant dans la Méditerranée est comme suit : 1175 dollars US en Syrie, contre 23500 dollars US en France. En effet, les PSEM sont confrontés à des revenus relativement faibles et des populations à croissance rapide. En outre, les pays en voie de développement de la région font face à une urbanisation rapide qui se traduit en de nouveaux besoins d'équipements collectifs, telles que les écoles, hôpitaux et réseaux d'énergie. Selon plusieurs prévisions, cette disparité moyenne devrait légèrement diminuer (de l'ordre de 1 à 5,3) d'ici 2025 en supposant un taux de croissance économique annuel de 3.9% dans les PSEM.

Tableau 6 - PIB par habitant dans les pays méditerranéens (1971-2025)

	PIB/hab. en utilisant les taux de change (milliards de \$2000)				Taux de croissance moyen (%)	
	1971	1990	2006	2025	1971-2005	2005-2025
Nord Med	8557	13894	17621	25071	2,1%	1,8%
SE Med	2205	2902	4159	7278	1,8%	3,0%
SO Med	908	1286	2004	3022	2,3%	2,2%
PSEM	1425	1933	2882	4741	2,0%	2,7%
TOTAL	5591	7798	9270	12601	1,5%	1,6%
FEMIP	1228	1757	2369	3631	2,0%	2,1%

Source: Communication directe avec les organismes nationaux.

3. APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE DANS LA REGION

Dans la structure de la demande énergétique dans la région, laquelle se trouve de manière générale en face à des défis de dépendance énergétique.

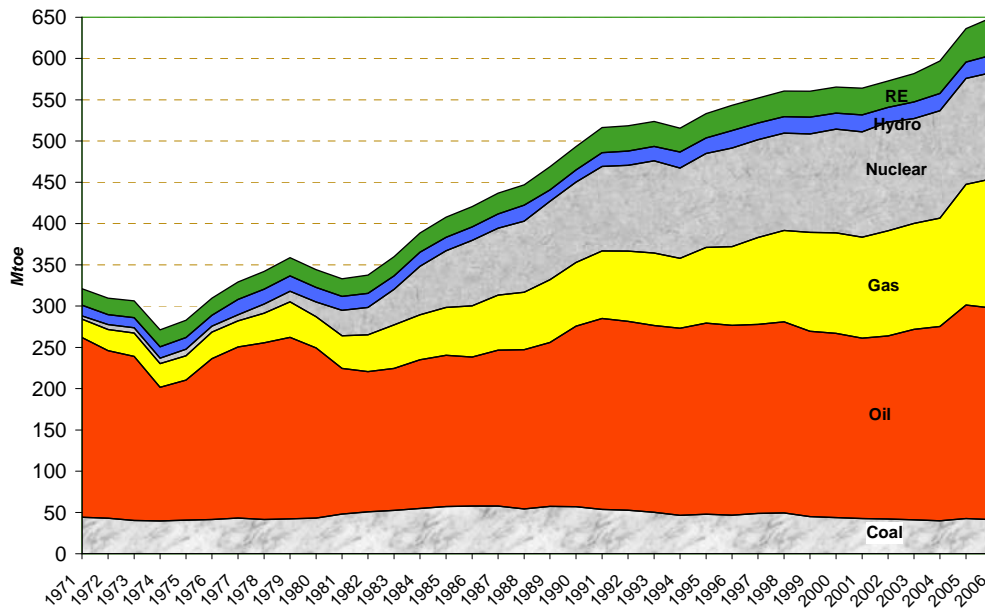
En effet, la région méditerranéenne se divise en deux groupes de pays, les pays importateurs et les pays exportateurs d'énergie. La rive Nord est exclusivement un importateur net de combustibles fossiles, tandis que les PSEM se subdivisent encore en exportateurs (Algérie, Egypte, Libye, et Syrie), avec les pays restants devant importer la plupart de leurs besoins énergétiques.

En 2005, les pays méditerranéens exportateurs ont assuré environ 22% des importations méditerranéennes de pétrole et 35% de gaz. Ceci est dû à une production soutenue de pétrole et de gaz naturel dans les PSEM exportateurs. En effet, la production d'énergie primaire dans les PSEM a été de 1,4 fois supérieure à celle des PNM dans les années 90 et de 1,8 fois supérieure au début des années 2000. Il est prévu que ce rapport augmente d'ici 2025 pour atteindre 3 fois la production des PNM. Dans les PNM, la diminution du rôle du charbon et les chocs pétroliers ont laissé la voie à un développement du nucléaire, de l'hydraulique et des énergies renouvelables. Ceci a été principalement favorisé par la diversification des objectifs d'approvisionnement et par le développement technologique. En même temps, il est prévu que la production d'énergie primaire dans les PSEM exportateurs enregistre une très forte croissance (2,8% par an entre 2006-2025, contre 1,8% entre 1971 et 2006). On s'attend également à ce que la production énergétique totale des PSEM atteigne environ 710 Mtep, contre 420 Mtep en 2006, dont principalement le gaz naturel et le pétrole produits par quelques pays exportateurs (tels l'Algérie, l'Egypte, la Libye, et la Syrie). (Cf. Figure 2)

Afin de contribuer à ces échanges d'énergie, des infrastructures importantes existent dans la région, telles que raffineries de pétrole, ports pétroliers, usines de GNL, terminaux de GNL, gazoducs, interconnexions électriques, etc.). L'infrastructure existante et projetée est détaillée en annexe.

En 2006, les pays méditerranéens ont importé un volume total de 576 Mtep de combustibles fossiles, dont 468 Mtep dans les PNM et 108 Mtep dans les PSEM importateurs (voir tableau ci-après). La dépendance moyenne des importations dans les PNM est de 68% en 2006 (contre 65% en 2000) et devrait augmenter de manière constante pour atteindre 73% en 2025. Les niveaux les plus élevés de dépendance concernent le pétrole et le gaz.

Figure 2 - Production d'énergie primaire (en Mtep)



Source: OME

Tableau 7 - Importations nettes en Méditerranée (en Mtep)

	1971	1990	2000	2006	2020	2025
Importateurs Nord Med	257	325	397	468	585	614
Importateurs PSEM	10	47	85	108	247	311
TOTAL Importateurs	267	372	482	576	832	925
Exportateurs PSEM	- 188	- 176	- 206	- 251	- 406	- 410

Source: OME

Concernant les PSEM, la dépendance à l'égard des importations d'énergie est également élevée dans la plupart des pays, avec à leur tête le Maroc, le Liban, Israël et la Turquie. La Tunisie est récemment devenue un importateur net et devrait enregistrer un niveau bien plus élevé de dépendance dans les années à venir (Cf. § V pour plus de détails).

Tableau 8 - Dépendance des importations d'énergie 2006 (en %)

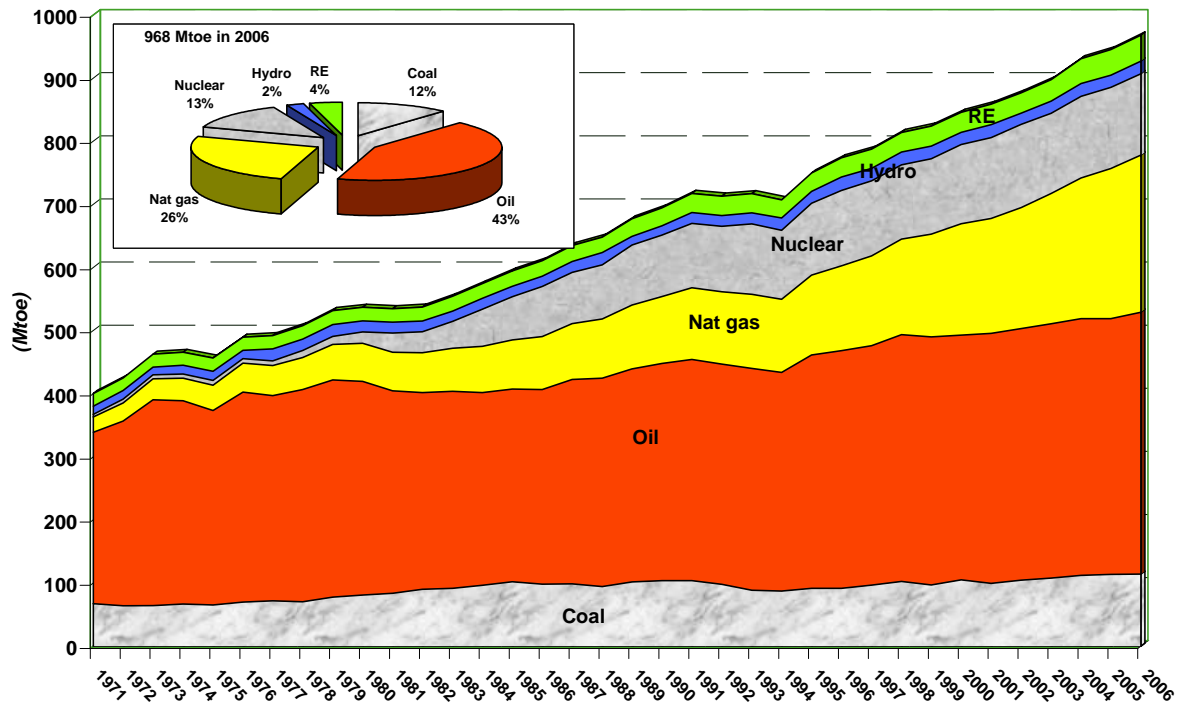
	Total combustibles 2006	Total combustibles 2005	Charbon	Pétrole	Gaz
Espagne	78%	79%	71%	100%	100%
France	51%	51%	97%	99%	98%
Italie	87%	86%	100%	92%	86%
Grèce	71%	67%	5%	99%	99%
Chypre	100%	100%	100%	100%	-
Malte	100%	100%	100%	100%	-
Slovénie	50%	52%		100%	99%
Croatie	62%	63%	100%	74%	42%
Serbie & M.	35%	32%	6%	85%	90%
Bosnie-Herz.	36%	32%	4%	100%	100%
Albanie	52%	52%	7%	75%	-
Turquie	74%	72%	46%	92%	97%
Israël	87%	90%	100%	100%	-
Jordanie	96%	96%	-	100%	83%
Palestine	100%	100%	-	100%	-
Liban	97%	96%	100%	100%	-
Maroc	95%	95%	100%	100%	93%
Tunisie	23%	21%	100%	27%	31%
Syrie					
Egypte			100%		
Libye					
Algérie			100%		
PNM	68%	68%	62%	96%	92%
PSEM importateurs	77%	76%	63%	91%	83%

Source: OME

4. DEMANDE D'ENERGIE PRIMAIRE PAR SOURCE EN MEDITERRANEE : DOMINATION DES HYDROCARBURES ET PENETRATION DU GAZ

La Figure 3 illustre la consommation d'énergie primaire entre 1971 et 2006 par source, pour l'ensemble de la région méditerranéenne. Globalement, les tendances démontrent une pénétration croissante du gaz naturel dans le mix énergétique, ainsi qu'une stabilité relative du charbon et du pétrole. La part de chaque combustible en 2006 se situe à 44% pour le pétrole, suivi par le gaz naturel (25,7%), le nucléaire (13,3%), le charbon (11,8%), l'hydroélectricité et les énergies renouvelables cumulées (6,3%).

Figure 3 - Tendances de la consommation primaire d'énergie en Méditerranée (par source)



Source: OME

Les observations suivantes peuvent être faites pour chacune des sources d'énergie :

Le charbon est principalement utilisé dans les pays de la rive Nord de la Méditerranée et en Turquie, en Israël et au Maroc. Sa consommation a grimpé de 67 Mtep en 1971 à environ 114 Mtep en 2006, soit une augmentation annuelle moyenne de 1,6%. La part du charbon a légèrement diminué (de 16,7% en 1971 et de 14,5% en 1990) pour se situer actuellement à 11,8%.

On s'attend à ce que la consommation de charbon dans la région atteigne les 190 Mtep d'ici 2025 (soit une augmentation moyenne annuelle de 2,7%). Cette augmentation de la consommation de charbon est principalement due aux projets de centrales électriques à base de charbon en Turquie, au Maroc et plus récemment prévus en Tunisie. La contribution du charbon à l'approvisionnement énergétique global demeurera stable à environ 12% au cours de la période de l'étude, avec les consommations en valeur absolue progressant de 114 Mtep en 2006 à 190 Mtep en 2025.

La consommation de charbon dans les PSEM devrait passer de 41 à 115 Mtep entre 2006 et 2025, principalement en raison de la croissance prévue en Turquie, mais également en Israël, au Maroc et en Tunisie.

La consommation de charbon des PNM devrait légèrement augmenter, passant de 73 Mtep en 2006 à 75 Mtep en 2025, à moins que les engagements récents de l'Union européenne pour réduire ses émissions de CO₂ ne s'accompagnent de réductions supplémentaires de consommation de charbon.

Les estimations actuelles montrent déjà que le charbon résiste à la concurrence dans la Méditerranée en dépit de l'augmentation de l'utilisation du gaz naturel. Ceci est lié en particulier à son intégration dans des pays qui sont à la fois grands producteurs et grands consommateurs, tels que l'Espagne, l'Italie et la France, et son utilisation se maintient dans des pays tels que la Turquie, Israël et le Maroc qui en voient un moyen de diversification et d'une source d'énergie sûre.

Le pétrole a toujours été le combustible dominant dans le mix énergétique des pays méditerranéens. Sa consommation a augmenté de 272 Mtep en 1971 à 415 en 2006, avec une croissance moyenne annuelle de 1,3%. Sa part, cependant, a décliné de 68% en 1971 à 49% en 1990 et 43% en 2006.

À l'avenir, on s'attend à ce que la consommation pétrolière atteigne les 558 Mtep (croissance annuelle moyenne de 1,8% jusqu'en 2025) et sa part devrait se stabiliser à environ 38%. En effet, le pétrole conservera son premier rang dans la Méditerranée et se concentrera dans les domaines d'utilisation où aucune vraie alternative n'existe (typiquement huiles moteur et lubrifiants). La régression relative enregistrée par les produits pétroliers s'explique essentiellement par la concurrence du gaz dans les ménages et le secteur tertiaire, notamment au niveau du secteur de l'électricité (Cf. Chapitre 8).

Il est prévu que la croissance de la consommation pétrolière sera plus haute dans les PSEM (3,0%) que dans les PNM (0,7%). La différence s'explique principalement par la forte croissance de la demande dans le secteur des transports. Dans ce cas, la consommation pétrolière dans les PSEM devrait passer de 125 en 2006 à 222 Mtep en 2025, alors que celle des PNM devrait grimper de 290 à 336 Mtep dans la même période.

Au total, on notera que la substitution, notamment du pétrole brut en tant que « combustible » par le gaz et l'électricité, et les utilisations largement croissantes dans le secteur des « transports », devraient accélérer le retranchement du pétrole brut dans ses utilisations nobles – le transport et la pétrochimie – pour lesquelles il semble difficile de trouver un produit de substitution, en particulier dans l'horizon de cette étude.

Le gaz : Pendant les dernières décennies, la croissance annuelle moyenne de la demande de gaz naturel a été d'environ 6,9% par an, passant de 24 à 249 Mtep – soit une multiplication par dix entre 1971 et 2006 (augmentant trois fois plus rapidement que la consommation totale d'énergie primaire). Un des facteurs principaux de cette croissance considérable de la demande d'énergie globale et de gaz naturel est le fort accroissement de la production d'électricité basée sur le gaz (dû aux nombreux projets de centrales électriques au gaz naturel ; Cf. Chapitre 8). La part du gaz naturel dans le bilan énergétique est passée de 6% en 1971 à plus de 26% en 2006. En 2025, elle devrait atteindre un niveau de 33% (472 Mtep), avec une augmentation de 3,5% en moyenne par an.

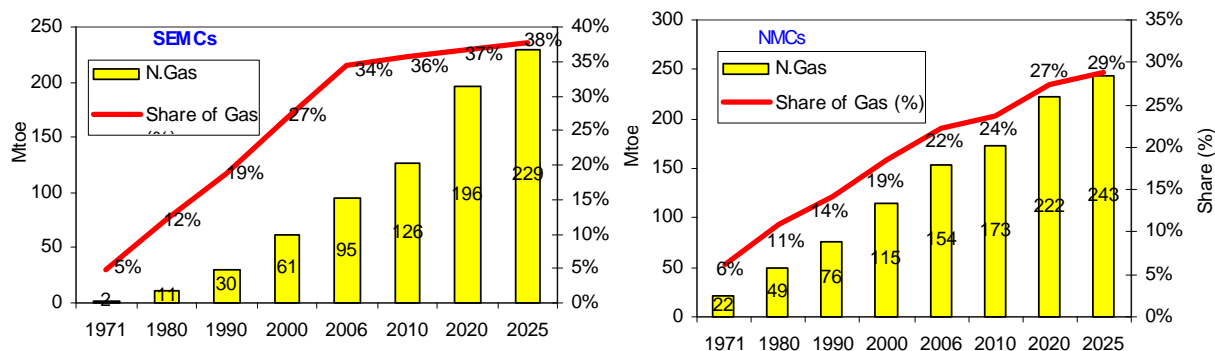
Comme on le verra au Chapitre 8, un volume de 99 Mtep de gaz naturel (40% de la consommation totale de gaz) a été brûlé dans des centrales électriques fonctionnant au gaz en 2006. D'ici 2025, on s'attend à ce qu'environ 226 Mtep (48% de la consommation totale de gaz) soient brûlées dans des centrales à gaz.

Au début des années 70, seulement cinq pays méditerranéens utilisaient le gaz naturel, alors qu'actuellement le gaz naturel détient une part significative dans le bilan énergétique de presque tous les pays méditerranéens (à l'exception de Chypre, Malte, le Liban et la Palestine). Il est, par ailleurs, prévu que tous les pays méditerranéens consommeront de plus en plus le gaz naturel, qui atteindrait une part de 33% d'ici 2025.

Dans les PSEM, la part du gaz naturel dans le bilan énergétique a augmenté plus rapidement, passant de 5% en 1971 à 27% en 2000. Actuellement, le gaz naturel détient une part significative (34% en 2006) dans le bilan énergétique des PSEM. On s'attend à ce que la consommation de gaz naturel dans les PSEM se multiplie par 2 entre 2006 et 2025, et que la part du gaz atteigne les 38% d'ici 2025.

Dans les PNM, la part du gaz naturel dans le bilan énergétique a augmenté de 6% en 1971 à 18% en 2000 et a poursuivi sa tendance croissante pour atteindre 22% en 2006. Il est prévu qu'elle représentera une part de 29% d'ici 2025. (Cf. Figure 4)

Figure 4 - Pénétration du gaz naturel dans les PSEM et les PNM (en Mtep & en %)



Source: OME

Source privilégiée de combustible pour les nouvelles centrales électriques tant au Nord qu'au Sud, le gaz naturel enregistrera également une augmentation due à sa pénétration dans les marchés résidentiel et tertiaire des PSEM, à la faveur de la croissance démographique et de l'urbanisation accélérée des zones côtières.

Les niveaux de consommation élevés de gaz naturel devraient facilement être satisfaits par la disponibilité des réserves gazières (8500 milliards de mètres cubes dans les PSEM), mais exigeront bien entendu des investissements importants en infrastructures pour relier les sites de production aux centres de consommation.

L'énergie nucléaire :

Après une période de croissance rapide entre les années 70 et les années 90, la consommation d'énergie nucléaire est demeurée stable dans une fourchette de l'ordre de 126 à 129 Mtep entre 2000 et 2006. Sa part dans le mix énergétique s'est, elle aussi, relativement stabilisée à environ 13-14% sur les 15 dernières années et devrait régresser à moins de 10% entre 2006 et 2025. Son développement rapide dans la période susvisée a été lié au développement massif du programme nucléaire français qui a été lancé dans les années 70. La croissance de l'énergie nucléaire dans les PNM s'est ralentie suite au moratoire italien sur cette source d'énergie et à la décision espagnole de renoncer à son développement ultérieur.

A ce jour, l'énergie nucléaire est absente du mix énergétique des PSEM, mais plusieurs centrales nucléaires sont annoncées. En particulier, la Turquie et l'Egypte ont récemment annoncé un plan d'action nucléaire. En effet, leurs prévisions énergétiques nationales envisagent que la génération d'énergie nucléaire représentera 4 à 7% de la production d'électricité totale d'ici 2015. Par ailleurs, la Tunisie prévoit d'intégrer le nucléaire dans son mix énergétique (2000 MW d'ici 2025). Au cas où ces projets venaient à terme, le nucléaire représenterait une part de 2,2% dans la demande d'énergie primaire des PSEM d'ici 2025.

Les énergies renouvelables¹ (ER) (y compris l'énergie hydraulique)

Les ER dans la région méditerranéenne représentaient 36 Mtep en 1971 et ont grimpé à 71 Mtep en 2006, soit un taux de croissance annuel moyen de 1,7%. Il est attendu qu'elles se développent à un rythme annuel moyen de 1,9% entre 2006 et 2025 (passant de 71 Mtep actuellement à 89 Mtep en 2025²).

Cependant, les ER sont appelés à fournir une contribution toujours modeste au mix énergétique (une part d'environ 6,3%) au cours de cette période, en dépit d'une augmentation substantielle en

¹ Des informations détaillées sur les ER sont données dans le chapitre 6.

² Correspondant pour l'hydraulique : de 20 Mtep en 2006 à 30 Mtep en 2025; et pour les ER: de 41 à 59 Mtep en 2025

valeur absolue. Le développement futur dépendra de la volonté politique et de l'appui public, en particulier dans les PSEM où les préoccupations d'ordre environnemental sont relativement naissantes. Dans les PNM, la mise en œuvre de plusieurs politiques (obligation d'une part minimum pour les ER, introduction des bio-carburants, etc.) et l'introduction des ETS de l'UE présagent un développement plus rapide des ER dans ces pays.

Tableau 9 - Consommation d'énergie primaire par Source & par Région

PNM							TPES (Mtep)	
	Charbon	Pétrole	Gaz Nat.	Nucléaire	Hydro	ER	Total	
1971	62	240	22	4	12	14	354	
1980	73	279	49	18	15	14	448	
1990	79	249	76	97	12	23	536	
2000	70	269	115	126	15	27	622	
2006	73	290	154	129	15	30	691	
2010	66	310	173	131	16	32	728	
2020	66	335	222	130	17	38	808	
2025	75	336	243	130	17	43	844	

PSEM							TPES (Mtep)	
	Coal	Oil	Nat. Gas	Nuclear	Hydro	RE	Total	
1971	5	32	2	0	1	7	48	
1980	8	60	11	0	2	10	91	
1990	22	93	30	0	3	11	159	
2000	34	118	61	0	4	11	228	
2006	41	125	95	0	5	11	278	
2010	50	158	126	0	7	12	353	
2020	96	205	196	11	12	15	535	
2025	115	222	229	14	12	16	608	

Med							TPES (Mtep)	
	Charbon	Pétrole	Gaz Nat.	Nucléaire	Hydro	ER	Total	
1971	67	272	24	4	13	22	402	
1980	81	339	60	18	18	24	539	
1990	101	342	106	97	15	34	695	
2000	103	387	176	126	19	38	850	
2006	114	415	249	129	20	41	969	
2010	116	467	299	131	23	44	1081	
2020	162	541	418	141	30	53	1343	
2025	190	558	472	144	30	59	1452	

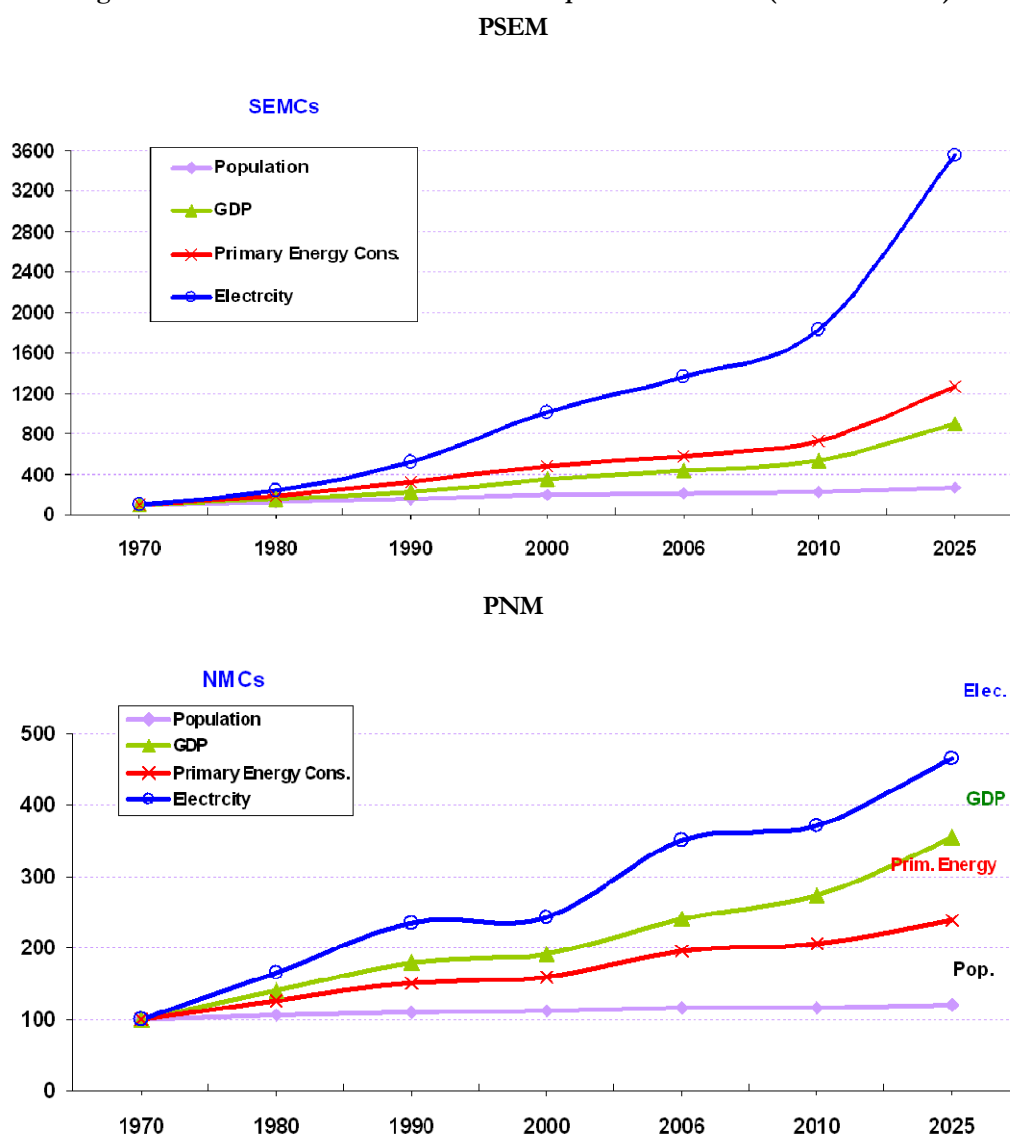
Source: OME

II. CROISSANCE SPECTACULAIRE DE LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ

Le secteur de l'électricité³ dans la région méditerranéenne se développe à un rythme accéléré et la croissance de l'électricité en Méditerranée est beaucoup plus rapide que ce soit à la croissance économique, celle de la consommation d'énergie primaire et ou celle de la démographie. C'est plus particulièrement le cas dans les PSEM, où l'électricité et la consommation d'énergie primaire se développent beaucoup plus rapidement que les paramètres économiques et démographiques. Pour ce groupe de pays, la demande d'électricité pourrait être multipliée par 2,6 entre 2006 et 2025.

Le développement attendu du secteur industriel (par exemple, nouveaux procédés et automatisation) et la hausse des niveaux de vie (par exemple, électroménager et climatisation) sont les principaux facteurs expliquant cette tendance accélérée.

Figure 5 - Méditerranée: Tendances de certains paramètres retenus (1970 = index 100)



Source: OME

³ Des informations détaillées sont données au chapitre 8.

Une forte demande d'électricité est l'une des causes déterminantes de la croissance importante de la consommation d'énergie primaire dans les pays méditerranéens. En 2006, dans les PSEM, les combustibles fossiles utilisés pour la production d'électricité représente 34% de l'ensemble des approvisionnements en énergie primaire. La caractéristique la plus marquante des évolutions observées de l'électricité est la croissance spectaculaire de la part du gaz naturel, principalement en substitution du pétrole, ainsi que la « résistance » du charbon.

La consommation d'électricité dans les pays méditerranéens est étroitement liée au niveau de développement économique. On notera que la consommation d'électricité par habitant diffère entre les deux rives de la Méditerranée, avec une moyenne de 6810 kWh/hab. dans les PNM, contre 1780 kWh/hab. dans les PSEM. Le rapport de la consommation d'électricité par habitant entre les PSEM et les PNM a diminué de 1/8 en 1971 à 1/4.2 en 2006 et devrait atteindre 1/2.3 en 2025.

Tableau 10 - Consommation d'électricité par habitant (en kWh/hab)

	1971	1990	2000	2006	2020	2025
PNM	2259	4776	6119	6810	8205	8700
SE Med	417	1168	2074	2504	4975	5499
SO Med	191	715	1021	1278	2271	2504
PSEM	281	897	1451	1778	3364	3713
Méditerranée	1437	2799	3524	3944	5248	5641
FEMIP	284	513	1247	1504	2442	2722

Source: OME

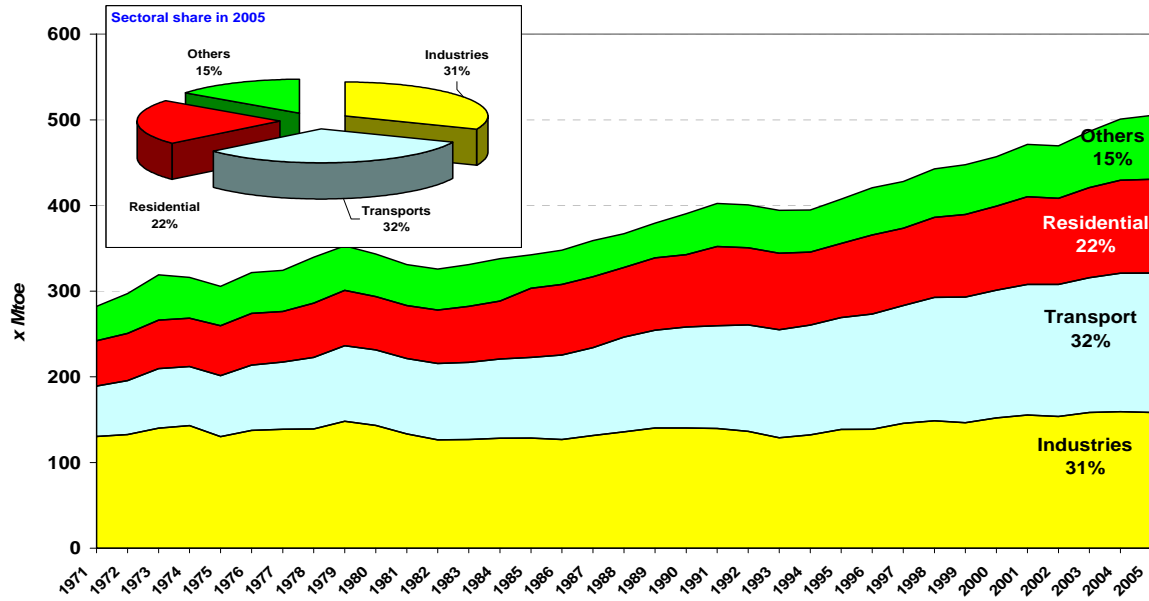
III. CONSOMMATION FINALE TOTALE PAR SECTEUR : IMPORTANCE DES TRANSPORTS AU NORD ET DU RESIDENTIE/INDUSTRIE AU SUD

Les tendances de la consommation finale totale (CFT) par secteur dans la Méditerranée démontrent une croissance moyenne de 2,2% par an entre 1971 et 2005. La croissance annuelle moyenne par secteur dans la même période est de 3,5% pour le secteur des transports, suivi des secteurs résidentiels & autres (2,7 et 2,7%, respectivement) et du secteur industriel (1,6%). La ventilation par secteur de la CFT en 2005 est déclinée en résidentiel & autres (23 et 14%, respectivement), suivis de l'industrie (33%) et du transport (30%). La part du secteur des transports (22 à 30%) et celle du secteur résidentiel (21 à 23%) ont augmenté dans la ventilation sectorielle.

Pour ce qui concerne les PNM, les tendances de la consommation finale totale par secteur ont enregistré une croissance moyenne de 2% par an entre 1971 et 2005. La croissance annuelle moyenne de la même période est de 3,2% pour le secteur des transports, suivi des secteurs résidentiels & autres (2,1 et 2%, respectivement) et du secteur industriel (1,1%). La ventilation par secteur de la CFT en 2005 est déclinée en résidentiel & autres (22 et 15%, respectivement), suivis du transport (32%) et de l'industrie (31%). La part du secteur des transports dans les PNM s'est fortement accrue dans la période de l'étude (20 à 32%).

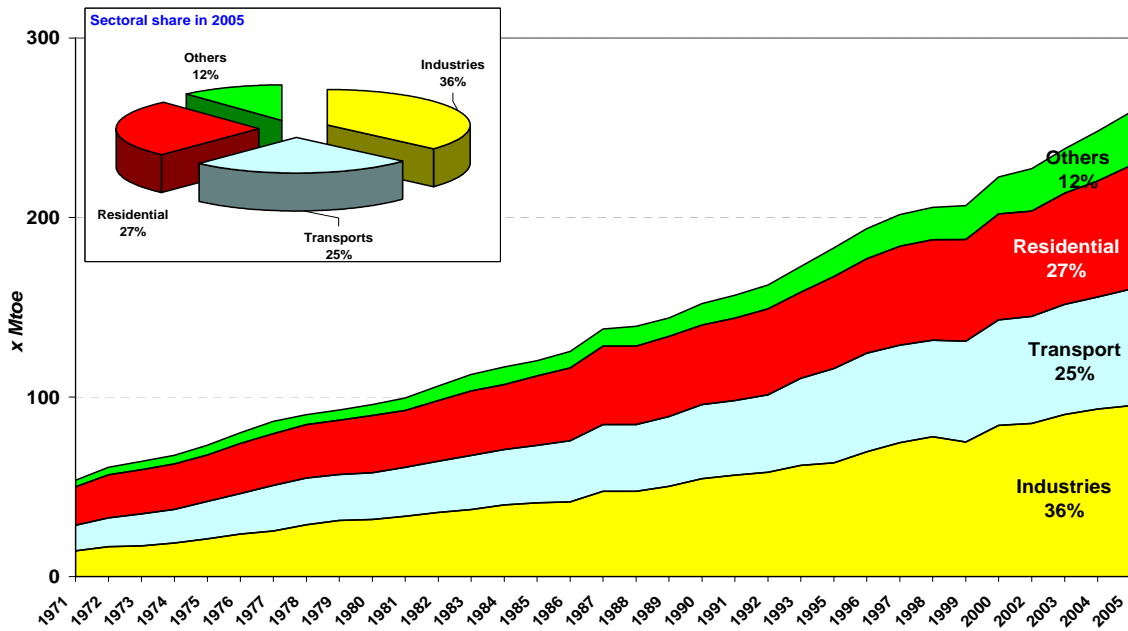
Quant aux PSEM, les tendances de la consommation finale totale (CFT) par secteur ont enregistré une croissance moyenne de 4,9% par an entre 1971 et 2005. La croissance annuelle moyenne par secteur dans la même période est de 4,7% pour le secteur des transports, suivi des secteurs résidentiels & autres (4,1 et 6,1%, respectivement) et du secteur industriel (5,5%). La ventilation par secteur de la CFT en 2005 est déclinée en résidentiel & autres (26 et 11%, respectivement), suivis de l'industrie (36%) et du transport (25%). Il convient de noter que la part de l'industrie dans les PSEM a connu une croissance significative entre 1971 et 2005 (passant de 30 à 36%).

Figure 6 - Consommation finale totale des PNM (par secteur)



Source: OME.

Figure 7 - Consommation finale totale des PSEM (par secteur)



Source: Agence Internationale de l'Energie (AIE), Bilans énergétiques des pays OCDE et non OCDE, 2007.

IV. RISQUES ET IMPACTS DE L'EVOLUTION DU SYSTEME ENERGETIQUE

Ce paragraphe s'attache à mettre en exergue comment et à quel degré la situation et les perspectives de la demande d'énergie dans la région méditerranéenne impacteront les émissions de CO₂, les enjeux de dépendance, ainsi que le développement socio-économique.

1. EMISSIONS DE CO₂ DUES A LA CONSOMMATION D'ENERGIE : D'ICI 2025, PLUS QUE LE DOUBLE PAR RAPPORT A 1990

Les émissions de CO₂ issues de la consommation d'énergie sont estimées à partir des calculs basés sur les bilans énergétiques des pays méditerranéens. La méthodologie est semblable à l'approche sectorielle employée par l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), utilisant les facteurs d'émission AIE par source d'énergie.⁴

Pour la région méditerranéenne, les émissions de CO₂ issues de la consommation d'énergie ont augmenté de 1547 Mt CO₂ en 1990 à 1837 Mt CO₂ en 2000 et ont poursuivi leur croissance pour atteindre 2118 Mt CO₂ en 2006. Elles devraient atteindre 3294 Mt CO₂ d'ici 2025, enregistrant ainsi plus que le double par rapport à leur niveau 1990 (Cf. Tableau 11).

Pour les PNM, les émissions de CO₂ issues de la consommation d'énergie sont passées de 1145 Mt CO₂ en 1990 à 1253 Mt CO₂ en 2000, et ont continué à grimper jusqu'à 1409 Mt CO₂ en 2006, ce qui est 23% plus élevé que le niveau de 1990. Il est prévu qu'elles atteindront 1740 Mt CO₂ d'ici 2025. Le taux de croissance a été de 1,4% de 1990 à 2006, et il devrait se poursuivre à un taux de croissance annuel de 1,2% jusqu'à 2025 selon le scénario de référence. D'ici 2025, pour maintenir le niveau des émissions de CO₂ des PNM équivalent à celui de 1990 (1145 Mt CO₂) (l'année de référence pour le Protocole de Kyoto), le volume à éviter sera de 596 Mt CO₂, ce qui correspond aux émissions de CO₂ de l'Italie, de la Grèce, de la Croatie et de la Bosnie en 2006.

Dans les PSEM, les émissions de CO₂ issues de la consommation d'énergie ont grimpé de 402 Mt CO₂ en 1990 à 583 Mt CO₂ en 2000 et ont poursuivi leur croissance pour atteindre 709 Mt CO₂ en 2006, ce qui représente une augmentation de 76% par rapport au niveau de 1990. D'ici 2025, ces émissions devraient doubler (1553 Mt CO₂). Le taux de croissance a été de 3,6% pour la période de 1990 à 2006 et il est attendu qu'il atteigne 4,2% d'ici 2025 selon le scénario de référence.

En 2025, les PSEM contribueraient alors environ la moitié des émissions de l'ensemble du bassin (47%) ; mais, par habitant, ils émettront environ 1,8 fois moins que les PNM.

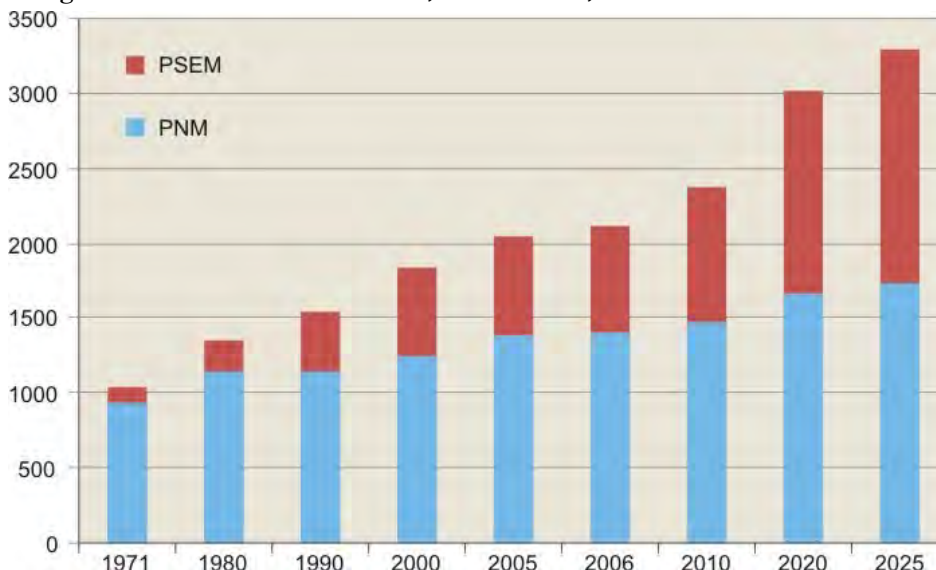
En effet, les émissions de CO₂ par habitant se sont accrues de 4000 kilogrammes de CO₂ en 1990 à 4300 kilogrammes de CO₂ en 2000 et continuent à grimper jusqu'à 4600 kilogrammes de CO₂ en 2006 dans la région. On s'attend à ce qu'elles atteignent 6190 kilogrammes de CO₂ d'ici 2025 (Cf. Tableau 12). Pour les PNM, les émissions de CO₂ par habitant issues de la consommation d'énergie ont grimpé de 6080 kilogrammes de CO₂ en 1990 à 6600 kilogrammes de CO₂ en 2000 et ont poursuivi leur croissance jusqu'à 7100 kilogrammes de CO₂ en 2006, ce qui représente une

⁴ Les valeurs moyennes des facteurs de conversion utilisés sont les suivantes (source AIE) :

	Charbon	Pétrole	Gaz net
t CO ₂ by toe	3.80	2.70	2.26

augmentation de 17% par rapport au niveau de 1990. On s'attend à ce qu'elles atteignent 8460 kilogrammes de CO₂ d'ici 2025. Pour les PSEM, les émissions de CO₂ dues à la consommation d'énergie ont grimpé de 2053 kilogrammes de CO₂ en 1990 à 2458 kilogrammes de CO₂ en 2006, soit 32% de plus que le niveau de 1990. On s'attend à ce qu'elles atteignent 4758 kilogrammes de CO₂ d'ici 2025.

Figure 8 - Activités émettrices de CO₂, PNM - PSEM, scénario de référence 1971-2025



Source: OME.

Tableau 11 - Emissions totales de CO₂ dues à la consommation d'énergie (en Mt CO₂)

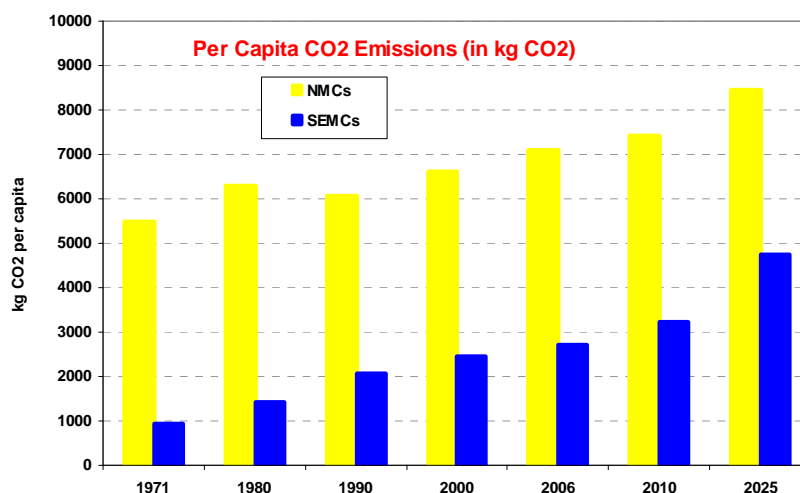
	1971	1980	1990	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2010	2020	2025
Spain	117	187	210	289	291	306	311	328	335	329	361	410	405
France	427	466	371	374	386	383	389	392	397	400	421	459	489
Italy	295	338	372	417	417	419	435	438	445	463	466	527	576
Greece	25	44	66	80	83	83	85	86	87	99	110	123	125
Cyprus	2	3	4	6	7	7	7	7	7	10	8	10	10
Malta	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4
Ex-Yug	61	96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Slovenia	-	-	12	13	14	15	15	15	15	14	14	14	14
Croatia	-	-	21	17	18	19	20	20	20	20	24	32	35
Bosnia & H.	-	-	22	12	13	12	13	14	15	15	16	18	19
Serbia & M.	-	-	57	39	41	44	48	52	49	51	51	54	58
Albania	4	7	6	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6
North Med	932	1 141	1 145	1 253	1 276	1 293	1 329	1 359	1 378	1 409	1 478	1 656	1 741
Turkey	41	69	134	200	180	190	201	209	218	246	326	582	715
Syria	7	14	30	44	43	45	45	45	45	47	58	88	97
Lebanon	5	6	6	13	14	14	16	14	15	15	21	25	27
Palestine	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	4	5	5
Israel	17	23	34	58	61	61	63	63	62	63	75	89	100
SE Med	70	112	205	315	298	311	325	330	342	374	483	788	943
Egypt	19	37	79	109	112	125	132	136	146	151	188	268	278
Libya	4	18	29	44	44	45	46	48	49	48	58	70	75
Tunisia	4	8	12	17	18	18	18	19	20	20	29	37	40
Algeria	10	30	59	71	71	76	81	82	79	82,4	97	147	159
Morocco	6	12	18	28	31	32	31	34	35	35	46	53	57
SW Med	42	105	197	268	276	296	309	319	329	336	418	575	610
SEMCS	112	217	402	583	574	606	633	649	670	709	901	1 363	1 553
TOTAL	1 044	1 358	1 547	1 837	1 850	1 899	1 962	2 008	2 048	2 118	2 379	3 019	3 294
FEMIP	69	135	248	354	363	385	400	409	421	434	538	739	791

Source: OME

Tableau 12 - Emissions de CO₂ par habitant (en kg CO₂/hab.)

	1971	1980	1990	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2010	2020	2025
Spain	3 435	5 009	5 406	7 177	7 146	7 407	7 406	7 679	7 723	7 458	8 280	9 046	8 902
France	8 341	8 645	6 544	6 342	6 527	6 421	6 474	6 482	6 521	6 533	6 773	7 108	7 543
Italy	5 457	5 981	6 567	7 330	7 327	7 334	7 548	7 536	7 598	7 842	7 927	8 956	9 787
Greece	2 792	4 544	6 452	7 360	7 558	7 548	7 696	7 806	7 844	8 895	9 777	10 713	10 867
Cyprus	2 774	4 942	7 624	9 321	9 338	9 274	9 900	9 038	8 950	13 032	10 312	11 311	11 957
Malta	2 286	2 982	6 378	5 435	5 867	5 339	6 042	6 318	8 234	7 996	7 215	9 001	9 625
Slovenia	-	-	5 963	6 743	7 121	7 288	7 283	7 374	7 388	7 034	7 084	7 005	7 359
Croatia	-	-	4 422	3 818	4 026	4 263	4 573	4 502	4 490	4 408	5 324	6 862	7 463
Bosnia & H.	-	-	5 169	3 087	3 288	3 149	3 351	3 552	3 776	3 844	3 784	4 061	4 338
Serbia & M.	-	-	5 451	4 763	5 089	5 454	5 878	6 454	6 112	6 398	6 042	5 951	6 286
Albania	1 689	2 688	1 855	956	999	1 167	1 242	1 198	1 498	1 489	1 575	1 719	1 702
North Med	5 475	6 300	6 080	6 607	6 698	6 745	6 871	6 962	7 006	7 108	7 418	8 070	8 461
Turkey	1 132	1 549	2 394	2 959	2 633	2 732	2 844	2 931	3 022	3 370	4 199	6 701	8 145
Syria	1 111	1 541	2 358	2 646	2 492	2 555	2 480	2 423	2 359	2 426	2 712	3 439	3 703
Lebanon	1 995	2 341	2 131	3 830	4 102	4 036	4 436	3 966	4 091	4 249	5 511	5 893	6 165
Palestine	-	-	-	-	-	-	-	-	620	475	914	893	1 011
Israel	5 564	5 956	7 393	9 213	9 426	9 309	9 408	9 239	8 968	9 000	10 246	10 859	12 080
SE Med	1 455	1 868	2 616	3 251	3 020	3 088	3 169	3 190	3 247	3 497	4 237	6 059	7 156
Egypt	515	837	1 416	1 618	1 635	1 782	1 858	1 872	1 974	2 006	2 310	2 838	2 907
Libya	1 847	5 913	6 700	8 246	8 187	8 220	8 217	8 425	8 316	7 990	8 696	8 484	8 911
Tunisia	721	1 235	1 433	1 760	1 827	1 814	1 830	1 917	1 999	1 936	2 689	2 942	3 163
Algeria	673	1 596	2 337	2 333	2 310	2 425	2 538	2 523	2 404	2 469	2 757	3 677	3 935
Morocco	400	637	762	1 003	1 084	1 117	1 082	1 129	1 154	1 135	1 414	1 451	1 533
SW Med	574	1 148	1 677	1 911	1 934	2 037	2 094	2 118	2 149	2 159	2 511	2 996	3 133
SEMCs	925	1 434	2 053	2 458	2 378	2 468	2 535	2 555	2 596	2 705	3 213	4 233	4 758
TOTAL	3 583	4 084	4 028	4 301	4 283	4 343	4 427	4 470	4 503	4 600	4 960	5 727	6 189

Figure 9 - Emissions de CO₂ par habitant (en kg CO₂)



Source: OME

2. L'ENJEU DE LA DEPENDANCE ENERGETIQUE

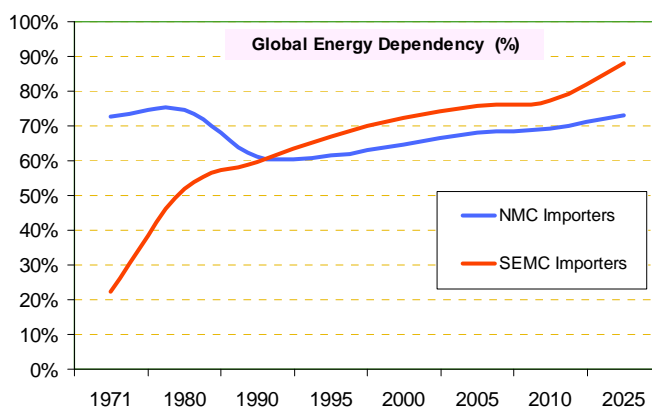
La dépendance énergétique est calculée comme étant le rapport entre les importations nettes de combustibles et la consommation totale d'énergie primaire. Comme il a été indiqué auparavant, les pays méditerranéens sont subdivisés en pays importateurs et exportateurs.

Dans ce qui suit, on considèrera trois groupes de pays :

- les PNM en tant que groupe de pays importateurs,
- quelques pays importateurs nets des PSEM (Turquie, Israël, Palestine, Liban et Maroc), et
- quelques pays exportateurs des PSEM (Algérie, Libye, Egypte et Syrie).

- Pour le premier groupe (PNM), la dépendance énergétique globale est passée de 61% en 1990 à 65% en 2000 et 68% en 2006 ; elle devra s'accroître à 73% d'ici 2025.
- Pour le second groupe importateur des PSEM, il convient de noter qu'il dépend de plus en plus des importations d'énergie. En effet, la dépendance énergétique du groupe augmentera à un rythme plus accéléré que celui des PNM. Elle passe de 60% en 1990 à 72% en 2000, avant d'atteindre 77% en 2006, et se détériorera pour atteindre un taux de 88% d'ici 2025.
- Quant au troisième groupe exportateur des PSEM, il exportera entre 185% et 200% de sa consommation d'énergie primaire (ce taux était de 223% en 1990, de 188% en 2000 et de 187% en 2006 et devrait atteindre les 161% d'ici 2025).
- La dépendance énergétique globale des groupes de PNM et de PSEM importateurs est illustrée à la Figure 10, où ces groupes de pays présentent des tendances semblables et atteignent à peu près le même taux de dépendance d'ici 2025, les PSEM se retrouvant dans une situation plus « critique ».

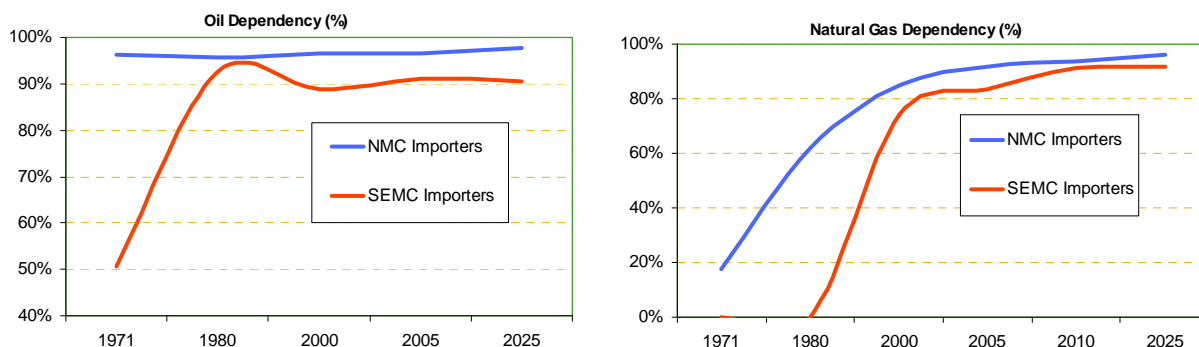
Figure 10 - Dépendance énergétique globale des pays méditerranéens importateurs



Source : OME.

- Les deux groupes importateurs sont de plus en plus concernés par la dépendance accrue vis à vis du gaz naturel, alors que la dépendance pétrolière avait déjà atteint plus de 90% depuis les années 80 (Cf. Figure 11).

Figure 11 - Dépendance vis à vis du pétrole et du gaz naturel des pays méditerranéens importateurs



Source : OME.

- Pour ce qui concerne le pétrole, les pays méditerranéens dépendent de 26 pays exportateurs. Les sources les plus importantes sont la Russie, l'Arabie Saoudite, la Libye, l'Iran, la Norvège, l'Algérie, le RU et le Nigeria. Les pays méditerranéens importent 22% en provenance de la région méditerranéenne elle-même (le commerce avec la Libye/Algérie en représentant 15%), suivie de

- 11,9 TWh exportées par l'Espagne (dont 8,4 TWh vers le Portugal, 1,5 TWh vers la France et 1,9 TWh vers le Maroc),
- 7,5 TWh exportées par la Slovénie (dont 5,4 TWh vers l'Italie et 1 TWh vers la Croatie),
- 7,6 TWh exportées par la Croatie (dont 6,9 TWh vers la Slovénie et 0,7 TWh vers la Bosnie-H.),
- 7,8 TWh de Serbie-M (dont 2,1 TWh vers la Macédoine, 2,3 TWh vers la Bosnie-H et 0,3 TWh vers l'Albanie),
- 3,2 TWh exportées par le Portugal vers l'Espagne.

Seulement 10% de l'ensemble des échanges intra-méditerranéen (70 TWh) concerne le commerce entre les pays du Sud et de l'Est méditerranéen (PSEM), y compris les échanges avec l'Europe (Maroc-Espagne). Ces petites quantités sont dues à la capacité limitée des interconnexions électriques existantes dans les PSEM.

Le plus gros des 7 TWh échangées entre les PSEM a eu lieu principalement entre le Maroc et l'Espagne, Maroc – Algérie – Tunisie, ainsi que Libye – Egypte – Jordanie – Syrie – Liban, et une partie entre les Balkans et la Grèce.

Tableau 15 - Volumes d'électricité échangés via interconnexion en 2006 (GWh)

Electrical Interconnections	Exports	Imports	Total
Portugal-Spain	3183	8481	11664
France-Spain	5910	1479	7389
France-Italy	14891	726	15617
Italy-Greece	455	945	1400
Italy-Slovenia	12	5389	5401
Slovenia-Croatia	1036	6871	7907
Croatia-BIH	674	3647	4321
BIH-Serbia& M.	1476	2341	3817
Serbia& M.-Macedonia	2126		2126
Greece-Macedonia	12	1202	1214
Greece-Albania	979	26	1005
Albania- Serbia&M.	613	261	874
Spain-Morocco	1899	27	1926
Algeria-Spain			0
Algeria-Morocco	159	136	295
Algeria-Tunisia	141	135	276
Tunisia-Libya		0	0
Egypt-Libya	123	91	214
Egypt-Jordan	823	77	900
Syria-Jordan	42	2	44
Syria-Lebanon	1100	358	1458
Israel-PNA	1665		1665
TOTAL intra-Mediterranean	37319	32194	69513

Countries	Exports	Imports	Total
Portugal	3183	8481	11664
Spain	11859	9120	20979
France	69868	8079	77947
Italy	1618	46525	48143
Greece	1936	6151	8087
Slovenia	7487	7716	15203
Croatia	7577	13249	20826
Bosnia-H.	5123	3015	8138
Serbie & M.	7789	9739	17528
Macedonia	1202	2998	4200
Albania	639	1240	1879
Turkey	1800	600	2400
Syria	1142	360	1502
Lebanon	358	1100	1458
Israel	1665	0	1665
PNA	0	1665	1665
Jordan	79	865	944
Egypt	946	168	1114
Libya	91	123	214
Tunisia	135	141	276
Algeria	300	271	571
Morocco	163	2058	2221
TOTAL in Mediterr	124960	123664	248624

Source: UCTE; Eurelectric; UAPTDE; Comelec; Compagnies & OME

Quoiqu'encore en processus de développement, l'achèvement et le renforcement de la boucle méditerranéenne (par de futurs projets d'interconnexion décrits dans la section suivante) devraient favoriser davantage le commerce régional et valoriser le parc électrique régional.

Selon les estimations de l'étude MedRing⁶, les échanges d'électricité devraient augmenter à un minimum de 75 TWh en 2010. On s'attend aujourd'hui à ce que les bénéfices générés par l'achèvement de la Boucle soient plus importants que les chiffres conservateurs avancés dans l'étude de MedRing (\$300 millions par an) en 2003.

⁶ MedRing constitue l'étude la plus complète sur l'interconnexion électrique en Méditerranée entre 2001 & 2003. L'étude a été coordonnée par le CESI (Italie) et réalisée en partenariat avec EDF, REE, DESMIE, SONELGAZ, STEG, EEHC, NEPCO, PEEGT, TEIAS, ONE et GECOL. L'étude MedRing a identifié les bénéfices économiques de la boucle électrique méditerranéenne, les obstacles et contraintes techniques et proposé des solutions pour les résoudre. Les conclusions de l'étude sont que le projet est viable, à condition que les solutions techniques proposées pour dépasser les contraintes soient mises en œuvre. Les résultats de l'étude ont été présentés lors d'une conférence organisée par Eurelectric and Medelec, conjointement avec l'OME et l'UCTE le 9 juillet 2003 à Rome.

3. ACCROISSEMENT DE LA VULNERABILITE ENERGETIQUE ET RISQUES SOCIO-ENVIRONNEMENTAUX⁷

Etant donné le mix énergétique actuel et son évolution, la forte croissance de la demande d'énergie implique une augmentation de la dépendance à l'égard des combustibles fossiles. Cette situation induit une plus grande vulnérabilité énergétique, qui doit être liée non seulement à l'épuisement inévitable des hydrocarbures (prévus dans 30 à 50 ans dans la Méditerranée), mais également à un marché volatil et à un contexte géopolitique instable.

En outre, la gestion des impacts sur l'environnement de cette croissance constitue un défi majeur pour les années à venir. En effet, les émissions de CO₂ induites par une consommation croissante (il est prévu que ces émissions se multiplient par 2 entre 1990 et 2025 dans le bassin méditerranéen) favorisent et aggravent les changements climatiques actuels, qui, à leur tour, sont susceptibles d'augmenter les pollutions. En effet, une baisse des précipitations et une réduction de la nébulosité donneraient lieu, pendant l'été, à une augmentation de la concentration de substances polluantes - comme l'ozone, par exemple, qui a des impacts sur la santé des personnes, les rendements agricoles et les écosystèmes naturels.⁸

À long terme, l'exposition à des niveaux élevés de pollution atmosphérique contribue à beaucoup de maladies, telles que les maladies respiratoires, cancers de la gorge et crises cardiaques. Les évaluations de la Banque Mondiale concernant les niveaux de particules dans un échantillon de villes indiquent que la pollution atmosphérique au Caire, par exemple, est l'une des plus élevées au monde⁹ et qu'elle est responsable de 20.000 décès prématurés par an au Caire et à Alexandrie.¹⁰ Il a été également constaté que des villes comme Istanbul ou Ankara (notamment en raison d'une utilisation importante du charbon dans le chauffage collectif) enregistrent des niveaux de pollution plus élevés que les villes des PNM, qui, elles-mêmes, sont bien souvent situées au delà des seuils recommandés.¹¹

Le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur les Changements Climatiques (GIEC) affirme, dans son quatrième rapport (AR4), que dans le Sud du bassin méditerranéen « les changements climatiques sont susceptibles d'exacerber les conditions atmosphériques (températures élevées et sécheresse) dans une zone déjà vulnérable à la variabilité du climat, et de réduire la disponibilité de l'eau, l'énergie hydroélectrique, le tourisme estival, et la productivité des terres agricoles ».

Le rapport AR4 indique que les régions méditerranéennes les plus vulnérables sont l'Afrique du Nord limitrophe des zones désertiques, les grands deltas tels que le Nil—, les zones côtières, ainsi que les zones de croissance démographique élevée et socialement vulnérables (rives Sud et Est, villes denses et banlieues).

Le scénario de référence du Plan Bleu indique que, entre 2000 et 2020, le nombre d'habitants par kilomètre de littoral triplera sur les rives Sud et Est. Le nombre de centrales électriques construites le long de la côte passera de 200 à 360, de nouvelles raffineries et stations de dessalement, de nouveaux aéroports et quartiers d'habitation seront réalisés. Et pourtant, ces régions côtières sont précisément les plus vulnérables aux changements climatiques.

⁷ § 3 et V rédigés en collaboration avec S. Quefelc, Plan Bleu et S. Pouffary, Ademe

⁸ Filippo Giorgi, CMDDD présentation, juin 2007.

⁹ The practice of burning rice hay in preparation for the new crop in the Nile delta results in Cairo having levels of soot in ambient air 3 times above those of Beijing. It comes in addition to emissions from industries and transport activities. Source: <http://www.enviro2b.com/environnement-actualite-developpement-durable/5998/article.html>

¹⁰ Données de la Banque Mondiale "Arab Republic of Egypt, Cost Assessment of Environmental Degradation", Sector note, 2002.

¹¹ The EU Air Quality Directive (2000/69/CE, of 16 November 2000) sets recommended thresholds (Emission Limit Values (ELVs) for Member States. Notably: 20 µg/m³ on an annual basis for SO₂, 40 µg/m³ for PM₁₀ and 50 µg/m³ for NO₂. Those limit levels are based on scientific knowledges about negative impacts on health or/and the environment and should not be overpassed on a given period.

Les solutions actuelles d'adaptation se fondent essentiellement sur des applications grandes consommatrices d'énergie : déplacement massif de la population en réponse à l'élévation du niveau de la mer, climatisation en réponse à l'augmentation des températures, dessalement et pompage en profondeur en réponse à la sécheresse. Ainsi, ces « réponses » aux changements climatiques seraient les facteurs mêmes promouvant ce changement, ce qui induit une accélération progressive et inévitable de ce phénomène majeur et de ses impacts.

Enfin, ces impacts environnementaux impliquent, à leur tour, des impacts sur le système énergétique. Ainsi, la montée fulgurante de la demande d'énergie lors de périodes où les capacités productives sont réduites (périodes de vagues de chaleur ou autres événements extrêmes) induisent des risques de « black-out », qui ne devraient pas être négligés. Par exemple, la vague de chaleur qui a frappé la France en 2003 a induit une augmentation de la demande, avec des pointes de consommation très élevées ; mais la production d'énergie avait été réduite dû à la hausse des températures d'eau de rivière, ce qui a réduit l'efficacité du système de refroidissement des stations (conventionnelles et nucléaires). Si la vague de chaleur s'était poursuivie, 30% de la production d'énergie aurait été menacée.¹² Le système énergétique méditerranéen, étant très centralisé et peu diversifié, est d'autant plus vulnérable aux impacts des changements climatiques.

¹² IPCC Report 2007, impact, adaptation and vulnerability.

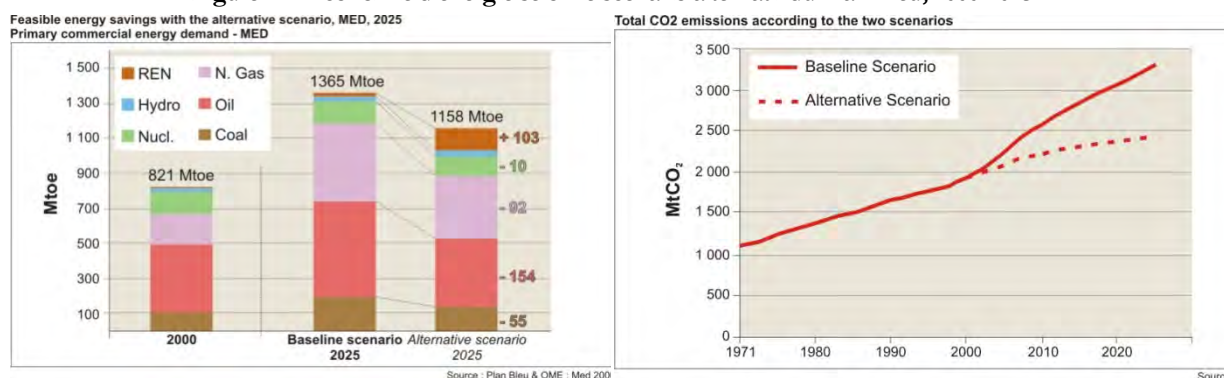
V. CEPENDANT, UN DEVELOPPEMENT ENERGETIQUE DURABLE ET MOINS EMETTEUR DE CARBONE EST ENCORE POSSIBLE EN MEDITERRANEE

1. SCENARIO ALTERNATIF DU PLAN BLEU

Le Plan Bleu a publié en 2005 un scénario alternatif pour un développement d'énergie soutenable de la région qui accorde la priorité à une utilisation plus rationnelle de l'énergie et à un développement plus accéléré des énergies renouvelables¹³. En effet, l'utilisation rationnelle de tous les produits énergétiques, dans tous les secteurs d'activité, est le seul moyen de maîtriser, et même de réduire structurellement, la demande d'énergie, tout en assurant l'augmentation des services fournis et répondant aux besoins du développement économique.

Si une politique vigoureuse en matière d'utilisation rationnelle de l'énergie (URE) est menée, la quantité de produits énergétiques nécessaires pour produire les services requis peut être considérablement réduite, et la part des énergies renouvelables peut atteindre 14% du bilan d'énergie primaire d'ici 2025 (hors biomasse) au lieu des 3% prévus dans le scénario de référence.¹⁴

Figure 12 - Economie d'énergie selon le scénario alternatif du Plan Bleu, 2000-2025



REN : géothermique, solaire, éolien

Source : Plan Bleu, 2005, Un Avenir Durable pour la Méditerranée.

Un tel scénario permet de réduire la vulnérabilité énergétique des pays importateurs, maintient des capacités plus grandes d'exportation pour l'avenir dans les pays exportateurs, outre qu'il permet l'exportation de l'énergie « verte », la création d'emplois, des impacts environnementaux atténués, des besoins d'investissements moindres ou différés, des entreprises plus concurrentielles, et, enfin, l'électrification des zones isolées à un coût réduit. Par ailleurs, le scénario alternatif chiffre, à l'échelle du bassin méditerranéen, plusieurs de ces avantages.

Économies d'énergie significatives : l'intensité énergétique des pays riverains chuterait à un rythme à peu près deux fois plus rapide (- 1.3% par an). Les économies totales d'énergie susceptibles d'être réalisées dans la région atteindraient 208 Mtep/an d'ici 2025, ce qui équivaut presque à la moitié de l'augmentation prévue de la demande entre 2000 et 2025. Approximativement 60% de ces économies concerneraient les PSEM, et 40% les PNM. La demande de pétrole se stabiliserait en 2025 à son niveau de 2000, alors que le scénario de référence prévoit une augmentation de 40% de la demande entre 2000 et 2025 (150 Mtep). Cette évolution de la demande limiterait les importations nécessaires

¹³ Scénarios développés en partenariat avec l'OME

¹⁴ The baseline scenario used here is the one proposed by Plan Bleu in 2005. It does not take into account 2008 update by the OME.

d'hydrocarbures et réduirait la dépendance énergétique des pays importateurs. 208 Mtep économisés en 2025 permettraient une économie substantielle (2200 milliards de dollars avec un baril de pétrole à 120 \$).

Impacts environnementaux atténués : la construction de plusieurs infrastructures énergétiques pourrait être évitée (ou différée) et les impacts et risques sur l'environnement atténués. Ainsi, la construction de 154 centrales électriques de 500 MW, principalement le long du littoral méditerranéen, serait évitée à l'horizon 2025, sur les 400 centrales supplémentaires prévues selon le scénario de référence. Les émissions de CO₂ seraient réduites de 25% (- 858 Mt) pour l'ensemble des pays d'ici 2025, ce qui correspond à 45% des émissions actuelles. La contribution des pays méditerranéens aux émissions globales de CO₂ serait de 7% d'ici 2025, au lieu de 9% selon le scénario de référence.

2. ACTIONS POUR CHANGER DE SCENARIOS : PROPOSITION DE LA SMDD

L'une des principales concrétisations de la prise de conscience croissante en Méditerranée est l'adoption en novembre 2005, de la « Stratégie Méditerranéenne pour le Développement Durable » (SMDD) par les 21 pays et territoires signataires de la Convention de Barcelone pour la protection de la Mer Méditerranée. La SMDD est un « cadre stratégique », dans le sens où elle inspire l'élaboration de Stratégies Nationales pour le Développement Durable » (SNDD), chaque pays étant responsable d'établir ses objectifs propres. Le 2^{ème} sujet prioritaire de cette Stratégie est « une gestion plus rationnelle de l'énergie, utilisation plus accrue des sources d'énergie renouvelables, et adaptation—via atténuation—aux impacts des changements climatiques.

Les principaux objectifs énergétiques proposés sont :

- Favoriser l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (URE) ;
- Valoriser le potentiel des Energies Renouvelables (ER) ;
- Maîtriser, stabiliser ou réduire selon chaque situation particulière les émissions de gaz à effet de serre.

La SMDD propose des objectifs chiffrés, dont (i) réduire d'environ 1 à 2% par an l'intensité énergétique par unité de PIB d'ici 2015, et (ii) pour les énergies renouvelables, atteindre 7% de l'ensemble de la demande énergétique d'ici 2015 (hors CWR).

Elle suggère également un ensemble d'actions et d'orientations à caractère qualitatif, telles que : (i) promouvoir des politiques d'économie d'énergie, ainsi que d'énergies renouvelables et plus propres ; (ii) établir des objectifs globaux et sectoriels favorisant les URE et ER dans les stratégies nationales et locales de développement durable ; (iii) inciter les acteurs économiques, les autorités locales et les consommateurs à adopter des comportements durables par le biais d'une politique tarifaire, des subventions ciblées, des incitations fiscales et des campagnes publiques de sensibilisation soutenues par les ONG ; (iv) favoriser les mécanismes économiques, tels que les certificats d'énergie renouvelable, et réglementation visant la promotion des énergies renouvelables ; et (v) renforcer la coopération régionale et soutenir la mise en œuvre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (UNFCCC) et du Protocole de Kyoto.

D'autres initiatives existent également dans la région afin de favoriser l'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables. Plusieurs organismes et établissements consacrent et/ ou soutiennent des efforts importants à cet égard (Commission Européenne, BEI, MEDENER, OME...). L'OME aborde ces questions en particulier au sein de son Comité Energies Renouvelables et Développement Durable.

VI. CONCLUSION

Le scénario tendanciel démontre clairement que les émissions de CO₂ issues de l'utilisation de l'énergie vont augmenter fortement dans un avenir proche. D'ici 2025, les pays du Sud et de l'Est méditerranéens (PSEM) pourraient en émettre autant que les pays de la rive Nord (PNM).

Plusieurs options existent, permettant de satisfaire les besoins énergétiques tout en répondant aux préoccupations relatives à la sécurité des approvisionnements, à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et aux défis du changement climatique :

- Exploitation du potentiel existant et très important d'efficacité énergétique ;
- Déploiement des technologies d'énergie propres et efficaces pour la production d'électricité ;
- Exploitation des ressources énergétiques renouvelables disponibles au niveau local ;
- Capture et stockage de carbone.
- Des solutions non technologiques doivent également être prises en compte, en particulier dans les domaines de l'information, du renforcement de capacités, de l'offre touristique, des transports ou du secteur de l'eau où les changements de comportement sont directement liés à l'option de développement.

Ces options leurs coûts et bénéfices, leurs avantages vis-à-vis des changements climatiques pour les pays du Sud de la Méditerranée, sont analysées tout au long des parties II et III de l'étude.

CHAPITRE 5

*Simulation économique de stratégies énergétiques
dans les Pays de la rive sud de la Méditerranée :
Égypte, Maroc, Tunisie*

Dr. Frédéric BLANC

Directeur des études, FEMISE – Institut de la Méditerranée Plan Bleu / CEPI

TABLE DES MATIERES

MESSAGES CLES	5
INTRODUCTION	6
<u>I. LE CONTEXTE ECONOMIQUE ET ENERGETIQUE DES PAYS DE LA RIVE SUD DE LA MEDITERRANEE</u>	11
1. L'économie : emploi, croissance équilibrée, convergence	11
2. La facture énergétique en Egypte, Maroc et Tunisie	14
<u>II. METHODOLOGIE : LE CIRCUIT MACROECONOMIQUE ET SON PENDANT ENERGETIQUE</u>	17
1. La logique d'ensemble	17
2. Le modèle de simulation économique	19
3. Le bloc énergie	24
<u>III. EVALUATION DES COUTS DE LA « NON ACTION » ET DES MARGES DE MANŒUVRE FINANCIERES APORTEES PAR DIFFERENTES STRATEGIES</u>	28
1. Valorisation des volumes d'énergie	28
2. Logiques et alternatives	29
3. Résultats	29
<u>IV. TABLEAU ET GRAPHIQUES DE SYNTHESE ET CONCLUSIONS</u>	41

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Encadré 1 - Canaux de transmission théoriques des variations du coût de l'énergie à l'économie et estimation des effets récents.....	14
Encadré 2 - La caisse de compensation marocaine :	16
Encadré 3 - La loi d'Okun, relation entre la croissance et l'emploi	19
Graphique 1 - Equilibre du compte courant de la balance des paiements des 10 PM.....	13
Graphique 2 - Schéma logique de la simulation	18
Graphique 3 - Taux de chômage 1990-2005 : comparaison simulation-observation.....	22
Graphique 4 - PIB 1990-2005 (aux prix 1990, devise locale) : comparaison simulation-observation.....	23
Graphique 5 - Consommation finale totale : comparaison simulation-observation	26
Graphique 6 - Evolution du prix du pétrole pris pour référence.....	28
Graphique 7 - les fourchettes de coût du scénario tendanciel 1990-2015 en fonction de l'évolution du prix du pétrole.....	31
Graphique 8 - Valeur annuelle en dollars des économies réalisées en fonction de l'évolution du prix du pétrole par des actions d'URE ciblant les secteurs non industriels.....	32
Graphique 9 - Valeur annuelle en milliers de dollars des économies réalisées en fonction de l'évolution du prix du pétrole par des actions d'URE ciblant les industries.....	34
Graphique 10 - Valeur annuelle en milliers de dollars des économies réalisées en fonction de l'évolution du prix du pétrole par l'accroissement de la part des ER	36
Graphique 11 - Emission de CO ₂ , historiques et tendances	39
Graphique 12 - Emissions de CO ₂ , différentiels selon les scénarios	39
Graphique 13 - Coût de la non action en termes d'économies de ressources.....	43
Graphique 14 - coût de la non action en milliers de dollars selon le prix du pétrole.....	44
Tableau 1 - le poids des trois pays de l'analyse dans l'ensemble des pays de la rive sud	15
Tableau 2 - Paramètres de la simulation pour les 3 pays	21
Tableau 3 - Paramètres de la simulation pour les 3 pays	25
Tableau 4 - Consommation apparente par type de combustible pour les trois pays.....	37
Tableau 5 - Récapitulatif des résultats.....	42

MESSAGES CLES

Face à l'évolution tendancielle qui impliquerait, pour les trois pays choisis (Egypte, Maroc, Tunisie) une hausse de 52,6% de la consommation finale et de 76,7% des besoins en énergie entre 2005 et 2015, deux types de scénarios fondés sur les objectifs de la SMDD sont envisagés. Une première série porte sur des actions d'utilisation rationnelle de l'énergie côté demande. Le second type de scénarios est basé sur un recours plus important aux énergies renouvelables. La comparaison entre l'évolution tendancielle et les scénarios alternatifs permet d'évaluer le potentiel d'économie d'énergie en volume. Ce volume est ensuite valorisé en fonction de l'évolution du prix du baril de pétrole selon trois hypothèses : une tendance baissière conduisant le prix du baril à 75\$ en 2015 ; une tendance à la stabilisation avec un cours de 120\$ en 2015 ; une poursuite de la tendance haussière, entraînant le cours à atteindre 175\$ en 2015.

Le différentiel de coût entre la tendance et les alternatives permet d'évaluer le coût de l'inaction durant la prochaine décennie. Il évalue également les marges de manœuvres financières dont pourraient disposer les pays pour mettre en place les actions alternatives.

Les résultats cumulés des simulations réalisées pour le Maroc, l'Egypte et la Tunisie montrent que :

- Il apparaît que le plus gros potentiel réside du côté de la demande, à travers des actions d'utilisation rationnelle de l'énergie. Les actions visant les secteurs non industriels entraînant une baisse de 10% de l'intensité énergétique (consommation d'énergie nécessaire pour produire une unité de PIB) en 10 ans permettrait une baisse annuelle moyenne des besoins d'énergie dans les trois pays en 2015 équivalente à 11,1% de la consommation finale 2005. De semblables actions conduites en direction des industries recèlent un potentiel d'économies annuelles équivalent à 5%.
- Concernant le développement des énergies renouvelables, un effort somme toute modeste conduisant la part des ER (solaire, éolien, géothermie) à **1,1%** de la consommation, permettrait tout de même un gain en volume à hauteur de 1,4% de la consommation 2005. Un effort plus conséquent à la suite duquel les ER atteindraient 3% de la consommation permettrait lui d'épargner un volume équivalent à 4,1% de la consommation 2005.
- En combinant ces types d'actions et selon le niveau de l'effort en matière d'ER, le niveau annuel d'économies réalisées en volume d'énergie varie de 17,6% à 20,2% du niveau de la consommation finale 2005. Il s'agit de volumes annuels compris entre 10 et 12 millions de TEP, soit près de deux années de consommation finale d'un pays comme la Tunisie. Quant aux volumes économisés sur l'ensemble de la période de 10 ans, ils sont compris entre 49 et 54 millions de TEP.
- Selon la tendance du prix du pétrole, ces volumes non économisés si les stratégies alternatives n'étaient pas mises en place auront de lourdes conséquences financières. Pour les trois dernières années de simulation (2013-2015), le coût de l'inaction varierait de : (i) 14,4 à 16,2 milliards de dollars si le baril baisse à 75\$ (environ le montant total des exportations marocaines en 2005) ; (ii) 21,7 à 24,4 milliards de dollars si le baril se maintient à 120\$; (iii) 30,3 à 34,1 milliards de dollars si le baril monte durablement à 175\$ (**on rappellera que la somme des exportations totales de biens de la Tunisie et du Maroc en 2005 atteignait 21,6 milliards de dollars**).

Enfin, les volumes qui seraient économisés par la mise en place des actions alternatives auront un impact en termes d'atténuation du changement climatique, par le biais d'émissions de CO₂ épargnés. La combinaison de l'utilisation rationnelle de l'énergie et du développement des ER au niveau des trois pays couvert par le chapitre permettrait d'éviter entre 2006 et 2015 le rejet de 190 à 209 millions de tonnes de CO₂ (équivalent à l'ensemble des rejets de l'Egypte et du Maroc en 2005). En 2015, le volume de rejets annuellement évités serait compris entre 39 et 46 millions de tonnes, soit de 17,0% à 19,8% des émissions enregistrées en 2005.

Une extrapolation régionale des résultats cumulés obtenus pour les 3 pays précédents montre que le cumul de l'ensemble des actions permettrait dès 2015 une économie annuelle de 33,6 à 38,3 millions de TEP et des rejets de CO₂ en baisse de 119 à 139 millions de tonnes. Le bénéfice annuel des actions dès 2015 atteindrait au niveau régional : (i) de 18,5 à 21,0 milliards de dollars avec un baril à 75\$; (ii) de 29,5 à 33,7 milliards de dollars avec un baril à 120\$; et (iii) de 43,1 à 49,1 milliards de dollars avec un baril à 175\$.

On rappellera pour mémoire que le PIB nominal de la Tunisie s'élevait à 28,7 milliards de dollars en 2005 et que ses émissions de CO₂ en provenance de l'utilisation d'énergie étaient d'environ 20 millions de tonnes.

INTRODUCTION

Contexte

La Méditerranée fait partie des régions du monde qui, quelle que soit l'évolution globale, verra son climat évoluer plus rapidement et plus radicalement que la moyenne mondiale. Les résultats récents des modélisations du climat futur convergent en effet pour affirmer que la Méditerranée est un « hot spot » du changement climatique. Les impacts physiques des changements aggraveront des tendances non durables déjà alarmantes.

Pour les Pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée, en pleine croissance énergétique, l'enjeu est surtout celui de l'anticipation, afin que les modes de développement à venir (urbanisation, mode de vie, systèmes énergétiques) ne les conduisent pas irrémédiablement à des impasses environnementales, à une vulnérabilité aux effets du changement climatique plus forte et à une inadaptation structurelle à une économie mondiale qui sera très probablement, d'ici 2050, très faiblement émettrice de CO₂ et très efficace d'un point de vue énergétique.

Les contraintes et les priorités énergétiques des pays de la région sont variées. Mais, dans son rapport, le Plan Bleu identifie deux pistes principales pour lesquelles tous les pays de région disposent de marges de manœuvre importantes pour répondre aux enjeux économiques, environnementaux et sociaux de la région: (i) l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie (URE) (ou maîtrise de l'énergie) et (ii) la diversification de l'offre énergétique et la promotion des énergies « propres » ou renouvelables (éolien, solaire, géothermie) (ER). Dans les pays méditerranéens, où la consommation d'énergie primaire commerciale a plus que doublé depuis 30 ans, recourant à 87% aux énergies fossiles, on estime que si l'on utilise les technologies déjà disponibles, au lieu de laisser la tendance actuelle à l'utilisation non rationnelle de l'énergie se développer sans réorientation volontaire, une économie potentielle de l'ordre de 20 à 25% de la demande totale en énergie serait tout à fait réalisable d'ici 2025. Cette économie de ressources possède un impact environnemental positif, en diminuant les émissions de gaz à effets de serre et notamment le CO₂ (selon les tendances actuelles, les émissions de CO₂ de la Méditerranée passeraient de 7% du total mondial en 1992 à 9% en 2025). Elle a également un impact économique direct, en allégeant une facture énergétique qui pèse de façon très sensible sur les pays de la rive sud aux capacités de financement limitées compte tenu de leurs contraintes de développement économique et social. Pour les pays de la rive sud de la Méditerranée, les contraintes économiques principales sont celles liées à l'emploi (et donc à la croissance en tant que moteur de création d'emplois) et à l'équilibre de la balance extérieure. Elles doivent être considérées comme absolues dans une optique de développement durable, car elles pèsent fortement et à très court terme sur l'équilibre sociétal, et, par conséquent, prioritaires sur tout autre agenda.

Si une prise de conscience au niveau international des risques encourus par les trends actuels de recours à l'énergie est maintenant un fait établi, on est encore loin d'être en présence d'une vision consensuelle. Le plus souvent, on observe que les problématiques environnementales et économiques sont présentées séparément, et plus encore, de façon concurrente en termes de priorités.

Il existe en effet plusieurs oppositions de fond : (i) en premier lieu entre les pays développés et les pays en développement, ces derniers suspectant que certaines contraintes liées à la préservation de l'environnement imposées par les premiers relèvent davantage d'un protectionnisme déguisé que d'une réelle préoccupation de développement « propre » ; (ii) en second lieu, entre les « économistes » eux-mêmes, sur le plan des enjeux prioritaires, avec une hiérarchisation des besoins, qui suppose que lorsque une grande partie de la population cherche avant tout à satisfaire des besoins vitaux de

base, certaines questions relevant de la collectivité passent nécessairement au second plan ; (iii) enfin, entre les « économistes » et les « environnementalistes » sur les façons même d'aborder l'aspect « environnement », notamment sur le fait d'inclure dans l'analyse des prix, des coûts, des bénéfices, aspects qualifiés par les seconds de triviaux pour aborder une question fondamentale.

Le premier point ne sera pas discuté, mais il est fondamental, en revanche, d'aller plus loin sur le point du caractère prioritaire de différents objectifs. C'est en effet bien l'une des principales objections que l'on peut entendre quant aux stratégies en matière de préservation de l'environnement : s'il est incontestable que cela importe, ce n'est pas la première priorité, des actions plus « vitales » sont d'abord à entreprendre en termes de développement humain avant de songer à l'environnement. C'est un vaste débat qui prend place quand les groupes d'experts commencent à s'accorder d'une part sur l'impact environnemental des activités humaines telles qu'entreprises aujourd'hui, d'autre part sur l'existence d'un laps de temps plus ou moins court pour agir avant que des changements irréversibles prennent place.

Une façon de concilier ce type de points de vue est de reconnaître la nécessité et l'urgence de la mise en place de profondes modifications des stratégies énergétiques sans sous-estimer la contrainte de financement, l'un des facteurs de blocage généralement avancés, qui peut retarder la traduction dans les faits de la prise de conscience des enjeux environnementaux. Il est en effet certain que, quel que soit le niveau de cette prise de conscience, le maintien de la cohésion sociale reste prioritaire et le pragmatisme de court terme l'emportera toujours au niveau des arbitrages. Pour ce faire, la piste suivie ici est de monétiser les gains d'une modification structurelle des stratégies énergétiques, de façon à en estimer les avantages économiques à court terme et ainsi permettre d'en évaluer la compatibilité avec les priorités socio-économiques. On évite ainsi une schématisation de la problématique opposant l'urgence d'agir à la présence de moyens d'action financiers limités, impliquant que d'autres problèmes doivent être réglés avant.

Objectif du chapitre

Ce chapitre a pour objectif d'améliorer la connaissance des avantages économiques de court terme, en termes financiers et environnementaux, des diverses stratégies énergétiques possibles dans les Pays Sud-Méditerranéens (PM), compte tenu de leurs contraintes propres en termes de développement économique et social. Il s'agit plus précisément de se focaliser sur le coût économique lié à l'éventuelle faible efficacité énergétique et la non-utilisation d'énergies renouvelables (ER) dans les pays méditerranéens, coût dont la grandeur peut inciter les pays à modifier leur mix énergétique en faveur des ER et à mettre en œuvre des actions d'efficacité énergétique. Le chapitre propose une activité de modélisation, qui intègre et complète les travaux de scénario prospectif réalisé dans le rapport du Plan Bleu. Il permet ainsi de quantifier économiquement à court/moyen terme (2015) les bénéfices possibles d'orientations de politiques énergétiques permettant d'atteindre des objectifs de développement durable.

Source d'information et méthodologie

L'analyse se fonde sur 3 pays représentatifs des pays méditerranéens de la rive sud : l'Égypte, le Maroc et la Tunisie, qui forment un échantillon suffisamment représentatif pour évaluer le coût de la non action pour l'ensemble de la rive sud. Se fondant sur le différentiel de coûts directs selon un scénario tendanciel et des scénarios alternatifs, le chapitre entend présenter de façon assez précise quels avantages économiques supplémentaires peuvent être attendus du scénario alternatif par rapport à un scénario tendanciel et montrer ainsi l'intérêt économique des pays à s'engager dans des stratégies nationales permettant d'atteindre les objectifs régionaux de la SMDD.

Ces mêmes éléments alternatifs offrent également la possibilité d'évaluer le gain environnemental en termes de rejet de CO₂.

L'analyse s'appuie sur une approche en termes de simulation fondée sur un modèle de l'économie en volume qui comprend sa propre balance énergétique. Les données macroéconomiques sont issues de la base de donnée IFS du FMI, à l'exception du capital, recalculé à partir de Vikram Nehru et Ashok Dhareshwar « A New Database on Physical Capital Stock: Sources, Methodology and Result », 1995. Les données des balances énergétiques proviennent de l'OME.

Les équations formant le modèle sont estimées par des régressions OLS (moindres carrés ordinaires) sur la période 1990-2005 pour chacun des pays.

L'estimation des rejets de CO₂ se fonde sur une estimation de la Consommation apparente en fonction de la Consommation Finale qui découle de la simulation. Un facteur global d'émission est calculé sur la base de la composition en matières premières énergétiques de la consommation apparente 2005 (source OME) en appliquant les principes défini dans IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories », 1996 révisé. Ce facteur est éventuellement recalculé pour chaque année entre 2006 et 2015 dans les scénarios intégrant un accroissement du recours aux énergies renouvelables.

Le prix du pétrole utilise comme référence les estimations du FMI sur la période 1990-2007 (« World Economic Outlook », octobre 2007 ; moyenne simple de 3 prix spot (APSP) : Dated Brent, West Texas Intermediate et Dubai Fateh). Pour la période prospective 2008-2015, on suppose trois différentes tendances du prix de la ressource : orientation à la baisse (retour à 75\$), stabilité ou poursuite de la tendance haussière (jusqu'à 175\$).

Le scénario tendanciel représente la poursuite des trends 1990-2005 sur la période 2006-2015. Il permet d'obtenir des volumes de consommation, de rejets de CO₂ et le coût des achats de matières premières selon les trois tendances qui vont servir de référence. Les scénarios alternatifs supposent des modifications structurelles dans la relation Production-utilisation de l'énergie et permettent d'obtenir des volumes alternatifs en Tonnes Equivalent Pétrole, en CO₂ et le coût en dollar selon le trend du prix du pétrole.

Les bénéfices attendus des alternatives (en termes de volumes consommés économisés, de volumes de CO₂ dégagés évités et en termes du coût d'achat économisé) s'obtiennent en comparant les valeurs alternatives aux valeurs tendancielle de référence.

La démarche adoptée dans ce chapitre suit les étapes suivantes :

- 1) Représentation du fonctionnement de l'économie : détermination du modèle économique de développement existant et de son éventuel niveau minimum de croissance nécessaire en fonction des contraintes socio-économiques des pays de la rive sud de la Méditerranée. Trois pays ont été choisis pour mesurer la magnitude des effets économiques : l'Égypte, le Maroc et la Tunisie. Le Maroc avait déjà fait l'objet d'une étude en 2007 qui est ici réactualisée ;
- 2) Détermination du besoin énergétique pour que ce modèle fonctionne : on suppose implicitement que la production de biens et services, production par laquelle on mesure le niveau de développement économique, utilise un facteur capital et un facteur travail, l'emploi représentant la contrainte d'équilibre social, et l'utilisation d'un volume d'énergie qui varie selon le niveau de production atteint et l'efficacité énergétique (le volume d'énergie que requière une unité de production marchande) ;
- 3) Evaluation du coût énergétique direct : le volume d'énergie nécessaire a d'une part un coût marchand d'acquisition, qui induit un coût direct supporté par la collectivité, et d'autre part un coût environnemental, indirect, mesuré par exemple par les rejets de gaz à effet de serre du volume utilisé. On évalue ainsi le coût direct de l'usage d'un volume d'énergie déterminé, en fonction du prix de marché des ressources utilisées. Ce coût est une valeur de référence, le prix de la stratégie nationale adoptée pour fournir à la sphère socio-économique l'énergie nécessaire

à son fonctionnement. Cette étape est fondamentale car la notion de prix permet de rendre objectif les rapports entre les différents aspects à une date donnée.

- 4) Prise en compte des possibilités offertes par le circuit énergétique, grâce à la partie de la simulation qui reprend la structure d'une balance énergétique : le volume mis à disposition est déterminé par : a) une production locale qui peut être assurée par différentes sources ; b) un circuit de distribution dont l'efficacité est variable, une partie de la production pouvant être « perdue » avant sa mise sur le marché ; c) un marché international d'échange d'énergie, une partie de la production locale pouvant être « exporté » (et par conséquent ne sera pas consommé localement), et un volume d'énergie pouvant être importé pour couvrir les besoins locaux, à un prix déterminé internationalement (le pays local est supposé price-taker¹, le prix de l'énergie est donc exogène).
- 5) Les deux circuits (économique et énergétique) étant calibrés sur les tendances passées, la poursuite des tendances identifiées sur une période courte (ici 10 ans), pendant laquelle la plupart des comportements structurels peuvent être tenus pour stables sans que l'hypothèse ne soit trop forte, permet d'évaluer le « coût tendanciel ». Bien évidemment, ce coût est aussi fonction de l'évolution des prix de l'énergie, dont on doit reconnaître la difficulté de prévision. Dans la présente étude, ce coût tendanciel est évalué au sein d'une fourchette fonction de l'évolution du prix du baril de pétrole.
- 6) Evaluation des coûts selon les différentes stratégies énergétiques possibles : on modifie différents paramètres du circuit énergétique, pour illustrer des actions nationales entreprises pour la diversification de l'offre énergétique (grâce aux énergies renouvelables) ou l'amélioration de l'efficacité énergétique (à l'aide d'actions en faveur d'une utilisation rationnelle de l'énergie). Les illustrations choisies représentent des modifications destinées à atteindre les objectifs régionaux de la Stratégie Méditerranéenne de Développement Durable (SMDD). La simulation permet d'obtenir une évaluation alternative du coût nécessaire à la couverture du nouveau besoin énergétique en fonction du développement économique et social. Comparant ce coût alternatif au coût tendanciel, il devient aisé d'obtenir une évaluation chiffrée de la non action² et des marges de manœuvre financières libérées par un objectif précis, qu'il reste à comparer aux coûts des mesures à mettre en place pour l'atteindre. Dès lors, il est possible de mener une réflexion en termes d'analyse coûts-bénéfices traditionnelle: rendement et temps de retour des investissements, secteurs à privilégier, impact du prix relatif des énergies (puisque le coût de la non action varie en fonction du prix du pétrole, le bénéfice à attendre des actions en dépend aussi, « bénéfice » qui constitue une « marge de manœuvre » pour financer le coût des actions), etc.
- 7) Evaluation des impacts environnementaux en fonction des différentes stratégies par le biais des émissions de gaz à effets de serre.

¹ La taille du pays n'est pas suffisamment importante pour lui permettre d'influencer les prix sur le marché international.

² Dans les modèles évaluant l'impact économique et social des changements climatiques engendrés par les activités humaines, l'évaluation et la définition du « coût de la non action » est soumise à de nombreuses hypothèses (Cf. l'article de Richard S.J. Tol et Alii : Methodological aspects of recent climate change damage cost studies). Dans la présente analyse, la chose est plus aisée dans la mesure où l'on ne se préoccupe que du coût direct de biens ayant un prix de marché : en l'occurrence, les deux circuits fournissent en prolongeant les tendances le poids financier à l'horizon fixé du besoin énergétique, en fonction du prix international. La non action est ici définie par la prolongation des tendances observées. La modification de différents paramètres traduit certaines actions et induit de nouvelles valeurs de ce même poids financier. La comparaison entre la valeur tendancielle et les valeurs alternatives est défini comme le coût de la non action.

Contenu du chapitre

Le raisonnement suivi comporte donc 3 aspects principaux :

- la connaissance des mécanismes de coût pour la collectivité, par le biais d'une modélisation reliant le fonctionnement économique et le besoin en énergie nécessaire à l'actuel mode de développement,
- l'évaluation financière aux horizons qui préoccupent les décideurs de la stratégie actuelle, et son évolution à court terme en fonction de l'évolution du marché international de l'énergie,
- une évaluation objective par différentiel de coût de mesures nationales prises pour : a) optimiser l'usage de l'énergie, c'est à dire le volume nécessaire en fonction des objectifs de développement économique suivi par l'économie considérée ; b) différencier l'offre énergétique pour atténuer la dépendance nationale, tant en termes de ressources que de coût, en fonction du jeu des prix relatifs. Ce jeu est de fait représenté implicitement, en référence à l'évolution du prix du pétrole, ce qui minimise de fait les hypothèses à faire : on raisonne plutôt en termes de seuil de rentabilité dans la mesure où le coût du pétrole augmentant, les économies directes générées par l'usage de sources alternatives croissent également ce qui accroît leur intérêt relatif.

Le chapitre est organisé en 4 sections :

- une première section présente succinctement le contexte économique et énergétique particuliers des pays de la rive sud.
- le deuxième section présente les circuits macroéconomique et énergétique sur lesquels se fonde la simulation.
- la troisième section est consacrée à l'estimation des coûts de la non action en termes de volumes et de valeur selon le trend que suivra le prix du pétrole. Elle décline différentes alternatives de type utilisation rationnelle de l'énergie et recours aux énergies renouvelables.
- une dernière section est consacrée aux émissions de gaz.

I. LE CONTEXTE ECONOMIQUE ET ENERGETIQUE DES PAYS DE LA RIVE SUD DE LA MEDITERRANEE

1. L'ECONOMIQUE : EMPLOI, CROISSANCE EQUILIBREE, CONVERGENCE

3 impératifs économiques conditionnent à court terme tout développement durable dans les PM³.

- L'impératif d'emploi : avec une population jeune et une population active toujours en forte croissance, il faudra créer au minimum 22 d'emplois entre 2005 et 2020 pour stabiliser la situation sur le marché du travail, voire près de 60 millions pour ne pas accroître le nombre absolu d'inactifs.
- Le besoin de croissance : ces emplois doivent être créés de façon durable et permettre une convergence des niveaux de revenus entre les deux rives de la Méditerranée.
- Les contraintes macroéconomiques : la durabilité du développement implique de conserver l'acquis des 15 dernières années et éviter toute crise, en veillant notamment pour ces pays en développement à l'équilibre de la balance des paiements, dans un contexte de fort déficit commercial, et à l'équilibre budgétaire.

La durabilité du développement repose en premier lieu sur les conditions du maintien de la cohésion de la société dont on se préoccupe. Pour ce qui concerne les pays de la rive sud, l'élément fondamental à prendre en compte est la structure de la population.

Les 10 PM représentent plus de 250 millions de personnes en 2005. Si l'on observe finement les tendances démographiques, les principales remarques sont les suivantes :

- Les taux de croissance de la population totale ont nettement chuté et les prévisions d'ici à 2015 indiquent une poursuite du mouvement, principalement en raison de la diminution de la fécondité.
- Le nombre de jeunes est extraordinairement important : plus de 80 millions de personnes ont moins de 15 ans en 2005 et auront donc besoin d'un emploi dans les 15 ans, nombre qui dépasse l'actuel niveau de la population active. C'est évidemment la contrainte majeure des sociétés méditerranéennes.

Il est clair que les PM ont largement entamé leur transition démographique. Par conséquent, tout indique une quasi-stabilisation de la croissance de la population des PM à l'horizon d'une vingtaine d'années. Mais, cette transition démographique entamée n'empêche pas que la population active va continuer de croître fortement pendant plus d'un demi-siècle en moyenne (voir graphique ci-dessous). La structure actuelle de la population, qui se caractérise par une population active (ceux qui ont un emploi ou ceux qui se déclarent au chômage) inférieure à la population des moins de 15 ans (celle qui sera en âge de travailler d'ici à 2015), se poursuivra pendant plusieurs années. Dans ces conditions, sans une augmentation significative du rythme de croissance économique, les problèmes de l'emploi se maintiendront également, avec leurs cortèges de menaces sociales.

Le problème crucial des PM aujourd'hui est donc celui de sa jeunesse et de la population en âge de travailler. A la première, il faut offrir des perspectives, à la seconde des emplois, ce qui par ailleurs crédibilise les perspectives offertes aux jeunes. Comme l'a montré l'expérience de certains pays

³ Les 10 PM sont les pays bénéficiaires des fonds MEDA : Algérie, Egypte, Israël, Jordanie, Liban, Maroc, Palestine, Syrie, Tunisie, Turquie

asiatiques, cette phase démographique peut être fort bénéfique pour l'économie des PM. Mais, il est indispensable pour cela que le mouvement prenne place dans une économie disposant d'une vitalité suffisante pour offrir les postes de travail nécessaires et, de surcroît, que la qualité de ces nouveaux emplois permette une augmentation des salaires réels sans que la compétitivité de l'économie n'en souffre. Pour ce qui nous préoccupe, cela a deux implications :

- La première est que les agendas politiques sont entièrement orientés sur la priorité sociale de l'emploi et qu'en conséquence, en fonction d'un budget forcément limité dans le cas de pays « en développement », toutes les orientations passent dans le filtre des arbitrages.
- La deuxième relève de l'ampleur de la tâche. Selon les estimations du Femise (communication au Séminaire Euro-méditerranéen sur l'emploi de la DG emploi, décembre 2007, « Le défi de l'emploi dans les pays méditerranéens »), pour l'ensemble de la rive sud, d'ici à 2020, les PM devront donc créer plus de 22 millions d'emplois nouveaux à la seule fin de ne pas dégrader la situation actuelle en termes de pourcentage, et jusqu'à 60 millions pour stabiliser le nombre absolu d'inactifs.

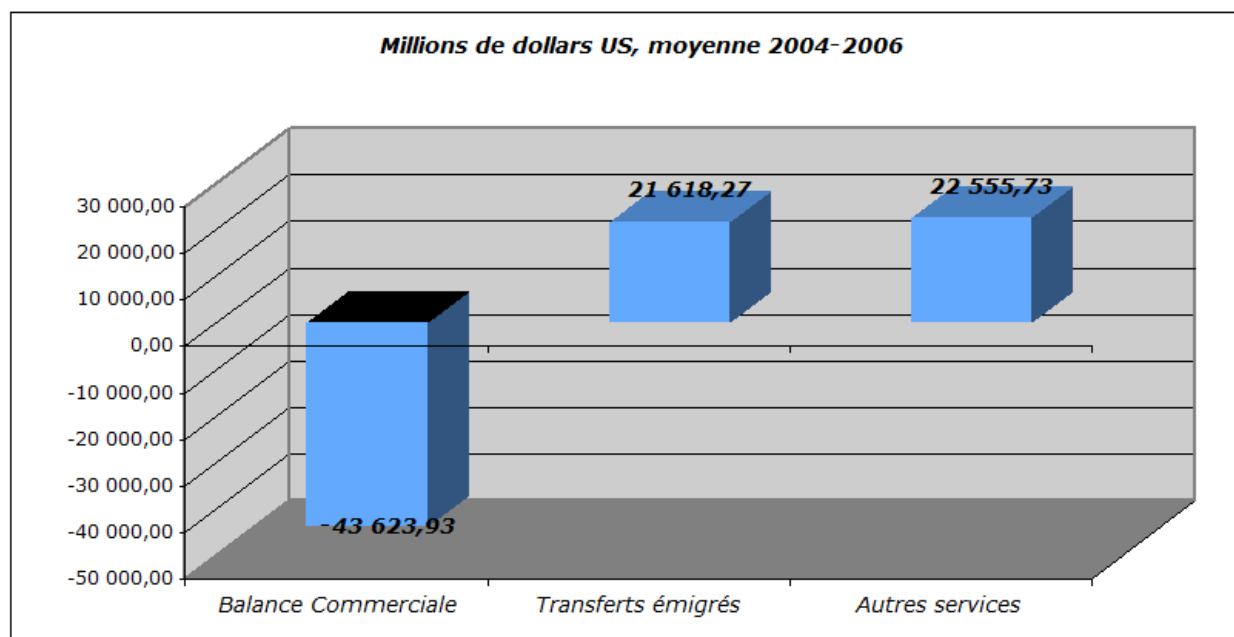
C'est donc un impératif de hausse du chemin de croissance auxquels les PM font face, impératif d'abord quantitatif et de très court terme, qui repousse de facto d'autres aspects comme la préservation de la ressource environnementale, en problèmes de second rang. La croissance va être recherchée à n'importe quel « prix environnemental », et force est de reconnaître que cette hiérarchisation est parfaitement rationnelle.

D'autant que si l'on se place maintenant sur le plan de la région méditerranéenne, on observera que, depuis 1990, les conditions économiques ont été profondément modifiées dans la quasi-totalité des Pays de la rive sud. Un effort très important a été mené pour améliorer le cadre macroéconomique, avec un succès incontestable. Les remarquables performances en gestion macroéconomique des PM leur ont permis d'éviter les crises majeures (à l'exception de la Turquie). Mais, les seules avancées macroéconomiques, n'ont pas été suffisantes pour atténuer significativement leur fragilité en termes d'exposition aux chocs externes (comme le montre l'exemple du Maroc avec l'effet des sécheresses sur la croissance du PIB), de chômage et de pauvreté.

Les progrès enregistrés durant la dernière décennie n'ont effet pas pu impulser une dynamique suffisante pour amorcer une convergence économique entre les deux rives : on y observe de façon flagrante le décalage croissant qui se manifeste entre l'UE et les nouveaux membres, d'une part, et les PM, de l'autre.

Qu'il suffise de traverser un détroit pour observer un tel écart de niveau de vie, et plus fondamentalement pour perdre/gagner 10 ans d'espérance de vie, n'est pas un facteur de stabilité de développement et peut expliquer que l'on puisse considérer que les préoccupations environnementales soient « un luxe » que l'un des côtés ne semble pas en mesure de financer.

Graphique 1 - Equilibre du compte courant de la balance des paiements des 10 PM



Source : Femise 2007, d'après EIU

L'ouverture des économies, dans laquelle l'ensemble des PM se sont lancés depuis le début des années 90, soutenus par les accords de Barcelone, a modifié la contrainte extérieure, mais les économies restent exposées et l'équilibre de la balance des paiements demeure souvent fragile. Les échanges marchands avec l'UE se développent selon un modèle classique Nord-Sud, selon lequel les PM exportent des matières premières et des produits manufacturés qui utilisent une main d'œuvre importante et peu qualifiée et une technologie basse ou moyenne. En revanche, les relations avec le reste du monde donnent lieu à des spécialisations de niveau plus élevé. Mais, dans tous les cas, les PM sont en situation d'importants déficits commerciaux. Les échanges de services semblent combler en partie ce déficit. Mais, il apparaît que cela est principalement dû aux revenus issus du tourisme, alors que le retard persiste en dans les services commerciaux.

Au niveau des investissements directs étrangers (IDE), la situation est préoccupante. Certes, les flux semblent augmenter à nouveau ces dernières années, mais sur l'ensemble de la période, les PM ont reçu un niveau total très en deçà de ce qui serait nécessaire pour observer un effet sensible en termes d'accumulation de capital et d'augmentation de la productivité. Les PM attirent 15,8% des investissements directs étrangers à destination des pays en développement dans les années 80, part qui depuis le milieu des années 90 n'a jamais dépassé 5% (en moyenne de 3,5%).

De fait, pour la plupart des pays méditerranéens, l'équilibre extérieur s'obtient en compensant l'important déficit commercial (en particulier vis-à-vis de l'UE), par les recettes du tourisme et les transferts de revenus des immigrés.

Encadré 1 - Canaux de transmission théoriques des variations du coût de l'énergie à l'économie et estimation des effets récents

« L'effet d'une hausse des cours pétroliers se manifeste d'abord par un renchérissement de la facture énergétique, découlant non seulement de la composante pétrole mais aussi des autres matières premières dont les prix suivent ceux du pétrole (gaz notamment). Le renchérissement de la facture énergétique se transmet à l'ensemble de l'économie par deux principaux canaux. Elle induit une hausse des coûts de production des entreprises qui, selon leur comportement de marge, peuvent répercuter totalement ou partiellement le relèvement du coût des inputs sur les prix à la consommation. La hausse de l'inflation exerce des effets négatifs sur la demande et l'offre de biens en déformant les prix des facteurs, ce qui conduit à une baisse du revenu du pays.

Il s'en suit alors une compression du pouvoir d'achat des consommateurs, l'inflation se traduisant par une ponction sur le revenu réel disponible. La hausse du prix de l'énergie conduit à une réduction des marges bénéficiaires des entreprises, ce qui amène ces dernières à revoir à la baisse leurs programmes d'investissement et d'embauche. Néanmoins, ce comportement est loin d'être mécanique compte tenu du contexte concurrentiel qui empêche les entreprises de répercuter intégralement la hausse des coûts. (...). Le FMI a retenu, dans ses estimations de septembre 2005, un prix moyen de pétrole de 54,2 \$/b pour 2005 et de 61,8 \$/b en 2006. (...) D'après les estimations du FMI, le niveau actuel des prix du pétrole coûterait 0,7 à 0,8 point à la croissance mondiale en 2005-2006. Toutefois, les effets seraient différenciés selon le degré de dépendance vis-à-vis des importations nettes de pétrole, de l'intensité énergétique de la croissance et du degré d'absorption des chocs par chaque économie. »

Source : Les répercussions de la hausse des cours pétroliers sur les économies internationale et nationale, Direction des Études et des Prévisions Financières – Ministère des finances et de la privatisation du Maroc, janvier 2006

2. LA FACTURE ENERGETIQUE EN EGYPTE, MAROC ET TUNISIE

Dans les PM, la consommation d'énergie primaire a été multipliée par plus de 5 entre 1970 et 2005 pour atteindre 265 Mtep. Selon l'OME, sans changement de la tendance, la demande sera de l'ordre de 536 Mtep en 2020. L'augmentation de la population et le développement économique sont les principaux moteurs de la croissance de la consommation d'énergie. Actuellement, les énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz) dominent les approvisionnements énergétiques des PM à plus de 95%⁴.

Dans ce contexte, les enjeux énergétiques pour les PM sont à la fois :

- de répondre à la croissance de la demande,
- de ne pas aggraver les impacts du système énergétique sur l'environnement local et global (gaz à effet de serre et changement climatique),
- de gagner en compétitivité grâce à la maîtrise des consommations, aux économies d'énergies et aux énergies renouvelables, dans un marché méditerranéen de plus en plus libre, ouvert et concurrentiel et dans un contexte énergétique international de plus en plus volatil et incertain,
- de renforcer la sécurité énergétique afin d'assurer la stabilité politique, sociale et macroéconomique.

La simulation du présent chapitre va porter sur 3 des 10 pays de la rive sud : l'Égypte, le Maroc et la Tunisie. Ces trois pays choisis représentent à eux seuls plus de 40% de la population des PM. Le poids économique, mesuré par le PIB, est moindre bien qu'ils représentent plus du quart de la production intérieure brute de la région. Toutefois, si l'on omet la Turquie, les trois pays représentent 42,3% du PIB. Côté énergie, l'ensemble Égypte-Maroc-Tunisie représente le tiers de la région dans la production totale d'énergie et dans la consommation finale. On notera le poids moindre en termes d'importations, environ 20%, dû au fait que l'Égypte et la Tunisie sont « producteurs » (modestes) d'hydrocarbures. La Tunisie n'est même devenue importateur net que

⁴ Méditerranée, les perspectives du plan Bleu sur l'environnement et le développement.

récemment et l’Egypte pourrait le devenir bientôt. Leur poids dans les exportations régionales (hors Libye) est naturellement bien plus faible, inférieur à 10%. Toutefois, si l’on ôte l’Algérie, l’ensemble représente 23,5% des exportations.

Tableau 1 - le poids des trois pays de l’analyse dans l’ensemble des pays de la rive sud

	Source	Egypte	Maroc	Tunisie	Total PM	En % des 10 PM
Population totale 2005 (pers.)	Femise, ILO	74 032 884	31 478 460	10 102 467	260 410 199	44,4%
Population active 2005 (pers.)	Femise, ILO	20 359 300	11 139 725	3 413 100	79 377 844	44,0%
Chômage 2005 (pers.)	Femise, ILO	2 240 700	1 226 429	486 400	9 331 997	42,4%
PIB 2005 en milliards de dollars US, prix 1996	EIU	100	49	30	676	26,4%
Production d’Energie Primaire 2005 (KTEP)	OME*	71 754	615	6 571	310 715	25,4%
TPES 2005 (KTEP)	OME*	60 691	12 190	8 950	246 029	33,3%
Importations d’énergie en volume, 2004 (KTEP)	OME*	4 008	12 039	6 052	116 576	19,0%
Exportations d’énergie en volume, 2004 (KTEP)	OME*	-10 136	-1 441	-4 061	-171 075	9,1%
Consommation finale d’énergie en volume, 2004 (KTEP)	OME*	40 125	9 248	6 417	167 569	33,3%

* Jordanie non prise en compte

Pour synthétiser, on retiendra que les trois pays sur lesquels porte l’analyse représentent 25% du potentiel économique de la rive sud, 33% de la balance énergétique et 44% de la population. Ces chiffres doivent permettre rapidement d’extrapoler au niveau de l’ensemble de la rive sud, les évaluations concernant notre échantillon.

Concernant maintenant le montant direct de la facture énergétique, les PM en général, dont les trois pays choisis, additionnent deux mouvements qui entraîne une forte croissance du poids de l’énergie dans les comptes nationaux : (i) une croissance de la demande sous l’effet d’une forte croissance de la population et de la production et (ii) une évolution récente du prix des hydrocarbures marquée par une forte augmentation. Pour le Maroc, pays non producteur par exemple, les importations d’énergie ont représenté 21,6% des importations totales en 2006 (contre 15,6% en 2003), absorbant 40,2% des recettes d’exportation (contre 25,3% en 2003). En ce qui concerne l’Egypte et la Tunisie, qui exportent des produits pétroliers, le poids est moindre mais en forte croissance. En Egypte, les importations d’énergie atteignaient 16,3% des importations totales en 2006 (contre 5,2% en 2003) et absorbaient 24,5% des exportations (9,2% en 2003). En Tunisie, ces importations de produits énergétiques ont atteint 13,7% en 2005 (contre 6,8% en 2003), absorbant 17,1% des exportations (contre 9,4% en 2003).

Pour ces trois pays, la facture de l’énergie en proportion du PIB est en très forte croissance et atteint des pourcentages sensibles : 3,1% du PIB 2006 en Egypte (0,8% en 2003) ; 8,2% du PIB 2006 au Maroc (4,8% en 2003) et 6,3% du PIB 2005 en Tunisie (2,8% en 2003).

On soulignera également que les prix des produits énergétiques sont soutenus par les pouvoirs publics dans la plupart des PM. Et ce poids financiers indirect vient s’ajouter au coût direct (cf. Encadré 2, l’exemple de la caisse de compensation du Maroc).

Encadré 2 - La caisse de compensation marocaine :

Cet organisme a été créé en 1941 pour stabiliser les prix des produits de consommation. Indépendant, le Maroc conserve l'organisme, dont les premières ressources proviennent des taxes prélevées sur les secteurs bénéficiaires, le conseil d'administration de la caisse disposant du pouvoir important d'instituer une taxe à tout moment. En 1975, un premier déséquilibre apparaît : la taxe intérieure de consommation (TIC) sur les produits pétroliers est créée par le gouvernement marocain, mais ces quelques 12 milliards de dirhams par an vont directement dans le budget de l'État, privant la Caisse d'un de ses revenus les plus importants. Avec la mise en place de « plans d'Ajustement structurels », puis les actions de libéralisation de l'économie marocaine et les accords commerciaux internationaux, les missions évoluent : dès la fin des années 1990, la Caisse ne subventionne plus que le sucre, les huiles alimentaires, le gaz butane et les produits pétroliers. En 1995, un nouveau système entre en vigueur, les prix étant indexés sur les cotations des produits pétroliers de Rotterdam en vue de la libéralisation progressive de l'économie et du secteur énergétique. Avec cette réforme, c'est le consommateur qui supporte (partiellement) les fluctuations du marché international pour toute hausse ou baisse qui dépasse un certain seuil (2,5%). L'indexation est introduite, mais le système est suspendu en août 1999 devant la flambée des cours du baril. A nouveau, la Caisse de Compensation couvre la différence entre les prix intérieurs bloqués sur des projections révisables et les prix internationaux. Le mécanisme actuel est schématiquement le suivant : sur une certaine période, un prix moyen du baril de pétrole est projeté. Si le prix international dépasse ce montant estimé, le prix public n'est pas indexé (depuis 2001), la Caisse doit compenser la différence auprès des professionnels qui agissent « dans le cadre de prix réglementés ». La hausse continue des cours des produits pétroliers (mais aussi du prix du sucre brut) depuis le début de la décennie ont déstabilisé le système, qui est maintenant largement débattu tant par les organismes internationaux comme le FMI qu'au point de vue local. Cela s'explique par un poids croissant sur les finances publiques : en 2005, le cours pivot a été fixé à 47,8 \$, et de fait, cela a conduit l'Etat marocain à verser 19,2 dollars à la caisse de compensation pour chaque baril importé (ce qui équivaut à une ponction de 600 millions de dirhams par mois, soit, selon le taux de change prévu par le ministère des Affaires économiques et générales de 1 \$ = 9 Dh, une ponction mensuelle de 66 millions de \$). Le budget 2006 prévoyait ainsi une dotation de 7 milliards de DH (780 Mios de dollars) pour la compensation des produits pétroliers (sur un total de 9 milliards), auquel s'ajoutaient 12 milliards d'arriérés (1 300 mios de dollars). Pour illustrer le poids sur les finances publiques, on peut rappeler qu'en 2005, d'après les données du FMI, la consommation publique s'élevait à 101,26 milliards de DH (impliquant que le budget de la caisse en représentait plus de 6%, les arriérés plus de 11%), les recettes de l'Etat 140,2 Mds (les mêmes parts respectivement de 5% et 8,6%), le PIB à 457,62 Mds (les mêmes parts respectivement de 1,5% et 2,6%).

Aujourd'hui, les autorités marocaines ne souhaitent pas remettre totalement le système en cause, tout en plafonnant le budget : « la Caisse de compensation continuera toujours à soutenir les prix du gasoil normal et du gaz butane à hauteur de 5,5 milliards de dirhams par an en vue de soutenir le pouvoir d'achat des citoyens », soit 610 mios de dollars ou encore d'après les chiffres 2005 précédent : 5,5% de la consommation publique, 3,9% des dépenses publiques et 1,2% du PIB.

*déclaration du ministre délégué chargé des affaires économiques et générales, M. Rachid Talbi El Alami du 13/01/07

II. METHODOLOGIE : LE CIRCUIT MACROECONOMIQUE ET SON PENDANT ENERGETIQUE

1. LA LOGIQUE D'ENSEMBLE

La démarche adoptée est pragmatique. Pour des pays en développement comme les Partenaires Méditerranéens, les urgences de développement économique priment. Il s'agit indéniablement moins d'un choix que d'une réalité. Ici, pour une fraction encore importante de la population, ce sont les besoins vitaux basiques qu'il faut en premier lieu satisfaire et qui guident les comportements.

De façon technique, dans le modèle de simulation que l'on va présenter, l'économique va donc primer sur l'énergétique. Il s'agit en premier lieu de reproduire le fonctionnement actuel des économies, éventuellement en le supposant se diriger vers une stabilisation de la situation de façon à ce que les fondements même de la société ne soient pas menacés. Et de ce fonctionnement économique, on va en déduire les aspects énergétiques, en termes de « carburant » au moteur économique. L'aspect peut apparaître mécanique, voire caricatural, mais il est indéniablement la reproduction du mode de pensée actuel, y compris dans les pays développés. Dans l'ensemble des économies, les solutions techniques alternatives ne sont envisagées qu'en dernier ressort, en fonction de leur coût et de la possibilité d'inclure ces techniques de façon économiquement viables.

Schématiquement, la base de réflexion est :

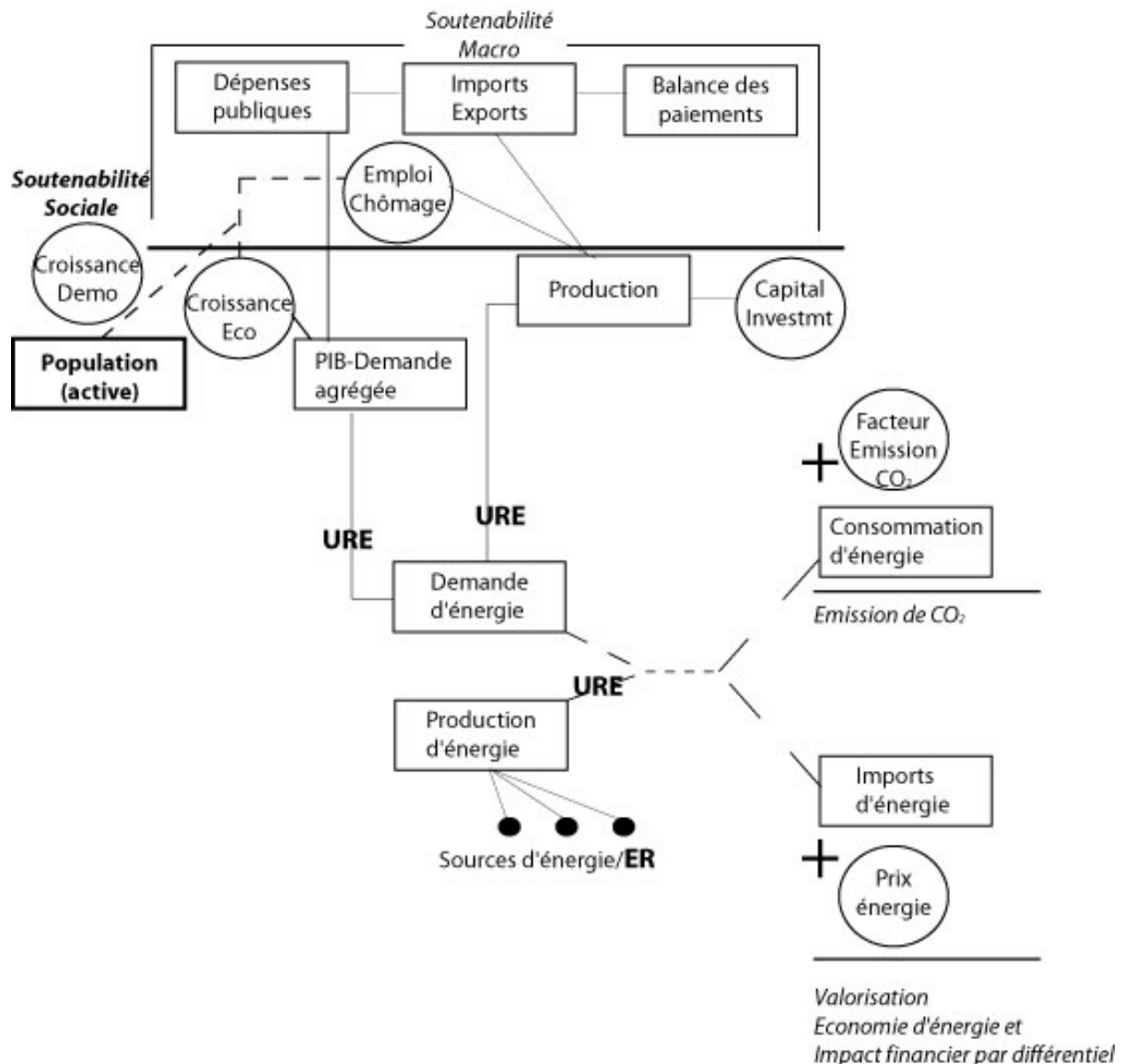
Fonctionnement de l'économie (pour absorber la croissance de la population active)

=> besoin énergétique (balances énergétiques)

=> coût (prix des ressources)

Entrant plus dans les détails, la logique suit le schéma page suivante :

Graphique 2 - Schéma logique de la simulation



Une partie supérieure simulant le fonctionnement économique, avec comme principal objectif le besoin de l'emploi et comme rigidités les équilibres macroéconomiques. Ce fonctionnement aboutit à un indicateur économique qui est le PIB. Pour atteindre ces niveaux de PIB, les agents ont un besoin d'énergie : le fonctionnement économique induit la demande globale d'énergie. On entre dans la partie basse et gauche, la partie énergétique qui doit simuler la balance énergétique. Pour satisfaire cette demande supposée inélastique (sauf à remettre en cause les fondements économiques), il faut produire de l'énergie, localement, et en importer. Ce qui n'est pas produit localement, quel que soit le mode, doit être importé à un coût qui dépend : (i) du volume nécessaire au fonctionnement de l'économie ; (ii) du prix des matières premières énergétiques.

On voit dans la partie énergétique quelques leviers d'actions : (i) URE ou utilisation rationnelle : chaque volume de PIB nécessite la consommation de volumes d'énergie que le modèle paramétrise, la variation du paramètre symbolisant un levier d'action ; (ii) ER ou énergie renouvelable : accroître la production locale (par définition de façon propre) ce qui induit une baisse du volume qu'il faut importer, donc du coût collectif ; par différentiel entre le coût sans accroissement de la production d'énergie et le coût avec, l'espérance de gain et donc le retour sur investissement peut être évalué sous diverses hypothèses de variations des prix de l'énergie.

2. LE MODELE DE SIMULATION ECONOMIQUE

2.1. Cœur du modèle (circuit économique) utilisé

Le circuit macroéconomique utilisé est un hybride d'approche keynésienne et néo-classique. En termes de causalité, la production semble à l'origine de la plus grande partie du revenu national disponible, ce qui détermine la consommation, le solde commercial et les différents agrégats de la demande agrégée (hors investissement). Mais, un effet de la demande sur le niveau de production est assuré en retour par une loi d'Okun (Cf. Box 3) : la variation du taux de chômage est, en effet, fonction de la croissance de la demande agrégée, déterminant l'emploi et par conséquent la production, l'investissement étant ici supposé exogène (déterminé par un taux d'accumulation du capital fixe). Cet effet de retour éloigne le modèle de l'approche néoclassique traditionnelle, d'autant que l'absence de la boucle prix permet un écart production maximale-demande agrégée. On raisonne ainsi sur la boucle typique keynésienne des flux côté demande.

Encadré 3 - La loi d'Okun, relation entre la croissance et l'emploi

Formulée par Arthur Okun en 1962, elle décrit la relation linéaire entre le taux de croissance de la production (PIB) et la variation du taux de chômage. Elle s'écrit de façon générique comme suit :

$U_t - U_{t-1} = -\beta (g_t - a)$ où U est le taux de chômage (en t et $t-1$), g le taux de croissance, a et β deux paramètres.

Elle stipule ainsi formulée que le taux de croissance peut avoir un impact sur la variation du taux de chômage à partir d'un certain seuil de croissance égale à a . En dessous du seuil a , le chômage augmente (en raison de deux facteurs la croissance de la population active et la croissance de la productivité du travail) ; au dessus du seuil a , le taux de chômage diminue, avec une élasticité constante β : ainsi chaque point de croissance au-dessus de a entraîne une diminution du taux de chômage de β point.

a est une mesure du « contenu en emploi de la croissance d'une économie » (variant dans le temps et entre pays). Pour le Maroc, sur la base des données FMI couvrant la période 1999-2005, le coefficient est estimé à 0,4.

Sources : Blanchard, Cohen « Macroéconomie 2nd édition »

Le point de départ est la croissance de la population active, qui détermine l'emploi, en fonction de la variation du taux de chômage (résultant de la croissance de la demande passée). Le niveau d'investissement s'ajuste pour maintenir un taux d'accroissement du capital constant, compatible avec la tendance observée 1990-2005 selon les données FMI.

Le stock initial de capital est reconstruit à partir de la série Vikram Nehru et Ashok Dhareshwar « A New Database on Physical Capital Stock: Sources, Methodology and Result », 1995. Elle repose sur la méthode de l'inventaire, avec une durée de vie de 4 ans. Le stock est exprimé en monnaie locale aux prix 1990.

Le capital et l'emploi déterminent le niveau de la Valeur Ajoutée par l'intermédiaire d'une fonction de production, Cobb-Douglas classique à rendements constants.

Un effet de Productivité Globale des Facteurs est introduit dans le modèle par un coefficient fonction du temps augmentant le niveau de production, en sus de la croissance provenant de l'augmentation des facteurs de production capital et travail.

Les paramètres de la fonction de production de type Cobb-Douglas pour le capital et le travail sont issus de A. Senhadji, « Sources of Economic Growth: An Extensive Growth Accounting Exercise », IMF Staff Papers Vol. 47, No. 1, 2000. Ce papier fournit pour les trois pays une fourchette pour le paramètre concernant le capital. La simulation part d'une valeur comprise dans cette fourchette, valeur que l'on réajuste de façon à retrouver le taux de croissance moyen 1990-2005.

Les revenus fiscaux proviennent de la taxation de la production à un taux marginal t . Le Revenu disponible s'obtient donc par la valeur de la production moins le prélèvement fiscal, le capital déclassé, mais augmenté des transferts de l'étranger (ici les « Workers Remittances » seulement, donnée exogène éventuellement croissante avec le temps).

L'équation fondamentale de la Consommation est une fonction keynésienne traditionnelle, déterminant le niveau de consommation en fonction du revenu disponible et la propension à consommer.

Les dépenses publiques sont supposées devoir suivre une contrainte de type plan d'ajustement structurel. Le niveau des achats publics de Biens et Services composant la demande agrégée est une fraction fixe du niveau des Dépenses Totales, lesquelles sont à leur tour déterminées en fonction des revenus fiscaux.

$$G = a \times \text{DEP TOT} ; a < 1$$

$$\text{DEP TOT} = a' \times \text{Taxe} ; a' > 1$$

$$\text{Taxe} = a'' \times \text{Valeur Ajoutée} ; a'' < 1$$

On suppose néanmoins sur la période une certaine « largesse budgétaire », le niveau des dépenses totales excédant les revenus fiscaux. Les valeurs retenues pour les trois coefficients proviennent des rapports pays du FMI et les données 2000-2005.

Pour le bloc échange, on part de l'hypothèse que l'on est en présence de « petits pays », qui n'ont donc aucun impact sur les prix mondiaux. En appliquant une propension à importer sur la Consommation, on détermine le niveau des importations (en volume toujours). Sous l'hypothèse de « petit pays », l'absence du niveau des prix d'importations (globale) n'est pas préoccupante (par définition exogène au modèle).

La principale question concerne l'équation d'exportations (et par conséquent les mouvements de la balance commerciale (X-M)). En général, une telle équation ferait dépendre les exportations de : i) un indicateur de demande étrangère (dans le contexte des PM, le volume d'import des pays de l'OCDE ou de l'UE) ; ii) un indicateur de compétitivité-prix des produits des PM sur les marchés étrangers (ou autre possibilité, i) un indicateur du rôle des facteurs offres des productions du PM et ii) le facteur rapport de prix). Cela supposerait toutefois d'inclure un effet taux de change, sur lequel il faudrait poser des hypothèses d'évolution entre 2005 et 2015, s'ajoutant aux hypothèses à faire sur l'évolution de la demande étrangère. Le risque est de multiplier les hypothèses économiques non directement reliées à la problématique, forcément discutables qui masqueraient les résultats obtenus.

Par ailleurs, l'essence même de la réflexion se situe dans une évaluation des volumes, que ce soit d'emplois, de production ou de consommation d'énergie. Ce sont les volumes en effet qui sont pertinents dans l'optique de durabilité et des conséquences environnementales, ce qui implique que les effets purement monétaires ne sont pas souhaités dans cette approche : ils pourraient en effet masquer l'évolution des volumes réels.

On aura par conséquent choisi une simple équation de propension à exporter dépendant du niveau de production⁵.

A ce stade, tous les flux formant la demande agrégée sont déterminés. Rappelons néanmoins la boucle croissance-chômage : le niveau de croissance atteint détermine la variation du taux de chômage, ce qui compte tenu de la croissance de la population active détermine le niveau de l'emploi (et de la production, etc.).

⁵ Cela offre également la possibilité de faire dépendre la propension à exporter supposée ici fixe dans les 10 prochaines années, des facteurs évoqués plus haut si l'on souhaite complexifier le modèle en intégrant les effets de changes.

2.2. Procédure de calibration

Le modèle est calibré pour chaque pays séparément. La procédure utilise les données IFS du FMI sur la période 1990-2005. Les paramètres sont estimés à partir de relations économétriques simples, qui sont ajustés si nécessaire, de façon à ce que les comptes nationaux simulés (hors les chocs observés) reproduisent la tendance 1990-2005.

Le système d'équations et les paramètres estimés ou observés sont donnés ci-dessous avec un tableau donnant les valeurs pour nos trois pays :

$dPA/dt = a_1\%$	Croissance de la population active	(1)/*
$L = (1-u) PA$	Niveau d'emploi	(2)/**
$u_t - u_{t-1} = -a_2 (dGDP/dt - b_2)$	Taux de chômage	(3)/***
$dK/dt = I - 0,04 K$	Accumulation de capital	(4)/****
$I = a_3 K$	Investissement	(5)/****
$VA = a_4 * PGF_t * K^{\alpha} * L^{\beta}$	Fonction de production	(6)/*
$T = a_5 * VA$	Revenus Fiscaux	(7)/****
$REV = VA - T - 0,04K + WR$	Revenus Disponibles	(8)/**
$C = c_0 + c_1 REV$	Consommation	(9)/****
$G = (a_6 * a_7) * T$	Dépenses Publiques	(10)/****
$M = a_8 C + b_8$	Importations B&S	(11)/**
$X = a_9 VA + b_9$	Exportations B&S	(12)/**
$GDP = C + I + G + X - M$	demande agrégée	(13)/**

* Données issues d'estimations tierces

** Identités ou calculs mathématiques

*** Estimations statistiques sur les données FMI ou OME : OLS sur 15 observations

**** Exogènes dont la valeur est posée

PGF = productivité globale des facteurs ; WR = Workers Remittances

Valeurs en monnaie locale aux prix 1990

Valeurs en monnaie locale aux prix 1990

Tableau 2 - Paramètres de la simulation pour les 3 pays

	Egypte	Maroc	Tunisie
(1)	$a_1=2,80\%$	$a_1=3,00\%$	$a_1=3,23\%$
(3)	$-0,31 (dGDP/dt - 1,4)$	$-0,4 (dGDP/dt - 2,3)$	$-0,12 (dGDP/dt - 3,3)$
(5)	$I = 0,076 K$	$I = 0,074 K$	$I = 0,078 K$
(6)	$VA = 0,895 * PGF * K^{0,7} * L^{0,3}$ $PGF=0,006t + 1$	$VA = 0,103 * PGF * K^{0,5} * L^{0,5}$ $PGF=0,00001t + 1$	$VA = 0,717 * PGF * K^{0,7} * L^{0,3}$ $PGF=0,009t + 1$
(7)	$T = 0,15 * VA$	$T = 0,26 * VA$	$T = 0,20 * VA$
(8)	$REV = VA - T - 4\%K + WR$ $WR = 435t + 1440$	$REV = VA - T - 4\%K + WR$ $WR = 45$	$REV = VA - T - 4\%K + WR$ $WR = 46t + 310$
(9)	$C = 7200 + 0,93 REV$	$C = -10 + 0,87 REV$	$C = 160 + 0,90 REV$
(10)	$G = 0,66 * 1,3 * T$	$G = 0,6 * 1,1 * T$	$G = 0,66 * 1,3 * T$
(11)	$M = 0,6 C - 31600$	$M = 0,82 C - 60$	$M = 0,834 C - 570$
(12)	$X = 0,50 VA - 35000$	$X = 0,46 VA - 63$	$X = 0,596 VA - 1745$

Sur la base des trois estimations du circuit, on observera que les trois pays diffèrent essentiellement dans leur mode de croissance par le niveau de l'investissement (plus élevé en Tunisie et plus faible au Maroc), le poids de la main d'œuvre dans la fonction de production (plus élevé au Maroc) et surtout la croissance de la productivité globale des facteur (forte en Tunisie, quasi nulle au Maroc).

2.3. Résultats de la simulation

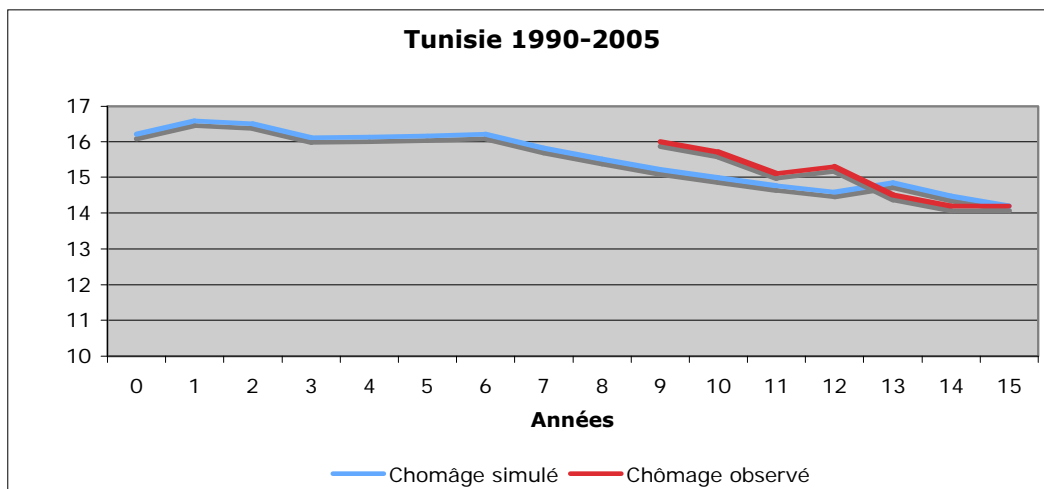
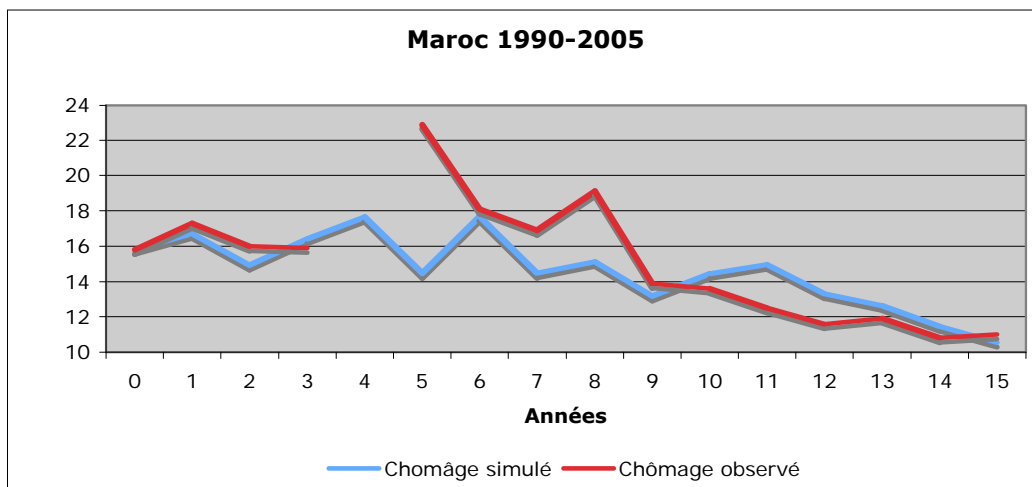
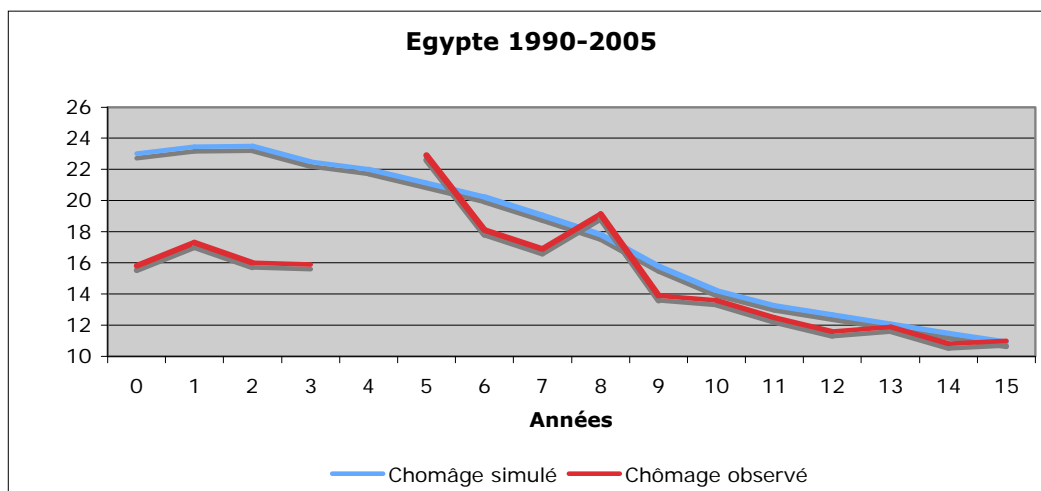
Pour évaluer la pertinence de la simulation macroéconomique ainsi calibrée, on effectue la comparaison entre les données simulées et les tendances observées de 1990 à 2005

Une des spécificités des PPM en général et du Maroc en particulier, liée à la prégnance de la production agricole, à l'importance des ressources touristiques et aux caractéristiques de leurs industries est une forte exposition aux chocs exogènes. Le Maroc en particulier est très sensible aux sécheresses qui l'ont frappé durement durant la décennie simulée. Reprenant les données, des chocs

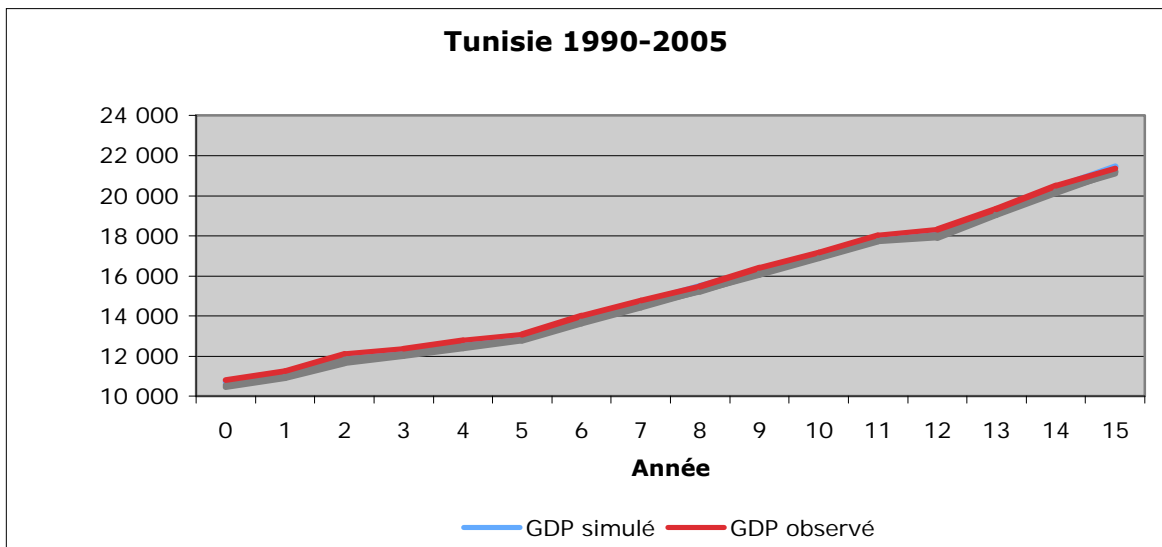
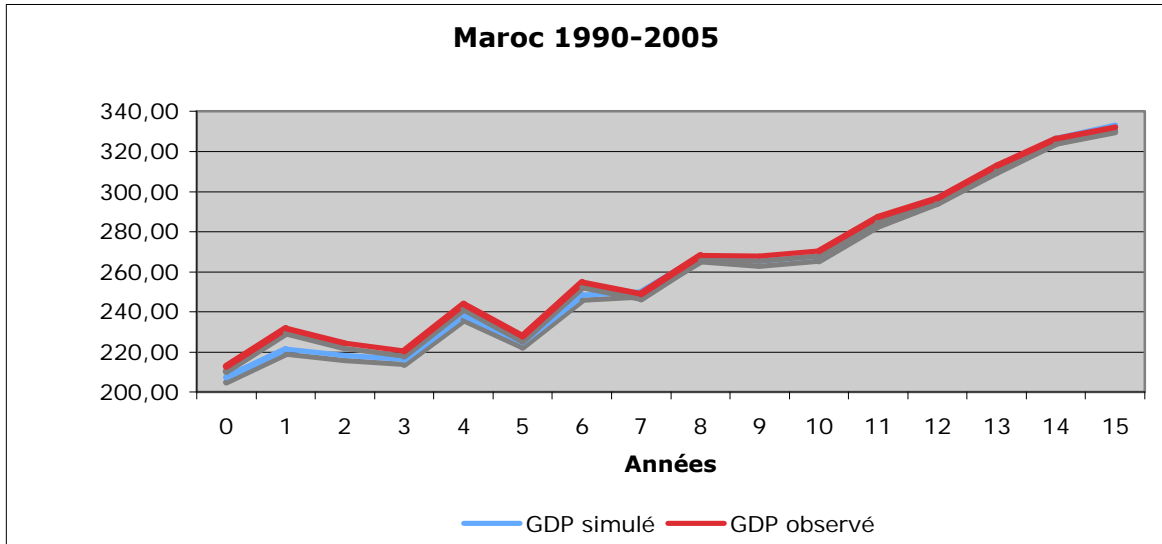
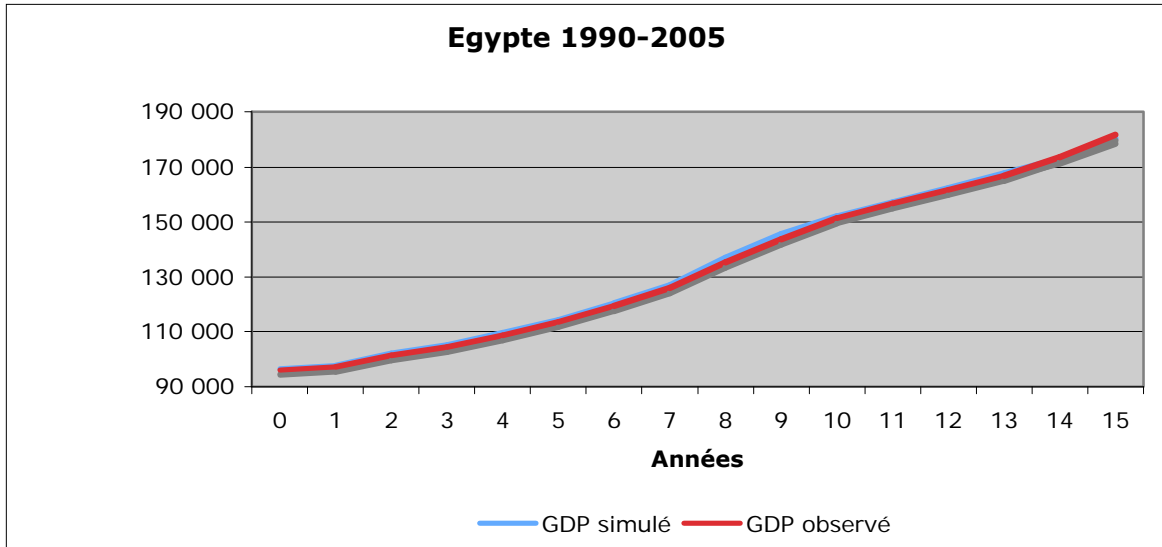
exogènes ont été introduits aux années concernées, par simple application d'un coefficient inférieur à 1 à la VA simulée (1992, 1993, 1995, 1997, 1999, 2000 et 2005). Bien que de façon moindre, l'Egypte et la Tunisie subissent aussi ce genre de chocs (notamment dans ces 2 pays, l'impact sur les recettes touristiques des conflits en Irak et des attentats) et la même méthode est appliquée.

On trouvera ci-dessous les graphiques comparant valeurs obtenues par la simulation intégrant les chocs et les valeurs réelles (données FMI, IFS) :

Graphique 3 - Taux de chômage 1990-2005 : comparaison simulation-observation



Graphique 4 - PIB 1990-2005 (aux prix 1990, devise locale) : comparaison simulation-observation



3. LE BLOC ENERGIE

Pour relier la balance énergétique à l'économie, on suppose que le fonctionnement de l'économie nécessite de consommer de l'énergie, quelle qu'en soit la forme à ce point là. Dans une certaine mesure, chaque unité de PIB s'obtient donc en consommant des unités d'énergie. Chaque économie va choisir un mix énergétique pour fournir à ses agents le volume global d'énergie requis pour un chemin de croissance particulier. C'est par ce schéma que la simulation fonde la relation économie-énergie ici : le fonctionnement de l'économie entraîne une consommation totale d'énergie en volume que l'on retrouve dans les balances énergétiques (Total Final Consumption). Dans cette version, deux secteurs seulement sont distingués :

- le secteur Industrie et,
- les autres secteurs, regroupant notamment le Résidentiel et les transports.

La logique est de faire dépendre la consommation dans ces deux secteurs des niveaux de production et de la demande agrégée par le biais d'une fonction linéaire.

$TFC_industrie = a VA + b$	Consommation finale du secteur industrie	(15)***
$TFC_house = a'GDP + b'$	Cons. Finale des ménages, du transport et autre	(16)***
$TFC = TFC_ind. + TFC_house$	Détermination du volume global nécessaire à l'économie	(17)**

Une discussion s'impose pour l'équation 16, où la consommation finale des ménages composant l'agrégat dépend du PIB. On pouvait alternativement faire dépendre la consommation de ces secteurs de la population ou de l'emploi. Mais, on se prive dans ce cas d'un levier de simulation en termes d'« usage rationnel de l'énergie ». La tendance du coefficient a' que l'on doit simuler devient en effet ambiguë. Avec l'accroissement du niveau de vie, les ménages vont pouvoir accéder à des biens et services qu'ils ne peuvent financer actuellement. Or, ce progrès social va mathématiquement augmenter le niveau de consommation par tête (le coefficient a'), sans que cela soit une indication de la tendance des agents à améliorer leur usage de l'énergie. Il faudrait alors procéder en deux étapes, la première étant une tendance de convergence avec les niveaux observés sur la rive nord (une hausse de a'), la seconde étant de modérer cette hausse par la baisse du même coefficient, due aux initiatives prises pour améliorer l'usage de l'énergie.

Pour éviter de complexifier l'analyse, tout en pouvant utiliser les ratios objectifs de la SMDD, la variable explicative choisie est donc la demande agrégée, en partant du raisonnement suivant : avec l'accroissement du niveau de vie permis par le fait de trouver un emploi, ce qui dépend de la croissance économique par hypothèse, les besoins énergétiques résidentiels des agents augmentent compte tenu d'un équipement plus étoffé et de comportements de consommation nouvellement possibles. Cela implique que pour le secteur résidentiel aussi, la demande est aussi fonction du PIB comme indicateur de niveau de vie cette fois. Toutefois, le comportement des ménages et la consommation des équipements peuvent être « optimisés » pour mieux utiliser l'énergie, ce qui se traduit par une baisse du coefficient a' .

En regard de ce besoin d'énergie (TFC), et selon le modèle des balances énergétiques, le bloc offre est introduit. Le volume d'énergie nécessaire est donc produit localement ou importé. La fonction de production locale est supposée exogène, afin de constituer un véritable levier de contrôle, notamment quant à la production issue des énergies renouvelables. Il est également important de noter la remarquable stabilité du trend de croissance sur 15 ans, compte tenu de la volatilité de la croissance marocaine et de la volatilité du prix du pétrole, stabilité qui renforce l'idée d'indépendance de la consommation aux variations du prix de l'énergie.

Afin d'estimer le bénéfice d'investir dans un accroissement de la production domestique par usage de sources d'énergie en accord avec des objectifs de développement durable, le modèle tient cette variable pour exogène, soit constante, soit suivant un trend temporel.

$Prod_domestic = aT + B$	Production d'énergie domestique	(18)***
---------------------------	---------------------------------	---------

Entre la production primaire et l'énergie effectivement distribuée, il existe de multiples sources de pertes (et par conséquent d'optimisation), d'usages indirects et d'autoconsommation (par ex. constitution de stock, soutes maritimes, consommation de centrales de production d'énergie, ...). On supposera pour l'instant que les pertes de production et de distribution, l'autoconsommation, le stockage, etc... ne sont pas distinguées. A nouveau, il doit s'agir d'une variable de contrôle et la simulation la suppose donc exogène. La simulation donnant déjà le niveau de la TFC, le niveau de ces « pertes » est fixé de façon à ce que la TPES recalculée par la simulation s'ajuste au niveau observé par l'OME.

Pertes = P	Pertes et usages indirects de la Production domestique	(19)****
------------	--	----------

Les balances énergétiques prennent également en compte l'exportation d'énergie produite localement, qui, dans un modèle national, doit se retrancher de l'offre disponible sur le marché local. On considère cette variable ici comme exogène soit constante, soit suivant un trend temporel. Il est intéressant de ce point de vue de noter l'exemple de l'Egypte, pays producteur, dont les exports suivent un trend négatif. Pour un tel pays peut se poser la question de l'arbitrage entre usage domestique et exportations en fonction du prix de marché de la ressource (c'est donc également le cas de la Tunisie).

$X_nrj = aT + b$	Energie domestique exportée	(20)***
-------------------	-----------------------------	---------

On en déduit ainsi le gap entre la demande domestique et l'offre disponible par production domestique, qui sera supposée importé.

$B_nrj = TFC - (pertes * Prod_domestic - Xnrj)$	volume d'énergie à importer pour les besoins domestique	(21)**
---	---	--------

Estimations des coefficients par pays

$TFC_industrie = a VA + b$	Consommation finale du secteur industrie	(15)***
$TFC_house = a'GDP + b'$	Cons. Finale des ménages, du transport et autre	(16)***
$TFC = TFC_ind. + TFC_house$	Détermination du volume global nécessaire à l'économie	(17)**
$Prod_domestic = aT + B$	Production d'énergie domestique	(18)***
Pertes = P	Pertes et usages indirects de la Production domestique	(19)****
$X_nrj = aT + b$	Energie domestique exportée	(20)***
$B_nrj = TFC - (pertes * Prod_domestic - Xnrj)$	Volume d'énergie à importer pour les besoins domestique	(21)**

* Données issues d'estimations tierces

** Identités ou calculs mathématiques

*** Estimations statistiques ou économétriques sur les données FMI ou OME et les valeurs simulées, sur 15 observations.

**** Exogènes dont la valeur est posée

Tableau 3 - Paramètres de la simulation pour les 3 pays

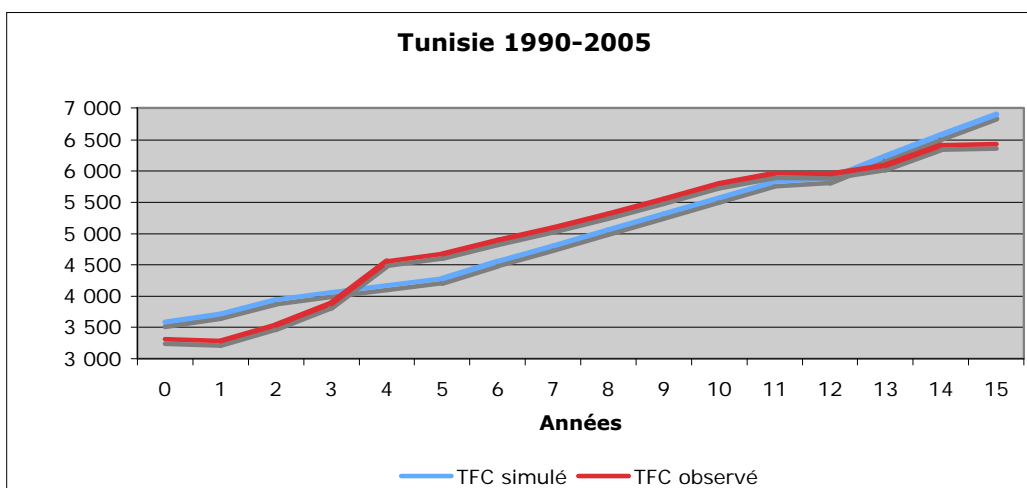
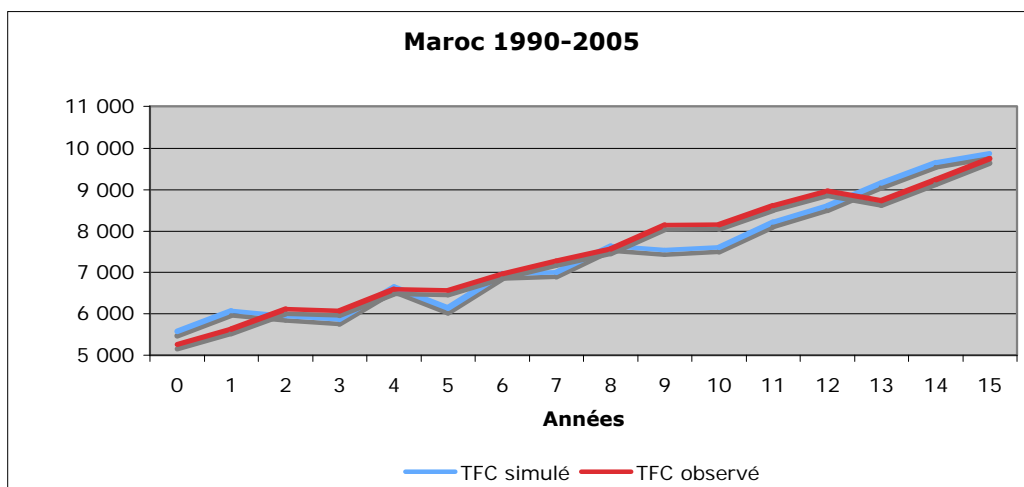
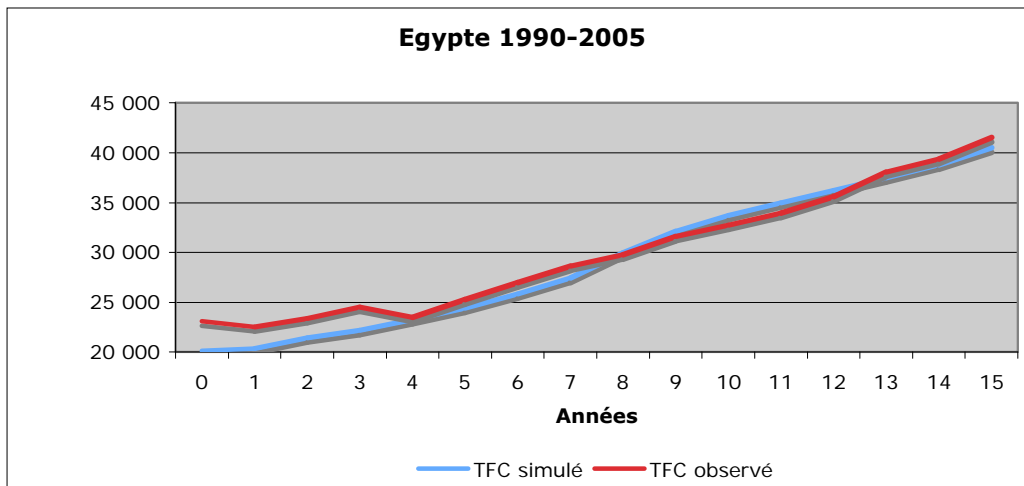
	Egypte	Maroc	Tunisie
(15)	0,095* VA - 1 260	8,23* VA - 163	0,051* VA + 690
(16)	0,158*GDP - 2 150	25,5*GDP - 1 348	0,262*GDP - 444
(18)	=740*t + 54 300	735 ; <i>trend non significatif</i>	6400 ; <i>trend non significatif</i>
(19)	Pertes = 0,78	Pertes = 0,84	Pertes = 0,84
(20)	=-600*t+24 750	X_nrj = -805 ; <i>trend non significatif</i>	X_nrj = -4210 ; <i>trend non significatif</i>

Peu de remarques peuvent être directement faites à partir de ce tableau, les équations (15) et (16) étant en monnaies locales. On notera néanmoins que l'Egypte affiche un taux de « pertes » plus important que les deux autres pays. Concernant la production, l'Egypte semble avoir encore quelques marges pour augmenter sa production domestique (du moins était-ce le cas dans la décennie précédente), mais ses exportations suivent un trend décroissant qui peut à terme avoir un impact négatif sur la balance des paiements. Concernant la Tunisie, l'absence de trend positif de la

production durant une période de hausse du prix de la ressource tend à indiquer le plafonnement de la production.

L'estimation OLS donne des résultats assez significatifs. En reprenant la simulation économique intégrant les chocs, on pourra comparer ci-dessous l'estimation globale entre 1990 et 2005 de la consommation finale par rapport aux données observées fournies par l'Observatoire Méditerranéen de l'Energie (OME) pour chacun des pays étudiés :

Graphique 5 - Consommation finale totale : comparaison simulation-observation



A ce point, on obtient avec ces deux blocs un modèle de simulation qui permet de reproduire le fonctionnement des 3 économies et d'estimer pour chacun d'elle le besoin en énergie compatible avec le fonctionnement économique tendanciel, ainsi que leur besoin de recourir à l'importation pour satisfaire ce besoin. Il reste à en évaluer le coût.

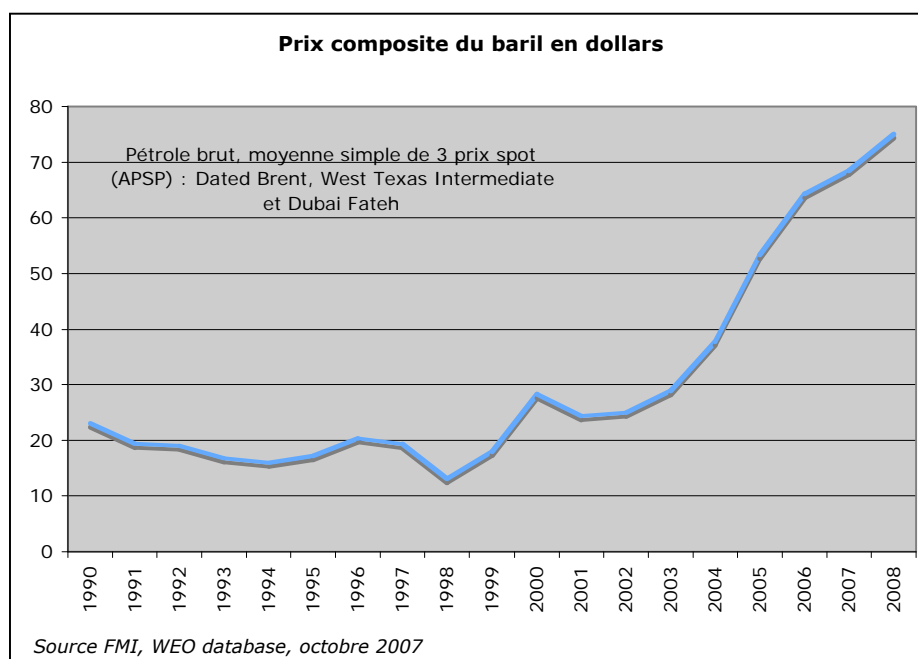
III. EVALUATION DES COUTS DE LA « NON ACTION » ET DES MARGES DE MANŒUVRE FINANCIERES APPORTEES PAR DIFFERENTES STRATEGIES

1. VALORISATION DES VOLUMES D'ENERGIE

En premier lieu, il faut revenir sur l'estimation des volumes énergétiques. Tout effet monétaire étant éliminé du modèle en ne prenant en compte que des variables en volumes, la question des unités est secondaire. Il s'est donc agi dans la calibration d'estimer les fonctions de demande et d'offre dans une unité de volume commune, quelle que soit l'énergie utilisée. La logique a été de choisir la « tonne équivalent pétrole ». Il s'agit pour l'évaluation monétaire de donner un prix à la TEP. Le choix fait est finalement très simple. Le prix du baril ramené en « tonne de pétrole » donne la valorisation en dollars du besoin à couvrir. Bien entendu, le mix importé n'est pas composé à 100% de pétrole et l'hypothèse de valorisation sur la seule base d'un prix moyen du baril est simplificatrice. Mais, on supposera dans la suite que l'évolution du prix du pétrole entraîne celle du prix des autres combustibles et constituent ainsi une bonne approximation.

La source utilisée pour estimer le prix du baril est la série donnée par le FMI dans sa base « World Economic Outlook », octobre 2007.

Graphique 6 - Evolution du prix du pétrole pris pour référence



2. LOGIQUES ET ALTERNATIVES

L'analyse tendancielle va donc fournir un « coût global » en dollars de la stratégie énergétique actuellement suivie, en fonction de la tendance économique récente. Lorsque l'on poursuit à un horizon plus lointain, la dynamique des cours du pétrole devient un élément fondamental de l'évaluation des coûts bénéfiques. Si l'on n'obtient directement qu'un coût, la logique suivie est de considérer qu'entre plusieurs alternatives, les différentiels de coûts obtenus permettent de déterminer les marges de manœuvre disponibles pour financer la mise en place de nouveaux dispositifs.

Comme nous l'avons souligné, plusieurs éléments de la simulation ont été considérés comme « exogènes » ou « paramètres », ce qui leur confère un statut de levier d'actions et permet de distinguer plusieurs type de choix publics.

On aura ainsi prévu les types d'actions suivants :

- 1) Actions favorisant une utilisation plus rationnelle de l'énergie et ciblant les ménages, le transport et autres secteurs non industriels. L'équation (16) est l'élément de simulation : $TFC_{house} = a * GDP + b$.

On supposera en effet que les actions entreprises vont permettre de baisser la valeur de l'élasticité consommation/GDP (coefficient « a »), depuis la valeur 2005 à une valeur cible 2015.

- 2) Actions favorisant une utilisation plus rationnelle de l'énergie dans les secteurs industriels. L'équation (15) est l'élément de simulation : $TFC_{industrie} = a' * VA + b'$ (15).

On supposera en effet que les actions entreprises vont permettre de baisser la valeur de l'élasticité consommation/VA (a'), depuis la valeur 2005 à une valeur cible 2015.

- 3) Actions favorisant une diversification de l'offre locale de l'énergie par le recours aux énergies renouvelables. L'équation (18) est ici mobilisée : $Prod_{domestic} = a'' * T + b''$ (18).

La valeur du paramètre dans le modèle standard correspond à la moyenne de production sur les dernières années ou à son trend temporel, incluant la part des énergies renouvelables. On supposera que les actions entreprises vont permettre d'accroître la part des ER dans cette production globale, le reste étant supposé constant (ou poursuivant le trend précédent), le niveau de production croissant donc progressivement ce qui est simulé par ajout à la valeur initialement simulée de la production nouvelle ER.

3. RESULTATS

3.1. Evolution tendancielle : le coût à venir selon trois tendances possibles du prix du pétrole

Dans cette première section, il s'agit d'observer l'évolution entre 1990 et 2005 pour les trois pays. Puis, la simulation est prolongée sur 10 années, de sorte que l'on obtient une prévision de tous les indicateurs à l'horizon 2015 (2005 + 10 ans), « Toutes Choses Egales Par Ailleurs ». On suppose ainsi que le circuit économique suit le fonctionnement mis en évidence ces 15 dernières années, pendant 10 années encore, sans modification structurelle. On fait la même hypothèse sur le circuit

énergétique, ce qui revient à supposer qu'aucune action n'est entreprise pour atteindre les objectifs de la SMDD.

Entre 1990 et 2005, dans un contexte économique de croissance insuffisante pour résorber le chômage important que connaissent les trois pays, la consommation totale d'énergie a suivi un trend similaire et a quasiment doublé (+80% en Egypte, +86% au Maroc, +94% en Tunisie). L'évolution des importations diffère sensiblement dans les trois pays. Au Maroc et en Tunisie, la croissance des importations a suivi celle de la consommation (quasi doublement), bien que légèrement supérieure au Maroc (+95% au Maroc et +93% en Tunisie). Par contre, le volume importé a été multiplié par 4,4 en Egypte.

Dans le même temps (Cf. graphique sur l'évolution du prix du baril), le prix de la ressource a progressé d'un facteur 2,3 (1990-2005). Mais l'effet combiné de l'augmentation du volume nécessaire et du prix de la ressource implique que c'est d'un facteur 4,5 que le coût de l'énergie a augmenté sur les 15 dernières années au Maroc et en Tunisie. L'Egypte ayant elle connu une évolution forte des volumes importés, le coût de l'énergie a été multiplié par 10,3 en 15 ans. En termes monétaires, conjuguant les données de l'OME sur les importations et le prix du baril moyen du FMI, on s'aperçoit ainsi que le coût au prix du marché international des importations énergétiques des pays a augmenté d'un facteur 5,3, valorisés à 1 895 Millions de dollars en 1990 (283 millions pour l'Egypte, 1 110 millions pour le Maroc et 502 millions pour la Tunisie) pour atteindre 10 181 millions de dollars en 2005 (2 917 millions en Egypte, 5 011 millions au Maroc et 2 253 millions en Tunisie).

La poursuite sur 10 années supplémentaires (2006-2015) de ces tendances permet une première évaluation du besoin en énergie nécessaire à la seule poursuite de la dynamique actuelle, dont on remarquera néanmoins qu'elle est à peine suffisante pour stabiliser le taux de chômage compte tenu d'une croissance persistante de la population active. Selon le circuit décrit, le besoin en énergie des trois pays va encore croître de 76,7% d'ici à 2015 pour atteindre 40 171 Miers TEP (15 604 pour l'Egypte en hausse de 163%, 15 075 au Maroc en hausse de 41% et 9 492 en Tunisie en hausse de 56%)..

Pour en estimer le coût, il faudrait naturellement considérer l'évolution du prix du pétrole sur la même période. Le parti pris ici est de ne pas multiplier les hypothèses, sachant que ce prix là est fondamentalement difficile à prévoir, des considérations géopolitiques se mêlant aux fondamentaux économiques. Dans la suite, chaque estimation monétaire se fera sur la base de trois tendances :

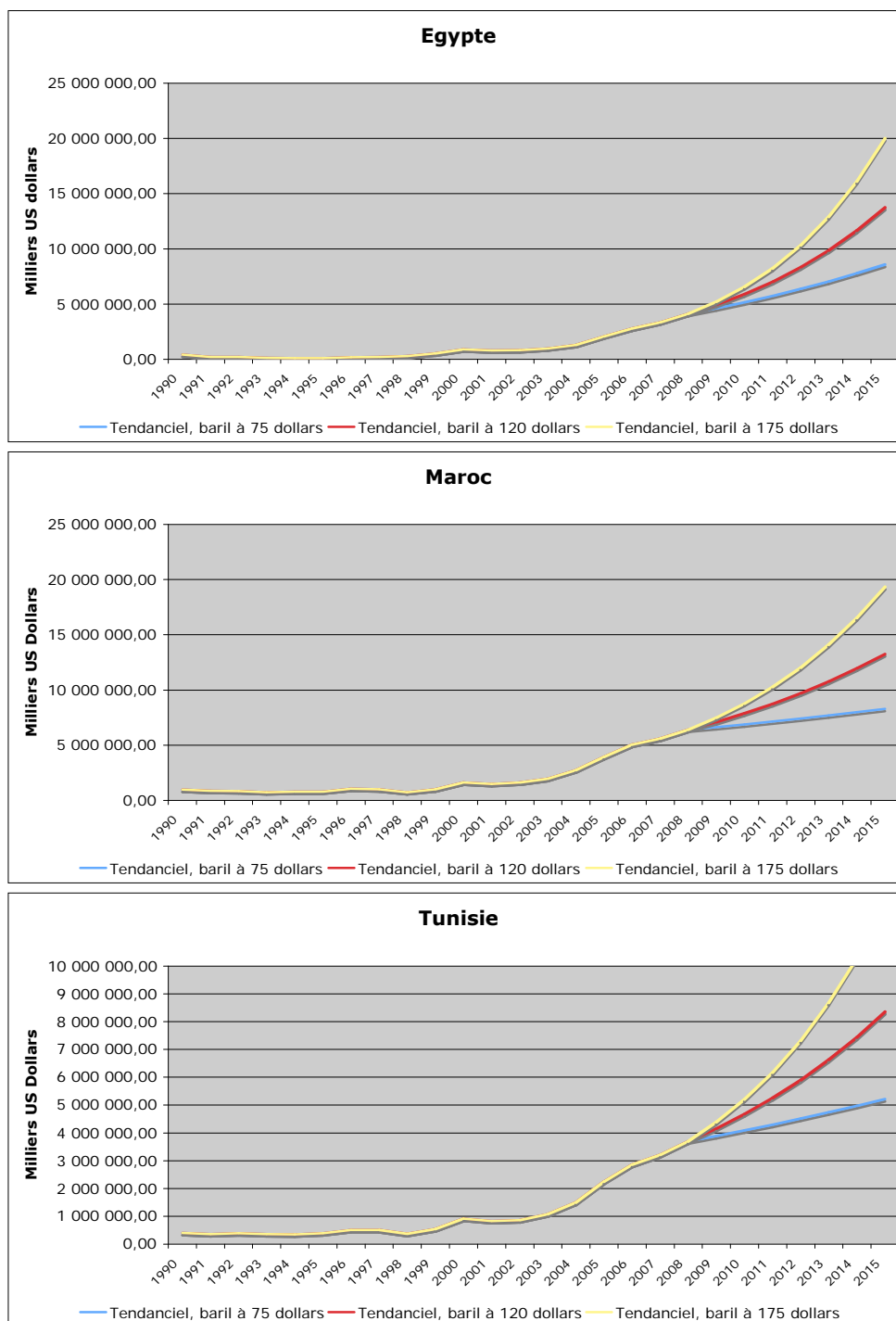
- Le prix du pétrole revient à des niveaux plus bas, bien que la consommation augmente. On supposera là un cours de 75\$ par baril en 2015, en baisse linéaire par rapport aux niveaux atteints début 2008 (soit environ 120\$).

Dans ces conditions, le coût passerait de 10,2 en 2005 à 16,1 Milliards de dollars en 2010, puis croîtrait plus lentement jusqu'à 22,1 milliards en 2015, la hausse de la demande surpassant la baisse du prix de la ressource. Pour l'Egypte, le montant atteindrait 5,2 milliards en 2010 puis 8,6 milliards en 2015. Au Maroc les montants en 2010 et 2015 seraient respectivement de 6,9 milliards et 8,3 milliards, et en Tunisie de 4,1 milliards et 5,2 milliards.

- Le prix se maintient au niveau de 120 \$ le baril. Sur cette base, pour les trois pays, le prix à payer passerait de 10,2 à 18,4 Mds de \$ en 2010 (5,9 milliards pour l'Egypte, 7,9 milliards pour le Maroc et 4,7 milliards pour la Tunisie) et 35,3 Mds en 2015 (13,7 milliards pour l'Egypte, 13,3 milliards pour le Maroc et 8,3 milliards pour la Tunisie).
- Le prix continue sa croissance tendancielle pour atteindre les 175 \$ par baril (selon une progression linéaire). Dans ce scénario limite, le coût énergétique atteindrait 20,5 milliards en 2010, puis 51,5 milliards en 2015. Pour l'Egypte, la facture atteindrait 6,6 milliards en 2010 et 20,0

milliards 5 ans plus tard. Pour le Maroc, ces montants seraient respectivement de 8,8 et 19,3 milliards, et, en Tunisie, respectivement de 5,2 et 12,2 milliards.

Graphique 7 - les fourchettes de coût du scénario tendanciel 1990-2015 en fonction de l'évolution du prix du pétrole



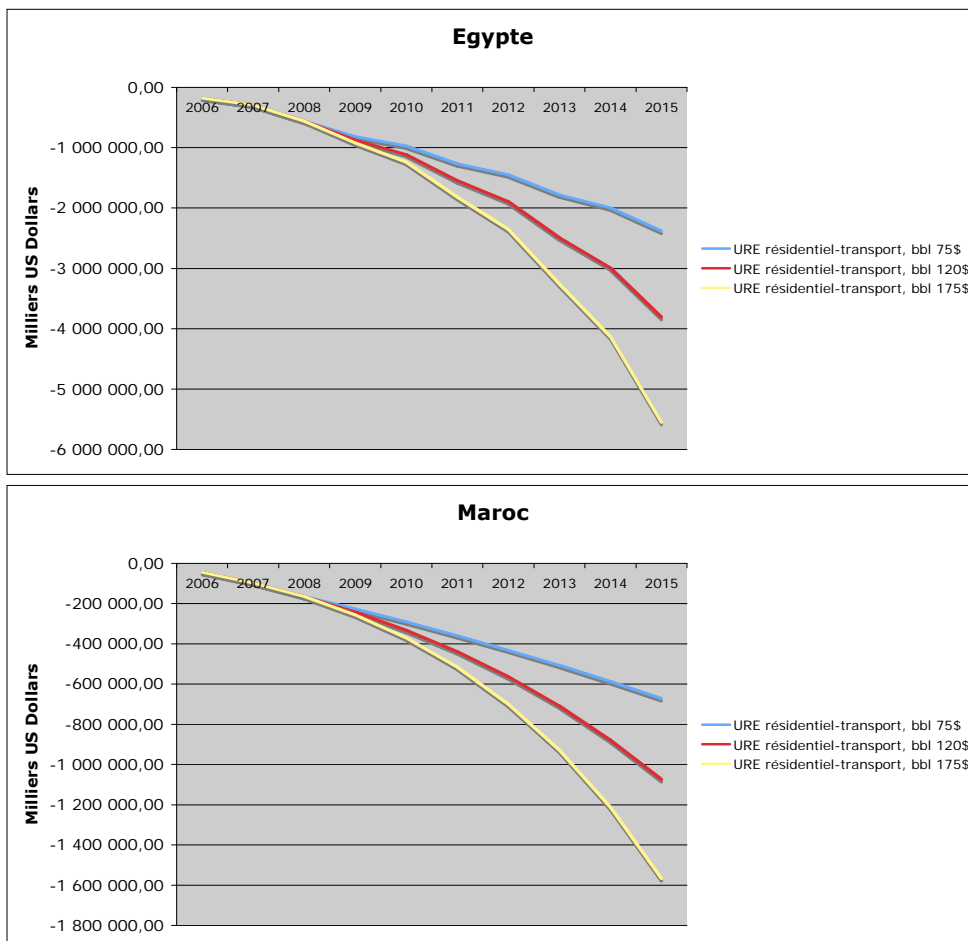
Ayant estimé le besoin énergétique tendanciel, ainsi que son coût probable en fonction du cours du pétrole, on va déduire les marges de manœuvres financières (voire d'autofinancement) par différence, en comparant au scénario de base décrit ci-dessus, les diverses alternatives représentées par des modifications de certains paramètres de la boucle énergétique, modifications qui correspondent à des actions URE/ER et décrites précédemment. Le différentiel s'exprime d'une

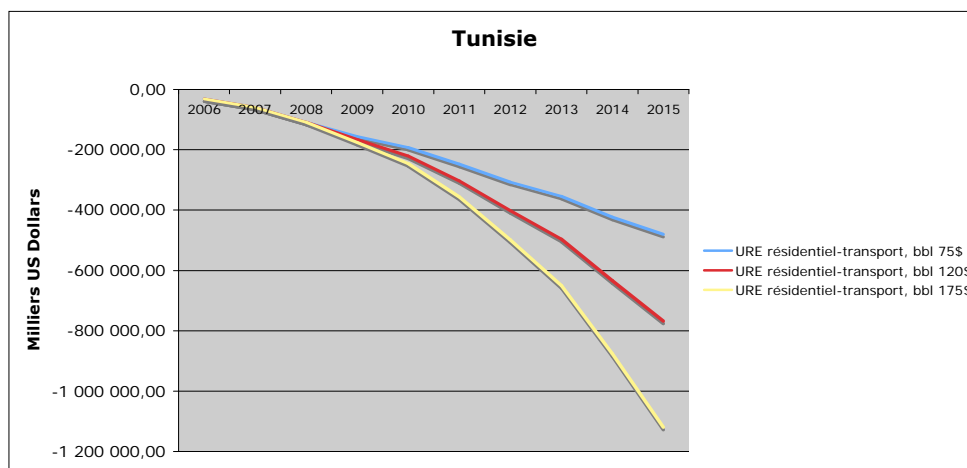
part en volume mesuré en Miers de TEP, puis en valeur selon les trois hypothèses sur le prix du baril entre 2005 et 2015 (stable à 120 \$ sur 10 ans ; baisse à 75 \$ en 2015 ; hausse à 175 \$).

3.2. Utilisation rationnelle de l'énergie : moins d'énergie pour autant de croissance, le ratio volume énergétique de l'unité de PIB

Un premier scénario illustre les bénéfices que l'on peut attendre d'actions d'URE visant la demande des secteurs non industriels (transports, résidentiel, autres). Dans le modèle utilisé, la consommation finale de ces secteurs dépend du niveau de la demande agrégée par une élasticité (le coût en TEP d'une unité de PIB). L'hypothèse de simulation est que les actions visant à rationaliser l'utilisation de l'énergie se traduisent par une baisse du coût énergétique du fonctionnement de l'économie, c'est-à-dire qu'il faut moins d'énergie pour atteindre le même niveau de production (soit diminuer l'élasticité). Le cas illustré simule une baisse de 10% en 10 ans du niveau simulé 2005 (soit un peu plus de 1% l'an, chiffre retenu puisque correspondant à l'objectif bas de la SMDD).

Graphique 8 - Valeur annuelle en dollars des économies réalisées en fonction de l'évolution du prix du pétrole par des actions d'URE ciblant les secteurs non industriels





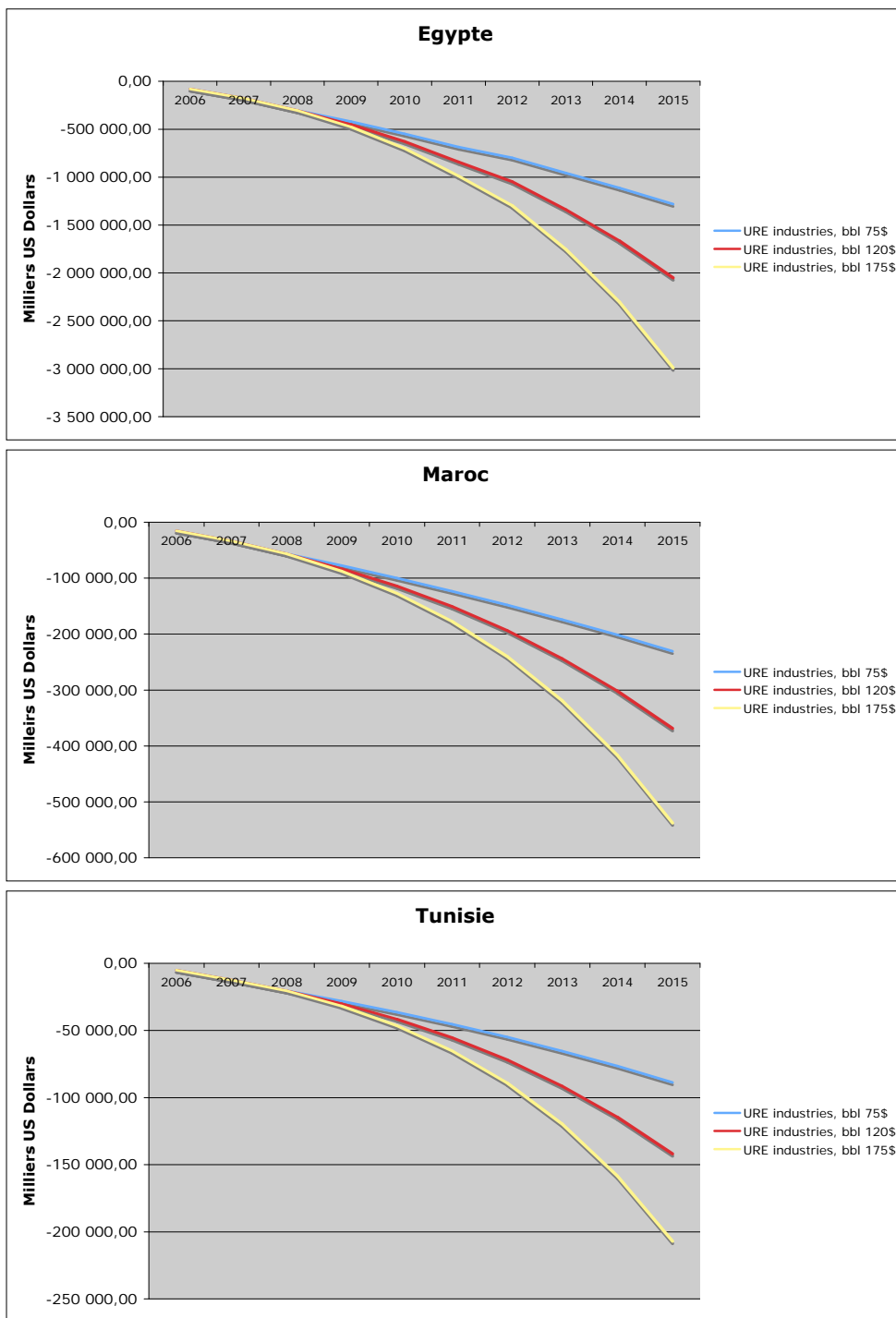
Dans ce type de graphique, on notera que le coût de la non action est représenté par l'écart entre la courbe du scénario et l'axe des abscisses.

Le résultat issu du modèle indique une économie cumulée de 31 876 Miers TEP en 10 ans pour les trois pays (dont 6 420 annuel à terme, soit 11,1% de la consommation annuelle 2005 des trois pays). La valeur de cette consommation épargnée cumulée sur les trois dernières années de simulation atteint 9,2 milliards de \$ avec un baril à 75\$. Elle représente 13,9 milliards de dollars si le prix du baril se stabilise à 120\$. Enfin, avec un baril dont le prix atteindrait 175\$ en 2015, le différentiel de coût cumulé sur les trois dernières représenterait 19,3 milliards de dollars (pour le détail par pays, se référer au tableau 5 en section E).

On rappellera pour chacune de ces estimations en valeur (de même pour celles qui suivent), qu'elles sont obtenues par différence entre les coûts tendanciels estimés en a) en fonction d'un cours du pétrole en 2015, et les nouveaux coûts obtenus après modifications des paramètres. Cela revient à observer que « les actions pour améliorer l'URE [de 10% en 10 ans] permettent une économie de X Millions de \$ », gain que l'on peut comparer aux coûts de mise en œuvre de mesures à prendre pour y arriver.

Le secteur industriel peut-il faire l'objet de mesures semblables ? Les experts ne s'accordent pas sur ce point, ni sur les objectifs réalisables. On peut en effet estimer que les firmes étant soumises à la concurrence internationale ne peuvent se montrer inefficaces dans l'usage de la ressource énergie sous peine de se voir éliminer du marché. Le mécanisme concurrentiel implique l'optimisation des ressources et par conséquent la concurrence pousse à l'usage des meilleures techniques. Mais, derrière ces mécanismes automatiques, on peut opposer diverses approches, notamment en termes de secteurs soumis ou non à la concurrence, de comportement de marge ou d'optimisation d'intrants, etc., qui laissent de la place à une optimisation générale de l'utilisation de la ressource énergétique. A titre d'illustration, la consommation est également liée à la VA du modèle économique par une deuxième élasticité. L'hypothèse simulée est ici encore une baisse linéaire de 10% de cette élasticité en 10 ans (c'est à dire consommer 10% de moins pour un même niveau de production).

Graphique 9 - Valeur annuelle en milliers de dollars des économies réalisées en fonction de l'évolution du prix du pétrole par des actions d'URE ciblant les industries



Le résultat obtenu équivaut à une économie de 14 563 Miers TEP en 10 ans (dont 2 913 annuel à terme, l'équivalent des importations annuelles de la Tunisie en 1990). La valeur de cette consommation épargnée les trois dernières années atteint 4,2 milliards de \$ avec un baril à 75\$, 6,3 milliards pour un baril à 120\$ et 8,8 milliards de dollars si le prix du pétrole atteint les 175\$ par baril (on rappellera que le coût estimé 2010 d'une année d'importations énergétiques pour la Tunisie se situe autour de 4 milliards de \$).

3.3. Diversifier l'offre locale d'énergie : les énergies renouvelables

L'aspect Offre ne doit pas être négligé. Une partie du besoin énergétique peut aussi être couverte par la production locale. La question que l'on envisage là est directement celle des Energies Renouvelables hors biomasse, l'aspect environnement restant en filigrane de l'étude. Ainsi, le dernier effet évalué est celui d'une politique de promotion des ER.

Le potentiel des énergies renouvelables en Méditerranée est considérable et largement sous-exploité selon le rapport du Plan Bleu. La Méditerranée dispose d'un ensoleillement qui est parmi les plus élevés du monde (environ 5 kWh/m²/jour), les sites favorables aux éoliennes sont multiples, les ressources géothermiques sont notables (comme en Turquie), les possibilités de développement de la petite hydroélectricité sont significatives et l'utilisation de la biomasse est une option énergétique pour une bonne partie de ces territoires.

Dans la simulation, elle s'obtient en accroissant le niveau de production simulé. La SMDD a donné comme objectif régional d'atteindre les 7% de la production locale. Compte tenu de la situation actuelle dans les trois pays, cet objectif semble très difficile à tenir à l'horizon 2015. Le Maroc, le plus en avance, en est à 1,35% (hors Biomasse), tandis que l'Egypte et la Tunisie culminent à 0,06%. Globalement, en 2005, les Energies Renouvelables représentaient donc une production de 201 milliers de TEP, soit 0,24% de la Consommation apparente (tableau 4). On envisagera dans la suite deux scénarios : un scénario hypothèse basse et un scénario plus volontariste.

Le premier scénario (3A) repose sur les hypothèses pays suivantes. En Egypte, l'hypothèse basse est d'atteindre les 1% de la consommation apparente, soit une production atteignant les 938 milliers de TEP en 2015. Au Maroc, l'hypothèse basse est le doublement en 10 ans du niveau de production ER actuel hors biomasse, qui passerait de 150 milliers de TEP à 300 milliers de TEP. Cela porterait la part des ER dans la Consommation apparente de 1,35% à 1,7% en 2015. En Tunisie, l'hypothèse de la simulation est, comme en Egypte, d'atteindre les 1% de la consommation apparente, soit une production atteignant les 130 milliers de TEP en 2015 (quasiment le niveau du Maroc 2005).

Au niveau des trois pays, ce scénario implique d'atteindre une production de 1 368 milliers de TEP en 2015 (7 fois le niveau 2005), qui représenterait 1,1% de la consommation apparente.

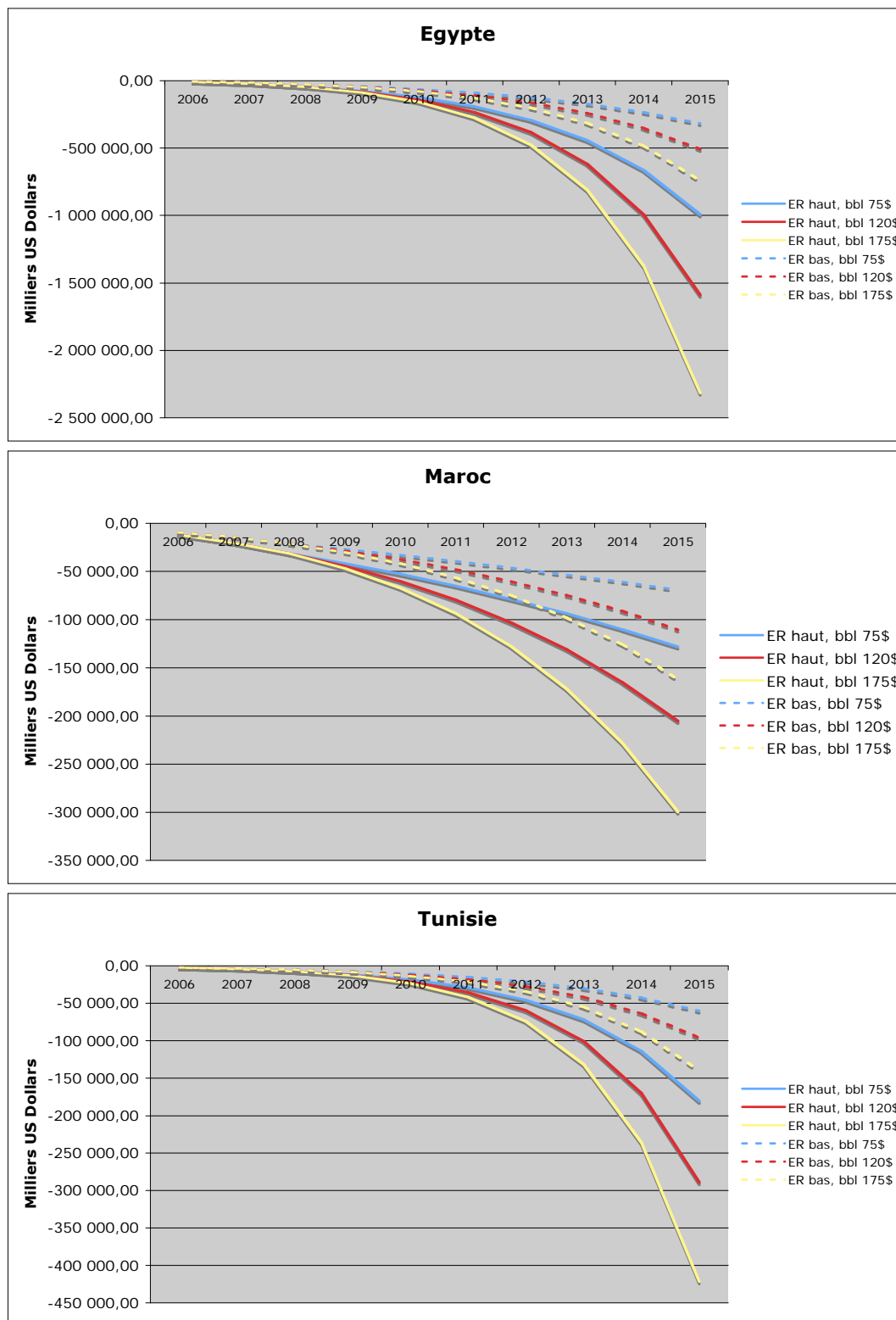
Cette première simulation donne comme résultat une économie de 3 029 Miers TEP en 10 ans, dont 812 milliers la dernière année (1,3 fois l'ensemble de la production domestique du Maroc en 2005). On sait que le jeu des prix relatifs des sources d'énergie est fondamental dans l'amortissement des investissements réalisés en infrastructure, ce que confirme la valorisation de ces économies en fonction de différentes évolutions du cours du pétrole. La valeur de la consommation épargnée les trois dernières années atteint 1 040 millions de \$ avec un baril à 75\$, 1 578 millions pour un baril à 120\$ et 2,2 milliards si le prix du pétrole atteint les 175\$/baril (1,2 fois les importations totales en énergie de la Tunisie en 2005).

Une deuxième simulation a été conduite avec un objectif plus ambitieux en termes d'ER, bien que toujours inférieur à l'objectif régional. Il se base sur l'hypothèse que dans les 3 pays, la production d'ER atteindrait 3% de la Consommation Apparente (moins de la moitié de l'objectif régional de la SMDD) (scenarior 3B). En Egypte, la production assurée par les ER hors biomasse atteindrait ainsi un niveau de 2 815 milliers de TEP. Au Maroc, cela revient à accroître le niveau de production à 534 Miers TEP en 2015. Et en Tunisie, la production se hisserait à 391 Miers de TEP. Cela reviendrait donc à multiplier par 19 le niveau 2005 de production ER pour atteindre 3 739 milliers de TEP.

Cette deuxième simulation totalise sur 10 ans une économie de 7 249 Miers TEP (rappelons que le volume total d'énergie importée par l'Egypte en 2005 était de 7 460 Miers TEP), dont 2 367 pour la seule année 2015 (environ 57% du volume exporté par la Tunisie en 2005). Les marges de manœuvres financières que dégagerait un tel accroissement représenteraient pour les trois dernières

années une valeur de 2,8 milliards de dollars avec un baril à 75\$, de 4,3 milliards de dollars si le baril se maintenait à 120\$ et monterait à 6,0 milliards avec un baril atteignant 175\$ en 2015.

Graphique 10 - Valeur annuelle en milliers de dollars des économies réalisées en fonction de l'évolution du prix du pétrole par l'accroissement de la part des ER



3.4. Les émissions de gaz

La simulation a permis d'évaluer un coût de la non action/bénéfice de l'action en termes de ressources d'énergie non utilisées qui permet d'ouvrir sur les questions directement environnementales. Il s'agit, une fois démontré le bénéfice strictement économique obtenu, d'évaluer également le bénéfice environnemental direct qui s'y ajoute. On conclura donc ce chapitre sur une évaluation de ces coûts/bénéfices en termes de rejets de CO₂.

La simulation utilisée, en permettant de reconstruire la balance énergétique, peut aborder la question des émissions de CO₂, moyennant les hypothèses suivantes :

Le passage de l'énergie consommée au dégagement de dioxyde de carbone se fait en suivant la méthode du « IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories », 1996 révisé. La comptabilisation des émissions est ici réalisée à partir de la teneur en carbone des combustibles disponibles globalement pour le pays. Elle s'organise en 6 étapes : (i) estimation de la consommation apparente (en TEP) ; (ii) Conversion en une unité énergétique, le térajoule ; (iii) Calcul d'un facteur d'émission agrégé qui est la moyenne des facteurs d'émissions par source de combustibles pondérée par la part de ces sources dans la consommation totale. On utilise ici le détail des balances issues de l'OME pour la dernière année disponible soit 2005. Compte tenu des mix énergétiques de 2005, les facteurs globaux retenus pour les trois pays pour la simulation 2006-2015 en tonnes de carbone par térajoules sont reportés dans le tableau suivant ; (iv) Correction pour tenir compte de la combustion incomplète puis conversions du carbone oxydé en émissions de CO₂.

Tableau 4 - Consommation apparente par type de combustible pour les trois pays

Egypte 2005	Volume en TEP	Part dans le total	Facteur d'émission de carbone T de C par TJ)*
Consommation Apparente**	62 753	100,00%	17,741
dont			
Charbon	894	1,42%	26
Pétrole brut	36 167	57,63%	20
Pdts Pétrole	- 4644	- 7,40%	20
Gaz	27 765	44,24%	15
Hydro	1 087	1,73%	0
ER Biomasse	1 437	2,29%	30
ER non biomasse	47	0,06%	0
Maroc 2004	Volume en TEP	Part dans le total	Facteur d'émission de carbone T de C par TJ)*
Consommation Apparente**	11 091	100,00%	21,731
dont			
Charbon	3 628	32,71%	26
Pétrole brut	5 540	49,95%	20
Pdts Pétrole	1 316	11,87%	20 ⁱⁱⁱ
Gaz	0	0,00%	15
Hydro	138	1,24%	0
ER Biomasse	319	2,88%	30
ER non biomasse	150	1,35%	0

Tunisie 2005	Volume en TEP	Part dans le total	Facteur d'émission de carbone T de C par TJ)*
Consommation Apparente**	8 307	100,00%	19,450
dont			
Charbon	0	0,00%	26
Pétrole brut	1 763	21,22%	20
Pdts Pétrole	2 316	27,88%	20
Gaz	3 091	37,21%	15
Hydro	12	0,14%	0
ER Biomasse	1 121	13,49%	30
ER non biomasse	4	0,06%	0

Source : OME, * IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories », 1996 révisé **Défini dans le guide IPCC comme Production + importations – exportations – Soutes internationales – variations de stock. Dans la simulation, les soutes et les stocks ne sont pas pris en comptes faute de données.

Dans cette étape, on suppose que pour le scénario tendanciel et les scénarios 1A, 1B, la part des combustibles et par conséquent le facteur d'émission reste constant de 2006 à 2015. A l'inverse dans le cas des scénarios ER 3A et 3B, c'est bien ce facteur global qui se modifie du fait de la diversification du mix énergétique. Pour la simulation, on fait l'hypothèse que la part des combustibles traditionnels (non ER hors biomasse) dans la consommation apparente « non ER hors biomasse » reste fixe, les parts globales se modifiant par l'importance que prennent les ER « propres » dans la production. L'écart de rejet de CO₂ par rapport au scénario tendanciel provient ainsi de l'amélioration du facteur global d'émission liée à l'accroissement de l'utilisation des ER dans la production locale.

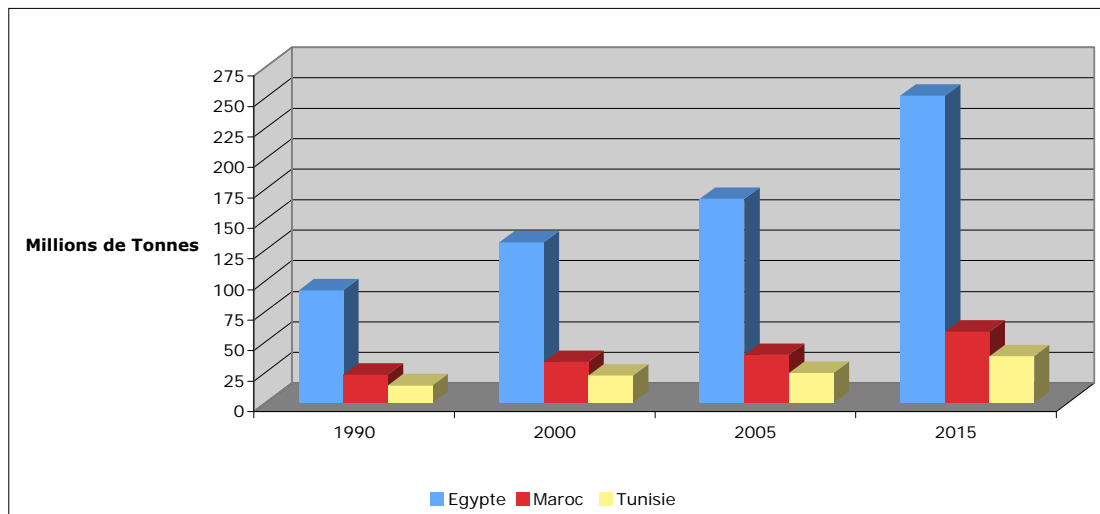
La dernière hypothèse a trait à l'estimation de la consommation apparente issue de la simulation, certaines variables comme les soutes ou le stock n'étant pas incluses. De plus, la simulation estime la TFC plutôt que la TPES, puisqu'elle traite principalement le côté demande. De fait, on ne tient pas compte de la consommation d'énergie du secteur d'énergie lui-même, notamment pour la production d'électricité, ce qu'il faut corriger pour estimer les émissions. Aussi, la consommation apparente est calculée d'après la TFC en fonction d'une relation entre l'estimation de la consommation apparente globale définie par l'IPCC selon la balance détaillée de l'OME et la TFC, estimée par OLS :

$$\text{Conso App} = a \text{ TFC} + b$$

Utilisant la méthode que l'on vient de décrire dans le modèle, on aboutit aux observations suivantes :

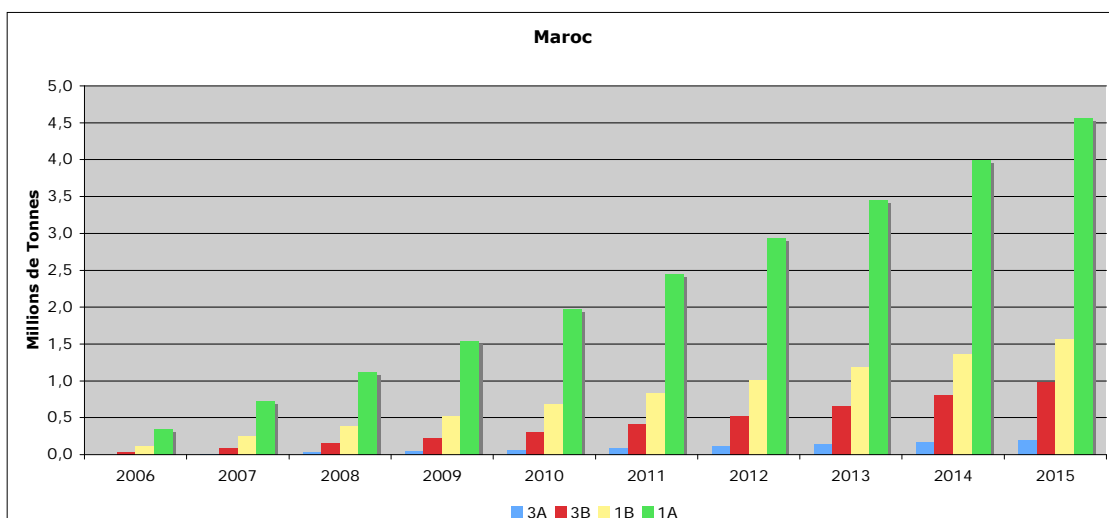
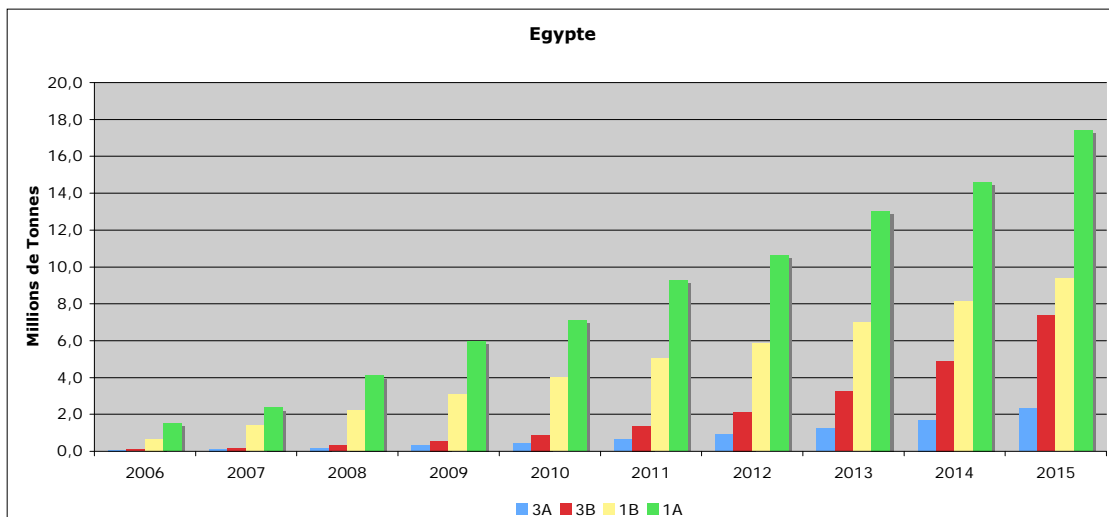
- Les émissions de CO₂ des trois pays émanant de l'énergie consommée atteignaient 130 millions de tonnes par an en 1990. Elles ont crû de 44% dans la décennie pour atteindre 188 millions de tonnes en 2000 puis 231 millions de tonnes en 2005. Selon le scénario tendanciel décrit dans cette étude, la hausse attendue est de 51% entre 2005 et 2015, année durant laquelle les trois pays dégageraient 348 millions de tonnes de CO₂ pour leur consommation énergétique. Précisons que ces chiffres sont tous issus de la simulation, y compris ceux concernant la période 1990-2005 où l'on applique la méthode décrite dans l'IPCC guidelines aux chiffres fournis par l'OME. Entre 2005 et 2015, l'Egypte verrait ses émissions augmenter 50,7% passant de 167 millions de tonnes à 252 millions. La hausse pour le Maroc serait à peine inférieure à 47,9% le volume augmentant de 40 à 58 millions de tonnes. La hausse serait plus forte pour la Tunisie (56,2%), les émissions croissant de 25 à 38 millions de tonnes.

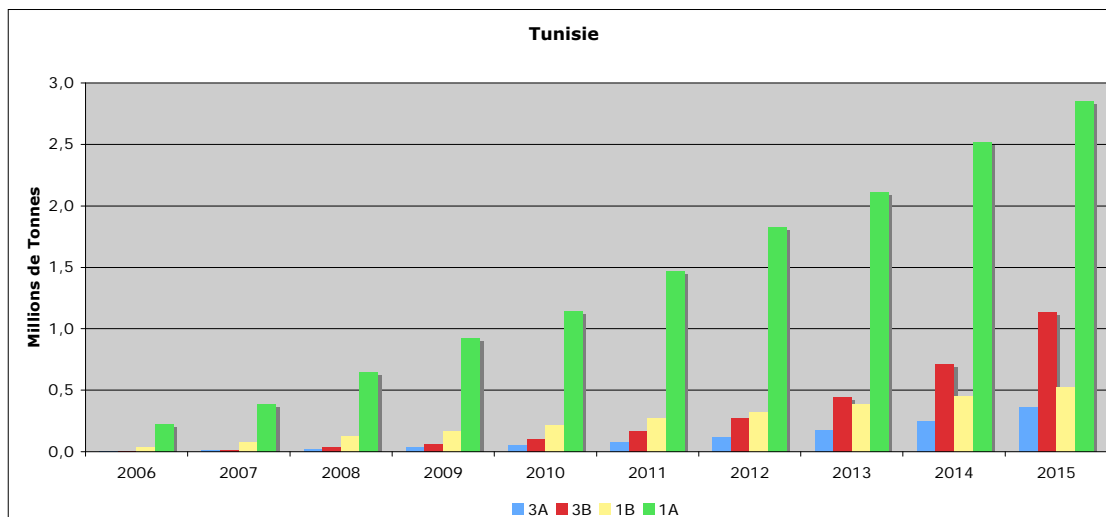
Graphique 11 - Emission de CO₂, historiques et tendances



- Les principaux scénarios étudiés ont la faculté de modérer ces émissions, soit en agissant sur la consommation apparente, soit sur le facteur d'émission par modification du mix énergétique employé. L'ampleur des différents effets par année se lit dans les graphiques suivants :

Graphique 12 - Emissions de CO₂, différentiels selon les scénarios





En fin de simulation, le gain s'échelonne de 2,9 millions de tonnes par an (3A), soit 1,3% du niveau 2005 à 24,8 millions de tonnes (1A), soit 10,7% du total 2005. Le scénario ER haut entraînerait un gain en 2015 de l'ordre de 9,5 millions de tonnes, soit 4,1% du niveau 2005. La hiérarchie est globalement identique pour chacun des trois pays, le scénario 1A entraînant le plus de gain en termes d'émission, le scénario ER bas (3A) étant le plus modeste. Par contre, l'écart entre les scénarios 1B (URE côté industries) et 3B (ER haut) apportent des gains différents selon les pays. Au Maroc, le gain en 2015 du scénario 1B est 61% plus élevé que le 3B, quand en Tunisie ce dernier affiche des gains 2 fois plus élevés.

- Ainsi, en 10 ans (2006-2015), le gain cumulé en CO₂ non émis s'établit à 9,9 millions de tonnes dans le scénario 3A ; 28,1 millions dans le scénario 3B (soit un peu plus que le niveau annuel 2005 des émissions de la Tunisie), et 57,4 millions de tonnes dans le scénario 1B (le niveau annuel projeté en 2015 pour le Maroc) ; le cumul atteint 123,2 millions de tonnes dans le cas du scénario 1A (environ le niveau atteint par les émissions de l'Égypte au début des années 2000).

IV. TABLEAU ET GRAPHIQUES DE SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

L'objectif de l'étude était d'estimer le coût économique direct à court terme de ne pas engager d'actions telles que décrites dans la SMDD visant le domaine énergétique. La méthode utilisée a consisté à coupler un circuit économique standard en volume reproduisant les conditions de fonctionnement de trois pays de la rive sud de la Méditerranée (représentant près de 45% de la population, le tiers de la consommation d'énergie et le quart de la production économique) et un circuit énergétique qui estime le volume d'énergie nécessaire au fonctionnement des économies. Cette simulation a d'abord été calibrée de façon à reproduire les tendances des 3 économies au cours des 15 dernières années. Puis, le fonctionnement est prolongé jusqu'en 2015, soit 10 années supplémentaires. Ce prolongement décrit un scénario tendanciel, de référence, qui symbolise la non action en termes de stratégie énergétique nationale.

4 scénarios alternatifs inspirés des objectifs de la SMDD, symbolisant chacun un certain type d'actions en faveur de l'utilisation rationnelle de l'énergie ou du développement des énergies renouvelables ont été comparés au scénario de référence de façon à calculer les gains potentiels économiques directs découlant de ces types d'actions. Ces gains éventuels sont alors interprétés :

- soit en « coût de la non action », puisque le coût de l'énergie dans le scénario de référence est supérieur au même coût dans le contexte économique identique du scénario alternatif, mais ce dernier prenant en compte des modifications des comportements vis-à-vis de l'énergie ;
- soit en termes de marges de manœuvre financières dégagées en premier lieu pour le financement des actions décrites, si l'on suppose qu'à budget de dépenses maintenu, le différentiel de prix obtenu peut être investi dans le domaine de la maîtrise de l'énergie.

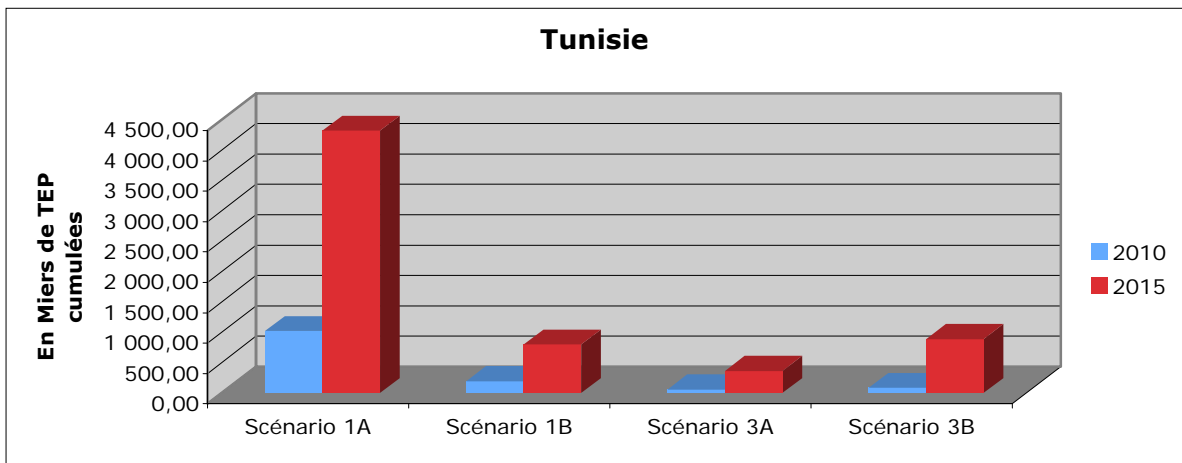
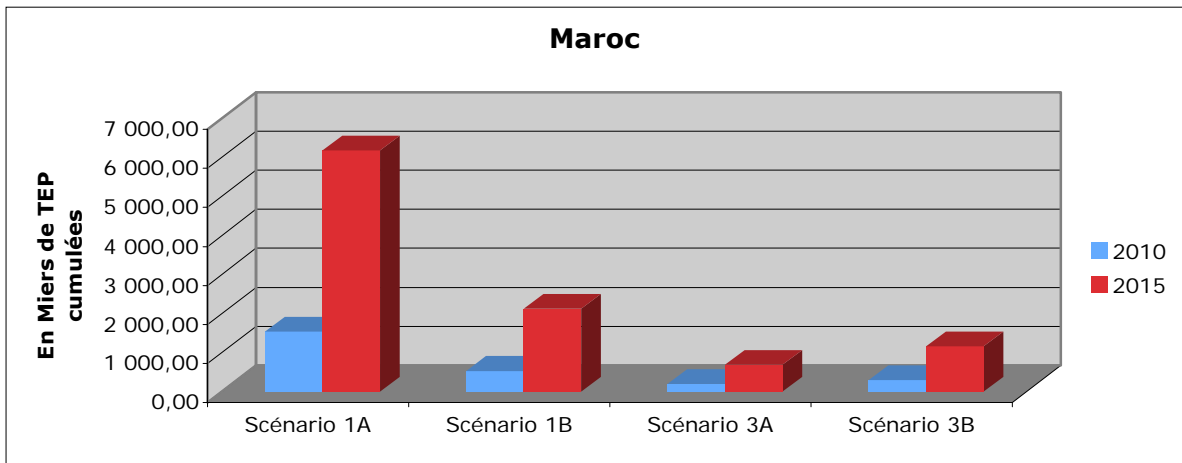
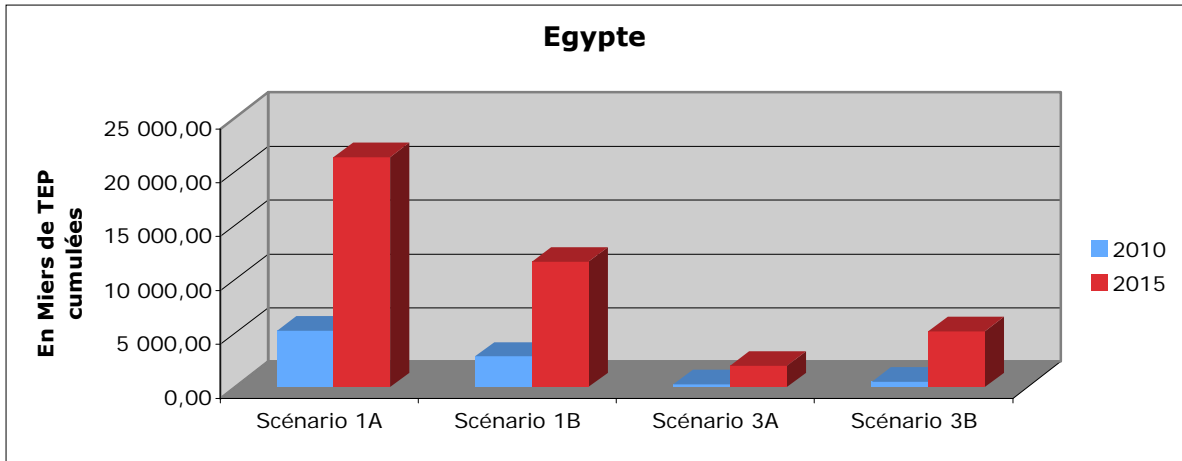
L'illustration chiffrée dans le cas des trois pays est présentée dans le Tableau 5 page suivante.

Tableau 5 - Récapitulatif des résultats

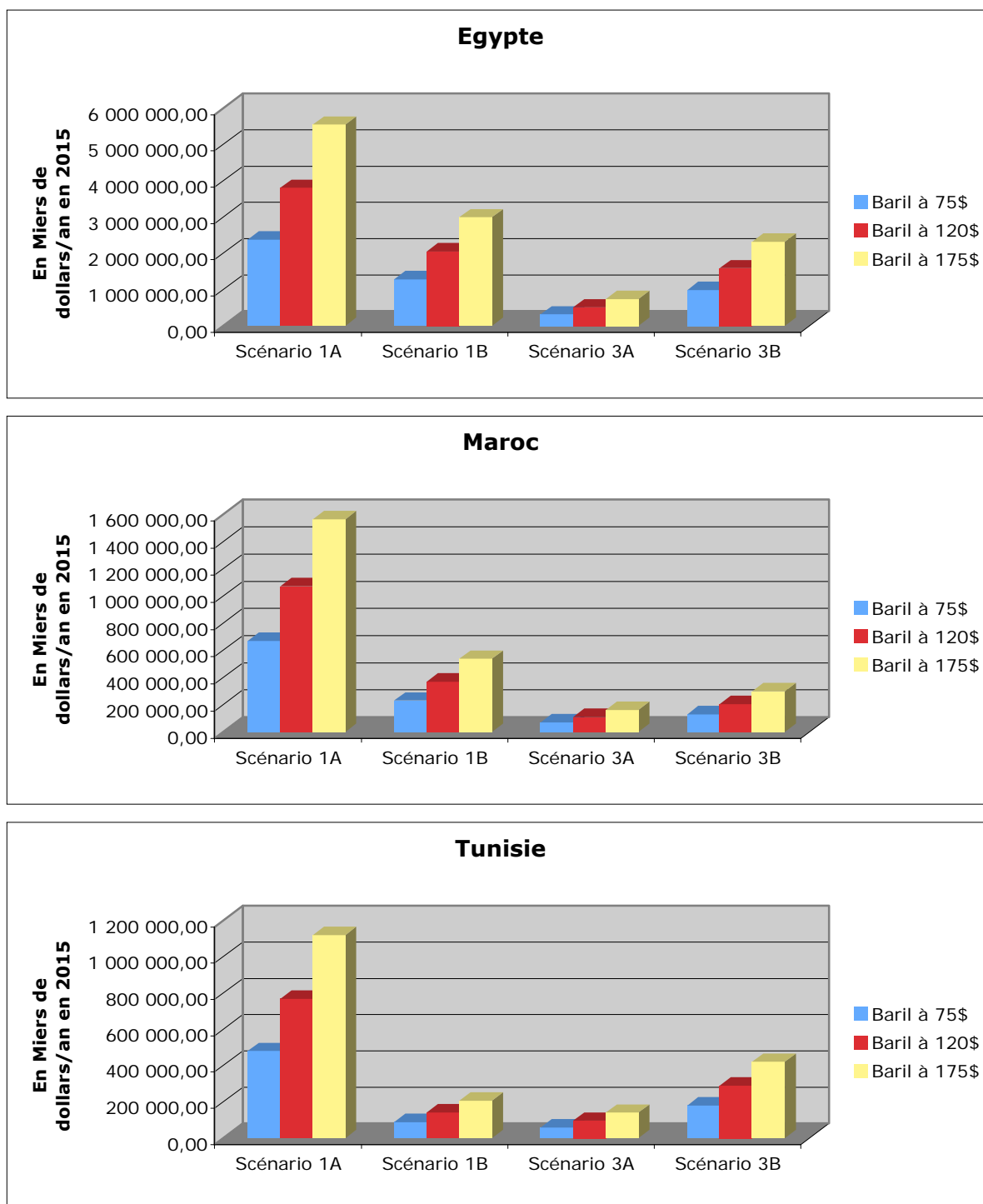
Scénarii alternatifs :	En volume (Miers de TEP), économisées entre 2006 et 2015	Coût de la "non action" : montants économisés en 2013, 2014 et 2015 selon le prix du baril de pétrole (Millions de dollars)		
		Cours du baril en dollars en 2015 >		
		75	120	175
1A : actions d'Utilisation Rationnelle de l'Energie touchant les ménages et le transport (côté demande)				
<i>Aboutissant à une baisse de -10% en 10 ans de l'énergie consommée par unité de PIB</i>				
Egypte	-21 381	6 161	9 291	12 949
Maroc	-6 177	1 765	2 661	3 708
Tunisie	-4 317	1 259	1 899	2 647
1B : actions d'Utilisation Rationnelle de l'Energie touchant les secteurs industriels (côté demande)				
<i>Aboutissant à une baisse de -10% en 10 ans de l'énergie consommée par unité de PIB</i>				
Egypte	-11 650	3 354	5 058	7 049
Maroc	-2 121	606	914	1 274
Tunisie	-792	231	348	485
3A. Diversification de l'offre locale d'énergie en promouvant les énergies renouvelables hors biomasse				
<i>hypothèse basse</i>				
<i>Egypte : accroître la production domestique pour atteindre 1% de Consommation App en 10 ans (de 47 à 938 Ktep)</i>	-1 984	724	1 099	1 540
<i>Maroc : doubler la production domestique de 150 à 300 Ktep en 10 ans (de 1,35% à 1,69% de Consommation App)</i>	-685	184	277	386
<i>Tunisie : accroître la production domestique pour atteindre 1% de Consommation App en 10 ans (de 4 à 130 Ktep)</i>	-360	133	202	283
3B. Diversification de l'offre locale d'énergie en promouvant les énergies renouvelables hors biomasse				
<i>hypothèse haute</i>				
<i>Egypte : accroître la production domestique pour atteindre 3% de Consommation App en 10 ans (de 47 à 2 815 Ktep)</i>	-5 203	2 099	3 200	4 499
<i>Maroc : accroître la production domestique pour atteindre 3% de Consommation App en 10 ans (de 150 à 534 Ktep)</i>	-1 161	332	502	699
<i>Tunisie : accroître la production domestique pour atteindre 3% de Consommation App en 10 ans (de 4 à 391 Ktep)</i>	-885	367	560	789

Elle tend à indiquer que la plupart des actions possibles génèrent un bénéfice économique direct non négligeable sous la forme de ressources non utilisées et donc disponibles pour des usages alternatifs. Elle permet de visualiser directement le coût strictement économique et immédiat de ne pas investir dans une meilleure gestion de l'énergie, ce que nous avons appelé coût de la non action (Cf. les graphiques suivants), coût qui se décline en volume d'énergie utilisé non efficacement et donc en coût financier dans le cas des pays importateurs.

Graphique 13 - Coût de la non action en termes d'économies de ressources



Graphique 14 - coût de la non action en milliers de dollars selon le prix du pétrole



En conclusion de ce chapitre, nous synthétiserons les résultats en agréant les gains potentiels pour les trois pays avant d'extrapoler ces chiffres au niveau des 10 PM, ce qui permettra d'appréhender la hauteur des enjeux, tant en termes économiques que de protection de l'environnement.

Pour les trois pays de l'analyse, Egypte, Maroc et Tunisie, mener des actions d'utilisation rationnelle de l'énergie sur le côté demande visant à faire baisser d'ici à 2015 de 10% l'intensité énergétique des ménages et des industries (scénarios 1A et 1B), tout en développant de façon modeste les énergies renouvelables pour qu'elles représentent 1% de la consommation (scénario 3A), conduirait à une

économie de 49 468 milliers de TEP en 10 ans, dont 10 146 milliers de tonnes pour la seule année 2015, ce qui représente 17,6% de la Consommation finale 2005. Le coût ainsi évité les trois dernières années (2013-2015) se monterait à 14,4 milliards de dollars si le prix du pétrole revenait à 75\$, 21,7 milliards si le prix du baril se stabilisait à 120\$ ou atteindrait 30,3 milliards de dollars si le prix du pétrole atteignait 175\$ en 2015 (pour mémoire, la somme des exportations totales de biens de la Tunisie et du Maroc en 2005 atteignait 21,6 milliards de dollars). Côté environnement, ces actions permettraient d'éviter le rejet de 190 millions de tonnes de CO₂, dont 39 millions de tonnes pour la seule année 2015, soit 17% des émissions enregistrées en 2005.

Combinant les actions d'utilisation rationnelle de l'énergie avec un développement plus ambitieux des énergies renouvelables qui atteindraient 3% de la consommation (scénario 3B), le volume d'énergie épargné se monterait en 10 ans à 53 688 milliers de TEP (93% de la consommation finale totale des 3 pays en 2005), dont 11 700 milliers de TEP pour la seule année 2015 (20,2% de la consommation 2005). Cela entraînerait, en fonction de l'évolution du pétrole, une économie allant de 16,2 milliards de dollars à 34,1 milliards. Cela aurait évité au cours de la même décennie de rejeter 209 millions de tonnes de CO₂ (l'Egypte et le Maroc rejetant 207 millions de tonnes en 2005). Pour la seule année 2015 cela équivaldrait à 19,8% du niveau 2005.

Rappelant les pourcentages que représentent les 3 pays dans l'ensemble des 10 PM (Cf. tableau 1), ces résultats peuvent être extrapolés à l'ensemble de la rive sud.

- 1) Selon un scénario tendanciel, sachant que les trois pays représentent en 2005 33% de la TFC des PM, la consommation finale en 2015 dans les 10 PM atteindrait 267 milliers de TEP. Le coût estimé pour subvenir à ces besoins se monterait alors pour la région à : 66,9 milliards de dollars pour baril baissant à 75\$ (à comparer au PIB du Maroc en 2005 : 55,6 milliards de \$), 107,1 milliards avec un prix stable de 120\$ et 156,1 milliards en cas de hausse modérée du prix du baril jusqu'à 175\$ (le PIB de l'Egypte atteignait en 2005 93,2 milliards de \$).
- 2) Dans le cas du scénario 1A simulant des actions favorisant l'utilisation rationnelle de l'énergie auprès des ménages en premier lieu, le gain possible en volume d'énergie approcherait les 96 593 milliers de TEP, dont 19 455 milliers pour la seule année 2015. Ici, le coût de la non action étendu à la rive sud s'échelonnerait de 27,8 milliards de dollars pour un baril à 75\$, 42,0 milliards pour un baril à 120\$, jusqu'à 58,5 milliards de dollars si le baril atteignait 175\$. On rappellera pour mémoire que le PIB nominal de la Tunisie s'élevait à 28,7 milliards de dollars en 2005.
- 3) Dans le cas du scénario 1B, évaluant l'impact d'actions d'utilisation rationnelle de l'énergie auprès des industries et rappelant que les 3 pays de l'analyse représentent 25% PIB régional, le gain possible en volume dépasserait les 58 252 milliers de TEP, dont plus de 11 652 milliers de TEP en 2015. En fonction du prix du baril, la valorisation de ces économies atteignent respectivement 16,8 milliards de dollars, 25,3 milliards et jusqu'à 35,2 milliards.
- 4) Le recours aux énergies renouvelables, même modeste comme dans le cas du scénario 3A, permettrait d'économiser tout de même 9 180 milliers de TEP, dont plus de 2 462 milliers en 2015. Les montants que représentent ces économies potentielles (et que l'on peut considérer comme potentiel d'investissements) atteindront 3,2 milliards si les cours du pétrole reviennent à 75\$, 4,8 milliards si les cours se stabilisent à 120\$ le baril, ou 6,7 milliards de dollars si le prix du pétrole augmente jusqu'à 175 dollars.
- 5) Un effort plus conséquent de recours aux énergies renouvelables, portant la part de celles-ci à 3% de la consommation, un peu moins de la moitié de l'objectif de la SMDD (scénario 3B) entraînerait une économie de près de 21 966 milliers de TEP en 10 ans, dont plus de 7 172 milliers par an en 2015 (rappelons que la consommation finale totale de la Tunisie en 2005 s'élevait à 6 434 milliers de tonnes). La valeur des économies générées pour les trois dernières

années seraient alors de l'ordre de 8 milliards de dollars avec un baril à 75\$, de 12,9 milliards pour un baril à 120\$ et 18,1 milliards de dollars pour un baril à 175\$.

- 6) En termes d'émissions de CO₂, se basant encore sur le fait que les 3 pays de l'échantillon représente 33% de la TFC régionale, le niveau régional des émissions épargnées sur la période 2005-2015 atteindrait 30 millions de tonnes dans le cas du scénario 3A, 85 millions dans le cas 3B, 174 millions de tonnes pour le 1B et 373 millions de tonnes dans le cas 1A. En cumulant les actions d'Utilisation rationnelle de l'énergie et la montée de la part des énergies renouvelables, la diminution potentielle d'émission de CO₂ s'échelonnerait d'environ 577 millions de tonnes à 632 millions de tonnes. En termes annuels, en 2015, la région pourrait éviter l'émission d'un volume allant de 119 millions à 139 millions de tonnes.

CHAPITRE 6

Énergies renouvelables et utilisation rationnelle de l'énergie dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée : situation et perspectives

Stéphane POUFFARY

Chef de la Cellule Expertise Internationale pour la Maîtrise de l'Energie de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie - France)

Charlotte COLLEU

Chargée de projets, ADEME/Cellule Expertise Internationale pour la Maîtrise de l'Energie

Stéphane QUEFELEC

Economiste, chef de projet « énergie/changement climatique », Plan Bleu

TABLE DES MATIERES

MESSAGES CLES	5
INTRODUCTION	6
I. ANALYSE DES SITUATIONS ACTUELLES EN MATIERE DE MAITRISE DE L'ENERGIE AU REGARD DES ORIENTATIONS ET DES OBJECTIFS DE LA SMDD	8
1. Potentiel en Er et en Ure dans les PSEM et objectifs de la Stratégie Méditerranéenne pour le Développement Durable en matière d'énergie	8
2. Des politiques nationales de promotion des EnR et d'URE qui progressent doucement	9
3. Indicateurs chiffrés : des progrès, mais des tendances actuelles qui ne permettent pas d'atteindre les objectifs de la SMDD	15
4. Synthèse	27
II. LES BARRIERES RESTANT A SURMONTER	29
1. Les barrières institutionnelles et légales	29
2. Les barrières techniques et technologiques	31
3. Les barrières concernant l'acceptabilité sociale et psychologique	32
4. Les barrières économiques et financières : réalité ou perception ?	33
III. ENR ET URE : DE NOMBREUX AVANTAGES, EN PARTICULIER DANS LE DOMAINE DE L'EMPLOI	45
1. Des bénéfices stratégiques, environnementaux et financiers évidents	45
2. Une opportunité pour substituer des importations d'énergie fossile à des emplois	46
IV. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	47
1. Les cadres institutionnels en faveur des ER et de l'URE sont encore incomplets, peu visibles, et parfois instables	48
2. La question de l'efficacité énergétique est négligée	48
3. L'insuffisance de la R&D, d'information et de formation nuit au développement des filières et à l'efficacité des mesures incitatives	49
4. Des moyens insuffisants et des incitations économiques qui peinent à donner des résultats	49
5. Les expériences d'APD sont encourageantes mais les IDE sont peu attirés	50
BIBLIOGRAPHIE	51

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 - Mesures politiques, légales et institutionnelles de soutien aux EnR et à l'URE dans les PSEM.....	10
Tableau 2 - Part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique des pays méditerranéens	20
Tableau 3 - Energie renouvelable en 2006 : capacité installée totale en MW	21
Tableau 4 : Mécanismes de soutien financier aux EnR et à l'URE dans les PSEM.....	36
Tableau 5 - Exemples de synergies entre mesures d'adaptation et de mitigation possibles en Méditerranée dans le secteur énergétique.....	45
Graphique 1 - Intensité énergétique totale en Méditerranée et objectifs de la SMDD	16
Graphique 2 - Efficacité énergétique dans l'industrie.....	18
Graphique 3 - Efficacité énergétique dans le secteur du transport et de la distribution d'électricité.....	18
Graphique 4 - Efficacité énergétique dans le résidentiel	19
Graphique 5 - Part des ER dans la consommation d'énergie primaire (%).....	20
Graphique 6 - Energie renouvelable en 2006 : capacité installée totale en MW/habitant.....	21
Graphique 7 - Développement de l'éolien dans quelques pays méditerranéens	22
Graphique 8 - Développement du solaire thermique dans quelques pays méditerranéens	23
Graphique 9 - Développement du solaire photovoltaïque dans quelques pays méditerranéens.....	24
Graphique 10 - Répartition par secteur d'activité de l'utilisation de la capacité solaire photovoltaïque en Egypte, 2006	25
Graphique 11 - Vente de chauffe eau solaires en Tunisie (m ² de capteurs).....	31
Graphique 12 – Capacité installée de production d'électricité éolienne actuelle et prévue à l'horizon 2010 en Egypte, et contribution des bailleurs de fonds	42
Encadré 1 - Vers le bouclage des interconnexions électriques dans le bassin méditerranéen : une opportunité pour le déploiement des énergies renouvelables dans la région	27
Encadré 2 - MED CLEAN : Les cas pratiques du Centre d'Activités Régionales pour la Production Propre/Plan d'Action pour la Méditerranée/PNUE.....	35

MESSAGES CLES

Les pays Méditerranéens du Sud et de l'Est bénéficient d'un potentiel en énergie renouvelable (ER) parmi les plus importants du monde grâce à leur ensoleillement exceptionnel, aux multiples sites ventés de manière régulière ou encore aux ressources géothermiques notables. En outre, les estimations de d'économie potentielles d'énergie pouvant aller jusqu'à 40% démontrent un potentiel considérable de progrès en efficacité énergétique.

Afin d'exploiter ces potentialités, les 21 pays et territoires riverains de la Méditerranée ont adopté fin 2005 la Stratégie Méditerranéenne de Développement Durable (SMDD) qui, tout en étant non contraignante, propose des orientations, actions et objectifs d'ER et d'utilisation rationnelle de l'énergie (URE) visant à améliorer l'efficacité énergétique.

Dans les PSEM, l'analyse des évolutions récentes par rapport aux objectifs de la SMDD montre que, sauf exception, les applications concrètes d'ER ont une ampleur grandissante mais qu'elles restent limitées. La part des ER (hydraulique, éolien, solaire, géothermie) dans la production d'énergie primaire est passée de 2,5% en 2000 à 2,8% en 2006, ce qui n'est pas une tendance compatible avec l'objectif de la SMDD de 7% en 2015.

L'intensité énergétique dans l'ensemble des pays méditerranéens a progressé de 0,3% par an entre 1992 et 2003, ce qui est loin des objectifs de progression de 1 à 2% proposés par la SMDD. En outre, l'exploitation des gisements d'URE semble être « négligée » par rapport au développement des ER.

Les options de maîtrise de l'énergie sont donc sous-exploitées, pourtant, les nombreux projets réalisés et les expériences de quelques pays (Tunisie, Maroc, Egypte, Israël par exemple), démontrent que les ER et l'URE sont des options crédibles, adaptées et avantageuses. Ainsi, aujourd'hui, le défi reste la généralisation massive de ces expériences et la création d'un marché méditerranéen des ER et de l'URE.

D'importants progrès ont été enregistrés dans quasiment tous les PSEM pour la création du cadre institutionnel nécessaire au développement d'un réel marché de la maîtrise de l'énergie. Cependant, ils sont encore souvent incomplets, peu visibles, et parfois instables. Or, comme le montre l'expérience des pays les plus en avancés (ex : Tunisie), la présence simultanée de ces trois facteurs est déterminante.

Deux des points les plus importants à combler dans les cadres institutionnels et légaux des PSEM sont :

(i) la question des modalités financières et administratives du raccordement au réseau de distribution d'électricité pour les producteurs indépendants d'ER et

(ii) le manque de coordination institutionnelle ou l'absence d'institution responsable de l'efficacité énergétique.

La sous exploitation du potentiel d'URE dans les PSEM semble également provenir en partie d'un manque d'information et de visibilité de l'importance des gains économiques et financiers possibles. En outre, la mise en exploitation de ces potentiels bute sur des barrières économiques : subventions aux énergies fossiles qui se traduisent par un prix à la consommation finale relativement bas, faible efficacité des incitations économiques et financières en faveur des ER et de l'URE. Les pays qui ont mis des incitations en place font face d'une part à la difficulté de leur financement et, d'autre part, à leur efficacité réduite du fait de cadres légaux et législatifs non aboutis/appliqués/applicables.

Le secteur du bâtiment/résidentiel/tertiaire apparaît comme un secteur clef de l'action car il consomme d'ores et déjà environ 40% de l'énergie dans les PSEM et, compte tenu de la démographie et du développement urbain attendu, il pourrait être à l'origine d'importantes augmentations d'émissions de CO₂ futures.

La filière solaire représente une opportunité d'avenir importante car elle peut parfaitement s'intégrer dans le secteur du bâtiment et du développement urbain qui est actuellement et pour les années futures en plein développement dans les PSEM. Le développement de cette filière est également une opportunité industrielle pour les PSEM. Elle pourrait venir renforcer les co-bénéfices en termes d'emplois et de développement (industrie et service) déjà observés, en particulier dans les pays qui mettent en place les formations professionnelles adaptées (Tunisie, Maroc). Ces perspectives, pour se réaliser à grande échelle, doivent s'accompagner d'importants transferts de technologies et de savoir faire (formation) en matière d'ER et d'URE entre la rive Nord et la rive Sud de la Méditerranée.

Les effets d'entraînement des politiques climat/énergie de l'Union européenne pourraient à l'avenir être positifs pour les PSEM s'il existe dans ces derniers un cadre institutionnel compatible avec celui de l'UE.

Les fonds d'aide publique au développement (APD) participent sensiblement au développement des ER et de l'URE dans les PSEM et peuvent être à l'origine d'effets leviers importants sur les investissements privés nationaux. Aujourd'hui des fonds d'investissement privés internationaux sont disponibles et encouragés par le MDP mais il manque dans les PSEM un nombre suffisamment important de porteurs de projets et un contexte attractif pour les investissements directs étrangers.

Finaliser la construction d'un cadre légal efficace dans les PSEM et faire converger les politiques d'ER et d'URE de l'ensemble des pays méditerranéens sera donc un point déterminant. S'il se réalise, il pourrait alors devenir, très réaliste d'envisager que d'une part, les PSEM maîtrisent la croissance de leur demande nationale en énergie et de leurs émissions de CO₂ et d'autre part, aident l'UE à atteindre ses objectifs en terme d'énergie et de climat via l'exportation d'énergie propre et durable produite dans des centrales solaires.

INTRODUCTION

Problématique et contexte

Malgré des situations et priorités différentes, les pays méditerranéens disposent tous de marges de manœuvre pour améliorer l'utilisation rationnelle de l'énergie (URE). Il y est d'ailleurs maintenant généralement admis que les énergies renouvelables (EnR) et l'efficacité énergétique sont deux facteurs qui joueront un rôle important pour répondre à la nécessité de sécuriser l'approvisionnement énergétique, de ne pas aggraver les impacts sur l'environnement local (pollution atmosphérique) et global (émissions de gaz à effet de serre), de gagner en compétitivité, d'améliorer le bien être individuel dans un marché méditerranéen de plus en plus libre, ouvert et concurrentiel et dans un contexte énergétique international de plus en plus volatil et incertain. C'est dans ce contexte que les 21 pays et territoires riverains de la Méditerranée ont adopté en novembre 2005 la Stratégie Méditerranéenne de Développement Durable (SMDD) dont un chapitre concerne les questions énergétiques et recommande la maîtrise de l'énergie pour, notamment, limiter la croissance des émissions de gaz à effet de serre.

Objectifs

Ce chapitre a pour objectifs de présenter les politiques nationales et les actions mises en place afin de favoriser le développement des EnR et de l'URE, les obstacles au développement de ces dernières et les solutions à mettre en œuvre pour les surmonter. L'analyse se réfère systématiquement aux objectifs et orientations du chapitre « Energie » de la SMDD.

Si le Bassin Méditerranéen constitue le cadre de ce chapitre, elle est avant tout centrée sur les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM) qui regroupent ici l'Algérie, l'Égypte, Israël, le Liban, la Libye, le Maroc, la Syrie, les Territoires Palestiniens, la Tunisie, et la Turquie.¹ Elle inclut également des informations sur la Jordanie².

Source d'information

Ce chapitre se fonde en priorité sur l'ensemble des documents qui ont été produits dans le cadre du programme de coopération sur le suivi de la SMDD/énergie, coordonné et animé par le Plan Bleu en 2006-2007. Il se réfère aux études nationales (en particulier sur l'Égypte, Israël, la Libye, le Maroc, la Syrie, la Tunisie et la Turquie) et régionales qui ont été produites dans le cadre de ce programme et discutées lors d'un atelier de synthèse organisé par le Plan Bleu en mars 2007 à Monaco³. Les chiffres utilisés sont issus de ces études ainsi que des bases de données internationales (en priorité Agence Internationale de l'Énergie, Banque Mondiale et World Resource Institute). Des informations complémentaires ont été collectées à travers des documents de l'Observatoire Méditerranéen de l'Énergie (OME), de l'ADEME et du Plan Bleu pour les politiques, l'état des filières et les financements.

Contenu

Les orientations et objectifs de la SMDD servent de point de référence à ce chapitre qui s'attache à présenter la situation des pays en terme de maîtrise de l'énergie, tant d'un point de vue qualitatif (politiques), que quantitatif (objectifs chiffrés).

¹ Les autres pays du Bassin Méditerranéen sont désignés sous l'appellation de pays du Nord de la Méditerranée (PNM) et regroupent la Bosnie-Herzégovine, Chypre, la Croatie, l'Espagne, la France, l'Italie, la Grèce, Malte, Monaco, et la Slovaquie.

² Pays non riverain de la Méditerranée, donc non signataire de la Stratégie Méditerranéenne de Développement Durable, mais participant au partenariat euro-méditerranéen.

³ L'ensemble des documents et des communications sont disponibles à l'adresse suivante : www.planbleu.org

Dans un premier temps, nous analyserons les stratégies mises en place par les pays et l'utilisation actuelle des ER ainsi que la situation en termes d'efficacité énergétique et de potentiel en économie d'énergie. Nous verrons dans un second temps, que les barrières au développement de la maîtrise de l'énergie ne sont pas seulement d'ordre technique ou réglementaire mais qu'elles sont aussi, et en grande partie, d'ordres informationnel et financier. En particulier, nous regarderons la question de l'accès aux financements extérieurs pour compléter des ressources nationales limitées ainsi que la nécessité de mettre en place des mécanismes de soutiens adaptés. En conclusion, des recommandations sont proposées pour outrepasser les obstacles analysés.

I. ANALYSE DES SITUATIONS ACTUELLES EN MATIERE DE MAITRISE DE L'ENERGIE AU REGARD DES ORIENTATIONS ET DES OBJECTIFS DE LA SMDD

La première partie de ce chapitre s'attache, au regard des objectifs et des orientations de la SMDD, à présenter les mesures politiques mises en œuvre et les évolutions chiffrées observées en matière d'EnR et d'URE dans les PSEM.

1. POTENTIEL EN ER ET EN URE DANS LES PSEM ET OBJECTIFS DE LA STRATEGIE MEDITERRANEEENNE POUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE EN MATIERE D'ENERGIE

Les PSEM bénéficient d'un potentiel en énergie renouvelable parmi les plus importants du monde grâce à leur ensoleillement exceptionnel, aux multiples sites ventés de manière régulière ou encore aux ressources géothermiques notables.

En outre, le potentiel d'économie d'énergie est globalement très significatif. Il pourrait représenter, selon les pays, entre 15 et 40% de la consommation⁴ avec une répartition variable entre l'industrie, le secteur de l'énergie, le résidentiel et les services (bâtiment)⁵.

Le rapport sur l'environnement et le développement Plan Bleu publié en 2005⁶ montre l'ampleur de ses potentialités et les bénéfices qui peuvent être attendus de leur exploitation, en particulier en termes de maîtrise des émissions de CO₂, avec une réduction d'environ 25% des émissions de CO₂ issues de l'utilisation d'énergie à l'horizon 2025.

La prise de conscience des liens entre environnement et développement en Méditerranée est grandissante. Elle s'est notamment concrétisée au niveau politique par l'adoption, en novembre 2005, de la «Stratégie Méditerranéenne pour le Développement Durable» (SMDD) par les 21 pays et territoires signataires de la Convention de Barcelone pour la protection de la Mer Méditerranée. La SMDD est une «stratégie cadre», c'est-à-dire, qu'elle peut inspirer l'élaboration des Stratégies Nationales de Développement Durable (SNDD), étant entendu que c'est à chaque pays de se fixer ses propres objectifs.

Le 2^{ème} thème prioritaire de cette Stratégie est «la gestion plus rationnelle de l'énergie, l'utilisation accrue des sources d'énergies renouvelables et l'adaptation, en les atténuant, des effets du changement climatique».

Les principaux objectifs énergétiques annoncés sont :

- Promouvoir l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (URE)
- Valoriser le potentiel d'Energies Renouvelables (EnR)
- Contrôler, stabiliser ou réduire, selon les cas, les émissions de gaz à effet de serre

⁴ Les études nationales effectuées pour le Plan Bleu incluent les estimations d'économie d'énergie suivantes : 20 à 40% de l'énergie primaire consommée en Egypte, 15 à 20% de la consommation d'énergie totale de 1998 en Turquie, 16% de la demande totale en Syrie, 15% au Maroc.

⁵ Le secteur des transports, non traité dans ce chapitre est également à fort potentiel d'économie d'énergie.

⁶ « Méditerranée, les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement », G. Benoit, A. Comeau, 2005, Plan Bleu/Edition de l'Aube.

- Accroître l'accès à l'électricité dans les zones rurales concernées.

Elle suggère des objectifs chiffrés, dont (i) la réduction de l'ordre de 1 à 2% par an de l'intensité énergétique par unité de PIB d'ici 2015, et (ii) pour les énergies renouvelables, d'atteindre 7% de la demande totale en énergie d'ici 2015 (CWR – Combustible Renewables And Waste non inclus).

Elle suggère également des actions et orientations d'ordre qualitatif, telles que : (i) Promouvoir les politiques d'économie d'énergie et les énergies renouvelables et plus propres ; (ii) Fixer dans les stratégies nationales et locales de développement durable, des objectifs globaux et par secteurs d'activités visant à promouvoir l'URE et les EnR ; (iii) Inciter les acteurs économiques, les autorités locales et les consommateurs à adopter des comportements durables en matière d'économie d'énergie, grâce à une politique des prix, à des subventions ciblées, à des incitations fiscales et à des campagnes de sensibilisation du public soutenues par les ONG. Encourager les mécanismes économiques, tels que les certificats d'énergies renouvelables, et les réglementations visant à promouvoir les énergies renouvelables. (iiii) Renforcer la coopération régionale et soutenir la mise en œuvre de la Convention cadre sur le changement climatique et du Protocole de Kyoto.

La partie suivante s'attache, au regard des objectifs et des orientations de la SMDD, à présenter les mesures politiques mises en œuvre et les évolutions chiffrées observées en matière d'EnR et d'URE dans les PSEM.

2. DES POLITIQUES NATIONALES DE PROMOTION DES ENR ET D'URE QUI PROGRESSENT DOUCEMENT

Le Tableau 1 ci-dessous synthétise les mesures mises en œuvre ou en discussion en faveur des EnR ou de l'URE dans les PSEM⁷. Trois groupes se dessinent parmi les PSEM:

Les pays ayant ou allant adopter des mesures fortes en faveur de la maîtrise de l'énergie (Maroc et Tunisie)

- Les pays où l'énergie est bon marché (globalement les pays producteurs), pour lesquels l'adoption de mesures de maîtrise de l'énergie ne s'est faite que beaucoup plus tardivement et/ou est portée de manière moins proactive (Algérie, Egypte, Libye et Syrie).
- Les pays à mi-chemin entre les deux groupes précédents : Israël, la Jordanie, le Liban, les Territoires Palestiniens et la Turquie.
- Les mesures nationales évoquées dans la suite de ce chapitre ne visent pas à l'exhaustivité mais plutôt à évoquer certains dispositifs emblématiques mis en place dans les PSEM.

⁷ Les informations contenues dans ce tableau sont issues d'études nationales réalisées pour le Plan Bleu en 2007, de documents publiés par l'OME, d'informations fournies par l'ADEME pour les politiques, l'état des filières et les financements et sont complétées, dans certains cas, par des dires d'experts. Ce tableau ne vise pas à être exhaustif (certaines mesures très récentes peuvent ne pas apparaître). En outre, les mesures indiquées dans ce tableau ne sont pas toujours synonymes d'application réelle et les moyens pour les mettre en œuvre ne sont pas toujours disponibles. Pour autant, il donne une image assez vivante de la situation actuelle, ce qui est son objectif premier.

Tableau 1 - Mesures politiques, légales et institutionnelles de soutien aux EnR et à l'URE dans les PSEM

EnR	Groupe 1		Groupe 2				Groupe 3				
	Maroc	Tunisie	Algérie	Egypte	Lybie	Syrie	Israel	Jordanie	Liban	Territoires Palestiniens	Turquie
Politiques Nationales et Institutions											
Existence d'objectifs chiffrés	O	O	O	O	O	O	O	O	R		O
Existence d'études nationales de potentiel	O	O	O	O	O	O	O	O	O		O
Existence d'une loi cadre nationale	O	O	O	E	R	E	O	O			O
Existence d'une agence nationale	O	O	O	O		O		O		O	O
Autres actions de soutien											
Actions de communication / information du grand public	O	O		O	R	E					
Existence de formations professionnelles (seminaires/ateliers/universités,...)	O	O	O	O	R	E		O	O		
Existence d'une politique de développement de la qualité des équipement	O	O		R	R						
Mesures EnR bâtiments publics (Obligation d'installation chauffe-eau solaire, PV,...)	E	O				E					
Obligation d'intégration de chauffe eau solaire dans les bâtiments neufs						E	O				
URE											
Politiques Nationales et Institutions											
Existence d'objectifs chiffrés		O		E		E		O			
Existence d'études nationales de potentiel	O	O		O	O	E	O	O			R
Existence d'une loi cadre nationale	E	O	O	R	R	E	O	E			
Existence d'une agence nationale	E	O	O	R	R	O		O		O	
Autres actions de soutien											
Existence de formations professionnelles (seminaires/ateliers/universités,...)	E	O	R	R	R	R		E			
Reglementation / Labellisation de l'efficacité énergétique des équipements	E	O	O	O		E	O	E		O	
Obligation d'études d'URE (ex: audits)	E	O	O		R	E	O				E
Reglementations thermiques des bâtiments	E	E	E	E	R	O ¹		E	E		E
Mesures d'URE des services publics	E	O			R	E					
Légende:		O : mesure actuellement en application E : mesure en discussion / en cours d'adoption mais encore à définir exactement R : mesure dont le manque est clairement identifié : mesure non mise en œuvre ou information non disponible									

¹ Mise en application en janvier 2008.

Note : Les informations contenues dans ce tableau sont issues d'études nationales réalisées pour le Plan Bleu en 2007, de documents publiés par l'OME, d'information fournies par l'ADEME pour les politiques, l'état des filières et les financements et sont complétées, dans certains cas, par des dires d'experts. Ce tableau ne vise pas à être exhaustif (certaines mesures très récentes peuvent ne pas apparaître). En outre, les mesures indiquées dans ce tableau ne sont pas toujours synonymes d'application réelle et les moyens pour les mettre en œuvre ne sont pas toujours disponibles. Pour autant, il donne une image assez vivante de la situation actuelle, ce qui est son objectif premier.

2.1. Maroc et Tunisie : des pays très actifs

Dès le début des années 1980, ces deux pays ont adopté une politique visant à développer les EnR et la maîtrise de l'énergie. Pour cela, des agences nationales ont été créées et placées sous la tutelle des ministères de l'énergie et des stratégies fortes et volontaristes ont été adoptées.

Au Maroc, pays qui importe 96% de son énergie, les EnR et l'URE ont pris place aux cotés des produits pétroliers et de l'électricité comme un secteur à part entière. Fin 2006, les pouvoirs publics ont annoncé qu'à l'horizon 2012, les EnR contribueraient à hauteur de 20% à la production d'électricité et de 10% du mix énergétique national.

Dès 1982, le Maroc a mis en place le Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER). Une nouvelle Loi cadre sur l'URE et les EnR est en cours de définition et prévoit une restructuration du CDER en Agence Opérationnelle en charge de la mise en œuvre de cette loi-cadre. Cette dernière s'intègre dans un programme global de réforme du secteur de l'énergie, soutenu par la Banque Mondiale et la Banque Européenne d'Investissement (BEI). L'Agence de coopération technique allemande GTZ accompagne également ce processus et intervient en soutenant le développement du dispositif réglementaire d'application (étude de potentiel EnR,

développement éolien, impacts sociaux économiques, action de promotion, sensibilisation des autoproducteurs potentiels, etc.).

Concernant l'URE, l'intensité énergétique est stable depuis plus de 30 ans et d'importants efforts restent donc nécessaires. Le scénario de la Banque Mondiale⁸ prévoit un potentiel d'économie d'énergie de 13% pour 2010 et de 23% pour 2020. Le secteur de l'industrie est le premier visé et la Loi cadre contiendra une obligation d'audit énergétique à partir d'un certain seuil de consommation. Par ailleurs, l'exemplarité étatique en matière d'URE dans les bâtiments publics est mise en avant : la Loi cadre vise à la généralisation des Lampes à Basse Consommation (LBC), des chauffe-eau solaires (CES) ou encore la prise en compte de l'URE dans les standards de construction. Une optimisation de l'éclairage public et des transports dans les collectivités locales ou encore une réglementation thermique du bâtiment (à noter que ce dernier point est réalisé avec le soutien du GEF, du PNUD et du Gouvernement Italien) sont d'autres volets de cette nouvelle réglementation.

En Tunisie, également pays importateur net, si les prix du gaz sont subventionnés, beaucoup d'efforts ont été fait pour promouvoir les EnR et l'URE avec notamment un cadre législatif complet, adapté et prometteur.

La Tunisie a mis en place une Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie (ANME) dès 1985. En 2004, le gouvernement a renforcé le cadre réglementaire en élargissant les attributions de l'ANME, en clarifiant le concept de maîtrise de l'énergie et en augmentant les primes en faveur des actions de maîtrise de l'énergie. En 2005, le niveau des primes à l'investissement pour les actions d'URE a été porté de 5% à 20% et une prime de 20% a été mise en place sur l'achat de Chauffe-Eau Solaire (CES). Enfin, les équipements EnR sont exempts de TVA et les frais de douane sont réduits pour les produits importés.

Un fonds national pour l'efficacité énergétique a été mis en place et l'ANME possède une unité spécialisée qui s'intéresse principalement au secteur industriel. Cette équipe dispose de ressources humaines et financières et assure un accompagnement et une expertise technique de proximité avec les entreprises. Les audits sont partiellement financés. Des experts relais ont été mis en place afin d'identifier les actions nécessaires, élaborer et suivre des projets. Enfin, des ateliers de bonnes pratiques d'URE (comprenant formation, séminaires de concertation et animations) sont régulièrement organisés par branche industrielle.

2.2. Algérie, Egypte, Libye et Syrie : des ressources fossiles abondantes mais des fortes potentialités pour les EnR et l'URE encore non exploitées

Riches en hydrocarbures, ces quatre pays présentent la caractéristique d'avoir une énergie fortement subventionnée et peu chère (un Kwh électrique coûte au consommateur résidentiel 0.005€ en Syrie, 0.01€ en Egypte et 0.02€ en Algérie). Ce contexte, bien que très clairement défavorable aux EnR et à l'URE, ne doit pas être considéré comme une fatalité. Ainsi, l'Algérie et l'Egypte ont clairement affiché leur volonté de développer ces thématiques et un cadre politique se met en place.

L'Algérie, qui détient plus de 53% des réserves de gaz⁹ des PSEM, possède un potentiel de développement des énergies renouvelables et en particulier de l'énergie solaire, remarquable. L'Algérie a manifesté son intérêt pour le développement des EnR dès 1962 lors de la création de l'Institut de l'énergie solaire, qui a été transformé en Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) en 1988. Il chargé de la recherche et du développement des filières solaire,

⁸ Politique, programme et instruments pour un Plan National d'efficacité énergétique, Banque Mondiale, ICE, Burgeap, décembre 2006.

⁹ Source OME, BP Statistical Review & CEDIGAZ

éolienne, géothermie et biomasse. En parallèle, en 1985, l'Agence pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE) a été mise en place afin d'apporter des réponses à l'augmentation significative de la demande intérieure. Un Programme National de Maîtrise de l'Énergie (PNME) a été mis en place sous couvert d'un Comité Intersectoriel de la Maîtrise de l'Énergie (CIME) et est soutenu économiquement dans ses actions par un Fonds National pour la Maîtrise de l'Énergie (FMNE).

La promotion des EnR est appuyée par plusieurs mesures : la loi sur la recherche (1998) qui en fait une priorité nationale de R&D, le décret sur la diversification énergétique (2004) qui introduit des tarifs de rachat de l'électricité produite par des EnR, la loi sur les EnR (2004) qui fixe des objectifs concrets de pénétration des EnR dans le mix énergétique national et établit des mesures incitatives (certificats verts et crédits carbone). Cette dernière loi, cadre fondamental pour une réelle pénétration des EnR, doit cependant être suivie de décrets d'application pour être effective.

La forte subvention des hydrocarbures et l'entrée en vigueur tardive d'une législation n'ont pas favorisé l'URE. Toutefois, une série de décrets successifs ont été promulgués sur l'efficacité énergétique des bâtiments neufs (2000) ou sur une réglementation énergétique des équipements et des établissements grands consommateurs d'énergie (2005). Une inflexion de l'intensité énergétique est observable depuis la mise en place de ces mesures mais des efforts substantiels sont encore réalisables.

En Egypte, la maîtrise de l'énergie est une composante fondamentale de la Stratégie Nationale de Développement Durable (SNDD) en cours d'élaboration par le Ministère pour l'environnement. Pour mémoire, dès 1982 l'Égypte a mis en place le Supreme Council for Energy & Renewable Energy et, en 1983, elle a créé l'Organisation for Energy Planning (OEP) en charge de coordonner, d'évaluer et de diffuser les politiques correspondantes.

L'Égypte possède une importante ressource éolienne sur la rive ouest du canal de Suez et bénéficie d'un excellent ensoleillement sur l'ensemble du pays. Ce potentiel attire les investisseurs étrangers (allemands, espagnols, japonais ...). En 2000, le gouvernement a annoncé qu'à l'horizon 2010, 3% de l'électricité serait produite à partir de l'éolien. Sous réserve d'une politique appropriée, ces objectifs peuvent être tenus. A l'horizon 2021, les objectifs sont très ambitieux avec 7% d'énergie éolienne et 7% d'hydroélectricité.

Pour accompagner cette politique, le New and Renewable Energy Authority (NREA), centre spécifique dédié aux EnR, a été mis en place au Caire (1986). Une plate forme d'expérimentations y a également été mise en place avec le soutien de la Commission Européenne (CE). Des séminaires d'information ainsi que des cours d'été (qui attirent des techniciens et ingénieurs des autres pays Arabes et Africains) y sont régulièrement organisés. Plus récemment, un centre de développement technologique, de certification et de formation pour l'énergie éolienne a été créé à Hurghada avec le support de la CE et du gouvernement Italien (1994).

Pour autant, la valeur quasi-constante sur la période 1981-2005 de l'intensité énergétique totale montre que d'importants efforts sont encore à réaliser en termes d'URE. En 2003, la stratégie nationale visait, à l'horizon 2010, 10% à 20% de réduction de l'intensité énergétique du côté de la production (électricité et hydrocarbures) ainsi que du côté de la demande (industrie et résidentiel), notamment en renforçant la communication et l'information, la recherche et développement, la formation du personnel responsable des consommations énergétiques dans les secteurs de l'industrie et des services, la participation d'ONG dans les débats environnementaux associés à l'URE et, enfin, la participation des gouvernements locaux dans les projets relatifs à l'éclairage public.

La Libye est un pays peu peuplé (5.8 millions d'habitants) qui possède 67% des réserves de pétrole des PSEM¹⁰ et des réserves significatives de gaz naturel. L'exportation de pétrole contribue à plus de

¹⁰ Source: OME, BP Statistical Review & CEDIGAZ

90% aux revenus du pays pour un PNB/hab parmi les plus élevés du continent. L'abondance d'hydrocarbures et le prix très faible des énergies sur le marché national expliquent que l'URE ne soit pas une priorité nationale malgré un potentiel estimé à 20% de l'énergie totale consommée¹¹. A la différence de l'Algérie et de l'Égypte, la Libye n'a pas mis en œuvre de réelles mesures pour la promotion des EnR et de l'URE.

Les EnR sont essentiellement représentées par du photovoltaïque, utilisé depuis 1976, pour des besoins d'électrification décentralisée (communication, protection cathodique, électrification rurale, pompage). Les projets les plus prometteurs sont : une usine de désalinisation d'eau de mer, le pompage pour l'irrigation avec 100 sites prévus et enfin une centrale solaire de 1MWp.

La Syrie a tardé à s'investir dans l'URE et les EnR mais projette de mettre en place des mesures fortes. Une première stratégie nationale de maîtrise de l'énergie, l'Energy Conservation Law (ECL) comprenant la mise en place d'un cadre législatif adapté pour l'URE et les EnR, des mesures incitatives et un plan d'action, est en cours d'élaboration. Bien qu'un important projet cofinancé par le PNUD, le FEM et l'OPEP ait permis la création du National Energy Research Center (NERC) en 2003, cette agence n'a pas encore été dotée de véritables moyens d'action. Cela devrait cependant changer car le NERC a été chargé de mettre en œuvre les mesures d'URE et d'EnR prévues dans l'ECL 2006-2010.

En termes de promotion de l'URE, trois nouvelles lois devraient voir le jour ainsi qu'une réglementation thermique des bâtiments et des normes relatives aux équipements électroménagers. Des actions d'URE au niveau de la production d'énergie (électricité) seront également mises en œuvre afin d'augmenter la fiabilité de toute la chaîne production / transmission / distribution.

Quant aux EnR, même si des actions ont été réalisées depuis 1998 par différentes agences gouvernementales, l'absence de coordination et de politique globale n'a pas permis un réel développement de ces filières. Pour autant, le potentiel solaire thermique est important : le chauffe-eau solaire individuel est relativement répandu et l'ECL envisage de développer pleinement ce marché étant donné son impact positif tant en termes énergétiques que de création d'emplois. Le photovoltaïque est lui aussi présent dans la stratégie nationale même s'il concerne principalement l'électrification rurale décentralisée et le pompage en zones isolées.

2.3. Israël, Jordanie, Liban, Territoires palestiniens et Turquie : des politiques récentes et des perspectives prometteuses.

Bien que n'ayant pas ou peu d'accès privilégié à l'énergie fossile, et malgré un important potentiel EnR et URE, les pays de ce groupe n'ont adopté que très récemment des mesures visant à la maîtrise de l'énergie.

En Turquie, l'Electrical Power Resources Survey and Development Administration (EIE) est chargée de la mise en place des mesures EnR et URE. En 2003 l'EIE a participé à la rédaction de l'Electricity Market Law afin d'y inclure la prise en compte des sources d'EnR et des objectifs de production. En 2005 a été promulguée la « Law on Renewable Energy » qui établit des objectifs par filière, des garanties et des tarifs de rachat, qui accorde une bonification aux terres utilisées pour la production d'EnR et fixe des critères pour la garantie d'origine de la production. Mais ces mesures ne sont pas suffisantes (tarifs de rachats trop bas, absence de coordination intersectorielle, etc.) et la part des EnR dans le mix énergétique total est en décroissance depuis 1990 à cause de la progressive raréfaction de la biomasse.

¹¹ Source: Study of Dr. Abdullah Ballut, Dr. Mohamed Ekhlal "The Potential Impact Of Improved Energy. Utilization Efficiency On The Future Energy Demand In Libya Up To The Year 2020" 17th World Energy Congress, USA, 1998.

L'efficacité énergétique totale du pays n'a pratiquement pas évolué depuis 1990 et, selon les estimations du ministère de l'énergie, le potentiel total du pays était déjà en 1998 de 12-14 Mtep/an soit 15 à 20% de la consommation énergétique finale. Ce potentiel recouvre notamment la production d'énergie (principalement électrique) avec la mise en place de centrales à cycle combiné (politique déjà en cours), des actions fortes sur la demande et 20 à 40% d'économie d'énergie réalisables dans l'industrie¹².

Israël a établi en 2003 des objectifs plutôt modestes pour la progression des EnR dans la production d'électricité : 2% en 2007 et 5% en 2016. En 2004 le Minister of National Infrastructures (MNI) a mis en place des mesures de promotion des EnR plus volontaristes (tarifs et procédures de rachat, code de conduite des producteurs...). Malgré cela la réaction des investisseurs a été plutôt lente et moins de 100 MW ont reçu des autorisations conditionnelles.

En Israël, 20% de l'énergie totale consommée pourrait être économisée¹³. Depuis 1989, le Gouvernement a fixé des normes d'efficacité énergétique qui comprennent un étiquetage énergie pour les produits nationaux et des inspections pour les plus importantes installations commerciales et industrielles. Ces normes n'ont malheureusement pas produit de réels effets en tant que telles compte tenu du manque de ressources disponibles. Cependant, du fait du prix élevé de l'énergie, la prise en compte de l'URE progresse depuis 2002. Le développement ces dernières années de sociétés de services énergétiques du type ESCO devrait permettre de renforcer cette dynamique.

La Jordanie a publié en juillet 2007 son Energy Master Plan qui est un ambitieux plan de maîtrise de l'énergie prévoyant d'atteindre, en 2020, 10% d'EnR dans le mix énergétique national ainsi que de réaliser 15 à 20% d'économies d'énergie par rapport au scénario de référence. Il prévoit également la mise en place d'un fonds national pour les EnR à partir de fin 2007. Pourtant, à l'heure actuelle, si le potentiel EnR est identifié et considérable, les filières ne se développent pas du fait du faible prix de l'électricité et de l'absence de mesures économiques incitatives.

L'Energy Master Plan affiche comme objectif une progression de l'URE de 3% par an. Les mesures envisagées pour atteindre cet objectif ambitieux sont : une réduction des subventions à l'énergie, des incitations fiscales et des réglementations thermiques pour les équipements et bâtiments, une campagne de sensibilisation/formation et la création d'un fonds d'investissement dédié. Il n'existe cependant pas de loi pour la promotion de l'URE à ce jour et si de nombreux projets de collaboration internationale ont été menés pour stimuler l'URE (fonds KfW, Higher Council for Science & Technology, UE, USAID, PNUD, GEF), l'absence d'un cadre politique adapté n'a pas permis d'obtenir des effets durables.

Au **Liban**, l'Association Libanaise pour la Maîtrise de l'Energie et de l'Environnement (ALMEE) qui est une structure associative travaillant étroitement avec les pouvoirs publics, est impliquée depuis plus de dix ans sur les problématiques EnR et URE.

Le Liban importe 97% de son énergie primaire au tarif international¹⁴, les pertes en ligne du réseau électrique sont importantes¹⁵ et l'énergie vendue sur le marché national est fortement subventionnée. Pour autant, la production d'EnR au Liban est très faible et cela en dépit du potentiel clairement reconnu dans la filière solaire par exemple. Du fait de prix de l'électricité très faibles (0.02 €/kWh pour les petits consommateurs résidentiels), les chauffe eau solaires ne se développent pas et on estimait en 2002 à moins de 1% l'eau chaude produite par énergie solaire¹⁶. Quant au PV, il est

¹² Données du Ministère turc de l'Energie et des Ressources Naturelles.

¹³ Source : Etude nationale réalisée pour le Plan Bleu, 2007.

¹⁴ Source: IEA (International Energy Agency), 2003 IEA (International Energy Agency), 2003. Paris, France (accessed at left angle bracket<http://www.ica.org>right-pointing angle bracket).

¹⁵Le graphique 7 qui se base sur des données de la Banque Mondiale montre des pertes en ligne aujourd'hui supérieures à 15%. D'autres estimations sont plus élevées et peuvent aller jusque 45%. Voir notamment *Electric Energy & Energy Policy in Lebanon*, By Chafic Abi Said, Consultant and Former Director Planning and Studies at EDL, mars 2005.

¹⁶ Source: Chedid, 2002. Un sondage sur plus de 500 familles vivant en milieu urbain a montré que 2.8% d'entre elles étaient équipées de chauffe eau solaire, alors que 82% utilisaient un chauffe eau électrique (Hourri et Korfali, 2003).

considéré comme 'non concurrentiel' par rapport au réseau. De plus, étant donné le taux élevé d'accès au réseau, l'ERD par systèmes PV ne peut pas avoir un impact réel dans le mix énergétique national.

Outre un fort potentiel d'URE dans la production et le transport de l'électricité, un gisement important existe dans le secteur du bâtiment qui est responsable de plus de 30% de l'énergie primaire consommée. Un projet, piloté par l'ALMEE en collaboration avec l'ADEME, et l'AFD entre 2000 et 2005 s'est attaché à définir et mettre en place des normes d'efficacité énergétique dans le bâtiment au travers de projets pilotes. Fin 2005, les premières réglementations thermiques des bâtiments furent discutées par le gouvernement Libanais¹⁷ mais n'ont pas trouvé d'applications concrètes à ce jour.

Les Territoires Palestiniens (TP) ont mis en place un cadre favorable à la maîtrise de l'énergie dans une dynamique de marché où l'énergie classique est rare et chère. En effet, malgré des moyens financiers très limités, le Palestinian Energy & Environnement Research Center (PEC) a été créée dès 1993 pour conduire la R&D et accompagner le développement économique des EnR et de l'URE.

Le développement de la filière solaire qui représente aujourd'hui 19% du mix énergétique national est cependant d'avantage à lier à un contexte énergétique caractérisé par des prix très élevés de l'énergie (en particulier l'électricité) qu'à un soutien particulier. D'autres projets EnR sont à l'étude, comme la construction de la première tranche d'une centrale solaire à concentration de 3MW (pour atteindre à terme 100MW)¹⁸ ou encore la construction d'une centrale solaire de dessalement d'eau de mer. Concernant l'URE, peu de données sont disponibles.

3. INDICATEURS CHIFFRES : DES PROGRES, MAIS DES TENDANCES ACTUELLES QUI NE PERMETTENT PAS D'ATTEINDRE LES OBJECTIFS DE LA SMDD

La Stratégie Méditerranéenne de Développement Durable (SMDD) affiche des objectifs chiffrés à l'horizon 2015 en matière d'EnR et d'URE et des indicateurs de suivi ont été définis. Il s'agit, entre autres, de l'intensité énergétique totale et de la part des EnR dans le mix énergétique. Des indicateurs supplémentaires, plus fins, peuvent néanmoins se révéler nécessaires pour déceler des avancées significatives dans certains pays, secteurs ou filières.

3.1. Intensité énergétique : des progrès peu significatifs

3.1.1. Intensité énergétique totale : la Tunisie se démarque

Malgré une tendance à la baisse de l'intensité énergétique totale dans le Bassin Méditerranéen (-0,3% par an entre 1992 et 2003), cette tendance n'est pas compatible avec les objectifs de réduction de 1 à 2% par an tels que définis dans la SMDD. Cette tendance générale à la baisse est souvent expliquée par une transition vers des économies où la valeur ajoutée des services progresse et par les évolutions technologiques tendanciennes¹⁹. En revanche, l'absence de politiques volontaristes

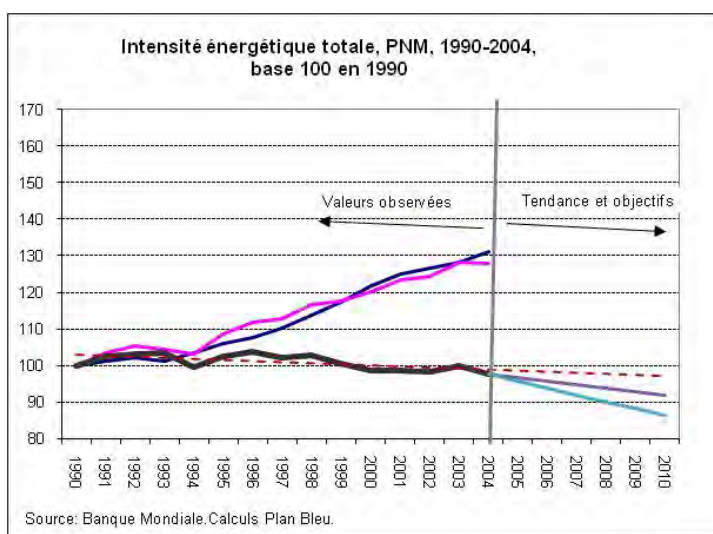
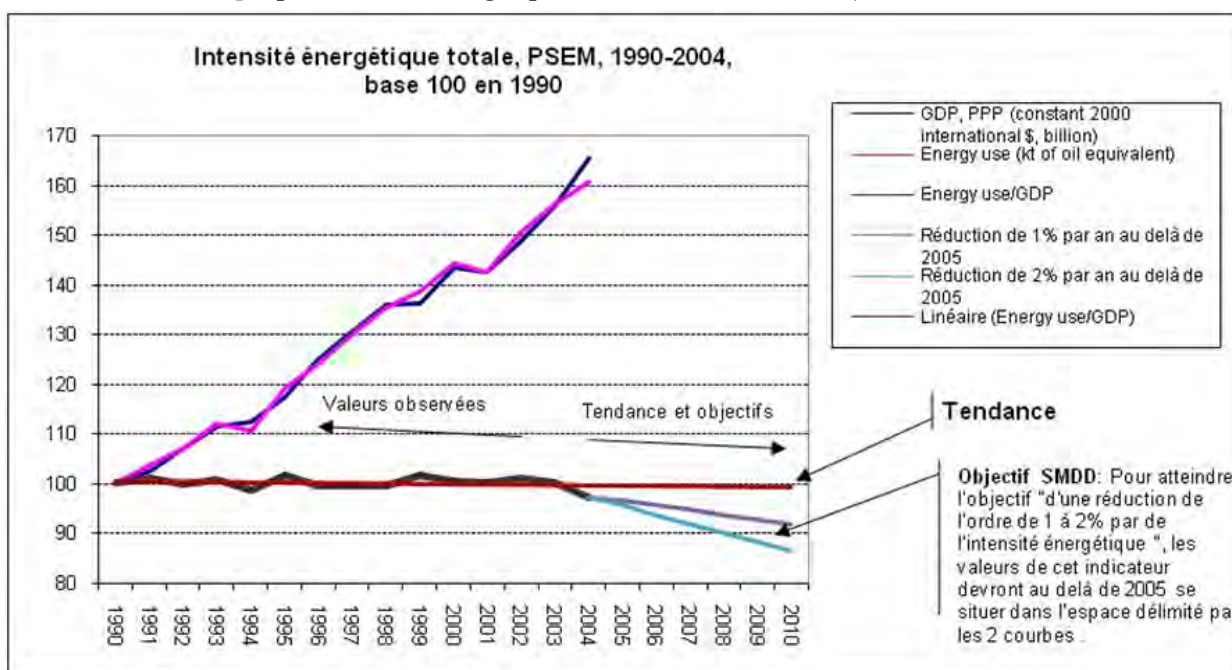
¹⁷ Source: Agence Française de Développement, Division Evaluation et capitalisation, Département de la Recherche, Lettre n°01-2007

¹⁸ Source site du PEC : <http://www.perc.ps/index.htm>

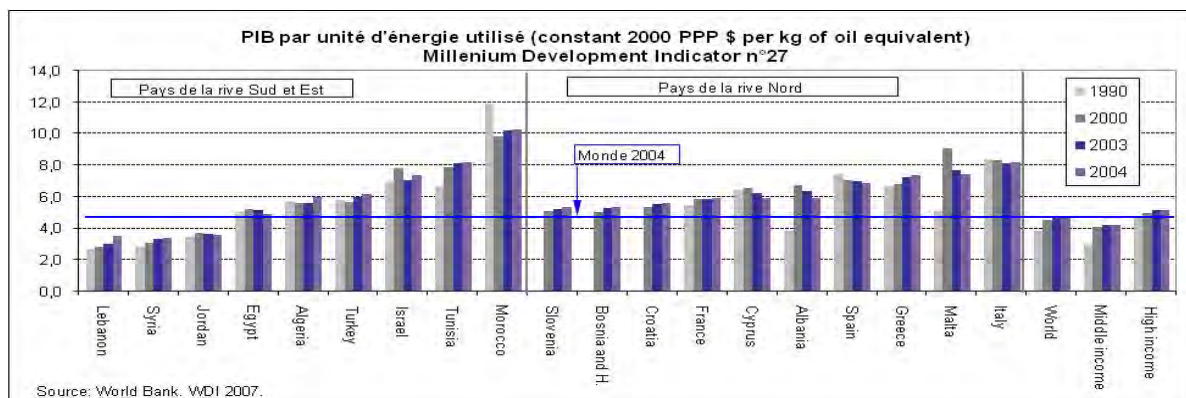
¹⁹ Cet indicateur doit être interprété avec précaution. En effet, l'évolution de l'intensité énergétique totale d'un pays peut aussi bien être influencée par le changement de la structure de l'économie, le climat (froids, chaud...) ou des conditions géographiques que par les efforts réels d'économie d'énergie.

explique la lenteur des améliorations. Des disparités importantes existent. Tout d'abord les PSEM enregistrent une tendance à l'amélioration plus lente que les PNM. Ensuite entre les PSEM eux-mêmes, les résultats sont plus ou moins encourageants et trois groupes se dessinent nettement : le Liban, la Syrie et la Jordanie enregistrent les moins bonnes performances ; l'Égypte, l'Algérie et la Turquie forment un groupe intermédiaire ; Israël et la Tunisie (seul pays de la zone ayant diminué son intensité énergétique de plus de 1% par an en moyenne entre 1992 et 2003) enregistrent des performances meilleures que les pays précédents. Enfin, le Maroc est un cas particulier car il possède l'indicateur le plus favorable mais il faut souligner que c'est aussi le pays où la consommation par habitant est de loin la plus faible de la région. Comparée à la tendance mondiale (-1,6% par an entre 1992 et 2003), la Méditerranée enregistre une progression relativement lente mais elle affiche également une intensité énergétique plus faible : en 2003 en Méditerranée, il fallait 151 tep pour produire 1 million d'USD de PIB contre 212 au niveau mondial.

Graphique 1 - Intensité énergétique totale en Méditerranée et objectifs de la SMDD



Par exemple, les pays dont l'économie est fondée sur l'exploitation de matières premières (par exemple l'industrie lourde) utilisent plus d'énergie que ceux qui importent les produits issus de ces industries ; Les grands pays ont tendance à avoir des coûts de transport plus élevés du fait des distances plus grandes à parcourir ; dans les pays froids les consommations d'énergie par habitant pour se chauffer sont plus élevées.



Source : Banque mondiale, calculs Plan Bleu.

3.1.2. Intensité énergétique par secteur : des potentiels sous-exploités dans tous les pays et tous les secteurs

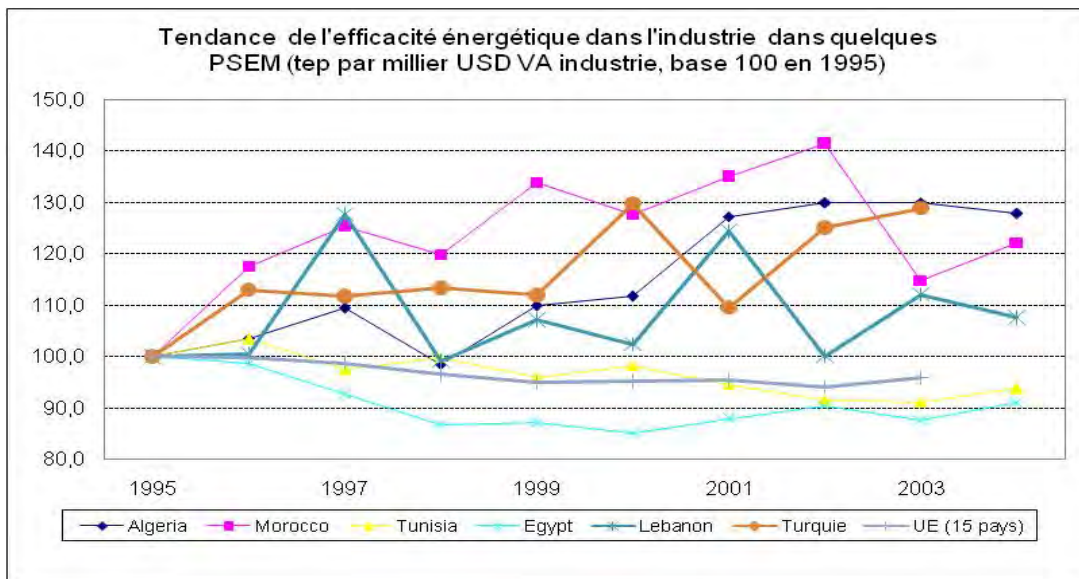
a. Les secteurs de l'industrie et de la production d'énergie : un potentiel pourtant souvent économiquement très rentable

Depuis 1995, sur l'ensemble des pays pour lesquels des données sont disponibles, seules la Tunisie et l'Égypte ont vu l'efficacité énergétique de leur industrie s'améliorer. Dans ce secteur, qui représente près de 40% de la consommation d'énergie dans les PSEM, les gains d'efficacité sont pourtant a priori plus faciles à obtenir de manière « autonome » compte tenu des contraintes budgétaires, de compétitivité et de concurrence qui pèsent sur les entreprises. Cependant, la condition première pour l'exploitation de ces gisements est l'information des décideurs²⁰ et c'est pourquoi de nombreux pays encouragent aujourd'hui les audits dans l'industrie, en particulier pour les grands consommateurs d'énergie qui ne sont pas toujours conscients du potentiel d'économie existant²¹. Au Maroc, la diffusion de chaudières à bois améliorées pour la production d'eau chaude dans les hammams, a permis une réduction de consommation de bois de 50% dans les établissements équipés. De même, les bons résultats de la Tunisie reflètent certainement en partie les efforts mis en œuvre par la Task Force dédiée évoquée précédemment.

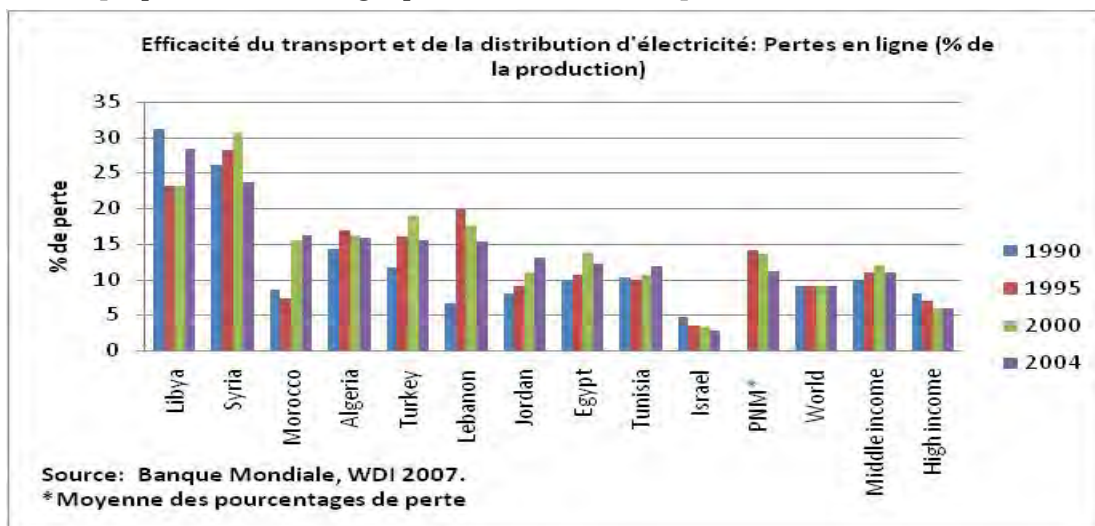
Concernant le secteur de l'énergie, il affiche d'importantes pertes lors du transport et de la distribution d'électricité. Sauf exception (Libye, Syrie où les pertes sont particulièrement importantes et, à l'opposé, Israël), ces chiffres sont proches de ceux des PNM (entre 10 et 15%). Ce sont à la fois des pertes techniques et commerciales (connexions illégales, compteurs défectueux).

²¹ XI Conférence euro-méditerranéenne sur la transition économique, juin 2007, Communication de V. Alzina, Directrice CAR PP/PAM/PNUE. Voir aussi paragraphe 3.4.1.

Graphique 2 - Efficacité énergétique dans l'industrie



Graphique 3 - Efficacité énergétique dans le secteur du transport et de la distribution d'électricité



b. Le secteur résidentiel : un enjeu stratégique pour la région

Dans les PSEM, la consommation d'énergie dans le bâtiment a augmenté de plus de 40% entre 1990 et 2004 et représentait alors environ 40% de la consommation globale. Pourtant, les gisements d'économie y sont très importants. Ainsi, en Israël, une isolation améliorée, des systèmes de chauffage et de climatisation plus efficaces et l'utilisation de l'énergie solaire passive représenteraient un potentiel d'économies de 25 à 40%.

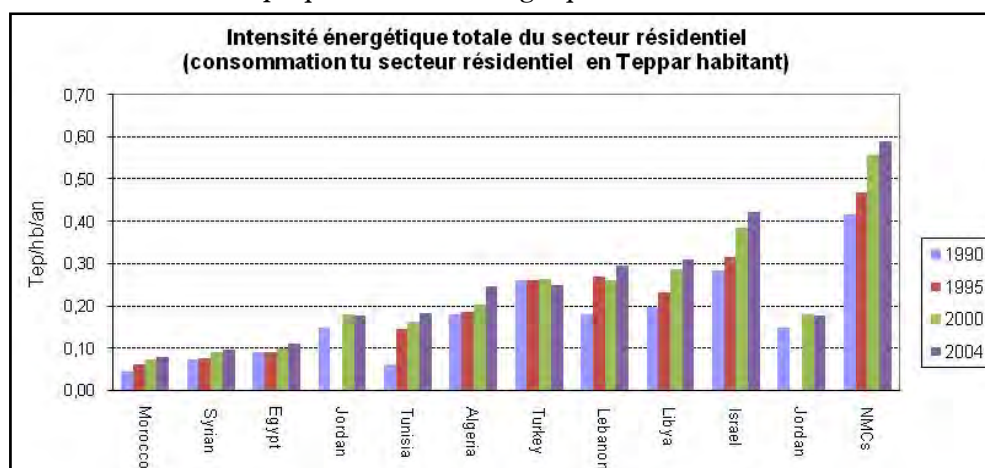
Bien qu'elle ne prenne pas en compte la croissance démographique, la consommation du secteur résidentiel par habitant est souvent utilisée comme indicateur d'efficacité énergétique pour le résidentiel. D'une manière générale, dans les PSEM, la quantité d'énergie consommée par habitant augmente, ce qui est un résultat relativement prévisible dans la mesure où le niveau de vie progresse, permettant l'accès à de nouveaux produits et services. En Tunisie par exemple, la consommation d'électricité par logement est passée d'environ 1000 Kwh en 1990 à 1500 Kwh en 2003²². Cette augmentation est à lier, par ordre d'importance, à la hausse de la consommation d'électricité pour le

²² Source : ADEME et ANME

chauffage (environ 1/3), les usages de cuisson (environ 1/5), le chauffage de l'eau (en partie compensée par la mise en place des chauffe eau solaires), l'électroménager (réfrigérateurs et téléviseurs), l'éclairage et aussi par l'émergence de la climatisation, qui devrait voir son usage s'accroître fortement dans un futur proche, en partie du fait du changement climatique.

Pour le secteur résidentiel des PSEM, le défi réside donc dans l'anticipation de la hausse de la consommation dans un contexte de croissance démographique. Partout de nouveaux logements, quartiers et villes sont ou seront en construction dans les années à venir²³ et les règles d'urbanisme, les normes de construction et les techniques architecturales dans le secteur du bâtiment détermineront la consommation d'énergie et les émissions (CO₂ et pollution atmosphérique) de ce secteur pour les années à venir. Par ailleurs, l'accès à des équipements électroménagers de plus en plus nombreux devrait se généraliser. Ainsi, certains pays ont déjà mis en œuvre des programmes d'étiquetage et de normes de consommation, comme par exemple l'Égypte, la Tunisie ou l'Autorité Palestinienne qui disposent de normes et labels pour les réfrigérateurs, les systèmes de ventilation et les lave-linge.

Graphique 4 - Efficacité énergétique dans le résidentiel



Source : Banque Mondiale, OME, WRI, calcul Plan Bleu

3.2. Énergies renouvelables : une percée timide mais des expériences prometteuses

Malgré une hausse de la quantité d'énergie renouvelable (hors biomasse) produite en valeur absolue (de 23.1 tep en 2000 à 25.3 tep en 2006 selon l'OME), compte tenu de l'augmentation simultanée de la demande, leur part dans le bilan énergétique du Bassin Méditerranéen reste stable voire diminue. Elles représentaient 2,9% en 2006 toutes filières confondues hors biomasse, ce qui est loin de l'objectif de 7% en 2015 de la SMDD.

Dans les pays méditerranéens, les énergies renouvelables les plus exploitées sont l'hydraulique et la biomasse (Tableau 2). Les autres énergies renouvelables (éolien, solaire, géothermie) visées par la SMDD sont peu présentes alors que la région, et notamment les PSEM, possèdent d'énormes potentiels naturels en énergie solaire et en éolien. Néanmoins, le développement encore récent de certaines filières dans des PSEM semble prometteur (Source : Observatoire Méditerranéen de l'Énergie (Tableau 3).

²³ Le Plan Bleu prévoit que d'ici 2025, la population des PSEM augmente de 96 millions d'individus et que 74% de la population habite en ville et 33 millions de ménages supplémentaires sont attendus en 2025 par rapport à 2000.

Tableau 2 - Part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique des pays méditerranéens

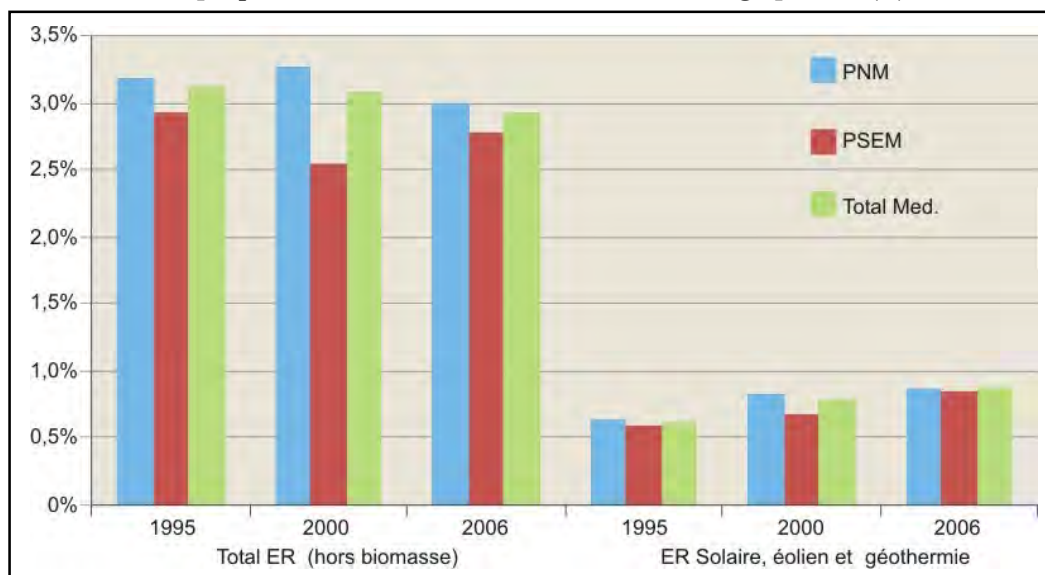
	Total ER			Total ER moins Hydro			Total ER moins CWR*			ER Solaire, éolien et géothermie		
	1995	2000	2006	1995	2000	2006	1995	2000	2006	1995	2000	2006
Albanie	51.1%	36.0%	30.0%	23.8%	14.2%	11.3%	27.3%	21.8%	20.8%	0.0%	0.1%	2.1%
Bosnie & H.	30.4%	15.4%	13.7%	10.1%	4.5%	3.6%	20.3%	10.9%	10.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Slovénie	9.1%	12.2%	14.9%	4.4%	7.1%	10.6%	4.7%	5.1%	8.1%	0.0%	0.0%	3.8%
Croatie	10.1%	11.3%	10.9%	3.7%	4.8%	4.1%	6.4%	6.5%	6.9%	0.0%	0.0%	0.0%
Serbie & M.	13.1%	13.7%	10.4%	5.4%	6.0%	4.6%	7.7%	7.7%	5.8%	0.0%	0.0%	0.0%
Espagne	5.6%	5.7%	6.9%	3.6%	3.7%	5.3%	2.0%	2.4%	3.3%	0.1%	0.4%	1.8%
Italie	4.9%	6.0%	5.3%	2.9%	3.8%	3.4%	4.0%	4.7%	3.2%	2.0%	2.5%	1.2%
France	7.6%	7.0%	6.5%	5.0%	4.8%	4.6%	2.7%	2.3%	2.1%	0.1%	0.1%	0.2%
Grèce	5.6%	5.3%	4.7%	4.4%	4.1%	3.2%	1.7%	1.6%	1.8%	0.4%	0.5%	0.4%
Chypre	2.2%	1.9%	1.6%	2.2%	1.9%	1.6%	1.5%	1.4%	1.6%	1.5%	1.4%	1.6%
Malte	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
PNM	6.7%	6.7%	6.5%	4.2%	4.3%	4.4%	3.2%	3.3%	3.0%	0.6%	0.8%	0.9%
Turquie	17.4%	13.1%	11.2%	12.5%	9.7%	7.2%	6.0%	4.7%	5.5%	1.1%	1.2%	1.5%
Israël	2.9%	3.2%	3.5%	2.9%	3.1%	3.5%	2.8%	3.1%	3.4%	2.8%	3.1%	3.4%
Syrie	1.6%	1.6%	1.9%	0.0%	0.0%	0.0%	1.5%	1.6%	1.8%	0.0%	0.0%	0.0%
Egypte	6.1%	5.5%	4.2%	3.4%	2.9%	2.5%	2.8%	2.6%	1.8%	0.0%	0.0%	0.1%
Liban	4.1%	3.4%	3.3%	2.7%	2.6%	2.3%	1.5%	0.9%	1.2%	0.1%	0.1%	0.2%
Maroc	5.4%	5.1%	4.5%	4.8%	4.4%	3.8%	0.6%	0.7%	0.8%	0.0%	0.1%	0.1%
Tunisie	12.4%	12.4%	11.4%	12.4%	12.3%	11.3%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Algérie	0.3%	0.3%	0.3%	0.2%	0.3%	0.2%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Lybie	0.8%	0.8%	0.9%	0.8%	0.8%	0.9%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%
PSEM	8.1%	6.7%	5.9%	5.7%	4.9%	4.0%	2.9%	2.5%	2.8%	0.6%	0.7%	0.8%
Total Med.	7.0%	6.7%	6.3%	4.6%	4.5%	4.3%	3.1%	3.1%	2.9%	0.6%	0.8%	0.9%
Pays Femip	3.8%	3.7%	3.4%	2.6%	2.6%	2.4%	1.6%	1.6%	1.5%	0.5%	0.5%	0.6%
Jordanie	1.4%	1.4%	1.0%	1.3%	1.3%	1.0%	1.3%	1.3%	1.0%	1.3%	1.3%	0.9%

* Indicateur de la SMDD

PNM: Pays du Nord de la Méditerranée, PSEM: Pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée, Pays FEMIP : PSEM plus Jordanie moins Turquie et Lybie, CWR: Combustibles et déchets renouvelables : biomasse solide (bois ...), liquide et gazeuse, déchets municipaux et industriels, ER: énergie renouvelable, Total ER: hydro., CWR (biomasse), solaire, éolien, géothermie

Source: OME 2008.

Graphique 5 - Part des ER dans la consommation d'énergie primaire (%)



Source : Observatoire Méditerranéen de l'Énergie

Tableau 3 - Energie renouvelable en 2006 : capacité installée totale en MW

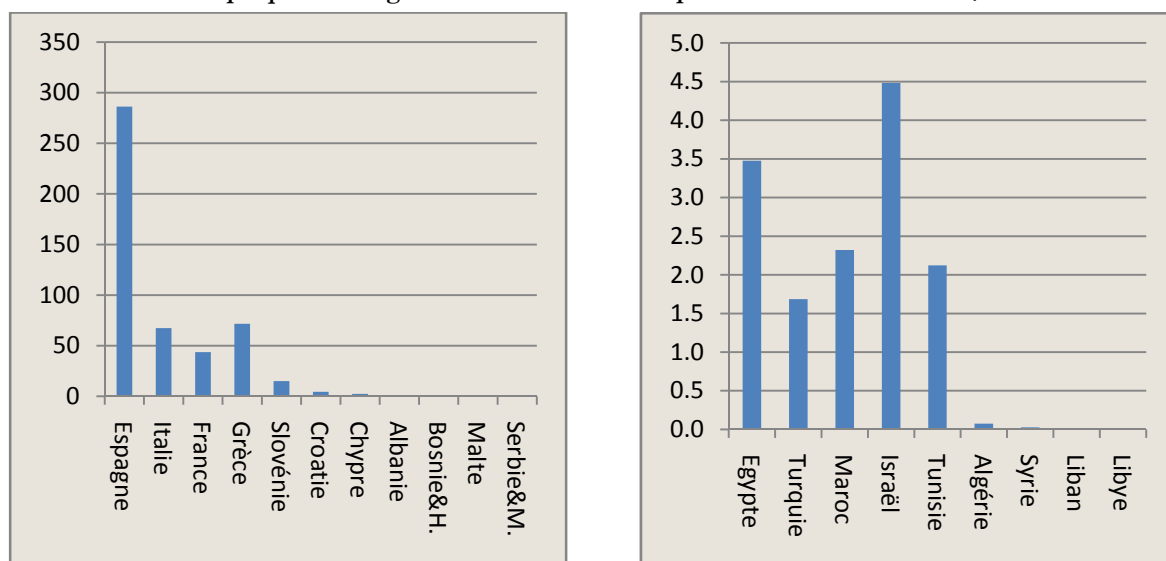
	2006		
	Mega Watt		
Pays	Hydro-électr.	Autres ER* (hors biomasse)	Total
Espagne	18477	12426	30903
Italie	21070	3951	25021
France	25287	2660	27947
Grèce	3460	795	4255
Slovénie	920	30	950
Croatie	2060	20	2080
Chypre	0	2	2
Albanie	500	0	500
Bosnie&H.	2064	0	2064
Malte	0	0	0
Serbie&M.	3497	0	3497
PNM	77335	19884	97219
Egypte	2783	253	3037
Turquie	13216	123	13339
Maroc	1729	71	1800
Israël	0	30	30
Tunisie	66	21	87
Algérie	275	2	277
Syrie	1528	1	1529
Liban	276	0	276
Libye	0	0	0
PSEM	19873	501	20375
Total Med.	97208	20385	117594
Pays FEMIP	6669	380	7050
Jordanie	12	2	14

ER : Energies renouvelables

*Solaire, éolien, géothermie, indicateur SMDD.

Source : OME, Plan Bleu

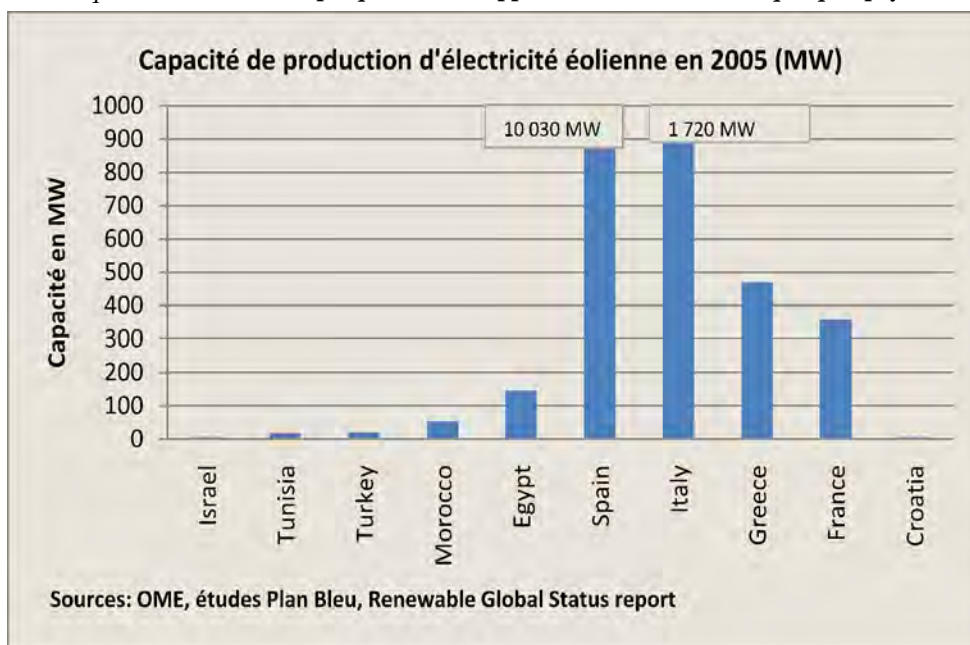
Graphique 6 - Energie renouvelable en 2006 : capacité installée totale en MW/habitant



3.2.1. Energie éolienne : l'Égypte, un leader confirmé

Sur le pourtour méditerranéen, le leader de l'éolien est incontestablement l'Espagne qui enregistrait en 2005 la troisième plus importante capacité de production (10 000 MW environ) derrière l'Allemagne et les États-Unis²⁴. Dans certains PSEM, le potentiel technique éolien est également particulièrement significatif et, à titre d'exemple, l'OME l'estime à 28 000 MW pour l'Égypte, la Tunisie et le Maroc réunis²⁵.

Pourtant, en 2007, ces trois pays totalisaient une capacité installée de 365 MW et exploitaient donc seulement 1,3% de ce potentiel. En Égypte, on compte actuellement 230 MW installés, ce qui en fait le plus important producteur d'électricité d'origine éolienne en Afrique et au Moyen Orient et l'objectif pour 2010 est de 850 MW soit environ 3% de la demande en électricité. Au Maroc, les projets de parcs éoliens développés ou en développement révèlent un portefeuille très diversifié (centrales électriques intégrées au parc de production de l'Office National d'Électricité (ONE), projets d'auto production d'industriels privés ou encore systèmes d'alimentation électrique d'unités de dessalement d'eau de mer). Au total, la capacité installée au Maroc était de 120 MW en 2007. Le Gouvernement Marocain a pour objectif de porter la contribution des EnR à 20% dans le bilan électrique national, et a décidé en octobre 2006 de lancer l'initiative "1000 MW" qui prévoit la réalisation, entre 2008 et 2012, de plusieurs nouveaux parcs éoliens (200 à 300 MW à Tarfaya, 240 MW à Laâyoune et 200 MW à Foum El oued pour le Sud du pays, 100 MW à Touahar Taza au Centre et 60 MW à Tanger Sendouk). En Tunisie, le potentiel est encore peu exploité mais le secteur se développe et il est prévu une capacité installée de 155 MW dans le programme national 2007-2011 (la capacité en 2005 était de 20 MW). En Syrie, l'exploitation de l'énergie éolienne n'a pas encore commencé (une seule éolienne est en fonctionnement en tant que projet de démonstration). La capacité du pays a été estimée à 140 MW et un premier appel d'offres est prévu en 2007 pour la construction d'une ferme de 6MW. Enfin, Israël offre un potentiel limité de 600 MW mais n'a une capacité installée que de 6 MW²⁶. **Graphique 7 - Développement de l'éolien dans quelques pays méditerranéens**



Note : Espagne et Italie : les valeurs étant très au dessus de celles des autres pays, l'échelle de gauche n'est pas à considérer. Les capacités affichées sont pour 2005. En Espagne, elles ont progressé pour atteindre 1,6 GW en 2006 (Source : Renewable Global Status Report).

²⁴ Renewable Global Status Report 2006, REN21.

²⁵ Source : OME, GEM, n°1, juin 2007.

²⁶ Source : études nationales réalisées pour le Plan Bleu, 2007 et dires d'experts.

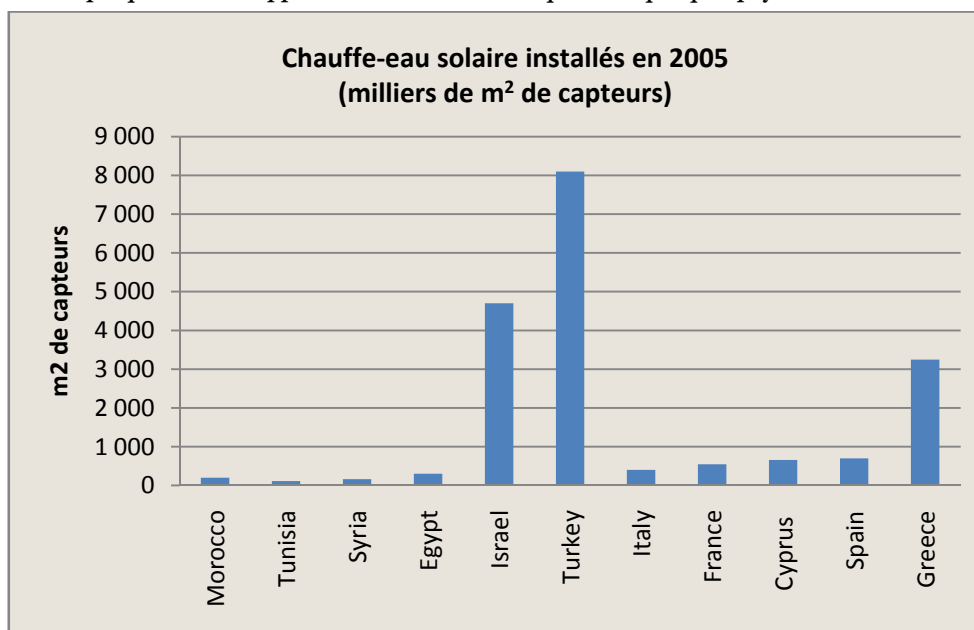
3.2.2. Énergie solaire thermique : La Turquie et Israël parmi les leaders en mondiaux ; la Tunisie comme exemple de bonne pratique

A la différence du potentiel éolien qui varie selon les pays, le potentiel solaire est considérable dans l'ensemble des PSEM. C'est donc le contexte national (prix de l'énergie, dispositif réglementaire et aides financières) qui explique avant tout les disparités.

En Turquie, en Israël et dans les Territoires Palestiniens, où les prix de l'énergie sont élevés, le marché des chauffe-eau solaires (CES) individuels s'est développé à grande échelle sans que des mécanismes de soutiens spécifiques soient véritablement nécessaires²⁷. Ces pays font partie des pays du monde où la surface de capteurs installée pour la production d'eau chaude et le chauffage est la plus importante : la Turquie se classe 3^{ème} derrière la Chine et l'Union Européenne dans son ensemble et Israël se place 5^{ème} derrière le Japon²⁸. Les Territoires Palestiniens sont aujourd'hui le 3^{ème} parc solaire thermique au monde par habitant avec 350m² pour 1000 habitants²⁹ derrière Chypre et Israël. (420m² pour 1 000 habitants ce qui représente selon le gouvernement une baisse de 8% de la consommation d'électricité du pays³⁰)

Pour autant, les expériences tunisienne et marocaine, tendent à prouver qu'un marché durable peut se développer dans des pays où les prix de l'électricité sont à priori moins favorables aux CES. En Tunisie, le projet PROSOL résidentiel a permis l'installation de 23 000m² de capteurs supplémentaires en 2005, 35 000m² en 2006 et l'objectif est de changer d'échelle pour atteindre une capacité d'installation supplémentaire de 150 000m² en 2011, ce qui porterait la surface totale installée en Tunisie à environ 740 000m² avant la fin 2011³¹.

Graphique 8 - Développement du solaire thermique dans quelques pays méditerranéens



Sources: OME, études Plan Bleu, Renewable Global Status report

Ce changement d'échelle se base sur plusieurs bonnes pratiques mises en œuvre conjointement et créent un effet d'entraînement mutuel. Ainsi, sur le plan financier, un accord tripartite a été passé

²⁷ C'est en Israël qu'a été mise en place la première obligation solaire au début des années 1980. Elle concernait les bâtiments neufs, principalement dans le secteur de l'habitat. La loi est toutefois aujourd'hui superflue puisque 90% des installations se font en dehors du contexte de l'obligation (bâtiments existants ou dépassement des objectifs) et le solaire est devenu un standard pour la production d'eau chaude sanitaire.

²⁸ Source REN 21, *Global Status Report*, 2007.

²⁹ Source : The Current Status of the Energy Sector in Palestine, with a Special Focus on the Electricity Sector, Ayman Abu Alkhair, Université de Genève, Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie, 2006

³⁰ Source : ESTIF

³¹ Actes du Séminaire, financement de la maîtrise de l'énergie, Hammaet Tunisie, avril 2007.

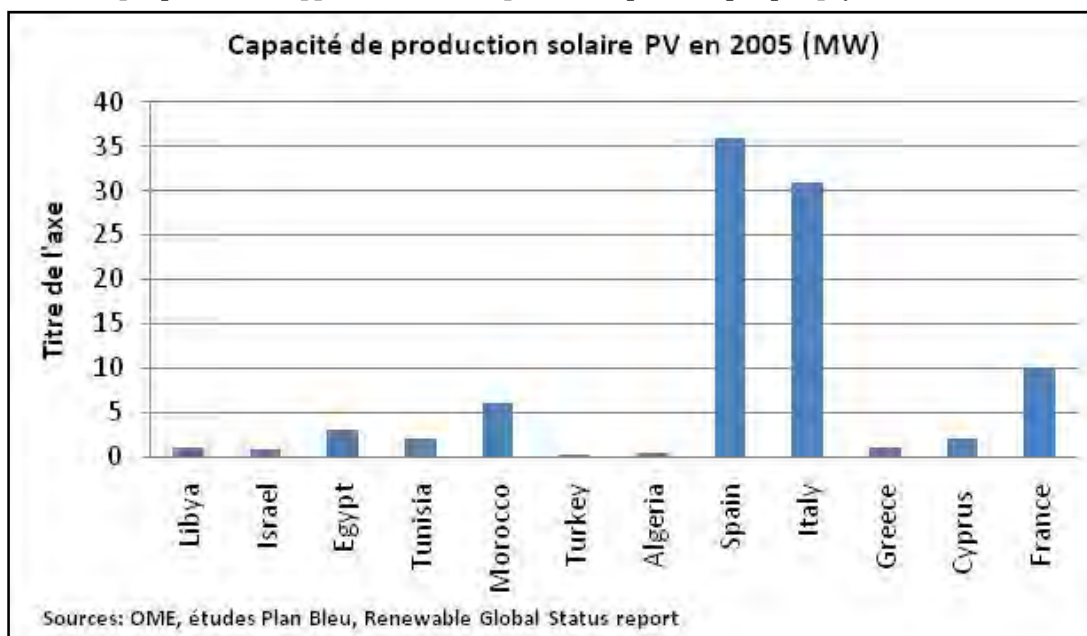
entre l'Etat Tunisien qui finance 20% du matériel, la STEG (Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz) qui assure le recouvrement des prêts accordés pour acquérir les équipements via ses factures et les banques commerciales qui, assurées d'un recouvrement efficace, accordent des crédits plus facilement. De plus, pour assurer la phase de décollage du marché, le PNUE, dans le cadre du programme MEDREP a assuré la bonification des taux d'intérêt à 7% pour les premiers 22 000m². En plus de ce montage innovant, l'Etat tunisien cherche à structurer durablement cette filière professionnelle à travers l'instauration de contrôles qualité des équipements, la formation des installateurs et l'obligation de mise en œuvre d'un contrat de Garantie de Résultats Solaires (GRS) pour les installations collectives (comme préconisé dans le cadre du projet MEDA AESTBM³²).

Dans le cas du projet PROMASOL au Maroc, en plus de mesures concernant la qualité des équipements, la formation des professionnels ainsi que des aides à l'investissement, des mécanismes financiers visant à favoriser le développement d'opérateurs nationaux ont été mis en place. Ainsi, l'Assurance Prospection-Vente (APV) s'adresse aux fournisseurs (producteurs ou importateurs) de CES afin de favoriser le développement de la vente en direction des institutions et des entreprises industrielles et commerciales. Cette assurance concerne jusque 70% des dépenses de prospection liées au recrutement du personnel commercial, à l'élaboration de catalogues, à la réalisation d'études préalables... afin de développer les ventes vers ces secteurs. PROMASOL encourage le développement des chauffe eau solaire et permet au marché actuel de progresser très rapidement (30 000m² de capteurs supplémentaires en 2006).

3.2.3. Energie solaire photovoltaïque : essentiellement de l'Electrification Rurale Décentralisée (ERD)

A ce jour, cette filière est quantitativement peu développée mais croît de façon régulière et joue un rôle décisif pour l'accès à l'énergie dans les zones les plus isolées.

Graphique 9 - Développement du solaire photovoltaïque dans quelques pays méditerranéens



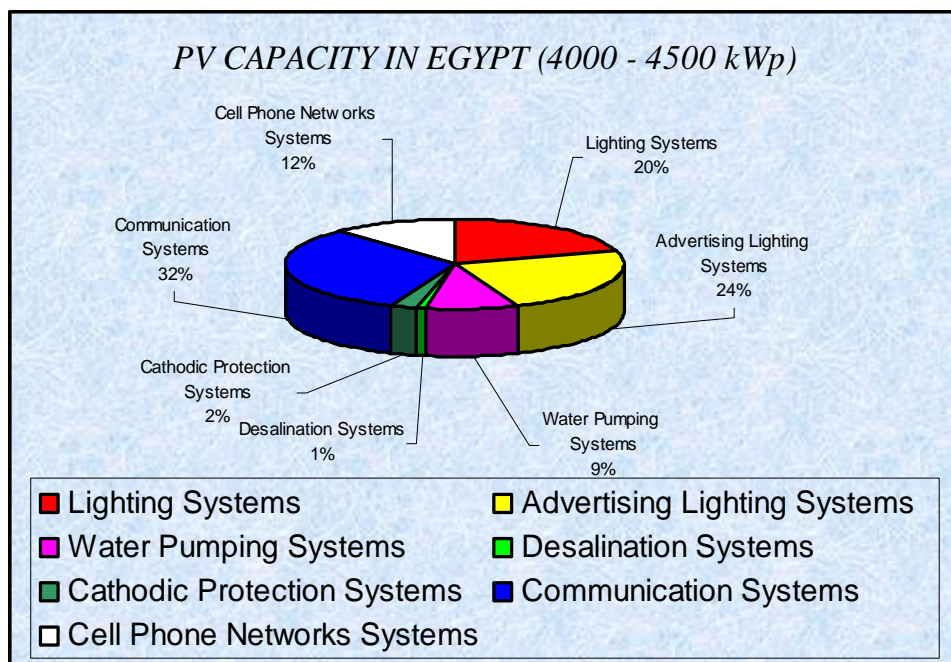
L'ERD : une expérience marocaine réussie.

Le photovoltaïque peut se révéler une option plus rentable que l'extension du réseau national ou encore le recours à des générateurs diesel. Les applications décentralisées sont multiples : pompage

³² Projet MEDA - Application de d'énergie solaire thermique dans le bassin méditerranéen (AESTBM), 2001-2004. Pour une description du projet lire l'article de Stéphane Pouffary, *Le solaire thermique en Méditerranée : enjeux et perspectives dans un marché énergétique en pleine transformation*, MEDENERGIE numéro 14, octobre 2004.

de l'eau dans le désert Libyen, relais de télécommunication en Egypte (Graphique 13), etc. Mais c'est au Maroc que le photovoltaïque décentralisé est le plus développé et ce pour deux raisons principales : le taux d'électrification du pays est relativement bas par rapport à celui des autres PSEM³³ et le gouvernement, à travers l'Office National de l'Electricité (ONE), a mis en œuvre un dynamique Programme d'Electrification Rural Global (PERG) incluant une composante décentralisée définie sur un calcul de rentabilité. Fin 2007, 3.057 villages marocains étaient équipés de systèmes photovoltaïques, ce qui correspond à 43.300 foyers et le potentiel global serait de 150 000 foyers. Dans l'ensemble des PSEM, 9 millions de personnes n'avaient toujours pas accès à l'électricité en 2005.

Graphique 10 - Répartition par secteur d'activité de l'utilisation de la capacité solaire photovoltaïque en Egypte, 2006



Source : R.Y Georgy, A. Soliman, Etude nationale réalisée pour le Plan Bleu, 2007.

Le photovoltaïque connecté au réseau, encore relativement peu d'expériences.

Pour autant, l'intérêt est croissant et, sous réserve de la mise en place d'un cadre réglementaire favorable et stable, de nombreux projets pourraient voir le jour dans les prochaines années que ce soit sous forme de fermes photovoltaïques ou intégré au bâti.

3.2.4. Solaire thermodynamique : un potentiel pour le futur proche ?

Le solaire thermodynamique consiste à concentrer l'énergie solaire dans des capteurs cylindro-paraboliques ou sur des tours afin de chauffer un fluide et le porter à l'état de vapeur. Cette vapeur actionne des turbines et des générateurs d'électricité.

Dans cette filière, certaines technologies peuvent être considérées comme matures. Les coûts d'électricité proposés sont déjà intéressants économiquement (de l'ordre de 100€ le MWh) et dès à présent des plans ambitieux de déploiement pourraient être mis en place. Pour les technologies les moins matures, d'importants programmes de recherche sont en cours au niveau international et nécessitent un soutien direct ainsi que pour la mise en place de projets pilotes.

Ces technologies sont particulièrement intéressantes pour les PSEM car, outre le fait de nécessiter un ensoleillement important, elles bénéficient de caractéristiques adaptées au contexte régional :

³³ Le taux d'électrification en 2006 était de 98,1% en Algérie, 99,1% en Egypte, 99,4% en Tunisie et 88% au Maroc malgré les résultats spectaculaires du PERG (chiffres OME).

- Elles peuvent se combiner avec des énergies fossiles comme le gaz naturel ou être couplées à des systèmes de stockage de la chaleur réduisant ainsi le recours aux énergies fossiles.
- Elles sont adaptées aux zones mal desservies en électricité ou en gaz naturel telles que des stations balnéaires
- La centrale ayant besoin d'un système de refroidissement, l'eau de mer peut être utilisée à cet effet. La vapeur qui se forme au contact des canalisations chaudes, en se condensant, permet d'obtenir de l'eau très pure en volume significatif et donc de répondre en partie aux besoins en dessalement d'eau de mer affichés par plusieurs pays.
- Enfin, selon les technologies utilisées, l'emprise au sol est plus ou moins importante mais ces centrales peuvent être installées sur des terrains semi désertiques.

Ces technologies font l'objet d'un soutien important de la part des États-Unis, de l'Espagne, d'Israël, du Japon, de l'Allemagne et, dans une moindre mesure, de la France. Les collaborations internationales sont très dynamiques. L'initiative allemande DESERTEC et le Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation (TREC) font campagne pour une prise de conscience du potentiel de cette technologie et l'installation de centrales solaires sur les rives Sud et Est de la Méditerranée pour alimenter en électricité l'Afrique du nord, le Moyen Orient voire l'Europe. Il est en effet, à terme, très réaliste d'envisager de monter des centrales solaires dans les PSEM pour alimenter l'Europe en énergie propre et durable (Encadré 1).

Plusieurs projets de centrale hybride solaire/gaz sont en phase d'étude ou de réalisation dans les PSEM. L'Algérie a identifié un portefeuille de projets qui pourraient être mis en exploitation à l'horizon 2015. Un premier projet de 150 MW devrait être mis en service en 2010. Le Maroc et l'Égypte possèdent chacun un projet en cours de construction qui devraient être mis en service en 2009.

A noter que ces projets sont pilotés par des groupements d'investisseurs publics et privés nationaux et internationaux. Le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM) de la banque Mondiale est intervenu fortement dans ce domaine (50 millions de dollars au Maroc et 40 millions sur la centrale en cours de construction en Égypte). Ces projets, de part leur taille et les volumes financiers mobilisés, sont par ailleurs particulièrement propices à la mise en œuvre du Mécanisme de Développement Propre (MDP) du protocole de Kyoto³⁴. Tout en s'assurant que la part du solaire soit significative dans les projets éligibles, cela devrait favoriser les investissements étrangers dans ce type d'applications. Compte tenu du potentiel significatif mais aussi des investissements importants, il convient donc d'organiser au mieux la filière de manière à développer un véritable réseau industriel. A terme, les équipements pourraient être produits localement, permettant ainsi de créer des emplois à forte valeur ajoutée tout en contribuant à l'indépendance énergétique et à la production d'eau douce en volume significatif.

³⁴ Le MDP est évoqué plus en détail dans ce chapitre au 3.4.6.

Encadré 1 - Vers le bouclage des interconnexions électriques dans le bassin méditerranéen : une opportunité pour le déploiement des énergies renouvelables dans la région

Les questions récentes sur la sécurité d'approvisionnement, l'intégration des marchés de l'électricité et la coopération économique dans la région méditerranéenne ont orienté la réflexion sur les liens de type HTCC³⁵ entre le Nord et le Sud (Espagne/Italie et pays d'Afrique du Nord). Les études de faisabilité ont commencé au début des années 2000 afin d'apprécier la viabilité économique et la faisabilité technique des couloirs sous-marins. C'est en particulier sous l'impulsion de l'Algérie et de la Libye que ces études ont été initiées, en raison de leur intérêt pour les exportations vers l'Europe. Les opérateurs européens ont eux également regardé d'un œil favorable les projets d'interconnexions : le gestionnaire du réseau de transport (GRT) espagnol tout comme l'italien ont encouragé les études de faisabilité relatives aux diverses hypothèses et conséquences sur les réseaux.

A l'heure actuelle, la seule interconnexion existante entre le Nord et le Sud de la Méditerranée est celle située au niveau du détroit de Gibraltar. Grâce à ces câbles, et aux six interconnexions existantes - plus deux en cours de réalisation - entre le Maroc, l'Algérie et la Tunisie, cette partie de l'Afrique du Nord est raccordée à l'UCTE (Union pour la coordination du transport de l'électricité).

Des efforts considérables sont déployés afin d'accroître les interconnexions électriques en Méditerranée. Toutefois, mis à part les échanges entre le Maroc et l'Espagne, ceux de type Sud-Sud demeurent très faibles. En plus des projets de raccordement Afrique du Nord-Europe du Sud, le passage des réseaux Sud-Sud à 400 kV est en cours de réalisation.

On espère du « Programme d'Action Prioritaire pour la Coopération Euro-méditerranéenne dans le domaine de l'énergie » une amélioration de l'extension des infrastructures et celle des investissements financiers favorisant ainsi une augmentation des échanges électriques futurs. Ces derniers exerceront une influence sur le développement économique des pays méditerranéens et sur la coopération non seulement au sein de ces mêmes pays mais également avec les pays de l'Union européenne. Toutes les parties impliquées en tireront assurément des bénéfices importants. Lesdits échanges constituent, par ailleurs, une condition préalable à la création d'un marché de l'électricité Euro-méditerranéen.

De plus, un réseau électrique euro-méditerranéen interconnecté pourrait représenter une importante opportunité en faveur des échanges d'électricité « verte » et par conséquent du développement des énergies renouvelables dans la région méditerranéenne. En effet, le potentiel en énergies renouvelables, très élevé dans les régions Sud et Est de la Méditerranée, pourrait être exploité sous forme centralisée à des fins d'exportation d'électricité « verte » du Sud vers le Nord. On parle déjà de nombreux projets dans différents pays, principalement les centrales solaires à concentration (CSP) et les fermes éoliennes

Source: OME, février 2008.

4. SYNTHÈSE

La réalisation d'un scénario alternatif du type de celui présenté précédemment en Méditerranée nécessite une révolution industrielle et organisationnelle de très grande ampleur. Il s'agit de passer d'un système globalement encore peu diversifié et très centralisé à un système où un grand nombre d'acteurs auront leur rôle à jouer, où de nouvelles technologies plus propres se développeront à grande échelle, où la production sur le lieu de consommation sera fréquente, où des échanges d'énergie entre entreprises et/ou particuliers situés à proximité les uns des autres sera possible, où la question de l'efficacité énergétique sera une partie intégrante des politiques énergétiques et où l'organisation générale des sociétés permettra aux consommateurs de modifier en profondeur leurs comportements.

Des politiques, une législation et des outils incitatifs en faveur des EnR et de l'URE se mettent en place aujourd'hui dans tous les PSEM. Ces cadres législatifs et réglementaires sont plus ou moins aboutis selon les pays : déjà relativement développés au Maroc et en Tunisie, plus lents à se mettre en place dans les pays producteurs d'énergie fossile (l'Algérie, l'Égypte, la Libye et la Syrie) et encore récents (début des années 2000) en Israël, en Jordanie, au Liban, dans les Territoires Palestiniens et en Turquie. Il faut par ailleurs souligner la relative faiblesse du volet efficacité énergétique par rapport au volet énergies renouvelables sachant que le Maroc et de la Tunisie font figure d'exception.

³⁵ HTCC : haute tension courant continu

Malgré ces avancées et un potentiel important, les indicateurs chiffrés agrégés pour la zone ne laissent pas entrevoir à ce jour d'avancées significatives de la région vers une amélioration de l'URE et ne permettent pas d'observer une pénétration significative des EnR dans le mix énergétique. Le développement des EnR et de l'URE dans les PSEM est essentiellement basé sur des projets pilotes et le cadre légal et institutionnel en cours de construction peine à donner des résultats concrets significatifs, en particulier dans le domaine de l'URE. Même si des perspectives intéressantes se dessinent à l'horizon, les PSEM se situent donc plutôt dans le scénario tendanciel publié par le Plan Bleu en 2005 et les tendances actuelles ne permettront pas d'atteindre les objectifs régionaux de la SMDD.

Si aujourd'hui les discours de l'ensemble des pays de la région convergent, force est de constater que les actions et les volontés effectives ne sont pas homogènes et les performances enregistrées peuvent diverger de manière importante d'un pays à l'autre. La SMDD doit désormais quitter le domaine de la stratégie prospective et devenir un document opérationnel. Pour cela, il reste bien des barrières à surmonter mais des solutions existent.

II. LES BARRIERES RESTANT A SURMONTER

Malgré les progrès relevés dans le cadre institutionnel et réglementaire, l'analyse des indicateurs révèle que le marché des EnR et de l'URE est encore réduit dans les PSEM ce qui reflète les nombreuses barrières qu'il reste encore à surmonter pour parvenir à un réel changement d'échelle dans ces domaines. Ce chapitre a pour objectif d'analyser quatre grands types de barrières : (i) les barrières institutionnelles et organisationnelles, (ii) les barrières techniques et technologiques, (iii), celles concernant l'acceptabilité sociale et psychologique, et enfin (iv) les barrières économiques et financières.³⁶

1. LES BARRIERES INSTITUTIONNELLES ET LEGALES

Dans bien des cas les cadres institutionnels, législatifs et informationnels sont favorables aux énergies conventionnelles. Cela est notamment dû au fait que la coordination en matière d'EnR et d'URE est récente (à peine quelques années dans les meilleurs cas) voire inexistante.

Absence ou fragmentation des responsabilités et manque de coordination institutionnelle.

Cette barrière touche le secteur des EnR mais encore d'avantage celui de l'URE qui représente le plus souvent une part négligeable de la planification énergétique.

En Egypte, par exemple, deux Ministères sont responsables de l'énergie, ce qui complique encore la planification intégrée du développement des EnR, de l'URE et des énergies traditionnelles. En Israël, il n'existe pas de responsabilité centrale pour l'efficacité énergétique ce qui pénalise la coordination avec les autres actions dans le domaine de l'énergie. Au Maroc, la réforme du CDER pour en faire une agence opérationnelle dédiée à la fois à l'URE et aux EnR devrait permettre d'améliorer la situation.

A ce jour, la Tunisie est le pays dans lequel l'arsenal réglementaire est le plus étoffé en ce qui concerne l'URE : création de mécanismes financiers innovants, mise en place de ressources humaines dédiées, création de réseaux d'experts pour l'accompagnement local, réalisations d'actions de communication, de formation et de concertation (c'est aussi le seul pays où l'intensité énergétique s'est améliorée depuis 1992).

Ainsi il apparaît clairement que ce type de barrière est directement lié à la volonté politique des pays.

Inexistence et application partielle ou difficile des législations

Si quasiment tous les PSEM affichent des objectifs chiffrés quant aux moyens de production d'EnR futurs, très peu d'entre eux s'engagent sur des objectifs concrets pour la mise en place de mesures d'URE. De plus, ces objectifs ne peuvent être crédibles sans la mise en œuvre d'un cadre réglementaire et législatif approprié. Enfin, même lorsque des législations sont en place, leur application peut être partielle ou difficile. Ainsi, en Egypte, une obligation solaire concernant les villes nouvelles a été mise en place au milieu des années 1990. Cependant, les bas prix de l'énergie n'incitant pas à l'investissement alliés à un manque criant de contrôles ont rapidement rendu cette loi caduque.

³⁶ Les exemples utilisés dans ce chapitre sont issus des études nationales réalisées pour le Plan Bleu, 2007, et ne visent en aucun cas l'exhaustivité.

Le cas des EnR électriques est également illustratif : au-delà du simple fait de pouvoir produire, il faut aussi pouvoir valoriser l'électricité en ayant la possibilité de vendre la production. Il s'agit d'une condition *sine qua non* pour le développement de l'électricité renouvelable, d'autant plus que les producteurs d'EnR sont souvent de petite taille de par les technologies mises en jeu. Or, les procédures d'accès au réseau, lorsqu'elles existent, sont souvent longues, difficiles et coûteuses, ce qui décourage et freine les démarches. Un cadre législatif adapté permettant un accès facilité au réseau ainsi qu'un cadre financier incitatif permettraient de mettre en place des conditions attractives.

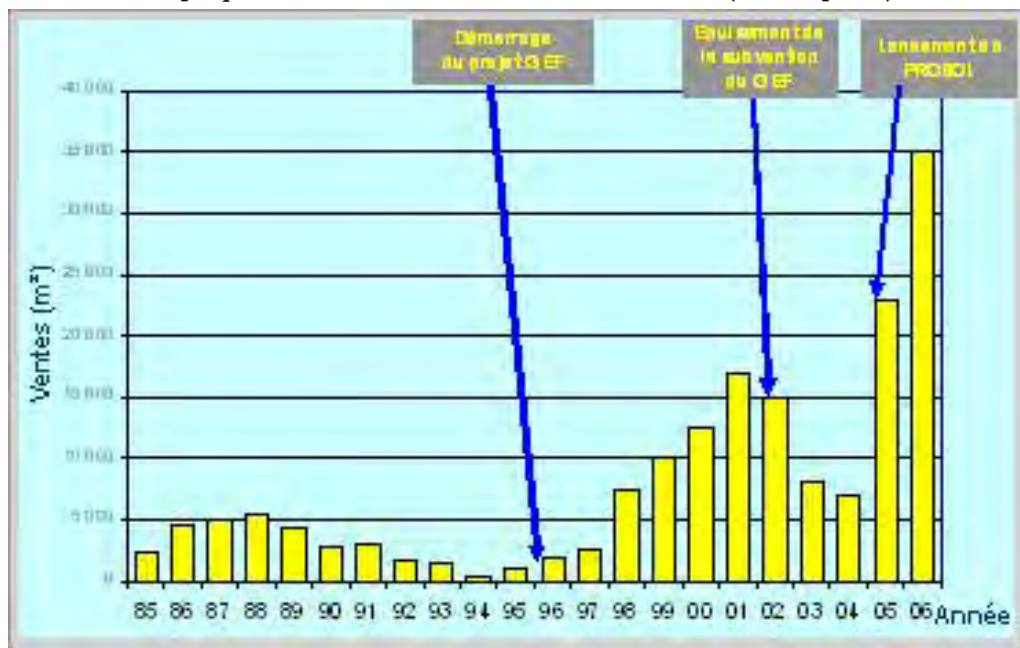
Ce type de barrière est aujourd'hui fort en Méditerranée et les mesures de soutien aux différentes filières, ne pouvant s'appuyer sur un cadre réglementaire stable, se limitent trop souvent à des mesures ponctuelles qui n'arrivent pas à avoir un effet d'entraînement sur le marché.

Les actions de « stop and go » et l'instabilité des mesures.

La nature insuffisamment coordonnée et/ou planifiée dans le temps des mesures mises en place ne permet pas d'engager les filières dans les cercles vertueux attendus. Des exemples de bonnes pratiques tels que le programme PROSOL (solaire thermique) en Tunisie et le PERG au Maroc semblent pourtant démontrer que des pistes d'action existent afin de surmonter cette barrière.

L'exemple de la filière des chauffe-eau solaires en Tunisie est particulièrement parlant. Son développement a fluctué au gré des différents programmes de promotion (Graphique 14) pour arriver aujourd'hui à la mise en place de mécanismes qui permettront probablement de pérenniser la filière et de réaliser le changement d'échelle. Ainsi, entre 1982 et 1994, la diffusion des chauffe-eau solaires (CES) a démarré grâce à un partenariat entre la société publique SEN (Serept Energie Nouvelle) qui fabriquait les CES et la STEG qui recouvrait les crédits à la consommation alloués pour l'acquisition du système à travers la facture d'électricité. Cependant, la capacité installée annuellement, après avoir atteint un pic d'environ 5 000m² à la fin des années 1980 a ensuite diminué à cause d'un manque de maîtrise de la technologie. Afin de relancer la filière, le gouvernement lance un ambitieux programme financé par le FEM en 1995. Ce programme est alors essentiellement basé sur une subvention à l'achat de 35% ainsi que, tirant les leçons du passé, sur la mise en place de contrôles de la qualité. Ce projet a permis de restaurer la confiance du consommateur et l'apparition d'opérateurs privés nationaux ainsi que d'un réseau d'installateurs. La surface annuelle installée atteint 18 000m² en 2001 mais le fonds finançant la subvention est épuisé et, en 2004, on ne compte plus que 8 000m² supplémentaires installés annuellement. C'est alors qu'est mis en place le programme PROSOL déjà évoqué (cf. 3.2.2). Les premiers résultats de PROSOL sont encourageants puisque la surface annuelle installée est supérieure à ce qu'elle était durant le projet FEM et que de nouveaux opérateurs nationaux apparaissent, certains fabricants prenant même une dimension régionale en s'appuyant sur le marché tunisien. Ce programme a donc permis de créer un marché concurrentiel du CES, d'amener les banques à se constituer un portefeuille de « crédits CES » de qualité (grâce à la sécurité du recouvrement via la facture d'électricité de la STEG) et même de réduire le déficit budgétaire public puisque la subvention versée revient environ 9 fois moins cher à l'Etat que de subventionner l'énergie sur la durée de vie des installations. PROSOL, en mettant en place un partenariat public-privé gagnant-gagnant, semble pouvoir permettre de s'assurer une durabilité de la filière.³⁷

³⁷ L'historique de la filière solaire thermique en Tunisie et les premiers retours d'expériences du projet PRSOSOL sont tirés de l'article de Rafik MISSAOUI, «Chauffe-eau solaires en Tunisie: le programme PROSOL», Liaison Energie-Francophonie, N°23, avril 2007, pp. 67-74.

Graphique 11 - Vente de chauffe eau solaires en Tunisie (m² de capteurs)

Source : S. Amouss, communication atelier Plan Bleu, mars 2007.

De même, au Maroc, lors du Programme Pilote d'Electrification Rurale (PPER) mené entre 1985 et 1995 c'était posée la question cruciale de la maintenance des installations. C'est pourquoi dans le cadre du PERG, l'ONE a progressivement mis en place des partenariats avec des sociétés de services décentralisés, dont la principale est TEMASOL, pour l'installation, la maintenance des kits photovoltaïques et le recouvrement des redevances mensuelles. Cela doit permettre d'assurer le suivi des installations au-delà du PERG lui-même. Par ailleurs, le PERG ayant été planifié à une échelle nationale, il permet d'assurer un volume d'activité (actuel et potentiel) suffisant pour l'entrée d'opérateurs privés sur le marché.

2. LES BARRIERES TECHNIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Les technologies des EnR et de l'URE sont relativement récentes, ce qui pose nombre de difficultés : méconnaissance technique des différentes filières, pas ou encore peu d'approche qualité, pas ou peu de recherche et développement et un nécessaire transfert de technologie entre les pays de la rive Nord et ceux de la rive Sud.

Un déficit d'approche qualité globale des filières. Une telle approche est une composante fondamentale pour une pérennisation de ces filières. En effet, les EnR mettant en œuvre des technologies qui sont amorties économiquement sur 10 à 25 ans en moyenne, il est fondamental que les installations puissent fonctionner sans problèmes pendant toute cette durée. De plus, une mauvaise qualité est doublement pénalisante : les projets en cours ne sont pas rentables, mais c'est aussi toute une filière, souvent en cours de développement et donc fragile, qui pâtit de cette mauvaise image.

L'exigence de qualité, pour structurer une filière, doit concerner toute la chaîne de mise en œuvre : bonne conception de l'installation, matériel de qualité, bon assemblage et pose du matériel fourni, entretien régulier pendant toute la durée de vie par des professionnels formés. Concernant ce dernier point, l'émergence des filières EnR et URE étant récente, peu de professionnels savent pratiquer les

métiers associés. Un enjeu important réside donc dans le développement de campagnes de formation pour les professionnels du secteur, campagnes mises en place par exemple au Maroc, en Tunisie et en Egypte.

Un effort de Recherche et Développement (R&D) insuffisant. La R&D est trop souvent délaissée car considérée comme non directement économiquement rentable. Elle est pourtant fondamentale dans le domaine des EnR et l'URE car ce sont deux secteurs encore relativement récents où le potentiel d'amélioration technologique est encore fort, mais aussi car les équipements doivent être adaptés au contexte local. La R&D est fondamentale pour assurer une offre technologique nationale innovante et de qualité. Pour autant, les volumes financiers attribués aux EnR et à l'URE sont largement inférieurs à ceux destinés aux autres filières. Notons qu'aucun des PSEM ne possède, ou n'envisage une politique de R&D dans le domaine de l'URE.

Enfin, si un potentiel immense en énergie solaire et éolien existe dans les PSEM, les technologies pour l'exploiter pleinement sont disponibles essentiellement dans les PNM. Il apparaît donc comme une évidence qu'il existe des complémentarités fortes en la matière à développer au niveau régional pour transférer les technologies vers les PSEM dans une optique d'une part de développement de la production d'ER et d'autre part de développement de l'industrie des équipements d'ER et d'URE.

3. LES BARRIERES CONCERNANT L'ACCEPTABILITE SOCIALE ET PSYCHOLOGIQUE

Un manque de sensibilisation de la société civile. Cette dernière a une responsabilité importante dans la mise en œuvre des filières EnR et URE. Cela est particulièrement vrai pour toutes les mesures relatives au secteur résidentiel puisque les propriétaires sont alors des acteurs directs en tant que potentiels acheteurs de chauffe eau solaires individuels et matériaux d'isolation par exemple. La réputation des équipements et des services associés est essentielle car la non connaissance des technologies crée une réticence psychologique à l'achat. Ce facteur influe également sur la décision d'investissement. Si cette barrière concerne à ce jour d'avantage les PNM, elle devrait cependant également se vérifier dans les PSEM comme dans la plupart des pays où de tels marchés se sont mis en place.

Une bonne information du public est donc nécessaire pour le développement des filières ainsi que pour développer une conscience nationale des problématiques énergétiques. Une enquête d'opinion sur l'environnement dans les pays arabes³⁸ conclue que 60% des personnes interrogées estiment que les conditions environnementales se sont dégradées dans leur pays mais l'utilisation inefficace de l'énergie est considérée comme un problème mineur. Israël, la Jordanie, le Maroc, la Syrie et la Turquie notent une forte lacune de communication au niveau national et cela malgré des actions parfois très significatives comme en Tunisie où une « Journée annuelle Nationale de la Maîtrise de l'Energie » est l'occasion de nombreuses actions de communication.

Cette barrière tend cependant à devenir moins forte ces dernières années (preuve en est aussi de l'adoption de la Stratégie Méditerranéenne de Développement Durable en 2005) et certain pays comme Israël ont inclus ces thématiques dans les programmes scolaires, ce qui permet une amélioration sensible de la prise de conscience.

³⁸ Arab Public Opinion and the Environment, 18 countries survey, June 2006.

Le syndrome NIMBY : Not In My BackYard. L'acceptabilité sociale des EnR n'est pas toujours évidente et, pour ce qui concerne l'énergie éolienne dans les PNM par exemple, il s'agit même d'un facteur majeur à surmonter. Dans les PSEM, il n'est pas rare de rencontrer des dynamiques semblables.

En Tunisie par exemple, lors de la construction du parc éolien de Sidi Daoud, plusieurs actions ont été nécessaires pour obtenir la confiance et l'adhésion au projet des populations locales d'agriculteurs et d'éleveurs : une campagne d'information et de concertation, un dédommagement sur les manques à gagner agricoles durant l'assemblage du parc et, lorsque cela a été possible, une participation aux travaux.

4. LES BARRIERES ECONOMIQUES ET FINANCIERES : REALITE OU PERCEPTION ?

4.1. Le problème de l'information dans la décision économique : Un manque de visibilité sur les coûts et les bénéfices réels

Il est fréquent d'entendre dire que les énergies renouvelables « coûtent plus cher » que les énergies conventionnelles ou que les économies d'énergie sont basées sur des investissements initiaux élevés. Réalité ou perception ? La question des coûts et des prix est au cœur des enjeux associés au développement des EnR et de l'URE mais l'information disponible pour la décision économique est certainement aussi déterminante.

Une grande variété de facteurs peut rendre les comparaisons trompeuses (subventions aux énergies conventionnelles, coût du capital élevé, non-prise en compte du risque de fluctuation des prix des combustibles fossiles ainsi que des avantages apportés par les EnR et l'URE, préjudices technologiques, coûts de transaction élevés, etc.). Autant d'éléments qui rendent le marché peu réceptif à la pénétration des EnR et de l'URE.

Néanmoins, les EnR sont d'ores et déjà « rentables » dans certaines conditions ; c'est un élément qui incite par exemple le Maroc à l'utilisation du solaire PV pour l'électrification rurale (cf. 2.3.3). Pour l'URE, d'une manière générale, la rentabilité directe des actions **est méconnue**. Les PME/PMI ne connaissent que très peu les potentialités des mesures d'URE applicables à leurs procédés de production, alors que les bénéfices financiers et environnementaux sont considérables et constituent un pilier majeur d'actions pour l'amélioration de l'intensité énergétique (et de la compétitivité économique associée). C'est une des conclusions de l'analyse des 100 études de cas dans des entreprises méditerranéennes analysant les actions d'éco-efficacité et leur degré de rentabilité qui ont été menées par le CAR PP (Encadré 2).

Les exemples suivants sont issus de ces études de cas³⁹:

- En Egypte, l'un des plus grands producteurs de conserves alimentaires a conduit un audit de « Production Propre ». Un investissement initial de 141 436€, qui lui a permis de réaliser une économie d'énergie annuelle de 167 863€ et de réduire l'émission CO₂ à hauteur de 17 036 tonnes par an, avec un retour sur investissement de seulement 9 mois.

³⁹ Source : CAR/PP (fiches Med Clean, avec des cas pratiques et des résultats d'investissement, disponibles sur le site web du CAR/PP : <http://www.cprac.org>)

- Un producteur égyptien d'huile comestible a effectué de nombreux changements de processus, et a pris des mesures visant à mettre à jour le circuit hydraulique, à réduire les pertes de vapeur et d'eau chaude et à mettre en place divers processus d'optimisation. L'investissement total, de 13 500€, a permis de dégager une économie d'énergie annuelle de 174 888€, avec un retour sur investissement atteint en moins d'un mois ! La correspondance en termes de génération de CO₂ est une réduction de 5 346 tonnes par an.
- Une entreprise textile turque spécialisée dans la teinture a réalisé une économie annuelle d'énergie de 29 576 773 MJ (276 229€) avec un retour sur investissement avoisinant les 20 mois. Les émissions de CO₂ évitées ont atteint 3 651 tonnes.

Des objectifs chiffrés insuffisamment visibles. L'affichage d'objectifs chiffrés à moyen terme tant pour les EnR que l'URE fait aussi partie de l'envoi d'un signal clair aux investisseurs et aux acteurs des filières sur la volonté de la puissance publique de mettre en place des actions inscrites dans la durée visant à exploiter massivement les potentiels existants. C'est aussi un levier pour « éveiller » les acteurs économiques à ce sujet. Or, dans la plupart des pays méditerranéens, lorsque ces objectifs existent, ils sont peu visibles ou insuffisamment assortis d'engagements réels ce qui en diminue la crédibilité⁴⁰.

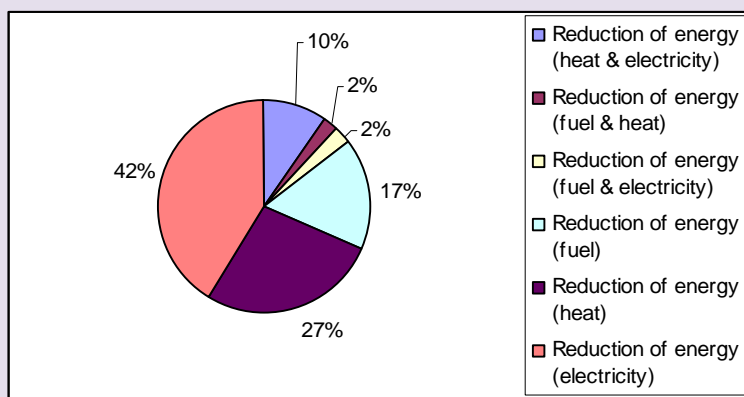
⁴⁰ Voir aussi paragraphe 3.1.

Encadré 2 - MED CLEAN : Les cas pratiques du Centre d'Activités Régionales pour la Production Propre/Plan d'Action pour la Méditerranée/PNUE**Efficacité énergétique dans les entreprises méditerranéennes**

Au niveau régional, le Centre d'activités régionales pour la production propre (CAR/PP), du Plan d'Action pour la Méditerranée, travaille depuis plus de 12 ans pour améliorer l'efficacité écologique et économique des entreprises méditerranéennes. Le CAR/PP a compilé 100 cas pratiques d'entreprises méditerranéennes ayant mis en place des actions spécifiques dans des domaines tels que la réduction de la génération des déchets, les économies d'eau et ressources naturelles, et l'efficacité énergétique.

Le centre a constaté que les entreprises méditerranéennes n'ont généralement pas conscience, avant de les mettre en place, du potentiel d'économie possible par l'application de techniques plus éco-efficaces⁴¹. C'est pourquoi le CAR/PP a mené récemment une analyse sur les résultats de cette centaine de cas pratiques pour mieux faire prendre conscience au secteur privé du potentiel non exploité dans le domaine de l'URE. Ainsi, le but est de favoriser les échanges d'expériences qui ont permis des économies importantes d'énergie, des réductions de CO₂, ainsi que des gains économiques également importants et à court terme. Cela vise, d'une part, à renforcer la visibilité des gains économiques dérivés de mettre en place des actions d'URE et, de l'autre part, à aider à éliminer la fausse perception -encore prédominante- que l'environnement ne représente qu'un coût lourd à l'entreprise.

Dans cette analyse, le CAR/PP a identifié 34 cas d'entreprises ayant mis en œuvre des actions réduisant spécifiquement le gaspillage d'énergie. Ces cas sont issus d'entreprises de dix pays méditerranéens, tant au Nord qu'au Sud et à l'Est. Au totale, les actions menées dans les 34 entreprises ont permis d'éviter l'émissions de 56.459 tonnes de CO₂, et les gains économiques tirés des actions de réduction du gaspillage énergétique ont été de 2.018.421€ ! Cela, avec un amortissement de l'investissement d'une année seulement, en moyenne. Le potentiel existant d'amélioration dans la région est donc énorme, tant d'économie d'énergie, de réduction d'émissions de CO₂ que de gains économiques pour les entreprises.



Source : CAR/PP⁴²

Le graphique montre que, dans les 34 entreprises considérées, plus de 40% des économies d'énergie provient d'économie d'électricité, presque 30%, d'économie de chauffage, 17%, d'économies de fioul, le reste provenant d'économies de fioul ou d'électricité pour le chauffage. Ces mesures d'économie d'énergie ont été menées dans plusieurs secteurs ; la plupart, dans les secteurs alimentaire (29%), textile (21%) métallurgique (18%), électronique (6%). Le reste (29%), correspond à plusieurs secteurs (machinerie, automobile, céramique, etc.).

Source : PNUE/PAM/Centre d'Activités Régionales pour la Production Propre, février 2008.

⁴¹ XI Conférence euro-méditerranéenne sur la transition économique, juin 2007, Communication de V. Alzina, Directrice du CAR/PP.

⁴² Les fiches Med Clean, avec des cas pratiques et des résultats d'investissement, sont disponibles sur le site web du CAR/PP : <http://www.cprac.org>

Tableau 4 : Mécanismes de soutien financier aux EnR et à l'URE dans les PSEM

EnR	Groupe 1		Groupe 2				Groupe 3				
	Maroc	Tunisie	Algérie	Egypte	Lybie	Syrie	Israël	Jordanie	Liban	Territoires Palestiniens	Turquie
Politiques Nationales de Soutien Economique											
Tarif de rachat	E	E ¹	O	O		E	O				O
Subvention à l'investissement	E	O		O	R	O					E
Réduction des taxes (TVA, droits de douane...)	O	O	R			E					
Fond de Garantie des Investissements	O					E					
Fond National dédié au développement des EnR		O	O			R		E			
Financement sur le prix des hydrocarbures exportés car remplacés par des EnR ¹				O							
Réduction des subventions aux énergies fossiles ²	O	O		R		E		E			
Financements internationaux											
Actions de promotion des investissements nationaux et internationaux	O	O		O	R			O			O
APD et Projets Internationaux ⁴ (en cours et terminés)	O	O	O	O	O	R	O	O	O	O	O
Existence de MDP EnR ³	O	O ²	E	O		E	O				
URE											
Politiques Nationales de Soutien Economique											
Subventions des audits URE	E	O	O		R	R		E			E
Réduction des taxes (TVA, droits de douane...)		O				E		E			
Fond National dédié au développement de l'URE	E	O	O			E		E			
Tarification de l'énergie et/ou réduction des subventions aux énergies fossiles ²	E	O		R		E					
Financements internationaux											
APD et Projets Internationaux ⁴ (en cours et terminés)	O	O	O	O	R	R	O	O	O	O	
Existence de MDP URE ³	O	O ²	E			E	O				
Légende:											
O : mécanisme actuellement en application											
E : mécanisme en discussion / en cours d'adoption mais encore à définir exactement											
R : mécanisme dont le manque est clairement identifié											
: mécanisme non mis en œuvre ou information non disponible											

¹ Mécanisme² appliquant au pays exportateur d'énergie, qui permet d'alimenter un fond de financement des EnR par les gains réalisés lors de la vente des hydrocarbures sur le marché international (qui sans EnR aurait été vendus sur le marché national subventionné donc moins cher)

² La réduction des subventions aux énergies fossiles permet non seulement de rendre plus concurrentielles les EnR sur le marché de l'énergie, mais aussi de diminuer la charge budgétaire liée aux subventions. Ces gains peuvent être utilisés pour financer directement des projets EnR.

³ Projets MDP autorisés d'entreprendre au stade de validation, source UNEP RISOE Center, Mars 2007.

⁴ Le tarif de rachat pour l'éolien et le PV devrait être mis en application très prochainement.

⁵ Deux projets de tarification de gaz de démarrage ont déjà été entrepris. Le programme PROSOI de diffusion de chauffage solaire est en cours de validation. Il a été développé selon l'approche programmatique.

⁶ Les actions APD concernant l'URE sont beaucoup moins importantes, en termes financiers, que les actions APD concernant les EnR.

Note : Les informations contenues dans ce tableau sont issues d'études nationales réalisées pour le Plan Bleu en 2007, de documents publiés par l'OME, d'information fournies par l'ADEME pour les politiques, l'état des filières et les financements et sont complétées, dans certains cas, par des dires d'experts. Ce tableau ne vise pas à être exhaustif (certaines mesures très récentes peuvent ne pas apparaître). En outre, les mesures indiquées dans ce tableau ne sont pas toujours synonymes d'application réelle et les moyens pour les mettre en œuvre ne sont pas toujours disponibles. Pour autant, il donne une image assez vivante de la situation actuelle, ce qui est son objectif premier.

Source / données disponibles : retours des études nationales Plan Bleu 2007, études OME et études ADEME.⁴³

4.2. Les obstacles financiers et économiques au développement d'un marché des EnR et de l'URE

L'ensemble des PSEM affiche cette question comme la principale barrière au développement des EnR et de l'URE. Le tableau ci-dessus montre que des outils se mettent en place pour pallier à ces barrières économiques et financières identifiées. Elles seront donc analysées en mettant en évidence un certain nombre de politiques spécifiques visant à les réduire et à attirer les investissements dans les domaines des ER et de l'URE.

⁴³ Les informations contenues dans ce tableau sont issues d'études nationales réalisées pour le Plan Bleu en 2007, de documents publiés par l'OME, d'information fournies par l'ADEME pour les politiques, l'état des filières et les financements et sont complétées, dans certains cas, par des dires d'experts. Ce tableau ne vise pas à être exhaustif (certaines mesures très récentes peuvent ne pas apparaître). En outre, les mesures indiquées dans ce tableau ne sont pas toujours synonymes d'application réelle et les moyens pour les mettre en œuvre ne sont pas toujours disponibles. Pour autant, il donne une image assez vivante de la situation actuelle, ce qui est son objectif premier.

4.2.1. Garantir la rentabilité des investissements : l'exemple du tarif d'achat.

Pour la production d'électricité d'origine photovoltaïque et éolienne, la plupart des PNM ont mis en place un système de tarif d'achat de l'électricité produite (spécifique à chaque technologie de production) garanti sur une durée compatible avec la nature de l'investissement. Cette politique, qui a été suivie par l'Algérie, l'Égypte, Israël et la Turquie, présente l'intérêt d'assujettir la subvention au bon fonctionnement de l'équipement pendant toute sa durée de vie. De plus, ce tarif permet de s'inscrire dans une dynamique gagnant-gagnant aussi bien pour la puissance publique que pour les investisseurs privés : l'État ne paye que les kWh effectivement produits et n'a pas d'avance de trésorerie à faire et l'investisseur voit la rentabilité économique de son projet garantie par l'État sur toute la durée de vie de l'investissement. Cette mesure est d'autant plus importante que l'OME estime que, dans les PSEM, jusqu'à 70% des projets dans le domaine de l'électricité renouvelable seront des IPP (Independent Power Production) financés par des fonds privés.

Cependant, l'incitation du tarif de rachat est effective seulement si il est suffisamment élevé pour garantir la rentabilité du projet et si il existe une ouverture réelle des réseaux électriques aux producteurs privés. Or, la gestion du réseau dans les PSEM est encore largement monopolistique et la revente sur le réseau de l'énergie produite, lorsqu'elle est possible, est bien souvent précédée de démarches longues et difficiles engendrant des coûts de transaction élevés.

Des bonnes pratiques peuvent toutefois être citées. Ainsi, l'Égypte offre la connexion au réseau national haute tension lors de la mise en place de fermes éoliennes et l'Algérie offre des tarifs d'achats d'électricité renouvelable différenciés en fonction du type d'EnR (jusqu'à trois fois le prix d'achat des énergies conventionnelles).

4.2.2. La structure des tarifs de l'énergie : une barrière complexe et socialement délicate à surmonter

La tarification de l'énergie conditionne directement la rentabilité des EnR que des actions d'URE. Dans de nombreux PSEM, les fortes subventions de l'électricité limitent artificiellement les possibilités d'investissement car elles rendent non concurrentielles les améliorations énergétiques.

Des modulations dans la tarification peuvent cependant se révéler incitatives. Ainsi, au Liban et au Maroc par exemple, une tarification spécifique est appliquée durant les créneaux horaires de forte demande. Ce tarif horaire contrasté peut amener des structures où les consommations sont difficilement modulables, comme les hôpitaux, les hôtels ou encore l'industrie, à mettre en place des mesures d'efficacité énergétique.

Plus généralement, il est clair qu'un contexte d'énergie chère peut favoriser le développement et la pénétration des pratiques de maîtrise de l'énergie. Comme nous l'avons déjà vu, le développement des chauffe-eau solaires en Israël, dans les Territoires Palestiniens et en Turquie s'est fait sans incitation publique massive. C'est dans cet esprit que plusieurs pays, dont le Maroc et la Tunisie, pour qui les subventions aux énergies fossiles impliquent de lourdes charges sur le budget national, affichent clairement la volonté de se diriger vers la « vérité » des prix de l'énergie.

Il est cependant important de noter que les modifications de la tarification et plus particulièrement des tarifs progressifs sont à considérer avec la plus grande précaution. En effet, si ces tarifications freinent l'accès aux EnR et à l'URE pour toute une partie de la population, elles intègrent aussi clairement un objectif social d'accès à l'énergie. Ainsi, une augmentation brutale non planifiée, sans solution alternative pour les consommateurs peut déboucher sur des résultats inverses à ceux escomptés. En Syrie par exemple, l'augmentation du tarif de l'électricité au début des années 2000 s'est traduite immédiatement par une hausse des pertes en ligne dues aux connexions illégales dans les zones les plus pauvres.

La hausse du prix de l'énergie, pour être socialement acceptable, doit donc être accompagnée de mesures d'URE qui permettront au secteur industriel national de rester concurrentiel ou encore que la facture du consommateur final n'augmente pas dans des proportions inacceptables. Le système tunisien de financement des chauffe-eau solaires intègre en quelque sorte cette dimension. En effet, la diminution de la consommation d'énergie électrique en provenance du réseau et donc l'économie financière associée (cf. le remplacement des chauffe-eau électrique par des chauffe-eau solaires) permet le remboursement du prêt à la consommation nécessaire pour l'achat de l'équipement.

Les prix souvent artificiellement bas de l'énergie sont une barrière forte au développement des EnR et de l'URE dans les PSEM; développement qui est pourtant un corollaire nécessaire à un retour vers une vérité des prix.

Un surcoût initial nécessitant des mécanismes de financement appropriés

Les projets d'EnR et d'URE sont caractérisés par une rentabilité associée au fait que les premiers fonctionnent sans carburant et ne font donc pas appel à des énergies fossiles, et que les seconds permettent des économies d'énergie. Cependant, dans les deux cas, l'investissement initial est encore à ce jour relativement élevé⁴⁴. C'est pourquoi le choix se porte souvent sur des solutions "traditionnelles" et cela même si à l'usage elles risquent de coûter plus cher. C'est justement à cause de ce surcoût initial qu'il est important d'accompagner au mieux le processus de décision très en amont. De nombreuses mesures peuvent être mises en œuvre pour palier à cette barrière, comme la subvention directe, la modification de la pression fiscale ou la bonification des prêts.

La subvention directe à l'achat : une pierre angulaire du changement d'échelle des marchés.

Dans les pays les plus avancés dans le développement des EnR et de l'URE, la subvention directe apparaît comme un facteur clef pour ce changement d'échelle⁴⁵. Faisant baisser l'investissement initial de manière visible (la visibilité directe est un des points forts de cette stratégie) elle permet de réduire le temps de retour sur investissement mais aussi la perception du risque. Dans les PSEM, l'Égypte et la Tunisie ont déjà mis en place des mécanismes de subventions aux EnR, l'Algérie et la Tunisie des subventions aux études d'URE et la Jordanie, le Maroc, la Syrie et la Turquie sont en cours de réflexion pour la mise en place de telles mesures.

Jouer sur la pression fiscale : crédit d'impôt et exonération de TVA. Le coût initial des EnR et de l'URE peut aussi être subventionné de manière indirecte par différentes politiques de réduction des taxes. Ainsi, le crédit d'impôt consiste à déduire l'équivalent d'une fraction de la valeur de l'équipement sur les impôts à payer l'année suivante. Cette mesure a été appliquée aussi bien aux particuliers qu'aux sociétés. Aujourd'hui, en France, 50% du montant de certains équipements d'URE ou d'EnR (solaire, chaudière bois) à destination des particuliers est restituée sous forme de crédit d'impôt sous réserve d'atteindre un certain niveau de performance. Une autre mesure, plus simple à appliquer (notamment au Maroc, en Syrie et en Tunisie) est l'exonération de la TVA qui peut être très élevée dans certains pays (20% au Maroc et 17% en Algérie par exemple).

Faire levier sur le secteur bancaire pour mobiliser des capitaux: les prêts bonifiés. Les prêts aux projets EnR et à des actions d'URE se voient généralement attribués par les banques commerciales avec des taux d'intérêts supérieurs de 1% par rapport à ceux accordés aux autres secteurs. Ceci est principalement dû à une mauvaise perception des risques associés à ces technologies « nouvelles » encore peu connues de la finance classique. C'est pour cela que de nombreux gouvernements offrent une bonification pour porter les taux d'intérêt en dessous de ceux du marché. Le financement de cette bonification peut provenir d'une multitude de sources : une

⁴⁴ L'évolution du coût des technologies est présentée dans le Chapitre 2 de la Partie 1 de cette étude.

⁴⁵ Pour se référer à quelques uns des marchés les plus développés, les générateurs PV sur toiture ont été subventionnés dès 1991 en Allemagne à hauteur de 60% lors du programme « 1000 Solar Roofs », au Japon dès 1994 à hauteur de 5 UDS/Wp lors du Japan's Sunshine Program et pour certains états des USA à hauteur de 50% lors du programme « a million solar roof » (subvention qui s'éleva jusqu'à 70% pour l'état de New-York).

nouvelle ligne budgétaire, un financement des régions et/ou collectivités, des fonds « revolving » financés par les recettes réalisées sur les économies de fonctionnement des équipements installés, des fonds « overcharge » financés par une surtaxation d'autres produits (pétroliers par exemple), des fonds « system benefit » financés par les co-bénéfices apportés (réduction de la capacité installée, non extension du réseau,...) mais aussi et enfin des « penalty funds » financés par les activités les plus polluantes. Les prêts qui en découlent permettent de mobiliser d'avantage de capital qu'une simple subvention de l'Etat mais aussi d'amener progressivement le secteur bancaire classique à se doter d'un portefeuille de projets EnR et URE. A terme, il est important que le secteur bancaire prenne conscience que les projets EnR et URE sont fiables et viables, l'idée étant d'arriver à créer un marché autonome mobilisant des fonds privés sans intervention de l'Etat ou permettant à ce dernier de se concentrer sur d'autres mécanismes d'aide.

Les fonds de garanties : réduire le risque projet.

L'Etat peut directement s'impliquer dans la garantie de la prise de risque. Au Maroc, la Caisse Centrale de Garantie a créé le FOGAME (Fonds de GARantie pour la Mise à niveau des Entreprises). Il garantit les crédits, qui sont donc plus facilement accordés par des banques, pour l'amélioration de l'efficacité de l'outil de production des PMI/PME⁴⁶. Ce type d'initiative pourrait tout à fait s'envisager dans les autres PSEM en bénéficiant de l'expertise disponible au sein des Agences Nationales en charge des thématiques EnR et URE. Ce schéma a l'avantage de ne pas imposer une contrainte financière trop importante sur les budgets des Etats.

Partenariat Public Privé et sociétés de service spécialisées : un meilleur partage des risques.

Une spécificité des investissements dans le domaine de l'URE est qu'il est encore difficile de convaincre le marché bancaire classique de prendre en compte les bénéfices attendus sur les économies d'énergies à réaliser dans les plans de financement des projets. C'est pour dépasser cette barrière que des partenariats spécifiques avec l'état de type Partenariat Public Privé (PPP) et que des Sociétés de Service Énergétique (SSE ou ESCO) se sont développés.

Dans une optique de partage des risques et des bénéfices, le Partenariat Public Privé (PPP) permet de répartir les responsabilités entre opérateurs privés et autorités publiques, tout en bénéficiant d'une garantie de l'Etat. Ils présentent aussi le grand intérêt de permettre de mobiliser d'importants capitaux sans trop peser sur les budgets publics. Ces schémas de financement, déjà développés en Egypte et en Turquie pour la construction de centrales électriques par exemple, s'appliquent plutôt à des investissements importants et pourraient donc être envisagés pour le financement de fermes éoliennes, de réseaux de chaleur ou de centrales solaires.

Une autre possibilité pour réduire le risque projet et mieux répartir l'investissement dans le temps est de renforcer les offres des Sociétés de Service Énergétique. Ces sociétés permettent au client de disposer d'une expertise spécialisée dans les systèmes EnR et URE, de limiter la prise de risques par le partage des capitaux investis, de faciliter la mise en œuvre des investissements initiaux et de garantir la rentabilité du projet en assurant l'entretien optimal des technologies installées. Les sociétés, elles, perçoivent des revenus en fonction de la performance énergétique des solutions mises en œuvre et donc des économies d'énergie réalisées. On dénombre quelques ESCO en Israël, en Jordanie, au Liban et en Tunisie par exemple.

⁴⁶ Ce fonds fonctionne sur le même principe que le FOGIME (Fonds de Garantie des Investissements en Maîtrise de l'Énergie) français mis en place à l'initiative de l'ADEME dès 2001.

4.3. Des moyens financiers publics nationaux souvent trop faibles pour supporter des mesures incitatives.

4.3.1. Contexte

Dans le contexte économique des PSEM, les niveaux de fiscalité sont plutôt bas au regard des recettes publiques. Les revenus de l'Etat ne dépassent en général pas 20% du PIB, bien que les recettes des produits pétroliers augmentent ce ratio pour les pays exportateurs. En effet, le niveau d'impôt sur le revenu des personnes et sociétés est relativement bas. De plus, les fortunes individuelles et les sociétés privées échappent souvent à la fiscalité grâce à l'évasion fiscale ou car elles bénéficient des nombreux codes d'investissement défiscalisant leurs profits. L'équilibre budgétaire des Etats est donc fragile et souvent déficitaire et les PSEM disposent en général de relativement faibles moyens d'action.

De plus et malgré cette situation, il faut souligner que les subventions attribuées au domaine de la recherche pétrolière ou gazière restent élevées et peu remises en question. Tout ceci a pour conséquence de créer une forte concurrence entre les différents usages des fonds publics. Dans ce contexte, l'attribution de ressources au développement des EnR et de l'URE est assez souvent considérée comme non prioritaire et cela même si tout le monde s'accorde à en souligner l'importance stratégique.

En l'absence de moyens additionnels, l'enjeu réside donc dans la réorientation d'une partie des flux financiers traditionnellement utilisés pour soutenir les énergies fossiles en faveur du financement des EnR et la MDE.

4.3.2. Des initiatives nationales aux financements internationaux : assurer des financements dédiés

Au niveau national, les fonds dédiés aux ER et à l'URE. L'existence de tels fonds peut permettre de dimensionner les budgets nécessaires et d'assurer une visibilité sur leurs usages. En Algérie par exemple, le Fonds National pour la Maîtrise de l'énergie (FNME) est destiné au financement des actions et projets inscrits dans le programme pour la maîtrise de l'énergie. Ce fonds est notamment alimenté par des dotations de l'Etat, par la taxe sur la consommation nationale d'énergie, par la taxe sur les appareils énergivores ou encore par les amendes découlant de la loi relative à la maîtrise de l'énergie. Toujours en Algérie, la loi de finances de 2002 a instituée une taxe sur le stockage des déchets dangereux et des polluants atmosphériques dont les bénéfices serviront à mettre en place des incitations fiscales pour, entre autres, l'implantation d'entreprises locales et d'entreprises de services pour la promotion des EnR dans les zones déshéritées, ou encore pour le développement de l'investissement au profit de l'industrie d'équipements, matériels et composants dans le domaine des EnR.

Plus généralement, deux types de taxes sont envisageables : d'une part des taxes fixes et facilement percevables sur des activités polluantes (arrivée des navires, importation de voitures, entrées de touristes, etc.) et d'autre part des taxes du type "pollueurs-payeurs" variant en fonction du niveau de pollution générée qui sont plus efficaces mais également plus difficiles à mettre en œuvre car elles demandent un monitoring précis de chaque activité polluante.

Le recours à des financements étrangers. Comme nous l'avons déjà évoqué, dans les PSEM les moyens financiers nationaux pour mettre en œuvre les politiques attendues sont souvent trop faibles pour créer un réel changement d'échelle du marché. C'est pourquoi le recours aux financements extérieurs est une alternative importante voire même souvent indispensable. Il peut s'agir d'Aide Publique au développement (APD), d'Investissements Directs Etrangers (IDE), qui peuvent eux-

mêmes parfois bénéficier de mécanismes de financement complémentaires comme le Mécanisme de Développement Propre (MDP).

La coopération Nord/Sud et plus particulièrement la coopération euro-méditerranéenne est essentielle car elle permet de soutenir des projets qui ne répondent pas à de simples critères économiques et dont la rentabilité à court ou moyen terme aurait été insuffisante pour "séduire" les circuits financiers traditionnels. Enfin, la lutte contre le réchauffement climatique fait l'objet de nouvelles attentions et la question de la maîtrise de l'énergie est souvent au centre des préoccupations des bailleurs de fonds internationaux

4.4. La coopération internationale : une source de financement incontournable pour les EnR et l'URE

Les fonds mis à disposition par les bailleurs de fonds internationaux peuvent prendre différentes formes : du don au prêt concessionnel⁴⁷ en passant par des mécanismes financiers d'accompagnement. Les bailleurs de fonds intervenants sur la zone sont nombreux et il n'est pas possible, dans le cadre de cette étude, de décrire toutes leurs actions en détail⁴⁸. A titre d'exemple, le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM) est particulièrement actif dans les PSEM : financement de l'URE dans le secteur industriel en Algérie, financement de l'URE tout secteur confondus et du solaire à concentration en Egypte, solaire photovoltaïque au Maroc ou encore solaire thermique en Tunisie. De plus, et dans presque tous les PSEM, le FEM co-finance des programmes nationaux d'amélioration de la performance énergétique des bâtiments avec l'objectif de promouvoir la création de réglementations thermiques dans ce secteur.

Au-delà des différents bailleurs de fonds, le Partenariat euro-méditerranéen –qui dans le cadre du Processus de Barcelone entend faire du Bassin Méditerranéen une zone de coopération privilégiée de l'Union Européenne- reste l'un des cadres de coopération les plus prometteurs pour la région. Dans le domaine de l'énergie, les investissements générés sont plus souvent liés à la libéralisation des marchés traditionnels qu'à une réelle réflexion sur les alternatives EnR et URE. La part de projets EnR et URE dans le programme MEDA, qui été jusqu'à ces dernières années l'instrument financier de la coopération euro-méditerranéenne⁴⁹, est cependant significative puisqu'elle représente environ 35% du total attribué au secteur énergétique, ce qui est bien supérieur aux 10% en moyenne attribués sur ces thématiques dans le cadre de l'APD. Par ailleurs, la Facilité Euro-Méditerranéenne d'Investissement et de Partenariat (FEMIP) a été créée en octobre 2002 à l'initiative de la BEI pour fournir une assistance technique, du capital risque et des bonifications d'intérêts en faveur de projets visant la protection de l'environnement et le développement du secteur privé. Enfin, le Programme Méditerranéen pour les Energies Renouvelables (MEDREP) lancé par le Ministère italien de l'environnement en 2002 ambitionne de contribuer à augmenter l'accès aux EnR et à l'URE, notamment pour les populations rurales.

La coopération internationale peut être mobilisée pour deux grands types de finalités. Elle peut participer au financement de la mise en place de cadres institutionnels adaptés, au renforcement des institutions nationales ou à des études préalables; c'est sous ces formes qu'elle peut obtenir le plus puissant effet levier. L'exemple du projet mené actuellement au Maroc par le FEM et la BEI avec le

⁴⁷ Un prêt concessionnel est un prêt dont la différence de taux par rapport aux conditions du marché induit un élément "don" calculé sur toute la durée du prêt d'au moins 25%

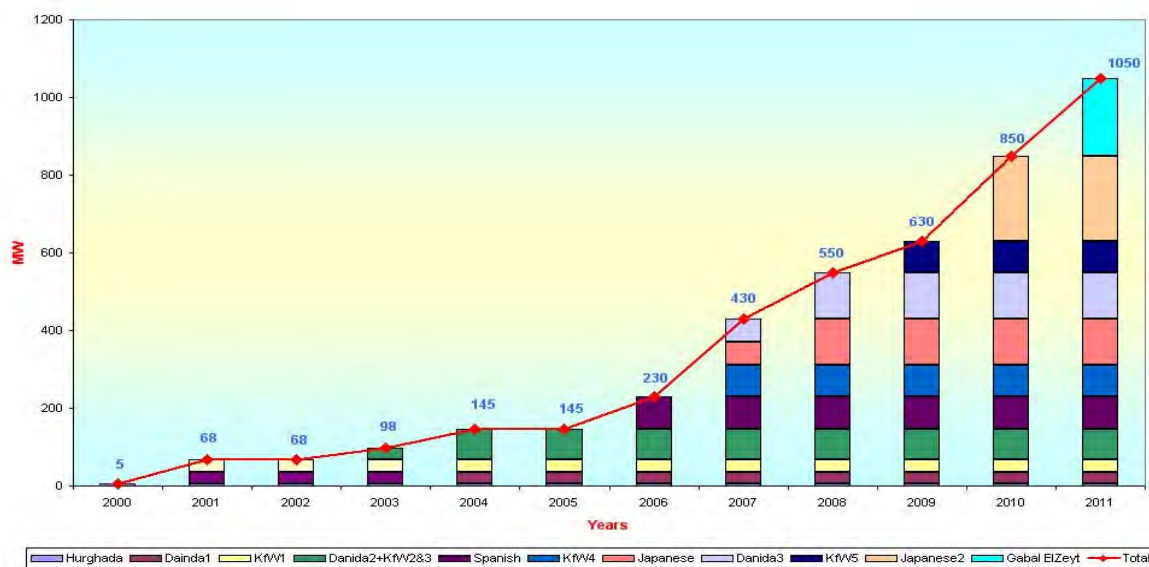
⁴⁸ Pour plus d'information, se reporter aux études nationales réalisées pour le Plan Bleu en 2007 et présentées lors d'un atelier à Monaco : http://www.planbleu.org/themes/atelier_energie_monaco.html et à l'étude régionale : Énergies Renouvelables, Utilisation Rationnelle de l'Énergie et Aide au Développement en Méditerranée, Plan Bleu, 2007.

⁴⁹ La coopération entre l'Union Européenne et les PSEM, relève désormais de la Politique Européenne de Voisinage (PEV) et de l'instrument financier correspondant (l'IEPV) mis en place pour une période 2007-2013. Ce nouveau cadre de coopération regroupe les anciens programmes MEDA pour les PSEM et TACIS pour les Pays de l'Est de l'Europe.

soutien de la Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ - coopération technique allemande pour le développement) relève totalement de cette logique. La coopération internationale peut également prendre la forme d'investissements dans des projets de mise en oeuvre. Ainsi, les différentes tranches de la ferme éolienne de Zafarana, en Egypte par exemple, ont bénéficié de financements (prêts et/ou donations) de la banque de développement allemande Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), de l'Agence Danoise d'Aide au Développement (DANIDA) et de la coopération espagnole. Dans ce pays de nombreux bailleurs prévoient des investissements dans l'éolien (Graphique 11).

Pour être complets, un autre aspect important de la coopération internationale est la diffusion et l'échange de bonnes pratiques qui permettent de démultiplier les effets des projets mis en oeuvre dans les différents pays par une exploitation des résultats à une échelle régionale.

Graphique 12 – Capacité installée de production d'électricité éolienne actuelle et prévue à l'horizon 2010 en Egypte, et contribution des bailleurs de fonds



Source : R.Y Georgy, A. Soliman, Etude nationale réalisée pour le Plan Bleu, 2007.

4.5. Les financements internationaux privés : une relativement faible attractivité des PSEM

Les Investissements Directs Etrangers (IDE) ont pour avantage de pouvoir mettre en oeuvre des projets EnR et URE sans impacter les niveaux d'endettement publics. Ils permettent également la création d'emplois, le transfert de technologies, la formation de capital humain, le développement de nouvelles filières, etc. Néanmoins, les IDE peuvent également avoir tendance à déséquilibrer la balance commerciale du pays et cela d'autant plus que les équipements sont le plus souvent importés et que les profits sont en grande partie rapatriés. D'une manière générale, les PSEM sont assez mal évalués en termes de risques perçus et leur attractivité est relativement faible. Selon le classement 2006 de l'OCDE et, alors que la notation 7 correspond au risque maximum, le Liban et la Syrie sont notés 7, la Libye 6, l'Egypte est notée 4, les autres pays sont notés 3 et aucune notation n'est attribuée aux Territoires Palestiniens. A titre d'exemple, en 2003 et selon l'OME, le surcoût associé au risque pouvait atteindre en Egypte 17% de l'investissement total.

Cependant, les IDE dans le secteur des énergies conventionnelles sont en forte croissance avec 83 projets recensés en 2005 contre 39 en 2004 et 9 en 2003. Ces projets concernent principalement les infrastructures lourdes dans le domaine du gaz et du pétrole (raffineries, gazoducs) ou encore l'acquisition de concessions. Le seul projet recensé concernant les EnR est celui de la construction d'un parc éolien par le groupe Lafarge pour son usine de Tétouan (projet déjà rentable par lui-même et qui de plus a bénéficié du Mécanisme de Développement Propre).

4.6. Mobiliser les mécanismes de flexibilité du protocole de Kyoto : encore peu de projets dans le cadre du Mécanisme de Développement Propre (MDP)

Le Mécanisme de Développement Propre (MDP) est un outil financier incitatif qui peut être utilisé conjointement à de l'IDE et qui s'applique particulièrement bien aux projets EnR et URE. Cependant, force est de constater qu'il existe encore peu de projets MDP dans la région. Tous les PSEM sont des pays classés hors annexe B et la plupart ont ratifié le Protocole de Kyoto⁵⁰ ce qui les rend susceptibles de proposer des projets MDP dans les domaines qui nous intéressent ici. Pourtant, début mars 2008, sur plus de 3 150 projets MDP validés ou en cours de validation, seuls 44 concernaient les PSEM alors que les deux principaux bénéficiaires (Chine et Inde) totalisaient à eux seuls 1 943 projets. Parmi les projets (enregistrés ou présentés) concernant les PSEM on trouve des fermes éoliennes en Egypte, au Maroc et en Israël, le volet décentralisé du PERG au Maroc, des mesures d'efficacité énergétique dans l'industrie au Maroc et en Israël ou encore des projets de production d'énergie avec du biogaz toujours en Israël⁵¹.

Un certain nombre de barrière à l'utilisation du MDP sont identifiées⁵² : le MDP n'est pas intégré dans les politiques nationales, les compétences pour le montage des projets et dans le domaine de la finance carbone font défaut dans les PSEM, les coordinations institutionnelles sont insuffisantes (AND, Ministère de l'environnement et secteur privé sont cloisonnés), les banque nationales et le secteur privé sont faiblement impliqués.

De par leur nature même, les projets EnR et URE sont moins attractifs que d'autres, comme les puits de carbone et la diminution des gaz industriels par exemple, car ils sont souvent de petite taille ce qui implique des coûts de transaction comparativement plus élevés pour des bénéfices en termes de crédit carbone moindres. Enfin et cela reste vrai dans bon nombre de projets d'URE, la détermination de la situation de référence (baseline) est délicate ce qui complique l'évaluation des émissions évitées. L'incertitude sur le prix de la tonne de carbone constitue une barrière supplémentaire pour les investisseurs potentiellement attirés par ce mécanisme financier.

Le succès du MDP dans les PSEM dépendra de leurs capacités à attirer les projets et notamment à tirer partie de leur proximité et de leurs liens privilégiés avec l'Union Européenne. En Tunisie une "task force" a été mise en place afin d'identifier les projets MDP pouvant avoir un impact sur le bilan énergétique, d'accompagner les projets prioritaires et, plus généralement, de positionner la Tunisie sur le marché mondial du MDP. Au Maroc une liste d'une quarantaine de projets pouvant prétendre au MDP (concernant entre autre l'électrification décentralisée, le préchauffage solaire, des parcs éoliens, l'équipement de villes ou de quartiers avec des lampes basse consommation) a été réalisée dans le but de mobiliser plus facilement des financements. De plus, des mémorandums bilatéraux Espagne/Maroc ont été signés dans une optique gagnant-gagnant : le Maroc s'est engagé à

⁵⁰Le site de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (<http://unfccc.int>) recense les pays ayant ratifié le protocole de Kyoto ainsi que les Autorités Nationales Désignées.

⁵¹ Source UNEP-RISØ (données disponibles à l'adresse suivante : www.Cd4cdm.org)

⁵² Ces informations sont issues de l'atelier organisé par le Plan bleu sur le thème « Le MDP dans les pays Sud méditerranéens, forces et faiblesses, défis et perspectives - liens avec les projets d'EE & d'ER », à Paris en 2006.

favoriser l'implication des opérateurs espagnols dans la réalisation de projets MDP et, en contrepartie, l'Espagne s'est engagée à contribuer à la mise en œuvre rapide de projets MDP au Maroc en favorisant la participation des opérateurs économiques espagnols et en apportant aide et assistance technique aux porteurs de projets.

Plus généralement, la région Méditerranée doit tirer profit d'un atout de taille : elle regroupe des pays annexe B et hors annexe B autour d'une zone d'intérêts réciproques. Dans cette optique, un fonds carbone méditerranéen pourrait être mis en place dans le but de regrouper toutes les initiatives éligibles au MDP. Un tel fonds permettrait, en outre, de structurer la demande et l'offre des crédits d'émissions carbone. Un autre atout majeur que posséderait ce fond serait d'être un guichet unique pour le MDP dans la région, ce qui apporterait une simplification des procédures et une meilleure visibilité des opportunités de financement.

Dans les pays du Nord de la Méditerranée, les investisseurs et les banques privées ayant créé des fonds d'investissement dans les domaines des ER et de l'URE sont maintenant nombreux. Cependant, si ces capitaux sont disponibles, il est essentiel d'avoir à l'esprit que les investisseurs prennent systématiquement en compte les mesures incitatives existantes (telle que les tarifs de rachat) dans les analyses de projet et les business plan. L'attractivité des pays pour les investisseurs étrangers dépend donc également directement (comme pour les investisseurs nationaux) du cadre réglementaire, légal et incitatif.

III. ENR ET URE : DE NOMBREUX AVANTAGES, EN PARTICULIER DANS LE DOMAINE DE L'EMPLOI

1. DES BENEFICES STRATEGIQUES, ENVIRONNEMENTAUX ET FINANCIERS EVIDENTS

Les EnR et l'URE permettent de diversifier le mix énergétique, de réduire la dépendance énergétique, d'améliorer la sécurité de l'approvisionnement (pays non producteur d'énergies fossiles) ou de sécuriser des bénéfices d'exportations pour le futur (pays exportateurs), de mieux maîtriser les coûts des services énergétiques, d'optimiser la courbe de charge électrique, de réduire les pics de demande d'électricité sur le réseau. D'un point de vue financier, les bénéfices les plus évidents proviennent de la réduction de la facture énergétique⁵³. Des bénéfices sur les pollutions atmosphériques locales et donc sur la santé humaine sont également importants. Enfin, vis-à-vis du changement climatique, dans bien des cas les actions de réduction des émissions de CO₂ grâce aux EnR et à l'URE sont également des actions d'adaptation au changement climatique permettant la diminution de la vulnérabilité du système énergétique face à ses effets (Tableau 5).

Tableau 5 - Exemples de synergies entre mesures d'adaptation et de mitigation possibles en Méditerranée dans le secteur énergétique

	Bénéfice de réduction d'émissions de CO ₂	Bénéfice d'adaptation	Co-bénéfices
Utilisation rationnelle de l'énergie / gestion de la demande			
Efficacité énergétique en général	Réduction de l'utilisation d'énergie	Meilleure fiabilité du réseau	Limitation des coûts liés à l'interruption d'activités économiques
Ventilation naturelle des bâtiments, isolation, fenêtres efficaces	Réduction de l'énergie utilisée pour chauffer et/ou refroidir les bâtiments (climatisation).	Meilleures capacité des bâtiments lors de canicules ou d'évènements extrêmes	Dépenses de santé diminuées, mortalité diminuée, confort amélioré, productivité maintenue dans les bâtiments à usage professionnel
Production d'énergie/offre			
Energies renouvelables individuelles non connecté réseau (ex. : solaire PV, thermique)	Réduction de l'utilisation d'énergie en provenance du réseau ; et production d'énergie sans émission de CO ₂ .	Réseau moins sollicité ; économie des moyens de production, réseau globalement moins vulnérable car décentralisé et diversifié.	Diversification des risques de dégradation des infrastructures ; diminution des coupures d'électricité ; confort individuel
Biomasse/bois de feu	La gestion des forêts permet un stockage de CO ₂	Gestion des bassins versant (forêt utilisée comme réservoir d'eau)	Réduction des inondations, glissement de terrain ; Bénéfice sur les dépenses de santé et mortalité
Barrages hydroélectriques	Energie sans émission de CO ₂	Gestion des crues et des inondations ; réserve d'eau pour les périodes de sécheresse	Limitation des pertes matérielles et humaines en cas d'évènement pluvieux extrême

Source : Plan Bleu, inspiré de Evan Mills, Synergisms between climate change mitigation and adaptation : an insurance perspective, Berkeley, 2006

⁵³ Des exemples de bénéfices de ce type sont donnés dans d'autres partie de ce rapport : le coût de la non- action (Partie II - chapitre 2) présente une approche macroéconomique de la question, les analyses par pays (chapitre 4) propose une approche type « ingénieure » et des exemples d'actions pilotes (encadré n°2 de ce chapitre).

2. UNE OPPORTUNITE POUR SUBSTITUER DES IMPORTATIONS D'ENERGIE FOSSILE A DES EMPLOIS

Les EnR et l'URE pourraient participer à générer des points de croissance économique permettant la création d'emplois, qui sont les deux priorités des agendas politiques des PSEM. Selon les estimations du Femise, l'ensemble des PSEM, devront créer plus de 22 millions d'emplois nouveaux d'ici 2020 à la seule fin de ne pas dégrader la situation actuelle (le chômage dans les PSEM, en particulier celui des jeunes, est, à l'heure actuelle, parmi les plus élevés au monde).

Or, les études d'impact de l'URE et des EnR sur le marché du travail convergent pour conclure que l'adoption d'un scénario basé sur la maîtrise de l'énergie est synonyme de créations d'emplois : plus d'emplois sont nécessaires pour produire/économiser une même quantité d'énergie en utilisant les filières EnR et URE qu'en utilisant les filières conventionnelles⁵⁴.

Sur la rive Nord, les pays engagés massivement dans les filières EnR enregistrent déjà des créations d'emplois importantes. Ainsi, 35 000 emplois ont été créés dans la filière éolienne en Espagne⁵⁵. Les activités visant à accroître l'efficacité énergétique sont aussi génératrices d'emplois (peut-être plus fortement encore). On estime qu'en Allemagne 2000 emplois pourraient être créés par Mtep épargnés⁵⁶. Aux USA, les industries des EnR et de l'URE ont créés en 2006 plus de 8 450 000 emplois, dont 450 000 dans la filière EnR et 8 000 000 dans la filière URE⁵⁷.

Dans les PSEM, les exemples suivants montrent que le développement des EnR et de l'URE, à leurs modestes niveaux, permettent la création de filières industrielles et/ou de services énergétiques créateurs d'emplois et de valeur ajoutée :

Au Maroc, le programme d'électrification rurale décentralisé a généré 140 emplois (directs ou de sous traitant) notamment grâce à la société TEMASOL qui, pour le compte de l'ONE, vend des services énergétiques domestiques basés sur des kits photovoltaïques et assure la maintenance et les remplacements des batteries pendant 10 ans.

En Tunisie, on comptait en 2006, 14 fournisseurs de chauffes eau solaires (incluant deux fabricants et deux assembleurs) et 384 installateurs. Environ 700 emplois directs supplémentaires sont attendus d'ici 2011.

En Egypte, le développement des chauffes eau solaires a permis la création de 9 entreprises industrielles. Les 230MW d'éoliennes installées sont entretenus par des équipes égyptiennes. En outre, environ 25% des équipements d'énergie éolienne sont fabriqués en Egypte et il est planifié que ce ratio atteigne 50% en 2007.

En Israël, il existe un développement industriel et de R&D important en géothermie et solaire thermique centralisé. Paradoxalement, le développement de certaines filières s'est appuyé sur des incitations ou des contrats hors d'Israël⁵⁸. L'entreprise SOLEL est par exemple leader mondial dans le domaine des technologies solaires thermiques pour la production d'électricité centralisée. SOLEL, avec la hausse du prix des hydrocarbure et la demande croissante de sources d'énergies alternatives est passée du rang de PME en R&D au chiffre d'affaire de 5 millions d'USD à celui d'acteur international avec un chiffre d'affaire probable supérieur à 100 millions en 2007.

⁵⁴ Putting Renewables to Work: How Many Jobs can the Clean Energy Industry Generate, Renewable and Appropriate Energy Laboratories, April 2004.

⁵⁵ Economics of Wind Energy, European Wind Energy Association . A noter que d'autres pays européens enregistrent des emplois en nombre important dans certains domaines: 20000 emplois dans l'éolien au Danemark (pays dans lequel 20% de la demande nationale d'électricité provient de l'éolien) (Denmark Wind Energy Hub, Danish Wind Energy Association, 2004). En Allemagne, en 2004: 64 000 emplois dans la filière éolienne, 57 000 dans les bioénergies et autres 36 000 dans les filières solaires, petite hydroélectricité et géothermie (source : Renewable Energy: Employment Effects, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU).

⁵⁶ Déduction faites des emplois perdus du fait de la diminution de la consommation d'énergie. Source : Livre vert sur l'efficacité énergétique, Commission européenne, 2005.

⁵⁷ Economic and Jobs Impacts of the Renewable Energy and Energy Efficiency Industries: U.S. and Ohio, Roger H. Bezdek of Management Information Services Inc. for American Solar Energy Society, July 2007

⁵⁸ Cette situation semble évoluer en 2007, avec la création d'incitations plus fortes au niveau national, cf Amit MOR, Israel National Study, Plan Bleu, 2007. Une autre étude Israélienne (Analysis by Dov Ravaiv of RMST) estime que dans les 40 prochaines années, la filière photovoltaïque à concentration pourrait à elle seule, sur le territoire national, être à l'origine de la création de 33 700 emplois, en complément de 20 000 nouveaux emplois corrélés à l'export.

IV. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Pour satisfaire leurs besoins en énergie, les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM) utilisent environ 95% d'énergies fossiles. Si la tendance observée depuis 30 ans se poursuit, la consommation d'énergie pourrait augmenter de 65% entre 2000 et 2025 et être satisfaite à 97% par les énergies fossiles en 2025. Un tel scénario n'est pas sans conséquences, parmi lesquelles: dépendance et insécurité énergétique accrues, facture énergétique élevée (pays importateurs), réduction des bénéfices d'exportation (pays exportateurs), vulnérabilité du système de production et de distribution, pollution atmosphérique locale élevée et contribution au changement climatique croissante.

Pourtant un tel scénario n'est pas une fatalité. Le scénario alternatif élaboré par le Plan Bleu en 2005 montre qu'en mettant l'accent sur les fortes potentialités d'une utilisation plus rationnelle de l'énergie et du développement des énergies renouvelables à l'horizon 2025, une économie moyenne de 20 à 25% des besoins totaux des PSEM est réalisable et que, dans ce cas, la part des énergies renouvelables pourrait atteindre 14% du bilan primaire en énergie (hors biomasse) au lieu de 4% pour le scénario de base. Outre les avantages en termes économique et de sécurité énergétique, ce scénario serait synonyme d'une réduction des émissions de CO₂ de 25% pour l'ensemble de la région.

Où en sont aujourd'hui les PSEM dans le développement de la maîtrise de l'énergie et la mise en œuvre de politiques incitatives permettant de se diriger vers ce type de scénario ? Cette question est traitée dans ce chapitre au regard des orientations/actions et des objectifs/indicateurs affichés dans la Stratégie Méditerranéenne de Développement Durable (SMDD) adoptée en 2005 par l'ensemble des pays riverains de la Méditerranée⁵⁹.

Sauf exception, les évolutions récentes dans les PSEM montrent que les applications concrètes d'EnR ont une ampleur qui relève de la taille de projets pilotes et qu'ils sont financés essentiellement sur des fonds publics nationaux ou internationaux (aide au développement). En outre, l'exploitation des gisements d'URE semble être « négligée » par rapport au développement des EnR. Dans ce contexte, les objectifs de la SMDD à l'horizon 2015 de (i) 7% d'ER dans le mix énergétique, (ii) de 1 à 2% par an d'amélioration de l'EE et de (iii) maîtrise des émissions de CO₂ ne seront pas atteints si les tendances observées perdurent.

Pourtant, compte tenu des nombreux projets réalisés et des expériences de quelques pays (Tunisie, Maroc), la preuve est faite que les ER et l'URE sont des options fiables et avantageuses pour les PSEM. Aujourd'hui le défi reste la généralisation massive de ces expériences et la création d'un marché méditerranéen des EnR et de l'URE.

Pour orienter les PSEM vers un scénario de ce type, il ressort des analyses par pays que :

- La mise en place d'un cadre institutionnel stable et crédible en faveur du développement des EnR et de l'URE est indispensable,
- L'utilisation rationnelle de l'énergie doit devenir une priorité,
- La structuration de la R&D, des filières et de la formation dans les domaines des EnR et de l'URE est essentielle.

Les trois points précédents sont les conditions indispensables pour le bon fonctionnement des mesures d'incitation économique et financière nécessaires à la création d'un marché méditerranéen bancable et de grande ampleur des ER et de l'URE.

⁵⁹ Stratégie cadre non contraignante destinée à aider les pays à mettre à jour ou à améliorer les stratégies nationales de développement durable.

1. LES CADRES INSTITUTIONNELS EN FAVEUR DES ER ET DE L'URE SONT ENCORE INCOMPLETS, PEU VISIBLES, ET PARFOIS INSTABLES

Quasiment tous les pays disposent d'institutions chargées de la promotion des énergies renouvelables et/ou de l'efficacité énergétique (ANME, APRUE, CDER, PEC, OEP...) et ont adopté des stratégies ou des objectifs cadres de développement des énergies renouvelables. Cependant, même si des progrès ont été effectués récemment (2006-2008), le cadre réglementaire n'est pas encore abouti ou est incomplet dans la plupart des PSEM. Pourtant l'expérience tunisienne (et dans une moindre mesure marocaine) montre que la mise en place d'un cadre institutionnel complet est indispensable pour obtenir des résultats significatifs (développement des ER et de l'URE à grande échelle).

Les expériences passées en Méditerranée montrent que les efforts ponctuels sur deux ou trois ans ne permettent pas de structurer suffisamment une filière pour lui permettre de « décoller ». L'inscription dans le temps des mesures actuelles est particulièrement importante aujourd'hui car certaines filières sont, dans plusieurs pays, à une étape critique de changement d'échelle (URE bâtiment au Maroc, solaire thermique en Tunisie, éolien en Egypte, etc.).

Deux des barrières importantes auquel le cadre institutionnel et légal peut pallier dans les PSEM sont:

La question des modalités financières et administratives du raccordement au réseau de distribution d'électricité est une barrière encore forte même si des législations existent dans certains pays.

Le manque de coordination institutionnel ou l'absence d'institution responsable de **l'efficacité énergétique** ne permet pas d'exploiter pleinement les potentiels de maîtrise de l'énergie.

2. LA QUESTION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE EST NEGLIGEE

La question de l'efficacité énergétique est négligée dans les politiques de la plupart des PSEM. Or, la consommation par habitant de ces pays s'accroît continuellement et il apparaît clairement que le meilleur rapport coût/efficacité pour réduire les émissions de CO₂ et maîtriser les hausses de consommations se situe dans ce domaine.

Dans cette perspective, le secteur du **bâtiment/résidentiel/tertiaire** apparaît comme un secteur clef car il consomme d'ores et déjà environ 40% de l'énergie dans les PSEM et, compte tenu de la démographie et du développement urbain attendu, il pourrait être à l'origine d'importantes augmentations d'émissions de CO₂ dans les prochaines années. La législation sur les constructions et le bâtiment est en plein développement dans les pays qui ont pris pleinement conscience de cet enjeu comme le Maroc. Des marges significatives de progrès existent aussi dans l'efficacité du secteur de la production et de la distribution d'électricité.

3. L'INSUFFISANCE DE LA R&D, D'INFORMATION ET DE FORMATION NUIT AU DEVELOPPEMENT DES FILIERES ET A L'EFFICACITE DES MESURES INCITATIVES

La recherche, souvent mise de côté car considérée comme non rentable à court terme, reste fondamentale dans des secteurs comme les EnR et l'URE qui sont encore en plein développement technologique. Pour les PSEM, l'importance de la recherche appliquée réside dans l'adaptation des technologies existantes aux contextes nationaux et dans la définition de normes et standards nationaux.

D'autre part, la question de la qualité de l'ensemble des acteurs concernés de la chaîne EnR et MDE est cruciale car elle fait la réputation des filières et des équipements et, si elle est bonne, cela réduit le coût psychologique à l'achat ou à l'investissement dans des équipements ou des actions encore « inhabituelles » à ce jour en Méditerranée. De plus, la maîtrise de l'énergie est génératrice d'emplois mais, la pérennité et la qualité de ces derniers sont conditionnées par l'existence de filières de formations. Ainsi, les expériences réussies au Maroc et en Tunisie reposent en partie sur la mise en place de formations spécifiques.

De plus, le manque d'information des investisseurs (des entreprises) et des citoyens dans les PSEM empêche la mise au grand jour des gisements d'économie d'énergie et donc leur prise en compte dans les décisions économiques.

Les expériences pilotes d'audit menées par le CAR/PP dans plusieurs PME/PMI des PSEM laissent penser que les entreprises ne sont pas à même de prendre les décisions économiques les plus rationnelles vis-à-vis des consommations d'énergie par manque d'information. C'est pourquoi, les actions rentables ne sont pas mises en œuvre. Les expériences nationales d'audit montrent des gisements d'économie incroyables ; par exemple, au Maroc, un programme du CDER a permis une réduction de la consommation de bois de feu dans les hammams de 50% ! Enfin, seuls quelques pays commencent à promouvoir et soutenir les audits ou à développer des ESCO.

L'information du citoyen est également un facteur clef pour les décisions d'achats d'équipements individuels d'énergie renouvelable ou d'appareils économes en énergie. La promotion et l'usage des étiquettes énergies peuvent contribuer utilement à ce processus de prise de conscience même si, d'une manière générale, une communication nationale régulière doit être encouragée sur les questions climatiques et énergétiques.

4. DES MOYENS INSUFFISANTS ET DES INCITATIONS ECONOMIQUES QUI PEINENT A DONNER DES RESULTATS

Outre l'information incomplète, la question de l'accès au financement pour des actions d'ER et d'URE est la principale barrière à la maîtrise de l'énergie dans les PSEM. Le développement des filières d'ER et d'URE bute sur les mêmes obstacles que l'ensemble des secteurs économiques (difficultés d'accès au crédit, insuffisance d'intermédiation financières...). En outre les ER et l'URE ont un surcoût initial (même si les retours sur investissements sont souvent et de plus en plus rapides) et pâtissent en plus de désavantages par rapport aux filières énergétiques classiques.

Le premier provient des subventions aux énergies fossiles qui se traduit par un prix à la consommation finale relativement bas et décourageant les efforts de maîtrise de l'énergie (en particulier les pays producteurs d'énergie fossile). Il est clairement identifié que les filières du solaire

thermique en Israël ou dans les territoires palestiniens se sont développées spontanément du fait des prix élevés de l'électricité dans le résidentiel. Pour autant, la question de la tarification doit tenir compte des considérations sociales afin de ne pas pénaliser ni les groupes sociaux défavorisés ni l'activité économique. Une planification dans le temps d'une réforme des prix, en parallèle des actions d'ER et d'URE, est affichée comme objectif par plusieurs pays (Tunisie, Maroc...) ⁶⁰.

Dans ce contexte, plusieurs pays ont mis en place des incitations économiques et financières aux ER et à l'URE pour prendre en charge une partie du surcoût initial (et en partie compenser les subventions aux autres énergies). Par exemple un système de « feed in tarif » (qui a fait ses preuves en Europe) existe en Algérie, Egypte, en Israël ou encore, des fonds de garantie ou de développement sont en place dans certains pays. Cependant, les résultats de ces mesures sont conditionnés/réduits au regard des insuffisances du cadre législatifs (notamment pour l'accès au réseau, cf. infra) et les disponibilités financières réduites des états pour les alimenter.

5. LES EXPERIENCES D'APD SONT ENCOURAGEANTES MAIS LES IDE SONT PEU ATTIREES

Les fonds internationaux publics, à travers l'APD, ont jusque là majoritairement contribué au financement de projets d'ER et d'URE dans les PSEM. Des expériences récentes d'implications de fonds d'APD dans les projets PROSOL (MA), PROMASOL (TN) financés en partie par des fonds publics nationaux et des fonds privés de banques commerciales semblent très prometteurs en terme de levier.

Les investissements internationaux privés (IDE) dans les ER et l'URE, malgré les incitations créées par les mécanismes de flexibilité du Protocole de Kyoto (en particulier le MDP pour qui les PSEM sont tous potentiellement éligibles) sont très peu représentés dans les PSEM. Outre le manque d'attractivité de la région en général, une barrière importante identifiée pour les ER et l'URE réside dans le manque de projets attractifs. Pourtant, des fonds MDP sont aujourd'hui disponibles dans plusieurs PNM (Espagne, Italie...) et prêts à être investis en priorité dans les PSEM pour les ER et l'URE.

Les mobilisations nationales générées par les politiques des pays apparaissent donc déterminantes pour le développement des ER et de l'URE qui, elles mêmes, peuvent, si elles sont accompagnées de développement industriels, de transferts de technologie et de services, générer des emplois et participer à créer de la croissance économique comme le montre par exemple l'expérience tunisienne.

⁶⁰ Une étude sur ce thème pour la région MENA est actuellement en cours de préparation par la Banque Mondiale.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLAL Samir, BEN JANNET-ALLAL Houda, GED Anne, QUEFELEC Stéphane, POUFFARY Stéphane (2006). Le Mécanisme de Développement Propre dans les pays Sud méditerranéens, forces et faiblesses, défis et perspectives - liens avec les projets d'efficacité énergétique et d'énergie renouvelable. Résumé des conclusions de l'Atelier sous-régional, Paris, 5 mai 2006.
- ALLAL Samir (Université de Versailles), PRENGERE Roméo (Plan Bleu/Université d'Auvergne CERDI) et QUEFELEC Stéphane (Plan Bleu) (2007). *Énergies Renouvelables, Utilisation Rationnelle de l'Énergie et Aide au Développement en Méditerranée*. Plan Bleu working paper.
- APRUE (Algérie), NREA (Égypte), NERC (Jordanie), CDER (Maroc), ALMEE (Liban), PEC (Territoires palestiniens), ANME (Tunisie) (2002). Rapports pays MEDA AESTBM : Plan d'action solaire
- BENOIT G. & COMEAU A, Plan Bleu (2005). Méditerranée : les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et développement. Edition de l'Aube.
- DE PERTUIS Christian, BEN JANNET Houda, POUFFARY Stéphane (2006). Le mécanisme de développement propre dans les pays méditerranéens. Comment accélérer la mise en œuvre ?. In *Liaison Énergie-Francophonie*, n°71, 2° trimestre 2006.
- Plan Bleu (2006). *Energy prospects in the Mediterranean region up to 2020*. Etude réalisée par l'OME dans le cadre du suivi de la SMDD. Disponible sur le web : http://www.planbleu.org/themes/atelier_energie_monaco.html
- POUFFARY Stéphane (2004). Le solaire thermique en Méditerranée : enjeux et perspectives dans un marché énergétique en pleine transformation. In *MedEnergie*, octobre 2004.
- POUFFARY Stéphane (2006). Bâtiment et énergie, un enjeu stratégique régional pour la Méditerranée.
- POUFFARY Stéphane (2007). Le financement des énergies renouvelables et de la maîtrise de la demande en Méditerranée : Réalités, perspectives et opportunités. In *MedEnergie* n°23, mai 2007 (1ère partie) et n°24, septembre 2007 (2ème partie).
- QUEFELEC Stéphane et ALLAL Samir (2006). Politique énergétique et développement durable en Méditerranée : défis et nouveaux enjeux. In *Liaison Énergie-Francophonie*, n°71, 2ème trimestre 2006.
- QUEFELEC Stéphane et ALLAL Samir (2008). Énergie et environnement en Méditerranée ; Pour un « new deal climatique dans la région. In *MedEnergie*, n°25, janvier 2008.
- UNEP/MAP/Plan Bleu (2008). *Energy and Sustainable Development in the Mediterranean: Proceedings of the regional workshop, Monaco, 29-30 March 2007*. 12 National studies to follow up the energy chapter of the Mediterranean Strategy for Sustainable Development.

CHAPITRE 7

Coût d'un scénario moins émetteur en gaz à effet de serre :

A. En Tunisie

B. En Egypte

Rafik Missaoui
ALCO, Tunisie

TABLE DES MATIERES

MESSAGES CLES	5
INTRODUCTION	6
I. LA POLITIQUE DE MAITRISE DE L'ENERGIE EN TUNISIE	7
1. Rétrospective et contexte énergétique	7
2. Outils et instruments publics de la promotion de la maîtrise de l'énergie en Tunisie	11
II. LE COUT DE L'ACTION OBSERVEE DEPUIS 1990	13
1. Inventaire des actions réalisées	13
2. Evaluation des coûts d'investissement	14
3. Evaluation des impacts énergétiques de l'action observée	14
4. Evaluation du coût de la tep économisée	16
III. LE COUT DU PROGRAMME D' ACTIONS PREVU PAR LA TUNISIE SUR LA PERIODE 2008-2011	17
1. LES SCENARIOS DE LA DEMANDE	17
2. Rappel des objectifs du programme	18
3. Consistance et contenu du programme	18
4. Mesures réglementaires additionnelles	19
5. Evaluation des investissements du programme	20
6. Evaluation des impacts énergétiques de l'action programmée	21
7. Evaluation du coût de la tep économisée	21
8. Evaluation des impacts de l'action programmée sur les dépenses énergétiques	22
9. Esquisse d'un scénario ambitieux de maîtrise de l'énergie sur la période 2012-2016	23
IV. ENERGIE ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN TUNISIE	25
1. Impact environnemental de l'action observée	25
2. Impact environnemental du programme 2008 - 2011	27
3. Le mécanisme pour un développement propre au service de la maîtrise de l'énergie	29
V. CONCLUSION	31

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 – Evolution des ressources énergétiques primaires	7
Figure 2 – Evolution de la demande d'énergie primaire	8
Figure 3 – Evolution de la consommation d'énergie finale.....	9
Figure 4 – Evolution de structure de la consommation finale par secteur	9
Figure 5 – Evolution des dépenses énergétique pour produire 1000 DT.....	10
Figure 6 – Evolution des subventions publiques aux produits énergétiques	10
Figure 7 – Evolution de l'intensité énergétique primaire.....	16
Figure 8 – Prospective de la demande d'énergie primaire entre 2008 et 2011	18
Figure 9 – Répartition des économies d'énergie escomptées par secteur	21
Figure 10 – Evolution de la part des dépenses énergétiques dans le PIB.....	22
Figure 11 – Prospective de la demande d'énergie primaire entre 2008 et 2016.....	23
Figure 12 – Evolution des émissions de GES dues à l'énergie (1990-2007)	25
Figure 13 - Evolution de la croissance économique et des émissions de GES dues à l'énergie (au niveau national)	25
Figure 14 – Structure des émissions de GES de la combustion énergétique 2007.....	26
Figure 15 – Evolution de l'intensité en carbone 1990-2007.....	27
Figure 16 – Evolution des émissions de GES dues à l'énergie 2008-2011	28

MESSAGES CLES

La période 1990-2004, a été marquée notamment par la mise en place des jalons institutionnels, réglementaires et incitatifs en vue de créer un environnement favorable à l'émergence des actions de maîtrise de l'énergie.

L'augmentation des prix du brut sur le marché international et la dégradation de la facture énergétique du pays, à partir de 2005, ont été à l'origine de l'amorce de changement d'échelle dans la politique de maîtrise de l'énergie en Tunisie. Ainsi, la période 2005-2007, a été marquée d'une part par la mise en place d'un programme ambitieux d'investissement en matière de maîtrise de l'énergie et d'autre part par la mise en place de nouveaux outils institutionnels et réglementaires favorables au développement de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables et alternatives.

Sur cette période, les investissements dans la maîtrise de l'énergie peuvent être estimés à environ 250 millions de dinars tunisiens, soit de l'ordre de 140 M€, avec une participation de l'Etat estimée à environ 25 MDT (soit 14 Millions d'euros). La contribution de ces investissements est significative :

- Une baisse de l'intensité énergétique d'environ 2,8% par an ;
- Une pénétration des énergies renouvelables (hors biomasse) dans la consommation d'énergie primaire passant de 0,5% en 2005 à 1% en 2007 ;
- Une économie d'énergie cumulée d'environ 800 ktep sur la période, soit environ 3 Mtep sur toute la durée de vie des actions ;
- Des émissions évitées de GES estimées à 2,4 MTECO₂ sur la même période et à près de 10 MTECO₂ sur la durée de vie des actions entreprises ;
- Des subventions des produits énergétiques évitées par l'Etat s'élevant à environ 463 MDT (260 M€), soit 18 fois le montant de la subvention accordée pour le soutien à la maîtrise de l'énergie.

Le coût de la tep économisé peut être estimé à environ 90 DT/tep (50 €/tep) dont une contribution de l'Etat au titre des subventions accordés par le FNME estimée à environ 9 DT/tep (5 €/tep). En conséquence, le coût des émissions évitées de GES serait de l'ordre de 20 €/TECO₂.

Les Autorités tunisiennes ont retenu dans le nouveau programme quadriennal de maîtrise de l'énergie de réduire l'intensité énergétique de 3% par an entre 2008 et 2011 et porter à 4% la part des énergies renouvelables (solaire thermique, éolien, biogaz) dans la consommation d'énergie primaire (hors biomasse), avec un coût d'investissement estimé à 1100 MDT (611 M€) dont 140 MDT (78 M€) provenant du FNME. Ainsi, le montant total des investissements dans la maîtrise de l'énergie sur la période 2008-2011 représente environ 13% des investissements prévus dans le secteur de l'énergie dans la même période.

Les résultats escomptés de ce programme sont essentiellement les suivants :

- Des économies d'énergie d'environ 3,2 Mtep sur la période 2008-2011, soit environ 15 Mtep sur toute la durée de vie des actions ;
- Des émissions évitées de GES d'environ 9 MTECO₂ sur la période 2008-2011 soit environ 45 MTE CO₂ sur toute la période de vie des actions préconisées ;
- Une réduction de la part des dépenses énergétiques dans le PIB à environ 18% au lieu de 20% dans le cas d'un scénario tendanciel.

Le coût de la tep économisée est de l'ordre de 73 DT, soit 40 €/tep, avec une contribution de l'Etat à hauteur de 5 €/tep. En conséquence, le coût de la tonne de CO₂ évitée peut être estimé à environ 24 DT /TECO₂, soit près de 14 €/TECO₂.

Le coût de la tep économisée est à comparer au coût d'approvisionnement de la Tunisie en gaz naturel dépassant aujourd'hui les 400 DT/tep (222 €/tep).

Sur la période 2012-2016, la Tunisie devrait poursuivre sa politique renforcée de maîtrise avec l'objectif d'assurer une baisse de l'intensité énergétique de 3% par an pour atteindre le niveau européen. Cela permettra de réduire la consommation d'énergie primaire de 23% à l'horizon 2016, soit d'environ 3 Mtep.

Enfin, du fait de sa capacité de réduction des émissions de gaz à effet de serre, la maîtrise de l'énergie peut largement bénéficier des financements dans le cadre du Mécanisme pour un Développement Propre (MDP). En effet, au début de l'année 2008, l'Autorité Nationale Désignée (AND) a déjà approuvé une vingtaine de projets dans le secteur de l'énergie qui devraient générer des revenus de vente d'unités de réduction certifiées d'émissions (URCEs) d'environ 200 M€ sur la période de comptabilisation.

INTRODUCTION

Contexte et objectif de l'étude

La politique de maîtrise de l'énergie en Tunisie a démarré au milieu des années 80 avec la création de l'Agence de Maîtrise de l'Energie (AME). Ensuite, les pouvoirs publics ont mis en place progressivement un cadre réglementaire, institutionnel et incitatif spécifique pour promouvoir les actions d'efficacité énergétique et d'énergie renouvelable. Cette volonté a été encouragée davantage par le passage progressif de la Tunisie d'une situation d'exportateur net de pétrole à une situation d'importateur net.

Toutefois, c'est à partir de 2005, avec la flambée des prix internationaux de l'énergie, que la Tunisie a amorcé un changement d'échelle dans la maîtrise de l'énergie se traduisant par l'intensification des investissements dans ce domaine. Les actions passées ont eu des impacts significatifs en termes d'efficacité énergétique et les résultats attendus dans le futur proche sont très prometteurs.

Le présent chapitre a pour objectif d'analyser, le coût de l'action d'une politique énergétique permettant à la Tunisie de maîtriser ses émissions de gaz à effet de serre en provenance du secteur énergétique. En d'autres termes, il s'agirait d'évaluer le coût d'une politique énergétique durable participant à l'atténuation du changement climatique. Ainsi, cette étude permettrait de faire partager aux autres pays de la région, un plan d'action existant, organisé dans le temps, et chiffré en termes de coût. Elle devrait également partager les réflexions de la Tunisie en matière de coût/efficacité économique qui ont incité aux choix affichés dans les stratégies adoptées.

Approche méthodologique

Le présent chapitre a été élaboré en se basant sur l'analyse de la documentation et des données existantes en Tunisie. Celles-ci ont été collectées au niveau de divers organismes nationaux, notamment :

- L'Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie ;
- La Direction Générale de l'Energie ;
- La Société Tunisienne d'Electricité et de GAZ ;
- Le Ministère des Finances ;
- Le Ministère de Développement Economique et de Coopération Internationale.

Parmi les documents importants qui ont fait l'objet d'analyse, il y a lieu de citer en particulier ceux relatifs à la préparation du 11^{ème} plan de développement et du programme quadriennal 2008-2011.

Contenu du chapitre

Le présent chapitre comprend cinq grandes parties, détaillées comme suit :

- Une présentation de la politique de maîtrise de l'énergie en Tunisie ;
- Une évaluation des actions de maîtrise de l'énergie réalisées entre 1990 et 2007 ;
- Une évaluation du coût du programme d'actions prévu par la Tunisie sur la période 2008-2011 ;
- Une esquisse d'un scénario plausible de maîtrise de l'énergie sur la période 2012-2016 ;
- Une présentation des liens « énergie et changements climatiques » dans le contexte tunisien.

I. LA POLITIQUE DE MAITRISE DE L'ENERGIE EN TUNISIE

1. RETROSPECTIVE ET CONTEXTE ENERGETIQUE

1.1. Les ressources énergétiques

Les ressources énergétiques tunisiennes regroupent principalement les énergies fossiles avec la production d'hydrocarbures (pétrole et gaz naturel) et les redevances de gaz naturel provenant de l'exploitation du gazoduc transméditerranéen (Algérie – Tunisie - Italie).

Depuis 1990 (à l'exception de l'année 2007) le niveau des ressources énergétiques s'est maintenu entre 5,5 et 6,5 Mtep par an.

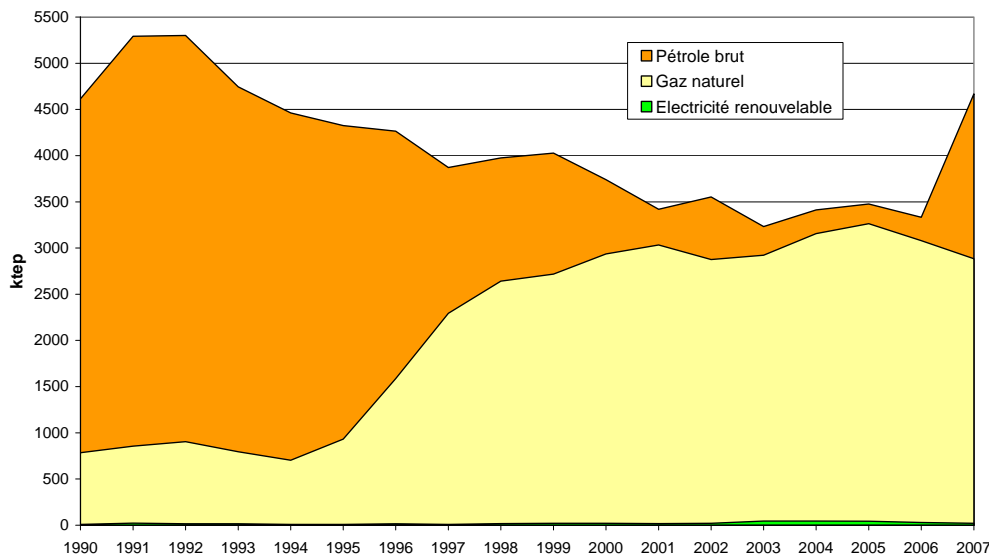
Les ressources pétrolières sont relativement modestes, la production de pétrole a connu une baisse significative passant de 4,6 Mtep en 1990 à 3,3 Mtep en 2006. Avec la flambée des prix du brut, l'exploitation des gisements marginaux a permis à la production de pétrole de connaître une augmentation appréciable soit 4,7 Mtep en 2007.

Avec l'entrée en production du gisement gazier Miskar et le doublement des redevances gazières provenant du gazoduc algéro-italien, les ressources gazières ont été multipliées par 3 passant de 900 ktep en 1995 à environ 3 Mtep en 2007.

Pour les énergies renouvelables, les ressources provenant de l'hydraulique, du solaire thermique et de l'éolien sont négligeables. Les ressources actuelles comprennent :

- La production hydro-électrique avec une capacité installée de 61 MW ;
- La production d'eau chaude sanitaire provenant de l'énergie solaire avec environ 250000 m² installés (fin 2007) ;
- La production d'électricité éolienne avec une capacité installée de 20 MW.

Figure 1 – Evolution des ressources énergétiques primaires



1.2. La demande d'énergie primaire

La consommation d'énergie primaire s'est accrue de 75% sur la période 1990-2007, passant de 4,4 Mtep à 7,7 Mtep. Le taux de croissance annuel moyen de la consommation s'est élevé à 3,4% sur la période, 4% entre 1990-2000 et 2,4% sur la période 2000-2007.

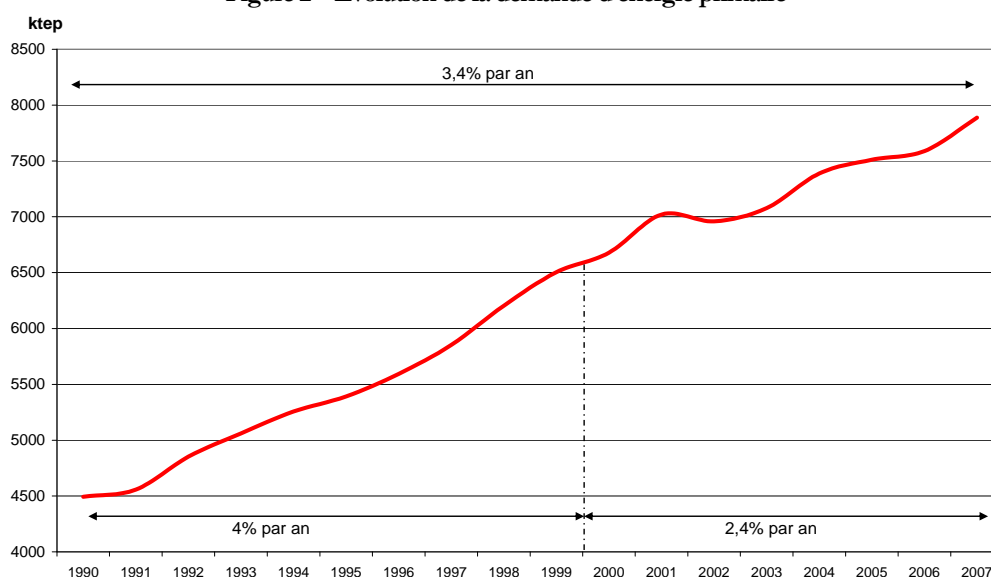
Ainsi, depuis 2000, le taux de croissance de la demande d'énergie primaire accuse une baisse importante, comme le montre le graphique suivant :

L'évolution de la consommation d'énergie primaire par produit se distingue par la progression de la part du gaz naturel et le repli de celle des produits pétroliers. Alors que la part des produits pétroliers a été de 71% en 1990, elle est passée à 52% en 2007. La substitution s'est effectuée en faveur du gaz naturel en raison de l'introduction de deux centrales à cycle combiné pour la production d'électricité (1996 et 2001).

1.3. La demande d'énergie finale

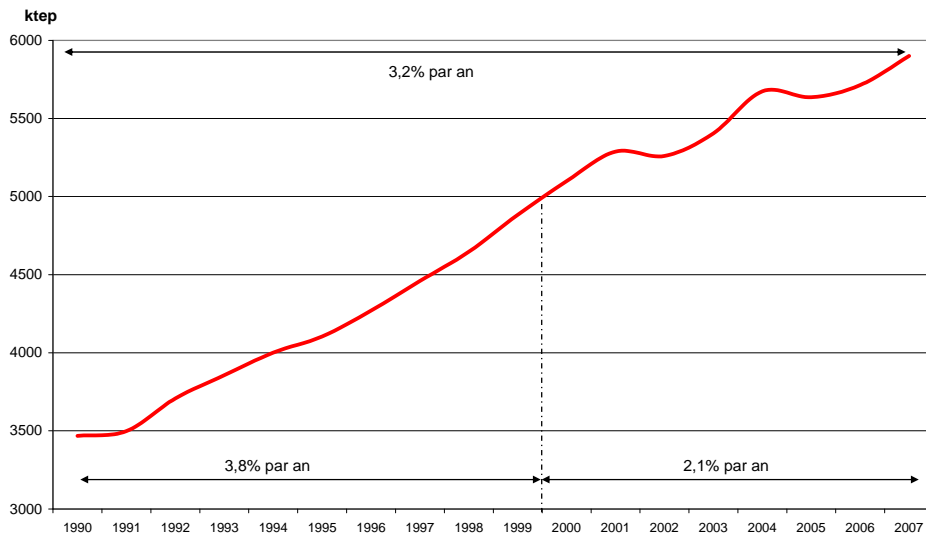
La consommation d'énergie finale a connu une croissance de 69% passant de 3,5 Mtep en 1990 à 5,9 Mtep en 2007. Le taux de croissance annuel moyen s'est élevé à 3,2% sur toute la période, 3,8% sur la période 1990-2000 et 2,1% sur la période 2000-2007.

Figure 2 – Evolution de la demande d'énergie primaire



Il est à signaler que le taux de croissance de la demande d'énergie finale a connu une baisse beaucoup plus importante que celle de la demande d'énergie primaire en raison des améliorations de performances énergétiques du secteur industriel.

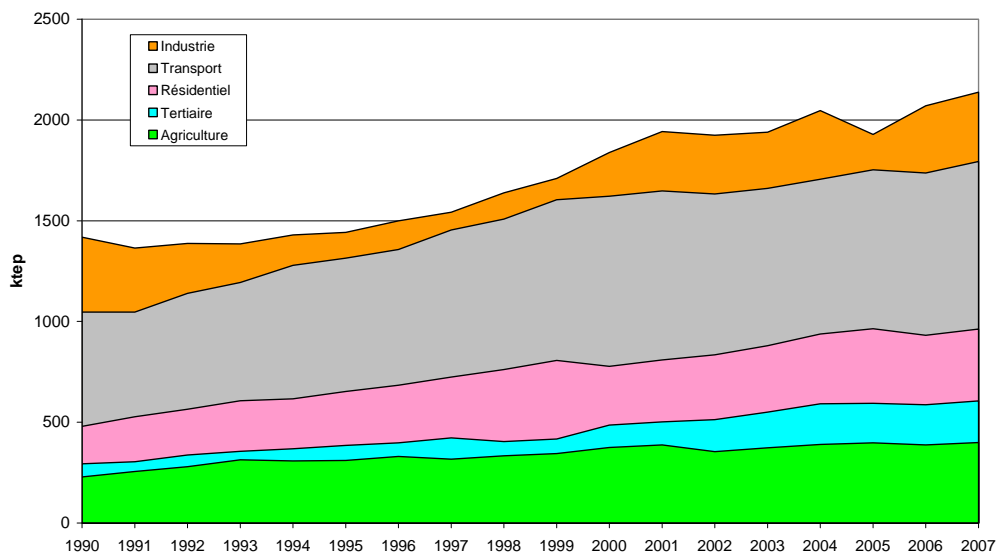
Figure 3 – Evolution de la consommation d'énergie finale



Par secteur, la répartition de la consommation d'énergie finale n'a pas connu un changement important, compte tenu du fait que les clés de répartition n'ont pas été actualisées depuis le milieu des années 80.

En 2007, l'industrie représente 36% de la consommation totale, le transport 31%, le résidentiel 9%, le tertiaire 17% et l'agriculture 8%.

Figure 4 – Evolution de structure de la consommation finale par secteur



Malgré l'introduction progressive du gaz naturel, la consommation d'énergie finale reste dominée par les produits pétroliers qui représentent actuellement environ 70% de la consommation totale contre 14% pour le gaz naturel et 16% pour l'électricité. En 1990, les produits pétroliers représentaient 79% de la consommation finale alors que le gaz naturel n'en représentait qu'environ 9% et l'électricité 10%.

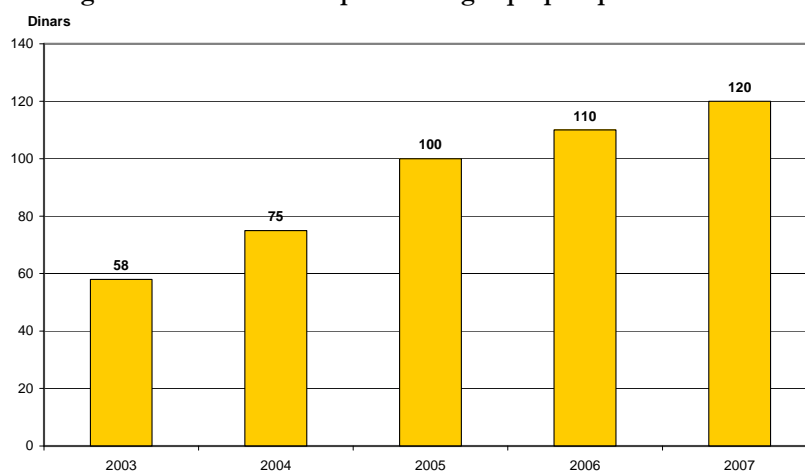
1.4. Impacts économiques de la hausse du prix international de l'énergie

L'économie tunisienne est vulnérable à l'augmentation des prix de l'énergie. Cette vulnérabilité est due, d'une part à l'accroissement des dépenses énergétiques et d'autre part à la pression exercée sur les finances publiques, compte tenu du subventionnement des produits énergétiques conventionnels¹.

Les dépenses énergétiques

En 2007, les dépenses énergétiques ont représenté 12% du PIB, autrement dit pour produire 1000 DT de PIB, la Tunisie a dépensé 120 DT pour l'énergie. Entre 2003 et 2007, la part des dépenses énergétiques dans le PIB est passée de 5,8% à 12%, comme le montre le graphique suivant :

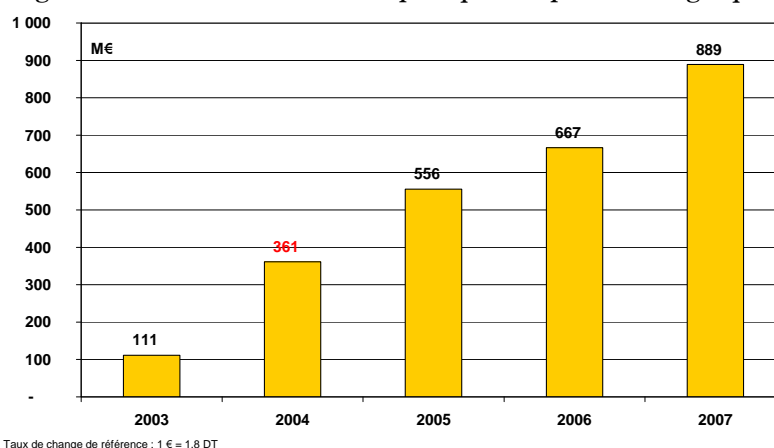
Figure 5 – Evolution des dépenses énergétique pour produire 1000 DT



Les subventions

Les prix des produits pétroliers et du gaz naturel sont subventionnés en Tunisie. Les subventions sont calculées sur la base de l'écart entre les prix sur le marché interne et les prix de cession. Les augmentations du prix du brut ont amené le Gouvernement tunisien à procéder à des ajustements des prix internes de façon à limiter l'écart avec les prix de cession. Toutefois, ces augmentations n'ont pas suffi pour réduire les dépenses publiques au titre du subventionnement des produits énergétiques, comme le montre le graphique suivant.

Figure 6 – Evolution des subventions publiques aux produits énergétiques



Taux de change de référence : 1 € = 1,8 DT

¹ Les tarifs énergétiques en Tunisie sont administrés par l'Etat et sont déconnectés du prix international.

Ainsi, en 2006, la part des subventions énergétiques peut être estimée à environ 4% du PIB au prix courant.

2. OUTILS ET INSTRUMENTS PUBLICS DE LA PROMOTION DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE EN TUNISIE

Pour développer la maîtrise de l'énergie, l'Etat tunisien a mis en place quatre types d'outils : institutionnel, réglementaire, financier et fiscal.

L'outil institutionnel

L'outil institutionnel de développement de la maîtrise de l'énergie en Tunisie est l'Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie créée en 1986 par décret-loi du 14 septembre 1985, relatif à l'économie d'énergie. Son rôle est mettre en œuvre la politique de l'Etat en la matière. Sa mission est par conséquent le développement de l'utilisation rationnelle de l'énergie et la promotion des énergies renouvelables et alternatives.

L'outil réglementaire

En Tunisie, le cadre réglementaire et d'incitation publique aux investissements de maîtrise de l'énergie existe depuis le milieu des années 80. Plus récemment, la loi 2004-72 du 2 août 2004 réaffirme ce soutien : "Les investissements réalisés dans le domaine de la maîtrise de l'énergie donnent lieu au bénéfice des avantages prévus par le code d'incitation aux investissements". Les dispositifs et les modalités de ce soutien sont précisés par le décret 2004-2144 du 2 septembre 2004 qui fixe les conditions d'octroi de la prime spécifique inhérente aux investissements dans le domaine de la maîtrise de l'énergie.

Ces textes définissent d'une part les avantages directs et indirects accordés aux projets et actions de maîtrise de l'énergie et d'autre part les obligations auxquelles sont soumises opérateurs et utilisateurs de l'énergie. Les principales obligations sont :

- L'obligation de réalisation d'audit énergétique périodique pour les établissements dont la consommation d'énergie annuelle dépasse un seuil fixé par décret (1000 tep pour l'industrie et 500 tep pour le transport et le tertiaire) ;
- L'obligation d'audit énergétique préalable pour les projets consommateurs d'énergie (audit sur plan) ;
- L'obligation de la STEG d'acheter de l'électricité excédentaire produite par les établissements s'équipant d'installation de co-génération ;
- L'obligation d'affichage de label de performance énergétique pour les appareils électroménagers ;

Loi n° 2004-72 du 2 août 2004

Art. 17. - L'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie est chargée notamment des missions suivantes :

- gérer les actions d'audit énergétique obligatoire et périodique dans les secteurs de l'industrie, du transport et des services,
- instruire les projets consommateurs d'énergie assujettis à la consultation préalable obligatoire,
- proposer les incitations, les encouragements et les procédures susceptibles de développer le domaine de la maîtrise de l'énergie,
- octroyer des attestations pour les équipements, matériels et produits concourant à l'utilisation rationnelle de l'énergie ou relatifs aux énergies renouvelables et ce, en vue de bénéficier des avantages prévus par la législation et la réglementation en vigueur,
- inciter à l'exploitation des techniques et des technologies énergétiquement performantes,
- développer les projets de démonstrations dans le domaine de la maîtrise de l'énergie et en suivre la réalisation,
- promouvoir, en collaboration avec les organismes concernés, la formation dans le domaine de la maîtrise de l'énergie,
- préparer et exécuter les programmes nationaux de sensibilisation et d'éducation dans le domaine de la maîtrise de l'énergie,
- contribuer aux programmes de recherche scientifique dans le domaine de la maîtrise de l'énergie,
- étudier, programmer et évaluer les projets de maîtrise de l'énergie et effectuer les études portant sur l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre liées à la consommation de l'énergie et plus généralement toutes études rentrant dans le cadre de ses attributions,
- élaborer un inventaire des émissions de gaz à effet de serre dues à la consommation de l'énergie et analyser les indicateurs de maîtrise de l'énergie.

- L'interdiction de mise sur le marché d'équipements électroménagers dont les performances énergétiques sont en dessous de certains seuils fixés par décret ;
- L'assujettissement des nouveaux bâtiments aux spécifications thermiques définies par le code des bâtiments ;
- L'obligation aux municipalités de l'utilisation de l'éclairage performant pour les nouveaux réseaux d'éclairage public ;
- L'obligation de diagnostics des moteurs des automobiles à l'occasion des visites techniques.
- L'outil financier

La loi 2005-82 constitue un pas important dans le choix d'une ressource extra budgétaire pour le financement du soutien public aux investissements de maîtrise de l'énergie. Cette loi crée en effet Le Fonds National pour la Maîtrise de l'Energie (FNME) qui a pour but l'appui financier des actions visant la rationalisation de la consommation de l'énergie, la promotion des énergies renouvelables et la substitution de l'énergie. L'Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie est désignée comme gestionnaire du FNME.

Le Fonds National de Maîtrise de l'Energie est alimenté par des taxes affectées provenant d'une part de la taxation due à la première immatriculation des voitures de tourisme dans une série tunisienne et d'autre part, la taxation due à l'importation ou à la production locale des appareils pour le conditionnement de l'air.

Du point de vue utilisation, le FNME sert à financer les avantages financiers directs accordés dans le cadre de la loi sur la maîtrise de l'énergie et des textes qui lui sont associée :

	Taux	Plafond
Audit énergétique	50%	20.000 DT
Projet de démonstration	50%	100.000 DT
Contrat programme	20%	- 1 00 000 DT pour les établissements de consommation inférieure à 4000 tep/an, - 200 000 DT pour les établissements de consommation est située entre 4000 tep/an et 7000 tep/an - 250 000 DT pour les établissements de consommation supérieure à 7000 tep/an.
Raccordement au GN dans industrie	20%	Industrie : 400.000 DT
Raccordement au GN dans le résidentiel	20%	- 140 DT par logement individuel - 20 DT par appartement dans le logement collectif
Bancs diagnostic des moteurs	20%	6000 DT
Chauffe-eau solaire	20%	100 DT/m ² de capteur

L'outil fiscal

Les avantages octroyés par le FNME sont complétés par des avantages fiscaux :

- Application de droits de douane minimum (10%) et suspension de la TVA sur les équipements et produits utilisés pour la maîtrise de l'énergie et qui n'ont pas d'équivalent fabriqués localement.
- Suspension de la TVA sur les biens d'équipement et les produits économiseurs en énergie acquis localement.
- Application d'un droit de douane minimum (10%) sur l'importation des chauffe-eau solaires.
- Suspension de la TVA à l'importation pour les chauffe-eau solaires.

II. LE COUT DE L'ACTION OBSERVEE DEPUIS 1990

1. INVENTAIRE DES ACTIONS REALISEES

Le suivi et l'évaluation des réalisations dans le domaine de la maîtrise de l'énergie sont relativement récents en Tunisie. Ce n'est qu'à partir de 2005, avec l'augmentation des prix internationaux de l'énergie, que les pouvoirs publics ont focalisé sur ces aspects. De ce fait, il est difficile de faire un inventaire précis des réalisations sur toute la période 1990-2007, notamment pour les actions d'efficacité énergétique. De manière indicative, les actions qui ont contribué aux économies d'énergie durant cette période sont essentiellement :

- La signature de près de 350 contrats programmes d'efficacité énergétique dans l'industrie dont environ 230 sur la seule période 2005-2007 ;
- La signature de quelques 150 contrats programmes dans le secteur tertiaire dont une trentaine sur la période 2005-2007 ;
- L'installation d'une quinzaine de MW d'auto cogénération électrique dans le secteur industriel ;
- L'installation d'environ 250000 m² de chauffe-eau solaire, essentiellement dans le secteur résidentiel ;
- Le développement de l'usage du gaz naturel dans le secteur industriel et résidentiel, notamment ;
- L'installation d'un parc éolien de 20 MW ;
- La diffusion d'environ 1 million de lampes basse consommation pour l'éclairage public ;
- L'installation d'environ 1,3 MWh de PV notamment pour l'électrification rurale et le pompage solaire ;
- La préparation et la promulgation d'une réglementation thermique dans le secteur des bâtiments ;
- La mise en place d'un système de certification et de labellisation obligatoire pour les appareils électroménagers.
- Sur le plan institutionnel et réglementaire, la fin de cette période a connu la mise en place d'un certain nombre de mesures volontaristes, telles que :
- La création du FNME pour contribuer au financement de certaines actions de maîtrise de l'énergie ;
- L'adoption d'une nouvelle loi de maîtrise de l'énergie encourageant les contrats programme dans l'industrie ;
- La mise en place de groupes de travail spécialisés (Task Forces) pour accompagner certaines actions de maîtrise de l'énergie.

Le programme PRSOL de diffusion de chauffe-eau solaire

Le programme Prosol a été lancé en 2005. Il est basé sur un mécanisme innovant :

- Une subvention de 100 DT/m² (55 €/m²) pour baisser le temps de retour au consommateur final,
- Un crédit sur 5 ans remboursable sur la facture d'électricité, avec un recouvrement du crédit garanti par la STEG,
- Un système de contrôle de qualité efficace,
- Une implication active du secteur bancaire et des fournisseurs.

2. EVALUATION DES COÛTS D'INVESTISSEMENT

L'accent a été mis sur la période 2005 – 2007, compte tenu de la disponibilité des informations liées aux coûts d'investissement du programme triennal de maîtrise de l'énergie.

Sur la période 2005-2007, les investissements dans la maîtrise de l'énergie peuvent être estimés à environ 250 millions de dinars tunisiens, soit de l'ordre de 140 M€.

Sur ce montant, la participation de l'Etat est estimée à environ 10% (soit 25 MDT). Le reste a été pris en charge par les opérateurs privés.

Les efforts publics et privés ont été très fortement renforcés par la coopération internationale, essentiellement sous forme d'accompagnement et de renforcement de capacité.

Parmi les projets de coopération mis en œuvre durant cette période, on cite notamment :

- Le projet de diffusion de chauffe-eau solaire, financé par le FEM/banque mondiale et la coopération belge de 7,2 M\$.
- Le projet de la mise en place de la réglementation thermique des bâtiments financé conjointement par le FEM et le FFEM d'un montant de 10 M\$.
- Le projet de mise en place d'une certification de appareil de réfrigération financé par le FEM/PNUD d'un montant de 3,5 M\$.
- Le projet d'efficacité énergétique dans l'industrie (PEEI) financé par le FEM/BM d'un montant de 10 M\$.
- Plusieurs petits projets de renforcement de capacités financés par la coopération multilatérale (PNUD et PNUE essentiellement) et bilatérale (allemande, italienne, espagnole, canadienne et japonaise, notamment).

Dans ces montants, la contre partie de l'Etat tunisien, souvent sous forme de contribution en nature, se situerait entre 15 et 25%. Bien entendu, certains de ces projets ont un effet de levier important en termes de mobilisation de l'investissement privé. A titre d'exemple, le projet PEEI a permis de mobiliser des investissements privés d'environ 10 fois le montant du projet.

3. EVALUATION DES IMPACTS ENERGETIQUES DE L'ACTION OBSERVEE

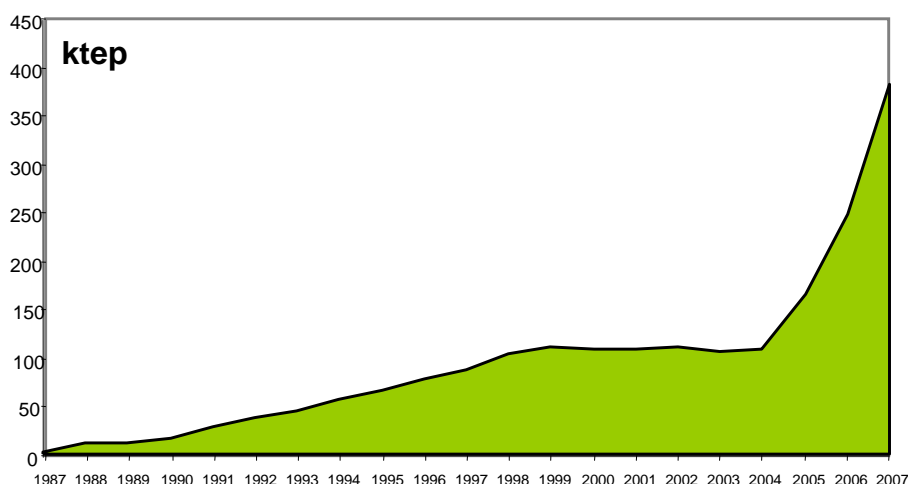
3.1. Impacts en terme d'économie d'énergie

En dehors de l'amélioration du rendement des centrales électriques, les économies d'énergie générées par le programme de maîtrise de l'énergie sont évaluées à environ de 2 Mtep sur la période 1990-2007.

Les actions engagées au cours du programme triennal de maîtrise l'énergie de 2005-2007 ont permis une à environ 2800 ktep.

Le système d'information énergétique et environnemental SIM2E.

L'ANME a développé dans le cadre de la coopération avec l'Agence de l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie en France depuis 2006 un système d'information (SIM2E) permettant de calculer les indicateurs énergétiques et environnementaux selon les mêmes méthodologies adoptées par le programme européen Odyssée.



3.2. Impacts en terme d'intensité énergétique

Durant la période 1990-2007, la demande d'énergie primaire a été multipliée par 1,8 alors que le PIB a été multiplié par 2,2. Sur la même période, la progression de la demande d'énergie a été de 2,1% par an alors que le PIB a progressé de 4,2% par an.

L'évolution contrastée du PIB et de la demande d'énergie primaire traduit l'amélioration des performances énergétiques de l'économie tunisienne et la baisse de l'intensité énergétique.

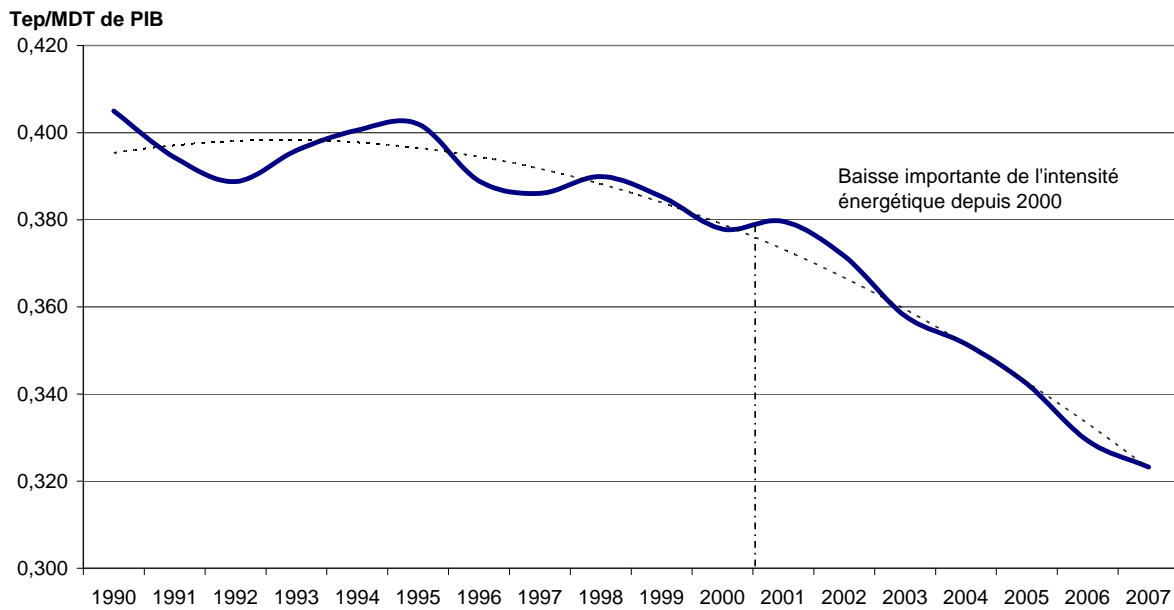
L'analyse de l'évolution de l'intensité énergétique montre une baisse annuelle moyenne de 1,3% par an sur la période 1990-2000, avec une différenciation selon les sous-périodes :

- 1990-2000 : 0,7% par an
- 2000-2007 : 2,2% par an

Les années 2000 ont été marquées par une forte baisse de l'intensité énergétique qui résulte de :

- L'augmentation des prix intérieurs des différentes formes d'énergie (stagnation de la consommation de carburants pour le secteur des transports) ;
- La croissance économique soutenue et la mise à niveau de l'outil industriel ;
- L'amélioration du rendement des centrales électriques avec l'introduction d'une deuxième centrale à cycle combiné en 2001 ;
- L'orientation de l'économie tunisienne vers les secteurs les moins énergivores (développement des services) ;
- Les retombées positives du programme d'utilisation rationnelle de l'énergie notamment sur les consommations unitaires des industries grosses consommatrices d'énergie (Ciment, brique, engrais, phosphate, etc.).

Figure 7 – Evolution de l'intensité énergétique primaire



4. EVALUATION DU COUT DE LA TEP ECONOMISEE

Sur la base des évaluations précédentes, le coût de la tep économisée peut être estimé à environ 90 DT/tep soit environ 50 euro/tep. Ce coût est à comparer avec le prix international de la tep gaz naturel dépassant aujourd'hui les 400 DT/tep.

En ce qui concerne, les subventions de l'Etat, elles sont estimées à environ 9 DT/tep, soit 5 € / tep, sur la base des 25 MDT (14 M€) engagés par l'Etat sur la période 2005-2007.

Par ailleurs, les dépenses évitées par l'Etat au titre de la subvention des produits énergétiques sont estimées à environ 463 MDT (environ 260 M€), soit 18 fois le montant de la subvention accordée pour le soutien à la maîtrise de l'énergie.

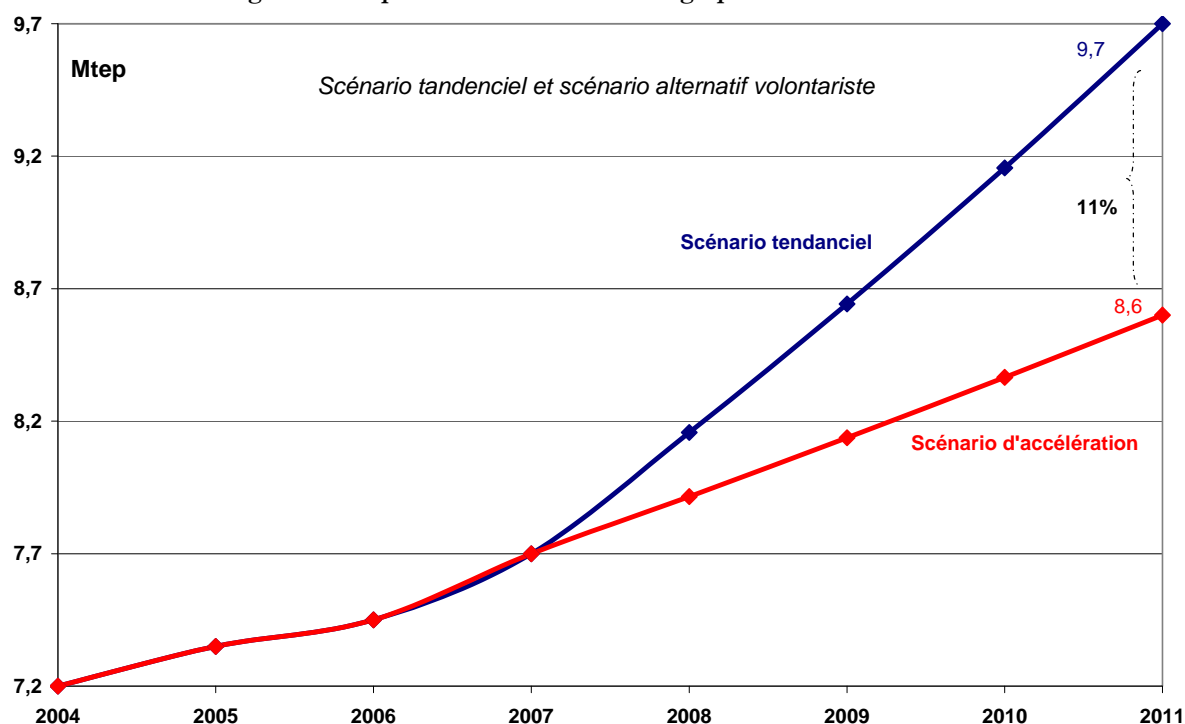
III. LE COUT DU PROGRAMME D' ACTIONS PREVU PAR LA TUNISIE SUR LA PERIODE 2008-2011

1. LES SCENARIOS DE LA DEMANDE

Le 11ème plan de développement de la Tunisie (2007-2011) a retenu une croissance économique soutenue de 6,1% par an. Pour établir la projection de la demande d'énergie, deux scénarios énergétiques ont été envisagés :

- Un scénario de prolongement des tendances qui se traduit par une forte croissance de la demande en maintenant constant le niveau de l'intensité énergétique de l'année de référence 2007 soit 0,32 tep/1000 DT durant la période 2007-2011. La demande d'énergie primaire devrait atteindre 9,7 Mtep en 2011 soit un taux de croissance annuel de 5,9%.
- Un scénario d'accélération de la politique de maîtrise de l'énergie qui répond à un objectif très ambitieux de réduction de l'intensité énergétique de 3% par an à partir de 2008. ce scénario se traduit par une croissance modérée de la demande d'énergie de 2.8% par an pour attendre 8,6 Mtep en 2011. La réussite de ce scénario est conditionnée par :
- Le développement intensifié de certaines actions d'efficacité énergétique telles que la cogénération, la réglementation thermique des bâtiments et diffusion élargie des appareils électroménagers économes en électricité ;
- L'adoption de nouvelles normes et réglementations favorisant l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables (autoproduction d'électricité par énergie éolienne) ;
- L'élargissement des incitations financières du FNME à de nouvelles actions (bâtiment par exemple) et mettre en place des mécanismes de financement innovants (lignes de crédit, bonification, fonds d'investissement) ;
- L'indexation progressive des prix intérieurs sur les prix internationaux de façon à appliquer la vérité des prix à partir de 2011.

Figure 8 – Prospective de la demande d'énergie primaire entre 2008 et 2011



La différence du niveau de la demande d'énergie selon les deux scénarios correspond aux économies d'énergie escomptées du scénario d'accélération de la maîtrise de l'énergie. En 2011, les économies d'énergie devraient s'élever à 1,1 Mtep soit 11% de la demande tendancielle².

2. RAPPEL DES OBJECTIFS DU PROGRAMME

Avec la flambée des prix de l'énergie sur le marché international, le Gouvernement tunisien a opté pour le scénario alternatif volontariste présenté ci-dessus, comme base pour la mise en place du nouveau programme quadriennal de maîtrise de l'énergie 2008-2011. Ce programme vise à réduire la vulnérabilité de l'économie tunisienne face à l'augmentation du poids des dépenses énergétiques dans le budget de l'Etat. En effet, la part des dépenses énergétiques dans le PIB a été de l'ordre de 12% en 2006, contre 4 à 6% dans certains pays occidentaux.

Plus concrètement, au début de l'année 2008, les pouvoirs publics ont adopté une vingtaine de mesures visant à donner à la Tunisie les moyens de réduire l'intensité énergétique de 3% par an entre 2008 et 2011 et porter à 4% la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie.

3. CONSISTANCE ET CONTENU DU PROGRAMME

Le nouveau programme quadriennal s'inscrit dans une perspective d'accélération de la politique de maîtrise de l'énergie avec le renforcement de certaines actions d'utilisation rationnelle de l'énergie et

² Documents de préparation du programme quadriennal 2008-2011, ANME, janvier 2008.

d'énergies renouvelables prévues initialement dans le 11ème plan de développement (2007-2011), notamment par :

- La commercialisation de 2 millions de lampes basse consommation par an ;
- L'installation d'une capacité de 70 MW pour la production de l'électricité à partir d'énergie éolienne dans les industries grosses consommatrices d'énergie ;
- L'installation de 90000 m² de capteurs solaires pour le chauffage de l'eau dans les secteurs tertiaire et industriel ;
- La consolidation des contrats-programmes dans les secteurs de l'industrie, le tertiaire et le transport ;
- La production d'électricité à partir des déchets pour une capacité de 40 MW ;
- L'isolation de toiture de plus de 20.000 logements et 1500 bâtiments tertiaires existants.

4. MESURES REGLEMENTAIRES ADDITIONNELLES

Par ailleurs, le programme quadriennal s'accompagne de la mise en place de nouvelles mesures institutionnelles et réglementaires dont on cite essentiellement les aspects suivants :

- Assujettir les nouveaux projets et les projets d'extension dont la consommation annuelle dépasse 7.000 tep à une autorisation préalable et abaisser le seuil d'assujettissement des établissements industriels à l'audit énergétique périodique et obligatoire de 1 000 à 800 tep ;
- Faire bénéficier les établissements, les groupements d'établissements ainsi que les particuliers qui produisent l'électricité pour leurs propres besoins du droit de transport de l'électricité produite à travers le réseau national et du droit de vente des excédents à la Société Tunisienne d'Electricité et de Gaz ;
- Augmenter le niveau de subventions octroyées par le FNME en ce qui concerne les investissements immatériels, l'audit énergétique, la cogénération et le chauffage de l'eau solaire dans le secteur tertiaire ;
- Obliger les nouvelles constructions collectives à respecter les règles spécifiques de performances énergétiques ;
- Interdire la commercialisation des réfrigérateurs de classes 5 et 6 à partir de janvier 2008 et les réfrigérateurs de classe 4 à partir de 2011 ;
- Elargir le programme de l'étiquetage énergétique pour les climatiseurs, les équipements d'éclairage, les machines à laver et de chauffage de l'eau et les fours tout en interdisant progressivement la commercialisation des équipements énergétivores à partir de 2009 ;
- Encourager l'utilisation des lampes à basse consommation et interdire la commercialisation des lampes à incandescence à partir de 2011 ;
- Instaurer l'obligation de l'élaboration des Plans de Déplacement Urbains ;
- Instaurer l'obligation du diagnostic des moteurs des véhicules à l'occasion de la visite technique des véhicules ;

- Rendre l'utilisation des énergies renouvelables dans le pompage et le dessalement de l'eau éligible à la subvention du FNME ;
- Mettre en place un organisme de régulation dans le secteur de l'énergie ;
- Généraliser la présence des services régionaux de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie dans les différents gouvernorats de la Tunisie et renforcer ses moyens humains ;
- Mettre en place des lignes de crédit dédiés à la maîtrise de l'énergie en s'appuyant sur la coopération bilatérale et multilatérale³.

Ligne de crédit environnementale de l'Agence Française de Développement

En 2008, l'Agence Française de développement a mis en place une ligne de crédit de 40 M€ à conditions concessionnelles dédiés au financement des projets de maîtrise de l'énergie et la dépollution.

5. EVALUATION DES INVESTISSEMENTS DU PROGRAMME

Le programme quadriennal 2008-2011 (voir contenu en 5.3) nécessite un coût d'investissement estimé à 1100 millions de dinars dont 140 millions de dinars provenant du FNME, soit près de 13% de l'investissement total. Les subventions de l'Etat sont accordées essentiellement à l'efficacité énergétique dans les industries grosses consommatrices d'énergie (40%), l'éolien connecté au réseau et le secteur des bâtiments, notamment le chauffe-eau solaire.

Ces investissements constituent un effort non négligeable qui représente plus de 13% des investissements prévus dans le secteur de l'énergie sur la période 2008-2011⁴.

Ces investissements ont été estimés sur la base des coûts observés des technologies utilisées au moment de l'élaboration des documents du programme quadriennal (janvier 2008). A titre d'exemple, on cite les coûts suivants :

- L'éolien : 1700 €/kW installé
- La cogénération : 600 €/kW installé
- Le chauffe-eau solaire : 275 €/m² installé

De ce fait, ces investissements devraient être réévalués en fonction de l'augmentation de prix que connaissent certaines technologies comme l'éolien, les matériaux d'isolation thermique, etc.

³ Ligne de crédit d'efficacité énergétique en discussion avec la Banque Mondiale.

⁴ Le montant des investissements en hydrocarbure s'élève à 5800 MDT y compris la raffinerie de Skhira (1500 MDT). Pour l'électricité et le gaz, l'investissement s'élève à 2400 MDT.

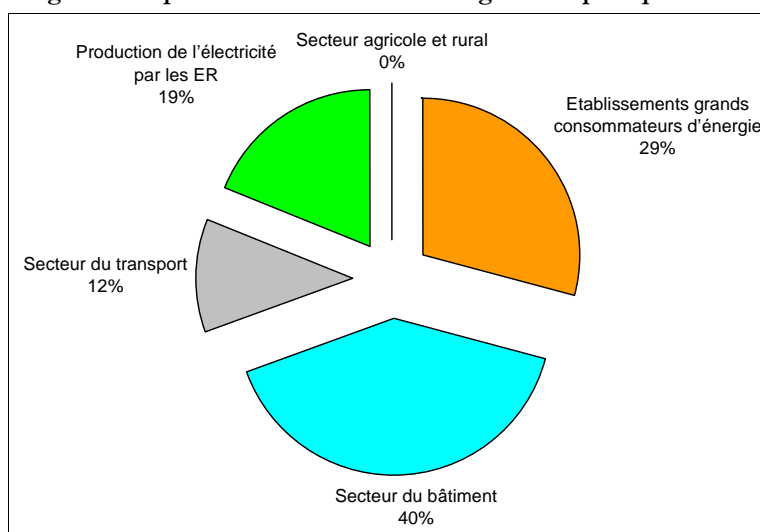
6. EVALUATION DES IMPACTS ENERGETIQUES DE L'ACTION PROGRAMMEE

6.1. Impacts en terme d'économies d'énergie

Les économies d'énergie escomptées sont évaluées à 3,2 Mtep sur la période 2008-2011, soit environ 15 Mtep sur toute la durée de vie des actions⁵.

Ces économies sont réparties sur les différentes catégories d'action comme suit :

Figure 9 – Répartition des économies d'énergie escomptées par secteur



6.2. Impacts en terme d'intensité énergétique

Selon le scénario adopté, l'intensité en énergie primaire devrait accuser une baisse moyenne de l'ordre de 3% à partir de l'année 2007 (0,32 tep/MDT). De ce fait, elle atteindrait 0,28 tep/MDT en 2011.

7. EVALUATION DU COUT DE LA TEP ECONOMISEE

Compte tenu de ce qui précède, le coût de la tep économisée est de l'ordre de 73 dinars, **soit 40 euros/tep**, avec une contribution de l'Etat dans ce coût à hauteur de **5 euros par tep**. Le coût d'approvisionnement de la TEP est au moins 5 à 6 fois plus cher que celui de la tep économisée⁶.

Par ailleurs, comme on peut le constater, le coût de tep économisée et par conséquent celui de la TECO₂ évitée, prévu dans le cadre du programme quadriennal est d'environ 20% moins cher que celui observé durant le programme triennal 2005-2007.

⁵ Une action réalisée durant la période 2008-2011 continuera à générer des économies d'énergie sur toute la période de sa durée de vie technique. Il s'agit alors d'anticiper les économies d'énergie réalisées au-delà de la période 2008-2011.

⁶ Gaz naturel comme référence

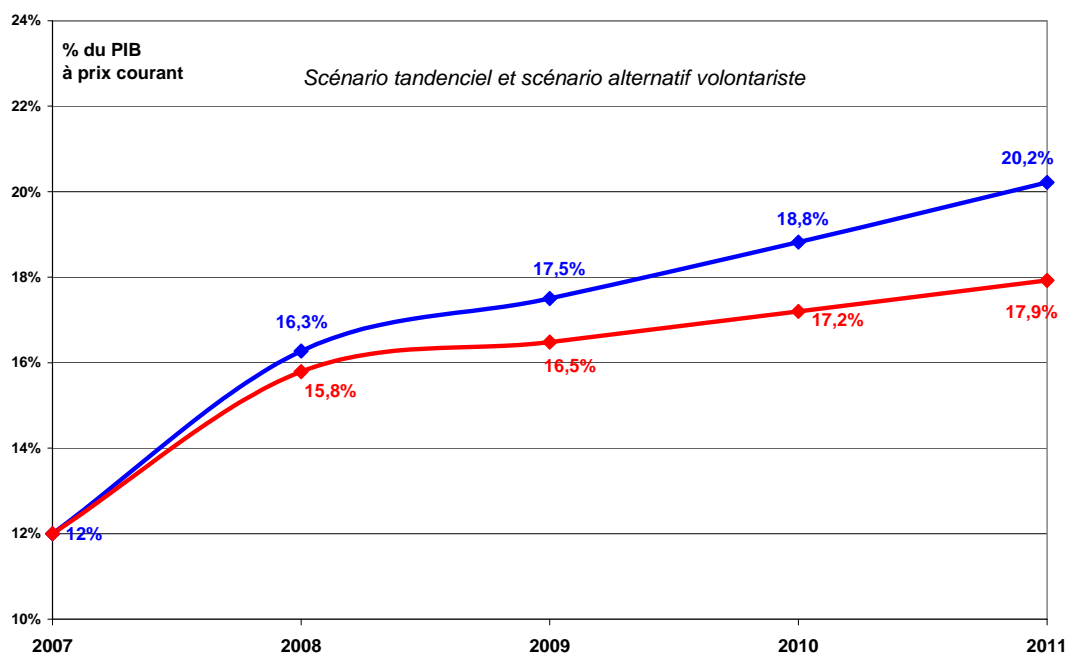
Cette baisse s'explique, entre autres, par l'effet de certaines mesures réglementaires qui ont été mises en place durant la période 2005-2007 et dont l'application rentrera effectivement en vigueur à partir de 2008. Il s'agit de mesures peu coûteuses (bien que longue et difficile à mettre en place) mais qui ont des résultats attendus importants. On cite à titre d'exemple la réglementation thermique des bâtiments ou encore la certification des appareils de réfrigération.

8. EVALUATION DES IMPACTS DE L'ACTION PROGRAMMEE SUR LES DEPENSES ENERGETIQUES

En se basant sur la croissance du PIB (prix courant) retenue par le 11ème plan de développement et en supposant une augmentation du prix du baril de brut de 10% par an, le poids des dépenses énergétiques dans le PIB devrait baisser nettement grâce à la politique renforcée de la maîtrise de l'énergie.

Dans le scénario « sans maîtrise de l'énergie » (tendanciel), les dépenses énergétiques atteindraient environ 12400 MDT (6890 M€) soit plus de 20% du PIB en 2011, comme le montre le graphique suivant :

Figure 10 – Evolution de la part des dépenses énergétiques dans le PIB



Dans le scénario de politique accélérée de maîtrise de l'énergie (scénario volontariste), les dépenses énergétiques au niveau national s'élèveraient à environ 11000 MDT (6111 M€), soit près de 18% du PIB courant de l'année 2011.

Ainsi, l'apport de la maîtrise de l'énergie se traduirait par une baisse des dépenses de l'ordre de 3100 MDT (1720 M€) sur toute la période 2008-2011, soit près de 5% du PIB de 2011 retenu dans le scénario.

Le tableau suivant présente les hypothèses retenues pour le calcul précédent :

	2008	2009	2010	2011
PIB à prix courant (DT)*	48 314	52 338	56 678	61 364
Prix du baril (\$)	110	121	133	146
Prix de la tep (\$)	803	883	971	1 066
Prix de la tep (DT)	964	1 060	1 165	1 279

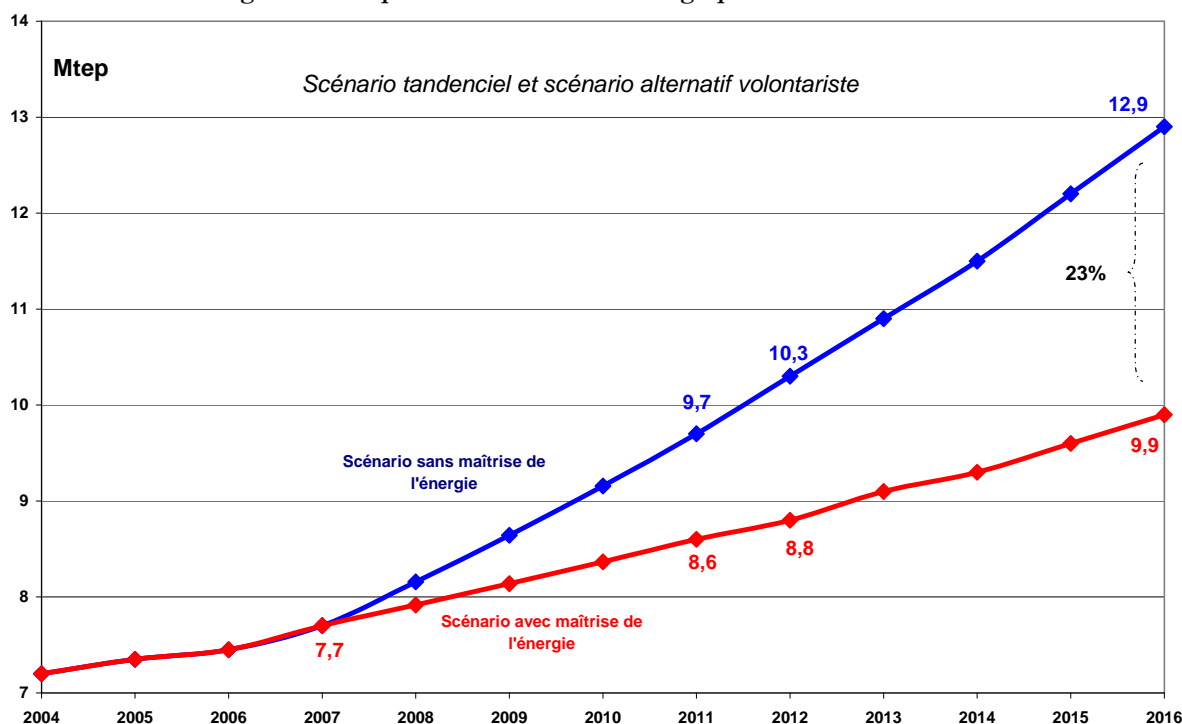
* source : 11ème plan.

9. ESQUISSE D'UN SCENARIO AMBITIEUX DE MAITRISE DE L'ENERGIE SUR LA PERIODE 2012-2016

Pour atteindre le même niveau de performance énergétique des pays de l'OCDE, l'intensité énergétique devrait continuer à diminuer de plus de 3% par an à partir de 2012.

Avec ce niveau de performance, la demande d'énergie primaire devrait évoluer à un rythme annuel moyen de 3% entre 2012 et 2016⁷ au lieu de 5.9% dans le cas d'un scénario tendanciel. Cela permettra de réduire de 23% la demande d'énergie primaire à l'horizon 2016, comme le montre le graphique suivant :

Figure 11 – Prospective de la demande d'énergie primaire entre 2008 et 2016



⁷ Hypothèse officielle d'évolution du PIB : 6,6% par an

En conséquence, le programme de maîtrise de l'énergie devrait être intensifié et couvrir toute la chaîne énergétique : production, transformation, transport d'énergie et consommation. Ce programme devrait être structuré particulièrement autour des actions suivantes :

- Le développement de la production d'électricité à partir d'énergie éolienne et des déchets et la vente sur le réseau électrique national ;
- Le renforcement des actions d'efficacité énergétique, notamment dans les secteurs de bâtiments et des transports ;
- La diminution des pertes de transport de l'énergie électrique ;
- La valorisation des gaz associés au niveau des sites de production de pétrole.

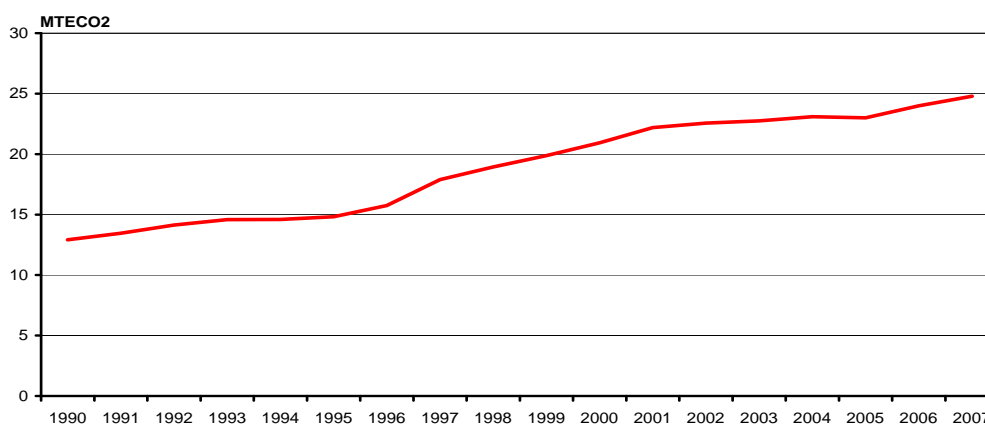
IV. ENERGIE ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN TUNISIE

1. IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE L'ACTION OBSERVEE

1.1. Evolution des émissions

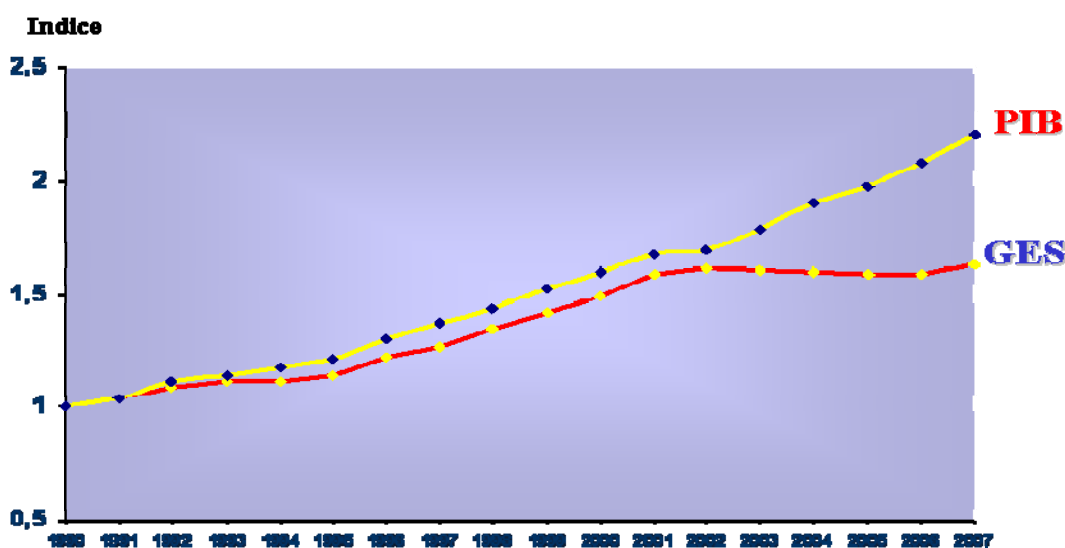
Les émissions de GES dues à l'énergie ont presque doublé entre 1990 et 2007 passant de 12,9 MTECO₂ à 24,8 MTECO₂. Le taux de croissance annuel moyen a atteint 3,9% entre 1990 et 2007, 4,9% entre 1990 et 2000 et 2,5% entre 2000 et 2007.

Figure 12 – Evolution des émissions de GES dues à l'énergie (1990-2007)



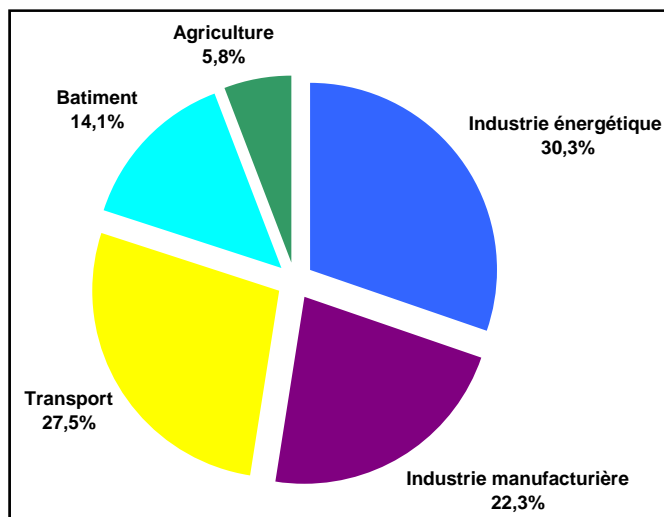
La période 2000-2007, s'est caractérisée par un découplage net entre la croissance économique et les émissions de GES due à l'énergie. Pendant la même période le PIB s'est accrue de 39% alors que les émissions de GES provenant de l'énergie n'ont progressé que de 19%.

Figure 13 - Evolution de la croissance économique et des émissions de GES dues à l'énergie (au niveau national)



La principale croissance des émissions de GES provient de l'industrie énergétique et des transports. Malgré le développement des deux centrales à cycle combiné et l'utilisation du gaz naturel pour la génération de l'électricité, l'industrie énergétique (essentiellement le secteur de la production d'électricité) demeure le secteur le plus important des émissions générées par la combustion énergétique.

Figure 14 – Structure des émissions de GES de la combustion énergétique 2007

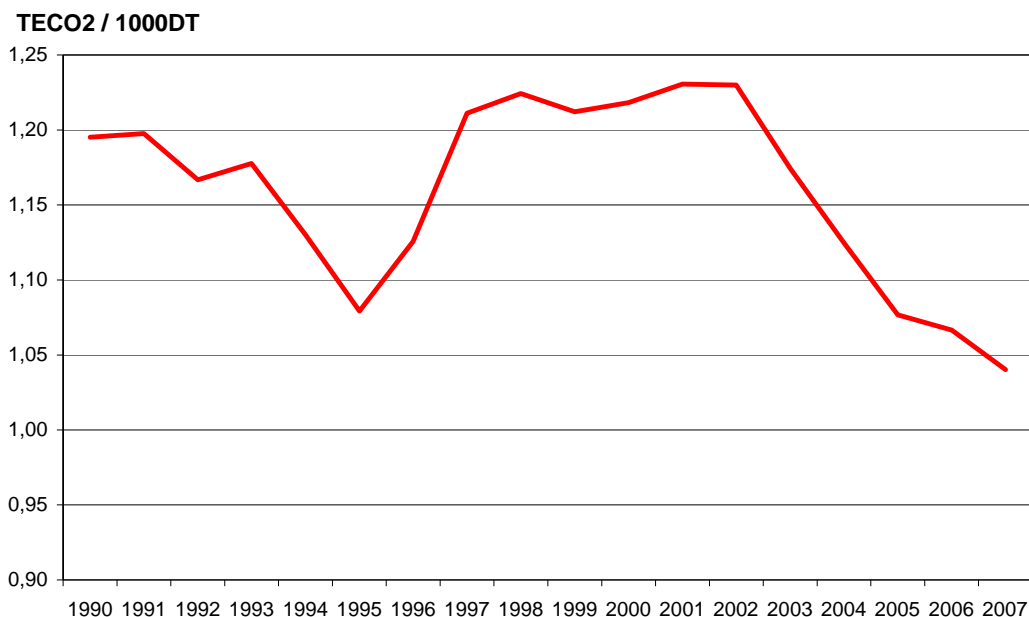


1.2. Impacts sur l'intensité en carbone

Sur la période 1990 -2007, l'intensité en carbone de l'économie tunisienne a connu une baisse significative passant de 1,2 TE CO₂/1000 DT en 1990 à 1,04 TE CO₂/1000 DT en 2007. La période 2000-2007 a été marquée par une nette amélioration de l'intensité en carbone soit une baisse de 2% par an. Cette amélioration s'explique par :

- Les substitutions opérées en faveur du gaz naturel dans la génération de l'électricité et l'industrie
- Le développement des services et des branches industrielles à forte valeur ajoutée et à faible contenu énergétique
- La réussite du programme triennal de maîtrise de l'énergie 2005-2007 notamment dans les industries grosses consommatrices d'énergie.

Figure 15 – Evolution de l'intensité en carbone 1990-2007



1.3. Coût de la TECO₂ évitée

Les émissions de GES évitées grâce aux actions de maîtrise de l'énergie entreprises dans le cadre du programme triennal 2005-2007 sont estimées à environ 7 MTECO₂ pour un investissement total de l'ordre de 140 M€ (voir précédemment). Sur cette base, le coût des émissions de GES évitées serait de l'ordre de 20 € / TECO₂.

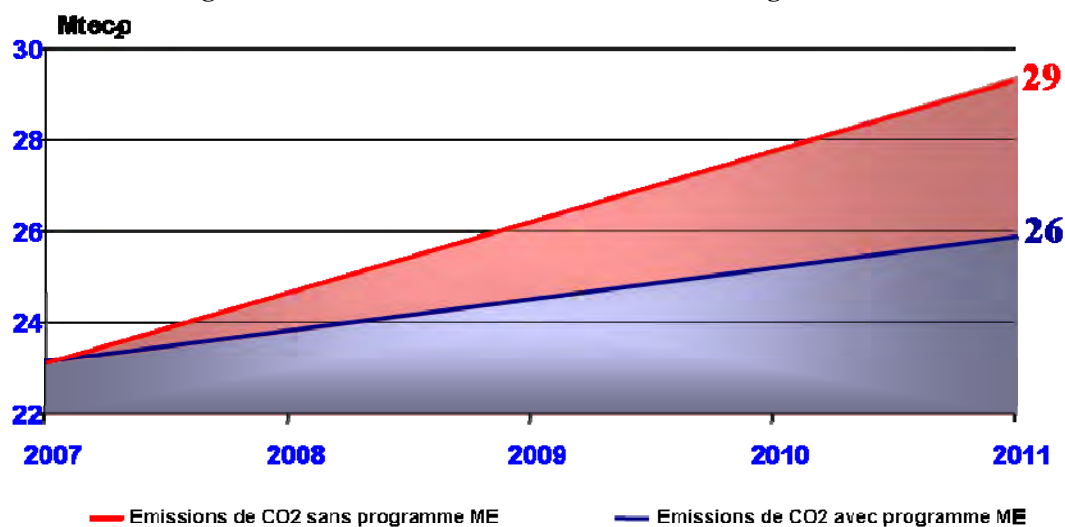
2. IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU PROGRAMME 2008 - 2011

2.1. Scénarios des émissions

Durant le programme quadriennal 2008-2011, l'évolution des émissions de GES liées à la consommation d'énergie est établie selon deux scénarios :

- Un scénario sans mesures additionnelles de maîtrise de l'énergie maintenant constant le niveau de l'intensité en carbone de 2007. Selon ce scénario, les émissions de GES dues à l'énergie seraient de l'ordre de 27 MTECO₂ à l'horizon 2011.
- Un scénario volontariste de réduction de GES basé sur une politique accélérée de maîtrise de l'énergie (voir précédemment). Les économies d'énergie réalisées permettent de réduire les émissions de GES dues à l'énergie à environ 24 MTECO₂ à l'horizon 2011.

Figure 16 – Evolution des émissions de GES dues à l'énergie 2008-2011



C'est le second scénario qui est officiellement retenu par le Gouvernement Tunisien. Les principales hypothèses retenues dans le deuxième scénario sont :

- L'indexation progressive des prix intérieurs de l'énergie sur le marché international avec principale conséquence la stagnation des émissions de GES due à la consommation de carburants ;
- Le soutien au développement des énergies renouvelables (éolien notamment) ;
- L'intensification de programme d'efficacité énergétique (notamment industrie et bâtiment) ;
- Développement de l'utilisation du gaz naturel dans la production d'électricité, l'industrie et le bâtiment.

2.2. Impacts sur l'intensité en carbone

L'impact du scénario alternatif sur l'évolution de l'intensité en carbone devrait être au moins équivalent à celui de l'intensité énergétique primaire. En d'autres termes, l'intensité en carbone devrait être réduite d'au moins 3% par an sur la période 2008-2011.

2.3. Coût de la TECO₂ évitée

Le programme quadriennal de maîtrise de l'énergie devrait permettre d'éviter environ 9 MTECO₂ sur la période 2008-2011 soit environ 45 MTECO₂ sur toute la période de vie des actions préconisées. Rappelons que l'investissement total pour le programme a été estimé à environ 1100 MDT (610 M€). En conséquence, le coût de la tonne de CO₂ évitée peut être estimé à environ 24 dinars par TECO₂, soit près de 14 euros par TECO₂.

3. LE MECANISME POUR UN DEVELOPPEMENT PROPRE AU SERVICE DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE

Grâce à sa politique volontariste de maîtrise de l'énergie et son développement socio-économique orienté vers les secteurs non énergétivores, la Tunisie est l'un des pays en développement ayant une intensité en carbone les moins élevées. Le programme quadriennal de maîtrise de l'énergie 2008-2011 devrait contribuer à l'accélération de la transition vers une économie à basse intensité en carbone, avec l'adoption d'un scénario à faible contenu en carbone. En 2011, les émissions de GES seraient moins élevées de 20% par rapport à celles enregistrées en cas de scénario tendanciel (maintien de l'intensité énergétique de l'année 2004). L'intensité en carbone devrait diminuer d'au moins 3% par an sur la période 2008-2011.

Par ailleurs, du fait de sa capacité de réduction des émissions de gaz à effet de serre, la maîtrise de l'énergie peut largement bénéficier des financements dans le cadre du Mécanisme pour un Développement Propre (MDP). De ce fait, depuis sa ratification du Protocole de Kyoto en 2002, la Tunisie accorde une importance prioritaire à la mise en œuvre de projets MDP dans le secteur de l'énergie. Pour tirer profit du marché international du carbone et exploiter l'apport financier du MDP, le Ministère de l'Industrie, de l'énergie et des PME a mis en place une Task Force MDP chargée de faciliter le développement des projets MDP dans le secteur de l'énergie. L'intervention ce groupe s'articule autour de trois axes majeurs :

- La réalisation et la mise à jour d'un portefeuille de projets MDP dans le secteur de l'énergie ;
- L'accompagnement des porteurs de projets MDP dans l'enregistrement des projets auprès du Conseil Exécutif du MDP (élaboration de la NIP et du PDD, validation, enregistrement, etc.) ;
- L'assistance à la vente des unités de réduction certifiées d'émissions (URCEs).

Au-delà du portefeuille de projets MDP et de l'accompagnement des porteurs de projets dans les différentes phases du cycle d'enregistrement, les travaux de la Task Force devraient permettre d'appuyer l'intégration du MDP dans le schéma de financement des projets de maîtrise de l'énergie.

En effet, la réalisation des projets d'efficacité énergétique et des énergies renouvelables durant le programme quadriennal implique des besoins d'investissements relativement lourds estimés à plus de 1,1 Milliards de dinars tunisiens. Environ 15% seulement de ce montant est mobilisable par le biais du Fonds National de Maîtrise de l'Energie (FNME).

Le financement complémentaire devrait se faire par des apports en fonds propres et des lignes de crédit dédiées à la maîtrise de l'énergie. A ce titre, le MDP peut générer des revenus annuels importants pour bonifier les taux d'intérêt des crédits nécessaires au financement de ces investissements permettant la réduction des émissions en carbone du secteur de l'énergie.

Projets MDP à un stade avancé

Parmi les 20 projets approuvés par l'AND, il y a lieu de citer deux projets relativement avancés. Il s'agit d'abord du programme PROSOL en cours de validation par l'entité opérationnelle désignée. Ce projet devrait apporter des revenus MDP d'environ 3 M€ sur la durée de vie de comptabilisation.

Le second programme est celui de la diffusion des lampes basses consommation qui devrait apporter des revenus MDP de l'ordre de 12 M€.

Les deux projets font appel à la nouvelle approche programmatique adoptée officiellement par le Conseil Exécutif MDP en juin 2007. Cette approche ouvre des perspectives fort prometteuses pour l'efficacité énergétique, notamment dans les secteurs diffus, tels que le bâtiment.

Au début de l'année 2008, l'AND a déjà approuvé une vingtaine de projets MDP dans le secteur de l'énergie, soumis par la Task Force MDP. En terme de revenus MDP, ces projets devraient générer environ 200 M€ sur la durée de vie⁸, qui pourraient être intégrés dans leur financement.

Parmi ces derniers, certains nécessitent des investissements lourds devant faire l'objet d'intervention de bailleurs de fonds internationaux. Toutefois, ces projets rapportent d'importants revenus MDP.

Parmi ces derniers, il y a lieu de citer notamment :

- L'autoproduction éolienne : 2 MTECO₂
- La cogénération : 4,5 MTECO₂
- La récupération des gaz associés : 56 MTECO₂
- L'éolien raccordé au réseau : 5 MTECO₂
- La substitution au gaz naturel : 1 MTECO₂

⁸ Sur la base de 10 €/TECO₂.

V. CONCLUSION

Sur la période 2008-2011, les investissements prévus dans la maîtrise de l'énergie en Tunisie atteindraient 13% du montant total des investissements dans le secteur conventionnel de l'énergie (infrastructure de production, de transformation et de distribution d'énergie). Ce taux, jamais atteint dans l'histoire de la maîtrise de l'énergie en Tunisie, traduit une réelle accélération de la politique tunisienne en la matière.

Toutefois, cette intensification des investissements n'aurait pu être possible sans un effort préalable de préparation, entamé par les pouvoirs publics depuis plus d'une vingtaine d'année. Ce travail structurel, a permis de mettre en place les outils institutionnels, réglementaires, fiscaux et financiers créant ainsi un environnement favorable à la maîtrise de l'énergie. Ce travail de longue haleine a permis également de préparer les conditions propices au changement d'échelle : création et renforcement des compétences, sensibilisation de l'ensemble des acteurs privés et publics (administration, ménages, industriels, secteur financier, etc.), développement du partenariat public-privé, renforcement de la coopération internationale, etc.

Sur le plan énergétique, les impacts de cet effort sont indéniables puisque l'intensité énergétique de l'économie tunisienne, et par conséquent l'intensité en carbone, n'a cessé de décroître sur les deux dernières décennies avec une baisse plus prononcée depuis 2000. Ce rythme devrait s'accélérer dans l'avenir pour atteindre 3% par an tout le long de la période 2008-2016.

Sur le plan macro-économique, les investissements réalisés dans la maîtrise de l'énergie sont très rentables pour la collectivité puisque le coût de la tep économisée est aujourd'hui 4 à 5 fois moins cher que le coût d'approvisionnement de la tep en gaz naturel, considéré comme l'une des énergies conventionnelles la moins chère pour la Tunisie. Le coût de la tep économisée devrait même décroître dans les années à venir, bénéficiant des retombées des mesures structurelles de long terme mises en place dans la phase préparatrice passée (réglementation thermique des bâtiments, certification et labellisation des appareils électroménagers, mise en place de mécanismes financiers, etc.).

Il est certain que la flambée du prix international de l'énergie observée depuis 2005 a joué un rôle d'étincelle qui a déclenché l'accélération du processus de changement d'échelle dans la maîtrise de l'énergie en Tunisie. Toutefois, cette étincelle n'aurait eu aucun effet si les conditions n'étaient pas propices et préparées suffisamment à l'avance grâce à une politique de maîtrise de l'énergie à long terme, constante et indépendante de la fluctuation du prix du baril.

Ainsi, une baisse à venir du baril, bien que peu probable, ne devrait pas infléchir les efforts de maîtrise de l'énergie. Une politique conjoncturelle dans ce domaine coûterait souvent trop cher pour la collectivité, en tout cas, beaucoup plus cher qu'une politique de long terme.

Enfin, il convient de souligner l'importance de la mise en place de systèmes fiables de suivi et d'évaluation des politiques de maîtrise de l'énergie. Cela est indispensable pour optimiser ces politiques, d'une part, et pour fournir les éléments nécessaires au dialogue et à la concertation entre les acteurs nationaux, d'autre part. A ce titre, la méthode des indicateurs est l'une des approches les plus appropriées et les moins coûteuses pour assurer ce suivi. Elle nécessite toutefois, la mise en place de systèmes d'information énergétiques et environnementaux fiables et à jour.

Au niveau de la région euro-méditerranéenne, ces systèmes d'information devraient être élaborés à l'échelle de chaque pays, mais de manière cohérente sur l'ensemble de la zone. Ceci permettrait de comparer les performances des politiques nationales de maîtrise de l'énergie des pays de la région et favoriser progressivement la définition d'objectifs communs.

CHAPITRE 7

Coût d'un scénario moins émetteur en gaz à effet de serre :

A. En Tunisie

B. En Egypte

Rafik Y Georgy
Consultant, Energy& Environment Expert

Adel T. S. Beshara, Ph.D.
Consultant, Cairo - Egypt

TABLE DES MATIERES

MESSAGES CLES	37
INTRODUCTION	39
I. VUE D'ENSEMBLE SUR LES PRATIQUES ENERGETIQUES ACTUELLES EN EGYPTE	41
1. Analyse de la matrice et pratiques actuelles de production d'énergie	41
2. Analyse et évolution des structures et des pratiques de la consommation	43
3. Analyse du cadre institutionnel actuel	45
4. Conclusion	49
II. PERSPECTIVES DE REDUCTION DES EMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DE L'ENERGIE D'ICI 2015	50
1. Emission en GES en Egypte	50
2. La pratique actuelle de contrôle/réduction des émissions de GES dans le secteur de l'énergie	53
III. REFORMES POLITIQUES ET PLANS D'ACTIONS PROPOSES POUR ATTEINDRE DE PLUS FAIBLES EMISSIONS DE CO₂ DANS LE SECTEUR DE L'ENERGIE	61
1. Examen du rôle des ER et des URE dans les efforts d'atténuation du CC en Egypte	61
2. Législations et mesures de la réforme du marché visant à renforcer le rôle des ER et de l'URE	66
3. Mesures proposées pour la mise en œuvre des réformes du marché	69
IV. COUT D'INVESTISSEMENT ET ASPECTS ECONOMIQUES DU SCENARIO ENERGETIQUE A FAIBLE CONTENU EN CARBONE	72
1. Perspectives de réalisation d'un environnement favorable à l'investissement en ER et URE	73
2. Analyse économique des projets proposés d'ER et d'URE	79
3. Estimation du coût total des projets proposés pour le scénario d'énergie à plus faible contenu en carbone	86
V. SYNTHESE DES CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	88
1. Le contexte égyptien et les enjeux de l'élaboration d'un scénario alternatif d'énergie à faible teneur en carbone	88
2. RECOMMANDATIONS	89
VI. CONCLUSION	91

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 - Impact de l'élévation du niveau de la mer sur le Delta du Nil.....	52
Figure 2 - Capacité éolienne accumulée installée prévu d'ici 2020/21	56
Figure 3 - Evolution des émissions de GES liées à l'énergie et émissions totales d'ici 2014/15	57
Figure 4 - Evolution des capacités éoliennes installées jusqu'à 2007	62
Figure 5 - Addition annuelle de la capacité éolienne et les parts relatives de la NREA et du secteur privé jusqu'en 2020/21	71
Figure 6 - Développement du potentiel du marché de l'éolien, basé sur différentes approches	76
Tableau 1 - Contribution des émissions de GES des différents secteurs en 1990/1991 en Millions de tonnes de CO ₂ éq et en % des émissions totales	51
Tableau 2 - Emissions totales en CO ₂ de la consommation en énergie (en mtCO ₂ éq.) dans les secteurs d'utilisation finaux avec la part relative en pourcentage de chaque secteur.....	51
Tableau 3 - Résultats d'analyse économique d'un projet de parc éolien de 200 MW installé à Gabal El-Zeit (Golf du Suez).....	80
Tableau 4 - Les résultantes d'analyse économique d'un projet de 50 000 systèmes de chauffe eau solaires qui remplace des chauffes eau électriques.....	82
Tableau 5 - Coût total des projets proposé pour transformer le scénario de référence en scénario alternatif jusqu'en 2014/15	86
Tableau 6 - Coût d'investissement total du scenario de référence jusqu'en 2014/15.....	87

MESSAGES CLES

Le cadre institutionnel du secteur énergétique a un impact primordial sur la façon de traiter les questions d'énergie durable. Ce cadre devrait représenter l'outil de la formulation de toute stratégie énergétique. Des réformes majeures au niveau du marché et des institutions seraient nécessaires pour amener l'Egypte à un scénario alternatif d'énergie basé sur : une exploitation plus rationnelle des ressources naturelles et un usage final plus efficace réduisant ainsi les émissions de CO₂.

Etant donné que le secteur de l'énergie contribue par plus de 71% d'émissions totales de GES en Egypte; la dépendance croissante aux combustibles fossiles mettrait en danger non seulement la future sécurité énergétique nationale mais compromettra également toutes les perspectives nationales de développement durable puisque selon le scénario de référence, l'Egypte devra importer une partie de ses besoins en combustibles fossiles aux prix internationaux actuellement très hauts. Le coût sera donc élevé. La création d'une agence, dédiée à l'ER (NREA) sous l'ombrelle du ministère de l'électricité, a facilité la réalisation de l'engagement déclaré de l'Egypte pour l'augmentation du rôle de l'ER dans son système énergétique ; en particulier pour l'énergie éolienne. En revanche, moins de déploiements significatifs peuvent être observés dans le domaine de l'URE en raison de l'absence d'une telle institution. La durabilité incertaine des ressources énergétiques conventionnelles et la demande toujours croissante fait du renforcement du rôle de l'ER et de l'URE une nécessité plutôt qu'un choix.

L'ambitieux nouveau plan d'énergie éolienne a pour objectif de satisfaire 12% de la demande d'électricité d'ici 2020, soit 7200 MW en capacité éolienne totale installée. Une fois mise en place, celle-ci se traduira par une réduction des émissions annuelle de GES d'environ 17 MtCO₂eq et de l'économie de combustible de 7.2 Mtep annuellement. En plus des 600 MW de fermes éoliennes déjà installées ou en cours de construction, à l'horizon 2014/15, le plan d'énergie éolienne prévoit d'installer 3000 MW supplémentaire; la capacité installée totale sera donc de 3600 MW.

Cependant compte tenu des conditions du marché et des conditions de vent favorables sur le site de Gable El-Zeit, il est estimé que seuls 2200 MW sur les 3000 prévus officiellement jusqu'à 2014/15 peuvent être atteints. Par conséquent, cette capacité sera considérée dans le cadre du scénario de référence. Cette étude a pris en compte les 800 MW manquant et les autres actions proposées dans un scénario d'énergie alternatif moins émetteur en CO₂ à l'horizon 2014/15. Les activités supplémentaires identifiées et estimées en termes d'investissement possible, en vertu du scénario alternatif à faible continu en carbone, concernent: quatre installations d'énergie éoliennes, chacune d'une capacité de 200 MW (soit un total de 800 MW, afin d'atteindre l'objectif des 3600 MW), un programme de chauffe-eau solaire et une initiative d'éclairage efficace. Le coût d'investissement total de ces actions, qui composent le scénario alternatif proposé, est estimé à environ 1,3 milliards d'euros. Cet investissement représente environ 10% du total de l'investissement prévu (environ 12,7 milliards d'euros) dans les secteurs de l'électricité et du pétrole d'ici 2014/15.

L'analyse économique des projets proposés reflète l'impact négatif de la subvention des tarifs de l'électricité sur le Taux de Rentabilité Interne (TRI) et indique que les prêts à conditions avantageuses améliorent le rapport coût-bénéfices de ces projets. En effet ces deux données reflètent le fait que des réformes tarifaires nécessaires et des prêts à taux réduit pourraient fortement stimuler la réalisation d'un scénario alternatif de l'énergie. Néanmoins, même avec les subventions actuelles à l'énergie, l'efficacité énergétique peut être économiquement rentable. L'analyse économique des projets d'énergie éolienne a également indiqué que le coût des investissements permettant l'économie d'une tep (tonne équivalent pétrole) est estimé à 50 euros/tep, alors que celle de l'efficacité énergétique est de 20 à 30 euros/tep. Le coût de l'émission de GES évitée peut être estimé à 19 euro/t CO₂eq pour les projets éoliens et 10 pour les activités de l'Efficacité Énergétique (EE).

Enfin, la coopération euro-méditerranéenne et la contribution accrue des institutions financières internationales (IFI) comme la BEI pourraient jouer un rôle clé pour aider l'Égypte à mieux formuler sa stratégie énergétique. La mise en œuvre de cette stratégie nécessite des réformes concrètes pour atteindre un scénario alternatif d'énergie moins émetteur en carbone basé sur la maximisation du rôle des ER et de l'URE.

Les activités supplémentaires identifiées et estimées en termes d'investissement possible, en vertu du scénario alternatif à faible continu en carbone, sont les suivantes :

- quatre installations d'énergie éoliennes, chacune d'une capacité de 200 MW (soit un total de 800 MW, afin d'atteindre l'objectif des 3600 MW),
- un programme de chauffe-eau solaire
- une initiative d'éclairage efficace.

Le coût d'investissement total de ces actions, qui composent le scénario alternatif proposé, est estimé à environ 1,3 milliards d'euros. Ce montant représente environ 10% du total de l'investissement prévu d'ici 2014/15 (environ 12,7 milliards d'euros) dans les secteurs de l'électricité et du pétrole.

L'analyse économique des projets proposés reflète l'impact négatif de la subvention des tarifs de l'électricité sur le Taux de Rentabilité Interne (TRI) et indique que les prêts à conditions avantageuses améliorent le rapport coût-bénéfices de ces projets. En effet, ces deux données reflètent le fait que des réformes tarifaires et des prêts à taux réduit pourraient fortement stimuler la réalisation d'un scénario alternatif de l'énergie. Néanmoins, même avec les subventions actuelles à

l'énergie, l'efficacité énergétique peut être économiquement rentable. Par exemple, selon les perspectives sociétales, le programme proposé dans cette étude de 40 millions de Lampes à Basse Consommation (LBC) aurait un coût de 102 millions d'euros par rapport à une valeur actualisée du bénéfice net estimée à 212 millions d'euros. D'autre part, selon la perspective des services publics (compagnies d'électricité), si les LBC sont utilisés par le consommateur moyen, il en résulterait un bénéfice net d'une valeur actualisée de 78 millions d'euros sans aucun frais supplémentaire. En plus de cela, les clients forts consommateurs en électricité (plus de 350 kWh/mois), ont une période de récupération pour chaque lampe de moins d'un an, sachant que la durée de vie d'une lampe est de 5 ans. Cet exemple montre clairement l'urgence de considérer dès maintenant l'efficacité énergétique comme une priorité en Egypte. Cela donne également une preuve supplémentaire qu'il est toujours plus avantageux de réduire la consommation que d'augmenter la production d'énergie.

L'analyse économique des projets d'énergie éolienne a également indiqué que le coût des investissements permettant l'économie d'une tep (tonne équivalent pétrole) est estimé à 50 euros/tep, alors que celle de l'efficacité énergétique est de 20 à 30 euros/tep. Le coût de l'émission évitée des GES peut être estimé à 19 euro/tCO₂eq pour les projets éoliens et 10 pour les activités de l'Efficacité Energétique (EE).

Enfin, la coopération euro-méditerranéenne et la contribution accrue des institutions financières internationales (IFI) comme la BEI pourraient jouer un rôle clé pour aider l'Égypte à mieux formuler sa stratégie énergétique. La mise en œuvre de cette stratégie nécessite des réformes concrètes pour atteindre un scénario alternatif d'énergie moins émetteur en carbone basé sur la maximisation du rôle des ER et de l'URE.

INTRODUCTION

Problématique et Contexte

En Egypte, l'analyse de la consommation et de la production d'énergie au cours des 25 dernières années révèle que le taux de croissance de la consommation annuelle moyen (4,8%) est beaucoup plus élevé que celui de la production (2,8%). Cette différence ou cette tendance négative souligne la nécessité de renforcer la contribution des Energies Renouvelables (ER) dans la production énergétique et simultanément de réduire la consommation au moyen d'actions d'Utilisation Rationnelle de l'Énergie (URE). Si la pratique actuelle de la production et de la consommation d'énergie continue de la sorte, sans aucune amélioration (scénario de référence), les ressources en combustibles fossiles ne permettront pas de satisfaire la demande toujours croissante, à court et à moyen terme.

Les cadres législatif et institutionnel jouent un rôle fondamental en ce qui concerne l'évolution du pays vers l'utilisation d'énergie durable. Ces cadres devraient jouer le rôle principal dans la formulation de toute stratégie touchant à l'énergie. Des réformes majeures de ces cadres institutionnels de l'énergie et du marché seraient nécessaires pour conduire l'Egypte vers un scénario énergétique alternatif basé sur l'exploitation plus durable des ressources naturelles et plus efficace au niveau de l'utilisation finale, et ainsi réduire les émissions de CO₂.

Afin d'évaluer le coût d'un scénario alternatif visant à réduire les émissions de CO₂, pour l'Egypte d'ici 2015, le point de départ serait un scénario énergétique de référence, qui se baserait sur un plan d'action structuré en fonction du savoir-faire actuel. Une fois les détails de ce scénario de base développés, les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) et le coût d'investissement du scénario pourront alors être estimés. Sur la base de l'évaluation des émissions de GES projetées par le scénario de référence, un scénario alternatif moins émetteur en GES pourra être proposé. Toute proposition de scénario énergétique alternatif sera considérée comme valable si et seulement si elle fournit la même quantité de produits et de services que le scénario de référence, en utilisant soit moins d'énergie (URE), soit la même quantité d'énergie mais plus propre (RE) ou une combinaison de ces deux processus. De même, le critère de sélection d'un scénario alternatif sera lié à son coût d'investissement et à la valeur réduite des émissions de GES par rapport au scénario de référence.

Objectif

Etant donné que l'Egypte ne s'est pas fixée d'objectifs en terme de réduction des émissions de GES, le but principal de ce sous-chapitre est d'esquisser un scénario de référence pour le secteur de l'énergie. Il sera fondé sur les plans officiels déclarés de l'énergie conventionnelle et de l'énergie éolienne. De même, un scénario alternatif à faible contenu en carbone d'ici 2014/15 sera établi par le biais d'autres projets complémentaires proposés dans cette étude et qui n'étaient pas inclus dans les plans existants. L'estimation des coûts du scénario alternatif proposé est donc une partie intégrante du présent rapport.

Source d'information

La plupart des informations utilisées dans ce sous-chapitre ont été obtenues à partir d'une étude antérieure effectuée pour le Plan Bleu en 2007, intitulée "Egypt National Study" dans le cadre des activités de stratégies nationales de développement durable en Méditerranée. La mise à jour des données sur les GES a été effectuée à partir des rapports de statistiques annuelles selon la disponibilité des données, et à partir de communications directes avec les différentes organisations concernées. Une autre source importante d'informations a été l'étude des rapports élaborés par des experts internationaux, pour la New and Renewable Energy Authority (NREA) en coopération avec

des organisations internationales (Banque mondiale, la KFW, la DANIDA, la JBIC, le FEM, le PNUD, etc.). Les données concernant la nouvelle proposition de loi de l'électricité et les informations sur réglementation ont été obtenues à partir de présentations et d'exposés développés par l'Organisme de Réglementation de l'Electricité (ERA). Les estimations de coûts d'investissement ont été établies à partir des données disponibles dans le secteur de l'énergie (présentations et conférences, rapports internes et contacts personnels). D'autres informations ont été extraites d'articles de journaux et de sites internet. Les avis d'experts ont été introduits comme compléments.

Sommaire

La première partie de ce sous-chapitre sur l'Egypte comprend une vue d'ensemble des pratiques actuelles de l'offre et la demande en énergie.

La deuxième partie examine les perspectives de réduction des émissions de GES dans le secteur de l'énergie d'ici 2015., Des objectifs de réduction des GES basés sur les pratiques actuelles et considérés comme le scénario de référence sont proposés pour formuler un scénario énergétique alternatif à faible contenu en carbone.

La troisième partie de ce travail présente le projet des politiques de réformes planifiées et des plans d'action préalablement annoncés, ainsi que d'autres proposées par les auteurs qui conduiront à une baisse des émissions de CO₂ dans le secteur de l'énergie. Des législations et des mesures de réformes du marché, visant à renforcer le rôle des ER et de l'URE, sont également présentées et en particulier le projet de loi de l'électricité, envoyé récemment au parlement pour ratification. L'ERA a déjà préconisé d'autres mesures de réformes, qui seront mises en œuvre afin de compléter et d'appuyer l'application de la loi sur l'électricité une fois qu'elle sera approuvée.

La quatrième partie aborde la question des coûts du scénario alternatif à faible contenu de CO₂ (proposé dans cette étude) ainsi que les perspectives pour la réalisation d'un environnement favorable à l'investissement dans les ER/URE.

Enfin, nous présenteront une synthèse des conclusions et des recommandations.

I. VUE D'ENSEMBLE SUR LES PRATIQUES ENERGETIQUES ACTUELLES EN EGYPTE

Cette partie¹ offre un aperçu rapide du profil et de l'évolution historique de la production et de la consommation en énergie en Egypte. L'accent est mis notamment sur les deux secteurs de l'énergie en Egypte, à savoir le pétrole (produits pétroliers et gaz naturel) et l'électricité.

En outre, cette partie propose une vue d'ensemble et une analyse systématique du cadre institutionnel du secteur de l'énergie en Egypte, incluant les institutions responsables de l'électricité, du pétrole, des Energies Renouvelables (ER) et de l'Utilisation Rationnel de l'Energie (URE). Des barrières institutionnelles et des propositions pour surmonter ces barrières seront également discutées. Différentes observations et remarques porteront notamment sur la nécessité de réforme des institutions et du marché de l'énergie. D'autres propositions, relatives à la planification stratégique nécessaire à la mise en valeur du rôle des ER et URE, seront avancées.

1. ANALYSE DE LA MATRICE ET PRATIQUES ACTUELLES DE PRODUCTION D'ENERGIE

1.1. Matrice de production d'électricité

La capacité installée de production électrique a augmenté au cours des cinq dernières années d'un taux de croissance annuel moyen de près de 6,5%. En 2005/06 la capacité installée totale a atteint 20,5 GW.

1.1.1. Centrales thermiques classiques d'énergie électrique

En 2005/2006, près de 85% de la capacité de production d'électricité en Egypte dépendait de combustibles fossiles (fioul ou gaz). Environ 56% de la capacité d'offre d'électricité provenait des centrales électriques à turbines à vapeur fonctionnant au gaz naturel ou au fioul (mazout) lourd : 17% provenait des centrales à turbines à gaz à cycle combiné utilisant le gaz naturel comme combustible, et 12% était produit par des centrales électriques à turbine à gaz à cycle ouvert utilisant du gaz naturel et/ou de fioul léger.

1.1.2. Installations de production d'électricité à partir de sources d'énergies renouvelables

Toutes les centrales hydroélectriques sont prises en compte dans cette catégorie. En 2005/2006, la capacité des centrales hydroélectriques était de 2783 MW représentant moins de 14% de la capacité totale installée. La capacité installée des centrales éoliennes (183 MW) ne représentait environ qu'1%

¹ Plus de détails sur cette partie peuvent être obtenues dans une autre étude intitulée "Egypt's National Study" en 2007 sous les activités de Développement Durable en Méditerranée et peut être obtenue de site web de Plan Bleu: http://www.planbleu.org/publications/atelier_energie/EG_National_Study_Final.pdf

de la capacité totale du système. Il convient de souligner qu'au début de 2008, la capacité installée des parcs éoliens de production d'électricité avait atteint 310 MW.

1.2. Evolution de la matrice de production électrique

En 1970, la capacité installée des centrales hydroélectriques représentait environ 70% de la capacité totale de production d'électricité. Ce pourcentage n'a cessé de diminuer avec la demande toujours croissante en électricité. A cause du potentiel limité d'augmentation de la capacité hydroélectrique, des centrales thermiques ont été installées afin de répondre à cette demande. Le part de la capacité des centrales hydrauliques est tombé à 14% en 2005/06. Il est prévu qu'elle descende jusqu'à 4,1% d'ici 2029/2030.

Les carburants utilisés dans les centrales thermiques étaient des fiouls lourds et légers. Cependant, depuis le début des années 1990, le gaz naturel a graduellement commencé à être le combustible principal employé pour l'offre d'électricité dans les centrales thermiques. Le rapport du gaz naturel dans les combustibles utilisés pour la production d'électricité a atteint un sommet de 91% en 2001/02. La tendance s'est ensuite inversée au cours des cinq dernières années et le rapport du gaz naturel bien que fluctuant, a baissé à une moyenne de 81%. En 2005/06 la proportion du gaz naturel a diminué jusqu'à 79,6%. La tendance récente qui a vu la baisse de la part du gaz a été compensée par l'utilisation de fioul lourd (17% en 2005/2006) à la demande du ministère du Pétrole. Cela peut s'expliquer par les raisons suivantes :

- l'obligation à long terme à l'export du gaz naturel en tant que source principale de devises fortes
- la baisse de la valeur calorifique du gaz naturel au cours de ces dernières années
- et peut-être la tendance dans le secteur pétrolier de vendre plus de gaz à d'autres consommateurs qui paie plus que le secteur de l'électricité qui bénéficie de tarifs préférentiel.

La nouvelle tendance à la construction de centrales électriques à cycle combiné est apparue au cours de la dernière décennie. Elle représente une part de 17% de la capacité de production totale d'électricité en 2005/2006, et on s'attend à ce qu'elle atteigne 27% en 2020/2021.

Au cours de l'année 2007, le gouvernement a exprimé son intention d'amorcer un programme de construction d'une série de centrales nucléaires ; la première devant être opérationnelle aux alentours de 2017. En février 2008 l'Autorité des Centrales Nucléaires avait déjà lancé un appel d'offre international pour sélectionner un consultant qui aiderait l'Égypte à la formulation et à l'exécution de son programme nucléaire. Cette consultation comprendrait l'assistance technique requise pour l'installation d'une première centrale initialement prévue à El-Dabaa située sur la côte Méditerranéen nord-ouest.

La capacité installée de l'énergie éolienne devrait atteindre environ 7200 MW en 2020/21. Le plan national d'ER prévoit l'augmentation de la capacité installée d'environ 600 MW d'éoliennes chaque année à partir de 2010/11. Ces projections prévoient des réformes sectorielles et du marché de l'électricité comme qui seront détaillés dans la partie III du présent chapitre.

1.3. Production pétrolière (pétrole et gaz naturel)

1.3.1. Production de pétrole brut

La production de pétrole brut a diminué constamment depuis 1990/91 où la production était 45.6 Mtep . Elle a atteint une valeur inférieure de 32 Mtep durant 2006/07 avec un taux de diminution annuel moyen de 2.4 %.

1.3.2. Gaz naturel

La production de gaz naturel a augmenté de 7.2 Mtep au cours de l'année 1991/92 pour atteindre 41.3 Mtep en 2006/07 avec un taux de croissance annuel moyen de 12.3 %.

1.4. Evolution de la production totale de pétrole et de gaz naturel

La production totale de pétrole et de gaz naturel en Egypte pour l'année 2005 était de 58 Mtep. Etant donné que la consommation égyptienne était de 49 Mtep en 2005, et que la part réservée à l'Egypte de cette production totale (58 Mtep) était de 39 Mtep, le reste était la part des partenaires étrangers. L'Egypte a donc été obligée de racheter 10 Mtep à ses partenaires étrangers au prix du marché international.

En 2006, l'Egypte a intensifié sa production de gaz naturel destinée à l'exportation. La production totale de produits pétroliers a atteint 71 Mtep et la part réservée à l'Egypte était 44 Mtep alors que sa consommation totale était de 52 Mtep. La quantité achetée aux partenaires étrangers en 2006 est descendue à 8 Mtep.

Au cours des 10 dernières années, en raison de la diminution de la production de pétrole et de l'augmentation de la production de gaz naturel, la proportion de gaz naturel dans la consommation nationale de fioul a augmenté d'environ 20% en 1996/97 à environ 56 % en 2006/07.

Entre 1980 et 2006, la production totale de pétrole et de gaz naturel a augmenté de 34.5 à 71 Mtep, se traduisant par un taux de croissance annuel moyen de production (pétrole et gaz naturel) d'environ 2.8 %.

2. ANALYSE ET EVOLUTION DES STRUCTURES ET DES PRATIQUES DE LA CONSOMMATION

2.1. Consommation d'énergie électrique

Les secteurs résidentiel et de l'industrie sont les principaux utilisateurs finaux d'électricité en Egypte. En 2005/06, ils ont représenté respectivement 36% et 35% de la demande totale d'électricité qui s'élevait à 93 TWh. Ces deux secteurs ont été des forces majeures responsables de la croissance rapide de la demande d'électricité, représentant 67% de la croissance totale de la demande d'électricité au cours des 5 dernières années.

Les taux de croissance annuel par secteur se répartissent de la sorte :

- Industriel 5.9%
- Résidentiel 7.5%
- Commercial 10.2%
- Infrastructures Publiques 9.4%
- Gouvernement 8.3%
- Agriculture 7.9%

La consommation d'électricité par habitant en Egypte a augmenté en moyenne de 5 % par an depuis 1980/81, passant de 380 KWh/habitant en 1980/81 à 1225 KWh/habitant en 2004/05. Malgré la consommation d'électricité par personne en 2004/05, toujours au-dessous de la moyenne mondiale (2330 KWh/habitant), le taux de croissance annuel est plus du triple du taux de croissance mondial moyen annuel (1.6 %).

On doit noter que le taux de croissance annuel de la charge de pointe agrégée en électricité est pratiquement la seule force motrice du plan d'expansion du secteur de l'électricité. En supposant qu'il existe des degrés de saturation dans le secteur des utilisateurs finaux, on s'attend à ce que le taux de croissance des besoins énergétiques annuel futur ait une valeur moyenne de 5.7 %. On s'attend également à ce que le taux de croissance suive les changements suivants :

- Pour la période 2005/06 à 2010/11: 6.6% par an.
- Pour la période 2010/11 à 2020/21: 5.8% par an.
- Pour la période 2020/21 à 2029/30: 5.2% par an.

Il est important de mentionner qu'au cours des 25 dernières années la consommation d'électricité a augmenté d'un taux de croissance annuel moyen d'environ 6.7 %. Le Produit Intérieur Brut (PIB), quant à lui, a augmenté d'une valeur moyenne annuelle inférieure à 4.5 %. Cela serait attribué aux pratiques actuelles de la consommation d'électricité qui sont caractérisées par une basse efficacité d'utilisation de l'énergie électrique (haute intensité d'énergie électrique). On s'attend à ce que cette situation s'améliore grâce à des réformes des tarifs de l'électricité et à la libéralisation du marché. D'autre part, le Gouvernement Egyptien (GE) s'est récemment engagé dans un dialogue avec l'UE, dans le cadre du Partenariat Euro-Méditerranée, sur son éventuelle intégration dans un marché d'électricité régional. Une telle intégration impliquerait également des réformes importantes dans le secteur de l'énergie égyptien, qui devrait libéraliser son marché d'électricité (en principe avant 2010). Le Programme MEDA de l'UE fournit de l'assistance technique sur les mesures financières et techniques qui doivent accompagner la réforme des structures économiques et les pratiques de gestion (toujours sous l'ombrelle du partenariat Euro-méditerranéen).

Cependant, un travail significatif reste à fournir sur les étapes détaillées exigées pour atteindre l'objectif de libéralisation basé sur les politiques gouvernementales. Elles définissent les rôles respectifs des secteurs public et privé dans le financement des investissements requis pour le secteur de l'énergie à plus long terme. Bien que le GE reste ouvert à la participation du secteur privée, il opte encore pour un financement limité au secteur public. Cela s'explique par le statut financier actuel du secteur de l'énergie causé par les basses tarifications appliquées au consommateur final.

2.2. Consommation en produits pétroliers et gaz naturel

Entre 1980 et 2006, la consommation de pétrole et de gaz total a augmenté d'environ 4.8 % par an, passant de 15.6 millions de tonnes (Mtep) à 52 Mtep. Le pétrole et le gaz consommés pour générer de l'électricité ont augmenté de 4 à 21 Mtep avec un taux de croissance de 6.6 % par an. Parallèlement, la consommation en pétrole et en gaz pour d'autres secteurs est passée de 11.6 à 31 Mtep avec une croissance moyenne de 4 % par an.

Le secteur de l'électricité domine la consommation locale de gaz naturel, 60 % pour 2005/06, suivi par l'industrie d'engrais et les pétrochimies. On s'attend à ce que la part du gaz naturel destinée à la production d'électricité baisse à environ 50 % de la demande locale de gaz vers 2029/30.

En 2005/06, en Egypte, les exportations de gaz étaient équivalentes à 25 % de la demande locale en gaz, mais on s'attend à ce qu'elles atteignent un niveau maximal d'environ 60 % en 2012/13 et qu'elles redescendent ensuite à environ 35 % à l'horizon 2029/30.

Comme le gaz naturel prend une place prédominante dans l'économie égyptienne, en particulier du fait du potentiel de croissance des exportations, une tarification basée sur le coût réel du gaz devient de plus en plus importante. Ainsi, le GE planifie de développer une étude détaillée visant à déterminer la tarification du gaz et avec l'assistance de la Banque Mondiale. L'objectif de l'étude est d'évaluer le coût économique du gaz pour les consommateurs finaux à des points donnés sur le réseau (y compris les centrales thermiques). L'objectif de cette étude a été modifié plus tard pour inclure une stratégie de tarification de l'énergie en général (pas seulement le gaz) et devrait être achevé vers la fin 2008. Celle-ci fournira au GE une contribution importante pour sa politique de tarification de l'énergie à long terme. L'étude inclura également une analyse de sensibilité de l'impact du changement des prix du gaz sur le coût marginal à long terme de l'électricité (long run marginal cost, LRMC).

3. ANALYSE DU CADRE INSTITUTIONNEL ACTUEL

3.1. Arrière plan historique

3.1.1. Secteur de l'énergie électrique

Le Ministère de l'Electricité et de l'Energie (MOEE) est affilié à différentes Institutions, celles-ci incluent :

- The Egyptian Electricity Holding Company (EEHC) établie en 2000 qui possède actuellement 6 entreprises de production d'électricité (dont une d'hydro-électricité), 9 compagnies de distribution et une compagnie de transmission qui est aussi responsable de gérer le réseau électrique et représente enfin l'acheteur unique dans le marché de l'électricité ;
- The Hydropower Projects Executive Authority, responsable de l'installation de centrales hydro-électriques ;
- The Rural Electrification Authority (REA) qui est en cours de démantèlement partiel et qui doit disparaître en 2012 et qui couvre en l'électricité environ 99% de la population, même en milieu rural.

- The Nuclear Power Plants Authority (NPPA) sans activité notoire pour le moment, mais qui pourrait jouer un rôle dans le programme nucléaire en Egypte (comme indiqué plus haut dans l'article 1-1.2). ;
- Il y a également deux autres organisations, sous la tutelle du même ministère, qui sont le Commissariat Egyptien à l'Energie Atomique et l'Autorité des Matériaux Nucléaires ;
- Enfin, The New and Renewable Energies Authority (NREA).

Une agence réglementaire (l'Agence Egyptienne pour la Réglementation des Services Électriques et de la Protection des Consommateurs - ERA) a été créée en 2000 sous la supervision du Ministre de l'électricité et de l'énergie. Cette agence devrait coordonner et donner des licences à toutes les activités de production, de transmission et de distribution d'électricité en Egypte afin d'assurer la disponibilité de sa provision à prix justes. Un autre objectif principal de l'ERA devrait être de prendre les mesures appropriées pour assurer la concurrence loyale sur le marché de l'électricité.

3.1.2. Le secteur du pétrole

Le ministère du Pétrole (MOP) se constitue en 5 corps gouvernementaux, chacun couvrant un aspect des activités du ministère, ils se répartissent comme suit:

- The Egyptian General Petroleum Corporation (EGPC), qui gère toute l'exploitation et les activités de production du pétrole. Elle dirige aussi les transactions (exportation et l'importation), elle enregistre la quantité de produits pétroliers consommés par secteurs. Elle projette également les besoins futurs qui devront être mis à disposition de ces secteurs. EGPC représente le gouvernement dans tous les partenariats (joint-ventures) ayant lieu dans le secteur pétrolier.
- The Egyptian Natural Gas Holding Company (EGAS), gère toute la chaîne d'activités autour du gaz naturel jusqu'aux transactions d'exportations. Il enregistre aussi la consommation de gaz naturel et planifie les besoins futurs qui devront être rendus disponibles pour les différents secteurs consommateurs.
- Ganoub El-Wadi Petroleum Holding Company (GANOPE) est impliqué dans le développement des activités d'exploration du pétrole en Haute Egypte.
- Egyptian Petrochemicals Holding Company (ECHEM), gère toutes les activités dans ce domaine de spécialisation.
- Egyptian Mineral Ressources Authority, a récemment été annexée au ministère.

3.1.3. Activités d'Efficacité Energétique (EE) et d'Energies Renouvelables

Il n'existe pas encore d'institution unique responsable des activités de la maîtrise de l'énergie en Egypte, qui serait responsable de la planification intégrée et de la formulation des objectifs de l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (URE), qui mettrait en œuvre des actions liées à l'URE et qui assurerait un suivi de ses applications. En effet, les activités d'URE sont limitées, non-coordonnées et mises en œuvre par des institutions différentes à l'intérieur et à l'extérieur du secteur de l'énergie.

D'autre part, les activités d'énergie renouvelable sont sous la responsabilité de NREA, fondé en juillet 1986 et affilié au Ministère de l'Électricité et de l'Énergie qui supervise la gestion du secteur de l'énergie électrique dans son ensemble.

3.2. Les barrières institutionnelles existantes

La principale barrière institutionnelle est l'absence d'un corps gouvernemental ou d'un ministère unique responsable de mettre en place une stratégie énergétique intégrée sur le long terme. Si elle existait, cette entité ferait l'état des lieux de toutes les ressources disponibles et formulerait à partir de cela une stratégie énergétique optimale. Le Conseil Suprême de l'Énergie, fondé en 2007 et présidé par le premier ministre, est supposé jouer un rôle majeur dans cette direction. Cependant, il requiert de nombreux supports techniques expérimentés pour l'assister dans de telles questions pluridisciplinaires. D'autres barrières seront mentionnées dans les parties suivantes.

3.2.1. Le secteur d'énergie électrique

Le renforcement du rôle de l'agence réglementaire devrait permettre l'allégement de subventions tarifaires. Ces dernières représentent un frein à l'investissement du secteur privé dans la production, la transmission et la distribution d'électricité, selon les principes du marché libre. Le fait d'avoir le monopole d'acheteur unique dans le marché est aussi une autre barrière majeure.

Officiellement, l'agence réglementaire est liée au Ministre de l'Electricité et de l'Energie; une hiérarchie qui met en doute son indépendance par rapport aux institutions gouvernementales et ainsi sa capacité à soutenir le développement d'un marché libre.

3.2.2. Le secteur pétrolier

Une des principales barrières dans le secteur pétrolier est l'absence d'organisme réglementaire qui réglerait et contrôlerait la relation entre les utilisateurs finaux, les producteurs de pétrole et les fournisseurs de gaz naturel. De même, le fait qu'il n'existe pas de base de données de la consommation sectorielle du pétrole rend impossible la collecte d'informations qui permettrait l'évaluation de l'intensité énergétique dans chaque secteur. Cette absence gêne aussi l'évaluation des actions potentielles visant à l'utilisation rationnelle de produits pétroliers ainsi que le suivi de leur mise en œuvre. Une telle base de données devrait offrir la possibilité d'évaluer et de planifier correctement les consommations sectorielles qui seraient alors rationalisées.

3.2.3. Efficacité Énergétique (EE)

Comme indiqué ci-dessus, il n'y a aucune organisation nationale unique ou d'institution gouvernementale responsable des activités d'EE en Egypte. Beaucoup d'activités dispersées et non coordonnées ont été mises en œuvre, mais sans impact significatif dans le domaine de l'énergie nationale. Elles n'ont pas permis d'accumuler de l'expérience ni de pouvoir en bénéficier afin de reproduire ses succès. En conséquence, il n'y a aucun objectif quantifiable annoncé au niveau national, pour le court et pour le long terme, ni pour l'URE, ni pour l'amélioration de l'intensité énergétique.

3.2.4. Energies Renouvelables (ER)

La création de NREA en tant qu'organisation affiliée au ministère responsable du secteur de l'électricité a concentré son champ d'action sur la construction d'installations centrales de production d'électricité à partir d'ER, éolienne en particulier. Cette situation résulte en un détournement de l'intérêt accordé à l'exploitation d'autres potentiels prometteurs en ER, comme le

chauffe-eau solaire et la biomasse. Une autre barrière est l'implication omniprésente de la NREA à tous les stades du processus: de l'élaboration des politiques, aux les prises de décisions, au développement de projets, à leurs mises en œuvre, à leur opération et leur entretien. Dans ce processus multidisciplinaire, la présence d'un seul acteur à tous les stades présente clairement un conflit d'intérêt.

3.3. Aspects proposés pour le renforcement du cadre institutionnel existant

Pour surmonter les barrières institutionnelles existantes, qui empêchent la promotion du rôle majeur des ER et de l'URE dans les activités d'approvisionnement et de demande en énergie, des réformes institutionnelles et législatives interdépendantes doivent être prises.

Le rôle du Conseil Suprême de l'Énergie devrait être renforcé afin de formuler une vision intégrée qui a pour but d'établir une stratégie énergétique nationale sur le court, le moyen et le long terme. La stratégie retenue devrait définir le rôle de toutes les parties concernées par les matrices d'approvisionnement et de consommation en énergie. La stratégie doit établir des objectifs quantifiables, mesurables et réalisables pour les ER et l'URE. Le conseil pourrait aussi jouer un rôle actif dans la structure réglementaire et législative afin de promouvoir le développement du marché libre.

Le Conseil a déjà approuvé un objectif national déclaré qui consiste à fournir 20 % de la production d'énergie électrique annuelle à partir de ressources en ER d'ici 2020. Pour atteindre cet objectif 12 % pourraient provenir principalement de fermes éoliennes situées le long du Golfe de Suez au nord de la Mer Rouge, dont l'énergie de la capacité éolienne installée totale atteindra environ 7200 MW à l'horizon 2020. Les 8 % restants seront principalement issus de l'hydro-électricité, à laquelle s'ajoutent d'autres énergies renouvelables. Le conseil a aussi affirmé son intention de formuler un programme d'installation de centrales nucléaires afin de diversifier les ressources d'énergie et de faire face au manque potentiel des ressources conventionnelles d'énergie.

Afin de réaliser ces objectifs, le Conseil doit d'abord considérer l'URE comme une composante à part entière "des ressources d'énergie existantes" puis créer une organisation sous sa direction qui inclurait ces objectifs d'URE dans la stratégie nationale. Cette nouvelle organisation gouvernementale devrait mettre en œuvre des campagnes de sensibilisations publiques accompagnées par des mesures d'incitations appropriées et adaptées aux conditions locales du marché. Cette organisation devrait être seule à pouvoir proposer des politiques et des législations qui devront être approuvées par le conseil. Aussi, elle devrait mettre en place des plans d'actions, répartir les rôles des partenaires concernés, assurer le suivi et proposer les modifications nécessaires de la législation et des mécanismes d'implémentation.

Plus de détails sur la réforme proposée du marché d'électricité et sur les nouvelles législations et le développement institutionnel sont discutés dans la partie III de ce chapitre.

4. CONCLUSION

- L'analyse de la consommation d'énergie et de la production des 25 dernières années révèle que le taux de croissance annuel moyen de la consommation (4.8 %) est beaucoup plus élevé que celui de la production (2.8 %). Cette différence ou tendance négative entraîne le besoin d'augmenter la contribution d'ER du côté de la production, réduisant en même temps la consommation énergétique par des mesures d'URE.
- Si la pratique actuelle de la production et de la consommation d'énergie continue sans améliorations (scénario de référence), les ressources de combustibles fossiles ne satisferont pas les besoins constamment croissants à court et moyen terme.
- La structure institutionnelle de l'énergie a un impact fondamental sur la manière d'orienter l'énergie durable qui devrait représenter le cœur de toute formulation stratégique. Les réformes institutionnelles majeures dans le secteur de l'énergie et du marché seraient nécessaires pour conduire l'Egypte vers un scénario alternatif de l'énergie. Il serait basé sur l'exploitation de ressources naturelles plus durables et sur la consommation plus efficace et rationnelle des utilisateurs finaux entraînant ainsi la baisse des émissions de CO₂.

II. PERSPECTIVES DE REDUCTION DES EMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DE L'ENERGIE D'ICI 2015

Cette partie examine les sources d'émissions de GES en Egypte et retrace ses évolutions historiques. Il étudie également la grande vulnérabilité de l'Égypte au Changement Climatique (CC) en dépit de sa faible contribution aux émissions mondiales. Enfin, les pratiques actuelles pour réduire et contrôler les émissions de CO₂ dans le secteur de l'énergie sont également présentées.

Comme l'Égypte ne possède pas d'objectifs quantifiables déclarés de réduction des émissions de GES, l'objectif principal de cette partie est d'évaluer les émissions du scénario de référence du secteur de l'énergie. Ce scénario sera basé sur les plans énergétiques conventionnels et éoliens officiellement établis. Il s'agit aussi de proposer un scénario alternatif moins émetteur en carbone d'ici 2014/15 par l'intermédiaire d'autres projets potentiels qui ne sont actuellement pas inclus dans les plans existants.

1. EMISSION EN GES EN EGYPTE

L'estimation de l'émission des GES a débuté dès 1993. Elle était fondée un inventaire complet de l'année 1990/91 comme année de base. La communication nationale initiale (CNI) sur les changements climatiques a été publiée en 1999 par l'Agence Egyptienne des Affaires Environnementales (EEAA). Elle faisait référence aux rapports précédents, en particulier ceux de l'Organisation de Planification de l'Energie (OEP) datant de 1998 intitulé "inventaire nationale des GES en Egypte". Depuis cette date et jusqu'à sa disparition en 2004/5, l'OEP a publié des rapports annuels sur l'énergie comprenant les émissions de tous les secteurs de l'énergie.

L'EEAA travaille actuellement avec d'autres institutions égyptiennes à la publication de la deuxième communication nationale qui sortira en Juillet 2009. Elle inclura le relevé national des GES, les conséquences de la vulnérabilité de l'Égypte vis-à-vis du CC ainsi que les mesures proposées d'adaptation et d'atténuation de cette vulnérabilité.

1.1. Sources des émissions en GES

L'inventaire des GES a estimé que le total des émissions des GES de l'Égypte en 1990 s'élevait à 116,608 mtCO₂éq (selon l'évaluation d'équivalence du potentiel de réchauffement planétaire - PRP du GIEC) tandis que les émissions nettes étaient de 106,708 mtCO₂éq. Ainsi, les puits de GES représentaient 9,9 millions de tonnes. Comme le Tableau 1 le montre, le secteur de l'énergie est la principale source d'émissions de GES représentant 71% des émissions totales.

Tableau 1 - Contribution des émissions de GES des différents secteurs en 1990/1991 en Millions de tonnes de CO₂éq et en % des émissions totales

Secteur	Emissions (mtCO ₂ éq)	% des émissions totales
Energie (totale)	82.726	71
Industrie	10.276	9
Agriculture	17.913	15
Déchets	5.691	5
Total	116.608	100

En l'absence d'autres données publiées concernant les relevés de GES en Égypte, les chiffres ont été tirés de rapports annuels de l'OEP jusqu'à 2004/05, date à laquelle ce rapport a cessé de paraître. Depuis, les données sont estimées par des communications personnelles et des avis d'experts.

Les émissions de GES, pour l'année 2006/07, sont estimées à 235 mtCO₂éq; dont environ 169 mtCO₂éq sont originaires de toutes les utilisations de l'énergie, ce qui représente environ 72% du total des émissions de GES. Sur la base de ces chiffres, au cours des deux dernières années, les émissions provenant de l'utilisation de l'énergie ont augmenté d'environ 11% annuellement, alors que l'augmentation pour la période 1996/97 à 2004/05 était d'en moyenne 6,5%. Cette tendance s'explique par la hausse des taux de consommation d'énergie et ainsi que par un éventuel changement dans la structure du mélange énergétique qui tend vers plus de combustibles polluants; par exemple l'utilisation partielle de mazout lourd au lieu du gaz naturel, en particulier pour la production d'électricité.

La part des émissions de GES émise lors de la production d'électricité par rapport aux émissions énergétiques totales est passée de 31,55% pour l'année 1996/97 à 37,1% pour l'année 2006/07 avec un taux de croissance annuel moyen d'environ 5,5%.

Le Tableau 2 montre l'évolution historique des émissions totales de l'ensemble du secteur de l'énergie. On y voit que la production d'électricité a la part la plus élevée, suivie du secteur des transports et du secteur industriel.

Tableau 2 - Emissions totales en CO₂ de la consommation en énergie (en mtCO₂éq.) dans les secteurs d'utilisation finaux avec la part relative en pourcentage de chaque secteur.

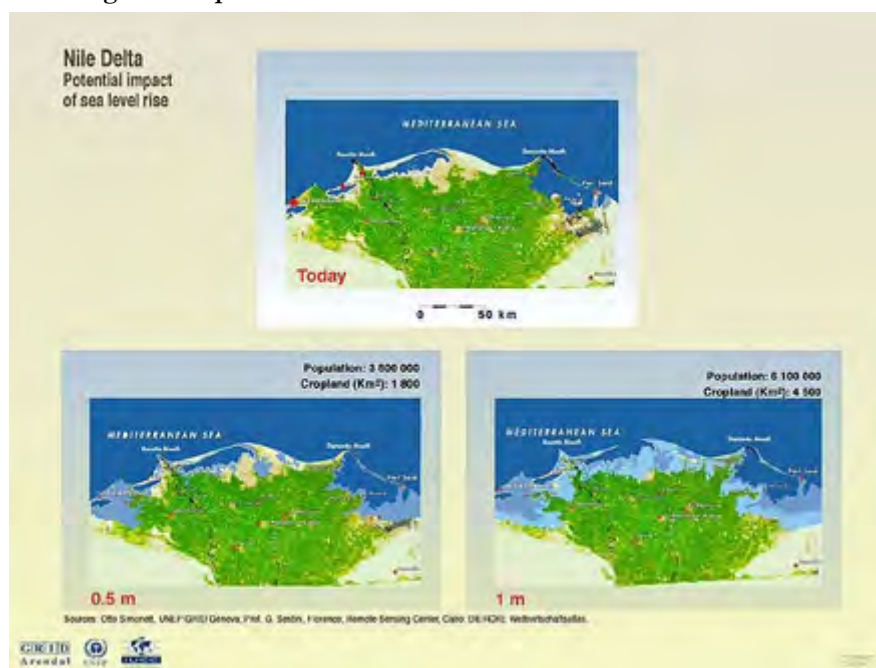
Secteur	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07
Industrie	23.19	25.02	23.71	24.68	26.82	28.36	30.74	30.31	28.04	30.2	33.03
pourcentage (%)	27.19	26.72	24.38	24.08	24.38	25.62	25.99	24.60	20.45	19.97	19.52
Transport	22.24	24.21	26.80	28.39	29.14	28.17	29.04	31.59	35.66	38.80	43.17
pourcentage (%)	26.09	25.84	27.57	27.70	26.50	25.45	24.55	25.63	26.00	25.66	25.51
Agriculture	0.35	0.34	0.33	0.31	0.32	0.28	0.27	0.26	2.37	2.43	2.66
pourcentage (%)	0.41	0.36	0.33	0.30	0.29	0.25	0.23	0.21	1.73	1.61	1.57
Résidentiel & Commercial	8.84	9.42	9.94	10.37	10.99	11.25	11.61	11.47	14.29	15.62	17.28
pourcentage (%)	10.37	10.05	10.22	10.12	9.99	10.16	9.82	9.31	10.42	10.33	10.21
Secteur de l'Electricité	26.90	30.43	31.91	33.71	35.32	35.00	38.22	42.01	48.47	54.89	62.78
pourcentage (%)	31.55	32.49	32.82	32.89	32.12	31.63	32.32	34.09	35.35	36.3	37.1
Pétrole	3.75	4.25	4.54	5.02	7.40	7.62	8.39	7.59	8.28	9.27	10.31
pourcentage (%)	4.40	4.54	4.67	4.90	6.72	6.89	7.09	6.16	6.04	6.13	6.09
Total	85.26	93.66	97.22	102.47	109.98	110.68	118.26	123.22	137.11	151.21	169.21

Source: l'Organisation pour la Planification Énergétique (OEP) et d'autres.

1.2. Emissions contre vulnérabilité

Bien que la population de l'Égypte ne représente qu'1,1% de la population mondiale et que ses émissions de GES ne constituent qu'environ 0,5% du total mondial, le pays est hautement vulnérable au CC. L'élévation de la température mondiale se traduirait par une perte importante des terres agricoles à forte densité de population dans le delta du Nil, ainsi que dans d'autres régions de la côte méditerranéenne. Les zones de captage des eaux du Nil seront également soumises à l'impact négatif du CC qui pourrait affecter les ressources en eau déjà limitées de l'Égypte. La production alimentaire pourrait aussi être affectée dans une région souffrant déjà de carence nutritionnelle.

Figure 1 - Impact de l'élévation du niveau de la mer sur le Delta du Nil²



Selon la communication nationale initiale (CNI) à la CCNUCC sur l'Égypte, le Rapport mondial sur le développement humain 2006 du PNUD et le quatrième rapport du GIEC, l'Égypte se révèle être extrêmement vulnérable aux impacts du CC qui peuvent freiner les gains du développement. En conséquence, les menaces du CC engendreraient de graves dommages en termes de logements, à une perte de terres agricoles productives et de zones industrielles sur la côte nord. Les estimations montrent que 0,5 mètres d'élévation du niveau de la mer (ENM) entraînerait la submersion permanente de 1800 km² de terres basses cultivées dans le delta du Nil (voir la Figure 1) et augmenterait la salinité des sols dans les terres restantes. Les pertes économiques dues à l'élévation du niveau de la mer (ENM) peuvent être estimées à plus de US \$35 milliards, s'ajoutant à la perte de 30% de la superficie totale du delta du Nil et de 195 000 emplois, compromettant ainsi l'équilibre précaire de la sécurité alimentaire et le déplacement de plus de 2 millions de personnes vers le Delta et la Vallée du Nil déjà surpeuplée. L'ENM générerait aussi de graves dommages sur les grands investissements dans les stations balnéaires le long de la côte Nord-Ouest. Le CC pourrait également entraîner une variation significative du débit du Nil, qui pourvoit l'Égypte avec plus de 97% de ses ressources en eau renouvelable. Différents modèles hydrologiques ont prédit une augmentation de 30% ou une baisse qui pourrait atteindre 70% du flux annuel du Nil. Ces deux scénarios extrêmes peuvent avoir de graves implications en termes d'augmentation des risques d'inondation ou de sécheresse qui pourraient conduire à la diminution des terres cultivées, et ainsi une réduction de la production alimentaire. Compte tenu de ces défis, le Gouvernement Égyptien (GE) par

² Disponible sur: http://maps.grida.no/go/graphic/nile_delta_potential_impact_of_sea_level_rise

l'intermédiaire des autorités concernées a révélé la nécessité de formuler différentes initiatives visant à faire face aux impacts du CC.

Ces mêmes menaces sont également confirmées par un document de travail de la Banque Mondiale, publié en Février 2007, intitulé "L'impact de l'élévation du niveau de la mer sur les pays en voie de développement: Analyse Comparative". Cette étude qui portait sur 84 pays a conclu que de graves répercussions auront lieu dans un nombre limité de pays parmi lesquels se trouve l'Égypte.

2. LA PRATIQUE ACTUELLE DE CONTROLE/REDUCTION DES EMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DE L'ENERGIE

L'Égypte est actuellement un pays exportateur faiblement de pétrole (principalement de gaz naturel) mais deviendra dans un avenir proche, un importateur net (principalement de pétrole). Ainsi, il existe des aspirations nationales à évoluer vers une économie à meilleur rendement énergétique, et à recourir davantage au grand potentiel d'ER. Cela aura l'avantage de mettre le pays sur une voie d'intensité réduite de CO₂. Néanmoins, les subventions des prix de l'énergie limitent actuellement l'investissement en ER et en URE permettant de réduire les GES dans le secteur énergétique.

2.1. Contrôle/ réduction des émissions dans le secteur de l'électricité

2.1.1. Mesures directes du côté de l'offre d'électricité

Depuis le début des années 90, le secteur de l'électricité égyptien a adopté une stratégie de remplacement des combustibles de fioul lourd par du gaz naturel. La part du gaz naturel dans la quantité de combustibles utilisés pour la production d'électricité a augmenté rapidement pour atteindre une valeur maximale de 91% en 2001/02. Puis, cette tendance a commencé à s'inverser lorsque la part du gaz naturel a diminué pour atteindre 79% en 2006/2007. Ce changement de carburant a réduit de façon spectaculaire les émissions de GES et les autres émissions qui étaient censées être générées si les nouvelles centrales électriques avaient été alimentées par du mazout.

D'autres mesures ont été prises afin de contrôler et réduire les émissions du côté de la production d'électricité telles que :

- 1) La diminution des pertes dans les réseaux de transmission et de distribution pouvant aboutir à des réductions d'émissions estimés d'environ 1,4 mtCO₂éq. ;
- 2) La surveillance des émissions des nouvelles centrales pour répondre aux exigences des institutions de financement ;
- 3) L'amélioration des rendements des anciennes centrales électriques par le biais de programmes de réhabilitation comprenant la surveillance des émissions ;
- 4) La préparation d'études sur l'Evaluation des Impacts Environnementaux (EIE) afin de s'assurer que tous les nouveaux projets soient en accord avec les réglementations environnementales ;
- 5) L'accroissement de l'utilisation des ER dans la production d'électricité et en particulier de l'énergie éolienne le long du Golfe de Suez. En effet, en 2006, la production annuelle d'électricité à partir des sources éoliennes a atteint environ 636 GWh représentant 0,56%

environ de consommation totale annuelle d'électricité, entraînant ainsi la réduction des émissions de GES d'environ 0,35 mtCO₂éq durant la même année.

2.1.2. Mesures indirectes à travers la gestion de la demande en électricité

Toutes les mesures prises par les utilisateurs finaux qui visent à l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation d'énergie conduit à la réduction de la consommation et ainsi à la diminution des émissions de GES.

Différentes actions ont été envisagées lors de la gestion de la demande en électricité:

- 1) Amélioration de la puissance au niveau des utilisateurs finaux.
- 2) Déplacement des charges électriques des utilisateurs industriels (déplacement de la puissance des périodes de pointe aux périodes creuses)
- 3) Encourager la fabrication locale de Lampes Fluorescentes Compactes (LFC) et des ballasts électroniques.
- 4) Vente de matériels d'éclairages efficaces tels que les LFC à travers quelques services de distribution d'électricité dont le prix peut être payé par mensualité sur la facture d'électricité.
- 5) Délivrance de labels énergétiques pour les appareils ménagers.
- 6) Emission des codes d'énergie pour les bâtiments.

2.2. Contrôle/réduction des émissions dans le secteur pétrolier

2.2.1. Mesures directes dans le secteur du pétrole du côté de l'offre

La réduction du torchage du gaz prévient le gaspillage d'une ressource précieuse et est considérée comme une mesure importante pour les économies d'énergie et l'atténuation du CC en contribuant à réduire le réchauffement de la planète. Ainsi, le ministère du pétrole met actuellement en œuvre un programme de capture et d'utilisation des gaz torchés. Cette action est considérée comme un effort allant non seulement dans le sens d'une réduction des émissions mondiales de carbone, et contribuant ainsi à l'atténuation du CC, mais aussi permettant de conserver une ressource précieuse d'énergie. Différentes études fondées sur les observations par satellites au cours de la période de 1995 à 2006, indiquaient que l'Égypte a considérablement réduit son torchage de gaz.

Le Ministère du Pétrole a également mis en place un programme visant à améliorer les rendements dans les raffineries. Différents programmes de gestion de l'environnement ont aussi été établis dans les compagnies pétrolières ainsi que dans les raffineries de pétrole afin de contrôler que les normes environnementales sont respectées.

2.2.2. Mesures indirectes dans le secteur du pétrole du côté de la demande

Actuellement, le ministère du pétrole met en œuvre plusieurs programmes dans le domaine du remplacement des combustibles pour utiliser le gaz naturel. Les plus importantes sont:

- 1) Elargir l'utilisation du gaz naturel dans les secteurs résidentiel, commercial et industriel comme suit :

- Pendant la période 1980/81 - 2004/05 le réseau de gaz s'étendait à 18 gouvernorats, où 2,1 millions de clients ont été raccordés au réseau d'approvisionnement en gaz. Environ un million d'entre eux ont été raccordés entre 2000/01 et 2004/05. Le montant total atteint était de 2,3 millions en 2005/06.
- Le plan du ministère du pétrole vise à connecter 6 millions d'unités résidentielles au réseau de gaz durant les six prochaines années.
- Le plan comprend la connexion de nouvelles zones industrielles ainsi que les principales villes de Haute-Égypte.
- Le plan national des investissements dans le secteur du gaz est estimée à environ US\$ 5,5 milliards pour 2019/ 20.

2) Encourager l'utilisation du gaz naturel dans les véhicules comme suit:

- Le prix du gaz naturel destiné au transport a été fixé à 0,45 LE/m³ éq. soit environ 50% du prix d'un litre d'essence à indice d'octane 80, et à environ 35% de celui de l'essence à indice d'octane 90 (un m³ de gaz estimé à tenir compte de la distance kilométrique similaire à celui d'un litre d'essence). Cette faible tarification du gaz permet de rembourser le coût de la transformation d'un moteur classique en un moteur double mode (gaz / essence) sur période de moins de 2 ans (en particulier pour les taxis)
- La quantité de véhicules transformés pour fonctionner grâce à la double alimentation en carburant essence / gaz naturel a atteint environ 70 000 voitures au 1/7/2006 dont 75% étaient des taxis. Le nombre de stations d'approvisionnement en gaz a atteint 103 stations réparties dans tout le pays.

3) Programme de Conversion au Gaz (PCG)

Ce programme vise à promouvoir la conversion au gaz qui se substituerait aux fuel lourds et légers en participant au coût d'une telle conversion dans les secteurs industriel et commercial par l'adoption de plusieurs mesures et d'incitations, notamment :

- La diminution des taux d'intérêt des prêts de financement consacrés à la conversion au gaz par un maximum de 10% du taux d'intérêt en vigueur.
- L'estimation d'une certaine somme d'argent, à verser au client au terme du processus de conversion, pour chaque tonne de pétrole liquide remplacé par du gaz naturel.

2.3. Scénario de référence d'atténuation du CC dans le secteur de l'énergie jusqu'en 2015

L'Égypte a signé et ratifié la Convention de CCNUCC et le Protocole de Kyoto comme un pays non visé par l'Annexe I (pas lié aux objectifs précis de réduction des émissions de GES). Cependant, le degré élevé de vulnérabilité de l'Égypte aux CC a conduit le pays à intégrer l'atténuation et l'adaptation au CC aux objectifs des stratégies de développement.

Par conséquent, le gouvernement a récemment déclaré son intention de promouvoir l'URE et les ER par la mise en place du Conseil suprême de l'énergie dirigé par le Premier ministre. Le Conseil vise à réviser les politiques énergétiques nationales, couvrant : les mesures d'efficacité énergétique, la proposition d'incitations pour les ER, l'accroissement des investissements du secteur privé dans les services énergétiques et la révision des prix de l'énergie pour les installations industrielles à haute

consommation énergétique. Poursuivre ces efforts devrait aider le gouvernement à mieux gérer le développement de l'énergie durable et faire face aux défis environnementaux, parmi lesquels le contrôle des émissions de GES.

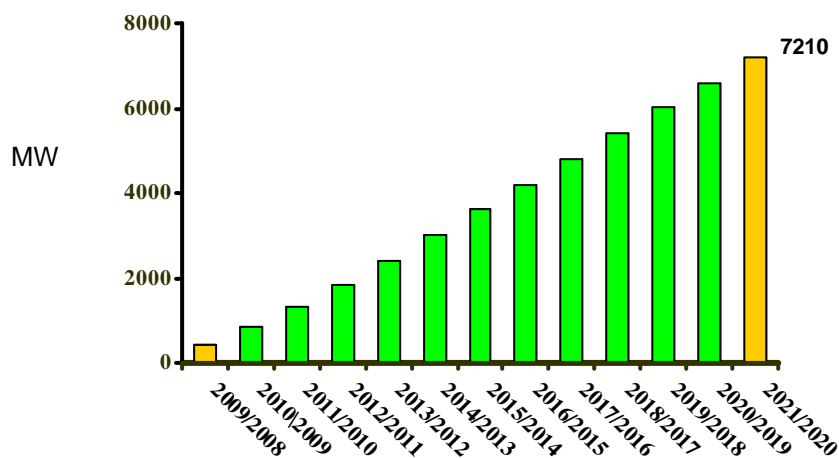
Il faut garder à l'esprit que la grande vulnérabilité de l'Égypte au CC associée à sa relativement faible contribution historique au niveau mondial des émissions de GES par habitant et en valeur absolue, a conduit le pays à consacrer davantage d'efforts et d'attention aux mesures d'adaptation plutôt qu'aux mesures d'atténuation. Cela expliquerait pourquoi il n'existe pas d'objectifs déclarés quantifiables d'atténuation du CC ou de scénario énergétique alternatif à faible teneur en carbone.

Il convient de mentionner que l'Égypte entreprend différentes activités qui ont pour objectif principal de contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air dans le pays. Toutefois, bien qu'elles ne soient pas délibérément conçues à cette fin, bon nombre de ces activités peuvent être considérées également comme des actes de réduction des GES.

Dans le cadre de cette étude, le scénario de référence sera estimé sur la base des données historiques d'émissions de GES. En outre, comme il n'existe pas d'objectifs déclarés quantifiables d'atténuation du CC pour le scénario de référence, cette étude comprendra également l'estimation des réductions des émissions prévues dans le scénario de référence. Il s'appuiera sur les plans officiels de la production d'électricité éolienne d'ici 2014/15 comme il sera discuté dans les paragraphes suivants.

2.3.1. Plan d'action de l'énergie éolienne

Figure 2 - Capacité éolienne accumulée installée prévu d'ici 2020/21



Le plan d'action pour l'énergie éolienne à long terme a été élaboré par la NREA en janvier 2008. Le plan vise à installer un total de 7210 MW de capacité de fermes éoliennes d'ici 2020/21. Elles devraient générer environ 31 milliards de kWh/an engendrant une réduction annuelle des émissions en GES d'environ 17 mtCO₂eq.

La Figure 2 montre l'accumulation prévue de la capacité éolienne installée d'ici 2020/21. On peut voir que l'objectif de capacité installée cumulée à l'horizon 2014/15 est de 3600 MW.

Il y a actuellement 600 MW d'énergie éolienne déjà installés (opérationnels) ou en cours d'installation. Donc, pour satisfaire l'objectif ambitieux de ce plan pour l'année 2014/15, 3000 MW de nouveaux parcs éoliens doivent être développés soit par NREA ou par des investisseurs privés au cours des 7 années à venir avec un taux moyen d'environ 430 MW/an.

La zone géographique de construction des parcs éoliens visée par ce plan, est située à Gabal El-Zeit (Golfe de Suez) et bénéficie de conditions exceptionnelles pour l'énergie éolienne. Elle offre de

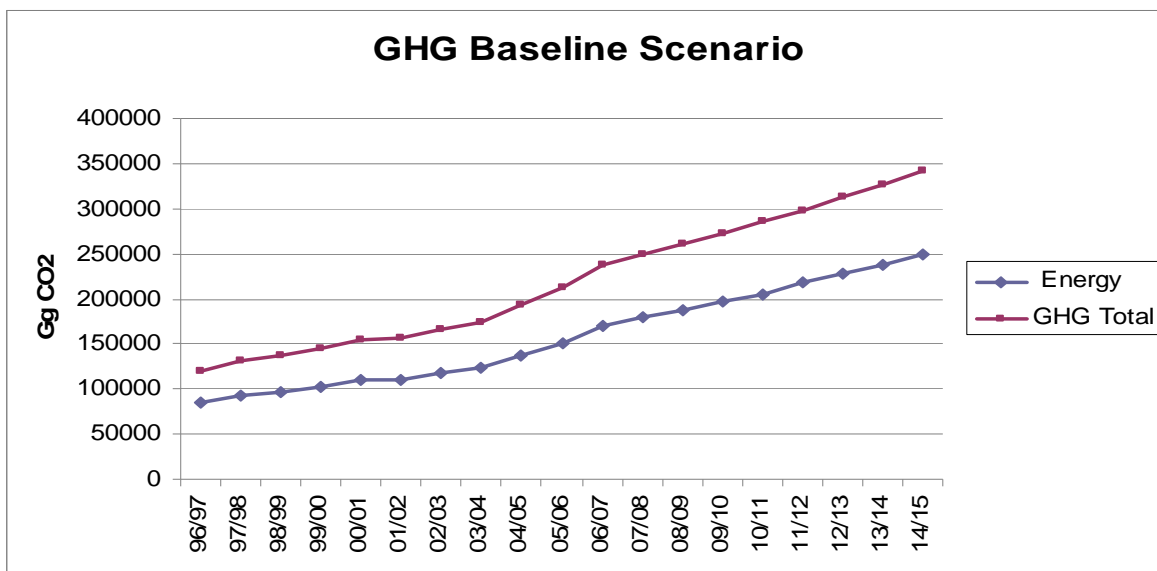
nombreux atouts pour attirer les investisseurs. Toutefois, comme les réformes du marché et les réformes institutionnelles susceptibles d'encourager les investissements privés ne sont toujours pas concrétisées (expliqué plus tard), la cible des 3000 MW sera difficile à atteindre. Nous estimons que seulement 2200 MW (environ 300 MW/an) de nouveaux parcs éoliens sont réalisables dans le cadre de la collaboration entre le NREA et le secteur privé d'ici 2014/15.

Cet objectif d'ajouter une capacité installée de 2200 MW, en plus de 600 MW actuelle (opérationnel ou en construction) équivaldra à 2800 MW totale accumulée de capacité installée d'ici 2014/15. La différence entre l'objectif déclaré du plan de base (3600 MW) et le nouvel objectif plus réaliste (2800 MW), est de 800 MW d'énergie éolienne. Elle est l'épine dorsale de notre proposition de scénario alternatif tel qu'il sera développé dans les paragraphes suivants.

2.3.2. Estimation des émissions en GES selon le scénario de référence du secteur énergétique

Les émissions de GES du scénario de référence sont dérivées de l'ancien statut qui n'incluait que peu d'énergie éolienne. Le total des émissions de GES est passé de 116,6 mtCO₂éq en 1990/91 à 235 mtCO₂éq en 2006/07. Ces données ont été utilisées pour estimer le total des émissions d'ici 2014/15 en supposant qu'aucun autre parc éolien ne sera installé. Pour inclure l'objectif plus réaliste d'énergie éolienne (de 2200 MW mentionné au point 2.3.1) dans le scénario de référence, le montant estimé des réductions des émissions qui résulte de la construction de parcs éoliens a été déduit des valeurs précédentes (qui ne prennent pas en compte l'énergie éolienne ajoutée). Selon ce «protocole de calcul», le niveau de référence des émissions de GES du secteur énergétique en 2014/15 sera de 250 mtCO₂éq tandis que le total des émissions de GES au niveau national devraient atteindre 343 mtCO₂éq. Nous notons que le pourcentage des émissions de l'énergie par rapport aux émissions totales a presque maintenu sa valeur, de 71% à 73%.

Figure 3 - Evolution des émissions de GES liées à l'énergie et émissions totales d'ici 2014/15



La Figure 3 montre l'évolution historique des émissions totales en GES et celle liée à l'énergie jusqu'en 2006/07. Il montre aussi les prévisions des émissions, d'après le scénario de référence d'ici 2014/15 évaluées selon les hypothèses mentionnées ci-dessus.

2.4. Vers un scénario alternatif a faible conteneur de carbone pour le secteur de l'énergie

Comme il est indiqué ci-dessus, l'Égypte, est un pays en développement qui n'est pas obligé de déclarer un objectif chiffré pour la réduction des émissions de GES(car pas concerné par l'annexe 1 du CCNUCC). Le point de vue des pays en développement est qu'il est injuste de leur faire porter le coût économique des mesures d'atténuation des impacts du CC (en plus des autres conséquences négatives du CC), en raison de leur faible participation aux accumulations historiques de GES. L'argument de l'Inde par exemple, est que chaque pays devrait avoir droit à un montant égal d'émissions de GES par habitant. Cette conception a largement trouvé un son de cloche favorable chez les autres pays en développement au cours de conférences internationales du CCNUCC.

Les développements de la Deuxième Communication Nationale Egyptienne, qui devrait être publiés en 2009, ne vont pas fixer d'objectifs chiffrés pour la réduction des émissions de GES. Cependant, ils vont établir une liste de propositions de projets à mettre en œuvre à la condition que les fonds nécessaires soient disponibles ; les projets du MDP (Mécanisme pour un Développement Propre) auront un poids important dans une telle liste.

Néanmoins, si les tendances énergétiques actuelles (dépendance croissante aux combustibles fossiles et attention limitée donnée à la promotion des ER et à l'URE) continuent ainsi en Egypte; ce n'est pas seulement la sécurité énergétique nationale qui sera compromise, mais aussi les perspectives de développement durable dans leur ensemble. Le coût de la poursuite du scénario de référence devrait être considérablement élevé car le pays sera, très probablement, dans l'obligation d'importer une partie des combustibles fossiles nécessaires à sa consommation, à des prix internationaux exorbitants. Ce coût devrait être ajouté au coût des dommages environnementaux résultant de l'augmentation des émissions de GES dues à ces combustibles fossiles importés. Parallèlement ces émissions qui devraient être relativement importantes contribueront à aggraver la vulnérabilité, déjà élevée, du pays.

Il est recommandé que les décideurs politiques tiennent compte de ces conséquences, et formulent dès maintenant un scénario énergétique alternatif à faible teneur en carbone adoptant l'utilisation systématique et étendue des ER et des de l'URE pour contrebalancer de tels coûts à l'avenir. Les avantages d'un tel scénario seraient les suivants:

- 1) Accroissement de la durabilité énergétique grâce à la conservation de ressources en combustibles fossiles comme réserve stratégique pour les générations futures.
- 2) Assurer l'approvisionnement en énergie à court, moyen et long terme pour les plans nationaux de développement durable.
- 3) Adoption de nouvelles technologies en ER et URE qui offrent de plus en plus d'avantages économiques et mise en valeur de la fabrication locale de systèmes et de composants requis par ces technologies.
- 4) Création d'avantages sociaux tels que l'amélioration de la qualité de vie et création de nouveaux emplois.
- 5) Protection de l'environnement des polluants associés à la combustion de combustibles fossiles.
- 6) Prévention ou au moins retard dans les importations coûteuses de combustibles fossiles.

2.4.1. Projets additionnels proposés qui conduiraient au scénario alternatif

Dans le cadre de notre étude et comme nous avons déjà des estimations des émissions de GES du scénario de référence du secteur de l'énergie, nous allons proposer un "package" de projets d'ER et d'URE qui réduira encore les émissions en GES liées à l'énergie d'ici 2014/15. Les projets du package, ajoutés aux projets du scénario de référence, ont pour rôle d'amener le secteur énergétique vers un scénario alternatif à plus faible émission de GES.

Les projets du package proposé et pouvant être mis en oeuvre d'ici 2014/15 sont les suivants:

- Construction de quatre parcs éoliens à Gabal El-Zeit, chacun ayant une capacité installée de 200 MW, (total de 800 MW, comme mentionné au point 2-3.1). Une fois construits, ces 4 parcs éoliens sont censés réduire les émissions de GES du secteur de l'énergie de 1,9 mtCO₂eq/an en 2014/15.
- Un programme visant à installer des chauffe-eau solaires ayant une surface totale de captures de 500 000 m² pourraient être mis en oeuvre entre 2010 et 2015. On propose que ce projet soit réalisé par une Initiative des Chauffe-Eau Solaire (ICES) couvrant l'ensemble de l'Egypte. Chaque mètre carré de capteur solaire se traduirait par 0,5 tonne de réduction des émissions en GES par an. Cela conduirait à une réduction des émissions de GES de 0,25 mtCO₂eq courant 2014/15.
- Comme pour l'ICES, une Initiative Egyptienne pour l'Eclairage Efficace (IEEE) doit être formulée et mise en oeuvre. Grâce à cette initiative, un projet visant la transformation du marché vers des LFC (lampes à faible consommation) prévoit l'utilisation supplémentaire de 40 millions de lampes au cours de la période 2010 à 2015. Cette initiative qui prendra en considération l'élimination des lampes LFC brûlées, se traduira par une réduction de GES d'environ 2,0 mtCO₂eq au cours de l'année 2014 / 15.

En suivant ces trois projets proposés, le montant total de réduction attendue des émissions pendant l'année 2014/15 est 4,15 mtCO₂eq, soit 1,25% du total des émissions de référence et 1,7% des émissions liées à l'énergie pour la même année, soit une économie de combustibles fossiles de 1,56 Mtep .

Ces réductions en GES se traduiront par une plus faible valeur des émissions pour l'année 2014/15 (245,85 mtCO₂eq) comparée à la valeur de l'émission prévue par le scénario de référence (250 mtCO₂eq) provenant du secteur de l'énergie au cours de la même année.

2.4.2. Autres éventuels scénarios alternatifs visant à réduire les émissions de l'énergie

Il est important de souligner que le potentiel de la réduction des émissions dans le secteur de l'énergie en Egypte par l'utilisation d'ER et d'URE est beaucoup plus élevé que le chiffre proposé. Si, par exemple, une stratégie d'URE visant à améliorer l'intensité énergétique de seulement 1% par an était formulée et mise en oeuvre par un organisme dédié à partir de 2010, une réduction supplémentaire d'un taux de 5% d'émissions de base peut être atteint d'ici 2014/15. Ceci ajoutera 12,5 mtCO₂eq de réduction des émissions et évitera la combustion de 4,6 Mtep de combustibles. Cette option a besoin d'être encore approfondie car elle semble présenter de bons résultats tant à l'échelle économique (au niveau du rapport coût/bénéfice) que sur la réduction des émissions de GES.

En se fondant sur l'hypothèse selon laquelle toutes les activités de mise en oeuvre de projets additionnels proposés commenceraient en 2009/10 et s'achèveraient en 2013/14, on peut supposer que la réduction des émissions qui en résulterait peut s'accroître de 20% par an entre 2010/11 et

2014/15. La réduction totale des émissions durant la même période est estimée à 12,2 mtCO₂éq tandis que les réductions totales attendues des émissions durant la durée de vie des équipements peuvent être estimées à 80 mtCO₂éq.

2.5. Conclusion

- Malgré la contribution mineure de l'Égypte au réchauffement de la planète, les effets néfastes du CC sont susceptibles d'aggraver les problèmes environnementaux actuels du pays. L'Égypte se révèle être extrêmement vulnérable aux impacts du CC qui pourront remettre en cause les gains des actions de développement.
- Le secteur de l'énergie contribue à plus de 71% du total des émissions de GES et continuera d'être la principale source de ces émissions. Si les pratiques énergétiques actuelles se poursuivent, les émissions provenant des ressources énergétiques continueront d'augmenter et l'Égypte deviendra un des principaux émetteurs de la région d'ici à 2025.
- Sur la base des activités de la planification existante, un scénario de référence a été élaboré. Un scénario alternatif à plus faible teneur en carbone est proposé dans cette étude, sur la base de propositions d'activités d'ER et d'URE. Le scénario alternatif prévoit de réduire les émissions de CO₂ de 4,15 mtCO₂éq d'une valeur de référence de 250 mtCO₂éq et épargnera 1,56 Mtep de combustibles par rapport à une consommation totale de 91,5 Mtep courant 2014/15.
- Une autre option fiable qui mériterait un plus grand intérêt (plus large que la portée de cette étude) est de formuler et de mettre en œuvre une stratégie pour l'URE visant à améliorer l'intensité énergétique de 1% par an à partir de 2010. Cela ajouterait une réduction des émissions d'un taux de 5% en 2014/15, représentant 12,15 mtCO₂éq, évitant ainsi la combustion de 4,6 Mtep de combustibles.

III. REFORMES POLITIQUES ET PLANS D'ACTION PROPOSES POUR ATTEINDRE DE PLUS FAIBLES EMISSIONS DE CO₂ DANS LE SECTEUR DE L'ENERGIE

Comme nous l'avons vu précédemment, il serait compréhensible que l'Égypte soit plus préoccupée par le renforcement de sa sécurité énergétique à venir que de la réalisation d'un scénario alternatif moins émetteur en CO₂. Mais heureusement, toutes les options examinées pour augmenter sa production d'énergie sont moins émettrices en CO₂ et sont plus dépendantes du gaz naturel, de l'exploitation des ER et de l'URE et de l'option nucléaire.

Cette partie du chapitre se concentre sur la présentation des rôles des ER et de l'URE dans la formulation d'un scénario alternatif à faible teneur en carbone d'ici 2014/15.

Ce scénario alternatif d'énergie, proposé dans le cadre de cette étude, bénéficie de l'analyse des leçons tirées des pratiques passées et se base sur des réformes législatives et du marché présentées par le gouvernement mais pas encore ratifiées.

Pour compléter la description du scénario alternatif et ses objectifs quantitatifs, cette étude a aussi formulé des mesures politiques supplémentaires qui complèteraient celles initialement fournies par le gouvernement.

La présence d'un organisme réglementaire du secteur de l'électricité et les mesures de réformes qu'elle a proposé sont à l'origine de la rédaction de la plupart des nouvelles législations en cours. Le manque d'un tel organisme dans le secteur pétrolier explique que sur ce point il soit moins performant que celui de l'électricité.

1. EXAMEN DU ROLE DES ER ET DES URE DANS LES EFFORTS D'ATTENUATION DU CC EN EGYPTE

L'atténuation des impacts du CC est un résultat inhérent à tous les projets planifiés d'ER et d'URE mis en œuvre. Par conséquent, parler des ER et de l'URE en Egypte implique une discussion sur les plans d'action et les politiques d'atténuation des impacts du CC.

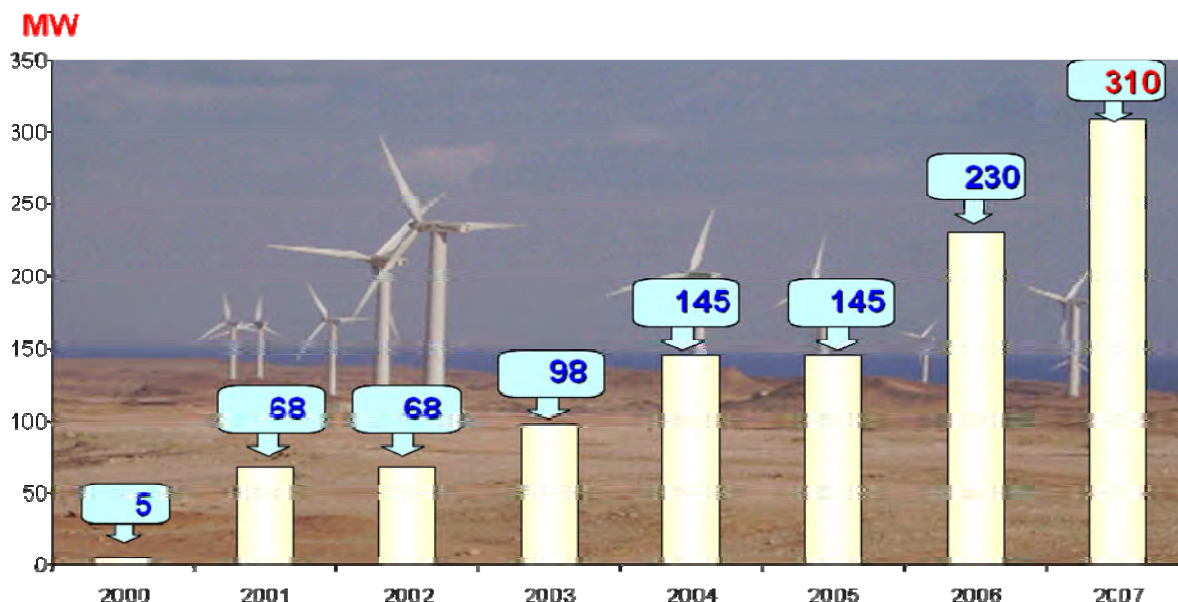
1.1. Historique des activités d'Énergies Renouvelables

Bien que l'Égypte bénéficie d'un potentiel solaire considérable, étant un des pays de la «ceinture du soleil» («sun belt»), l'énergie éolienne a de loin attirée l'attention pour les plans futurs. Cela peut être attribué à l'impact immense du développement technologique mondial, à la maturité économique et au très favorable potentiel éolien dans certaines zones du pays (Golfe de Suez). Une autre raison peut être liée à la volonté des leveurs et des bailleurs de fonds de pays dans lesquels l'industrie éolienne est plus avancée, qui désirent s'impliquer dans de tels

1.1.1. L'éolien

La Figure 4 montre l'évolution historique de la capacité installée de fermes éoliennes qui a atteint 310 MW fin 2007.

Figure 4 - Evolution des capacités éoliennes installées jusqu'à 2007



En 2007, date à laquelle on estime les réductions des GES à plus de 0,5 mtCO₂éq par an, la capacité installée est inférieure à l'objectif déclaré de 430 MW pour la même année. Ce léger retard s'explique par la pénurie d'éoliennes dans le marché mondial à la suite de l'augmentation rapide de la demande internationale. Ainsi, la commande d'éoliennes a dépassé la capacité de production des fabricants, qui ne pourront répondre à cette demande que dans quelques années.

1.1.2. L'énergie Solaire

Dès 1979, les activités d'énergie solaire thermique ont été concentrées dans le domaine du chauffage et de l'eau domestique. Toutefois, cette opération a connu un succès limité car le nombre total accumulé de systèmes installés est estimé à environ 250 000 unités (système typique: 2 m² de capteur et 150 litres de stockage) jusqu'en 2007. Si ces systèmes sont toujours opérationnels, cela n'a réduit les émissions de GES que d'environ 0,25 mtCO₂éq par an. Les systèmes installés de chauffe-eau solaires ne représentent que 5% du potentiel du marché national évalué à plus de 5 millions d'unités. Cette réalisation limitée s'explique principalement par la forte subvention de l'énergie et par l'absence de structure institutionnelle. Cette dernière pourrait fixer des objectifs et coordonner les rôles de chaque acteur ainsi que prendre les mesures nécessaires pour réaliser ces objectifs. La NREA, organisation focalisée sur les ER, placée sous la tutelle du ministère de l'électricité, est dédiée principalement aux projets de production de masse d'électricité plutôt qu'aux petites applications. En ligne avec cette tendance, la NREA a signé en Février 2008, un contrat pour l'installation d'une centrale solaire intégrée à cycle combiné d'environ 155 MW de capacité nominale installée. Le champ de capteurs solaires à concentration représente environ 20 MW de la capacité nominale de cette installation, ayant une fraction solaire d'environ 4% de la production électrique annuelle totale. Cela devrait se traduire par la réduction des émissions de GES d'environ 27,5 KtCO₂éq par an.

D'autre part, les activités Photovoltaïque (PV) sont plutôt limitées à des petites applications dans des zones reculées qui ne sont pas connectées au réseau électrique. Ce réseau couvre aujourd'hui près de

98,5% de l'Égypte. La puissance installée totale des applications PV a atteint environ 5,6 MW de pointe à la fin de 2007, résultant à une réduction des émissions annuelles de 7 KtCO₂éq.

1.1.3. Autres

Comme la capacité hydroélectrique totale installée s'élève à 2783 MW en 2007, la plupart des ressources hydroélectriques en Égypte ont été jusqu'ici exploitées. L'élargissement de cette capacité se limite à de mini et micro-installations.

D'autre part, le potentiel de la biomasse (essentiellement les résidus agricoles, déjections animales, des eaux usées et déchets municipaux solides) est estimée à environ 16 Mtep par an, dont 5 Mtep seulement sont exploités pour l'utilisation énergétique, et d'une manière très inefficace. Cela s'explique principalement par l'absence de technologies appropriées et par un faible soutien du marché ainsi que par le manque de structure institutionnelle. Cette dernière devrait effectuer la planification et la coordination nécessaire entre les différents acteurs comme le Ministère de l'Agriculture, le Ministère de l'Electricité et de l'Energie (MOEE), des municipalités, des autorités locales et de l'industrie.

Cette étude ne prend pas en considération la réduction des émissions résultant de centrales hydroélectriques et de la biomasse.

1.2. Historique des activités d'Efficacité Énergétique (EE)

De nombreuses études nationales et internationales ont indiqué que la pratique actuelle dans la réponse à la demande d'énergie en Égypte, n'est pas satisfaisante ou même pauvre en EE. Cela a principalement conduit à un taux de croissance de la demande d'électricité qui a dépassé le taux de croissance économique et démographique. Cette faible EE se traduit par un très fort potentiel de mise en œuvre de mesures et d'applications d'URE, en particulier pour les utilisateurs finaux. Le fait que les activités d'URE soient éparpillées et qu'elles soient liées à la motivation des consommateurs représentent des obstacles principaux à la réalisation de projets de grande ampleur. Plus encore, la plupart de ces installations doivent être situées dans les propriétés des utilisateurs finaux. Pour atteindre une EE maximale, il faut créer de fortes interactions entre le secteur de l'énergie et les consommateurs finaux, ce qui n'est pas le cas actuellement.

D'un autre côté, la faible compréhension des questions de la durabilité et de la disponibilité de l'énergie en Égypte est aussi un autre obstacle. S'ajoute à cela l'absence de culture d'entreprise qui favoriserait l'harmonisation du rôle de tous les acteurs qui doivent mobiliser et assister les utilisateurs finaux dans leur cheminement vers une meilleure EE.

1.2.1. Du côté de l'offre

Le secteur de l'électricité a exercé de multiples activités visant à améliorer l'EE du côté de l'offre par:

- La remise en état des vieilles centrales électriques.
- Le remplacement de fiouls lourds et légers par du gaz naturel.
- Le travail sur les réductions de perte dans la transmission et sur le réseau de distribution qui a conduit à une économie de carburant d'environ 0,5 Mtep, réduisant les émissions de GES d'environ 1,4 mtCO₂éq.

D'un autre côté, le secteur pétrolier a surtout travaillé dans le domaine de la réduction de torchage du gaz et pour l'amélioration de l'efficacité de ses raffineries. Il n'y a aucune donnée publiée sur les émissions de GES, ni d'informations disponibles sur les pertes au niveau du transport et de la distribution des produits pétroliers et du gaz naturel.

1.2.2. Du côté de la demande

Au cours des trois dernières décennies, différentes activités d'URE ont été mises en œuvre. Une part considérable de ces activités a été proposée et mise en œuvre principalement grâce au soutien financier de donateurs internationaux et d'organismes des Nations Unies. Un montant d'environ US\$ 200 millions a été investi directement ou indirectement dans les différentes activités d'URE.

Un précédent effort de développement d'une Stratégie Nationale d'Efficacité Energétique (NEES) a été exercé en l'an 2000 dans le cadre du Programme de Politique Egyptienne de l'Environnement (EPPP). Il aurait dû être mis en œuvre conjointement par l'Agence Egyptienne des Affaires Environnementales (EEAA), avec toutes les parties concernées. Toutefois, le manque de volonté politique et d'appui des organismes gouvernementaux liés à l'énergie ont conduit à la disparition de ce projet stratégique. Encore une fois, ce n'est pas une fatalité, car s'il y avait eu une institution chargée de créer une telle stratégie et de faire le suivi de sa mise en œuvre; les résultats auraient été bien différents.

Pour plus de détails sur la mise en œuvre des activités d'EE du côté de la demande énergétique, on peut se référer au rapport précédent : "Egyptian National Study(1)".

Trois remarques importantes doivent être mentionnées:

- 1) Les activités d'URE évoquées ci-dessus, sont généralement proposées par les leveurs de fonds et ne sont pas nécessairement effectuées de façon intégrée, ni fondées sur une vision nationale incorporée ou dans un plan d'action plus global. Cela a conduit à un impact limité sur les techniques et les pratiques commerciales dans le marché local et sur la sensibilisation des parties concernées, en particulier parmi les décideurs politiques.
- 2) Du fait que les précédents organismes d'exécution des activités en URE se trouvaient répartis à l'intérieur et à l'extérieur du secteur de l'énergie, les connaissances accumulées et les expériences acquises n'ont pas été consolidées et n'ont pas été prises en compte dans les propositions de politiques ou de plans d'action futurs.
- 3) Malgré les déclarations officielles d'engagement dans les activités d'URE, aucune institution nationale n'a été attribuée pour mettre en œuvre ces engagements accompagnés d'un plan d'action et d'allocation des fonds nécessaires. Toutefois, le nouveau conseil suprême de l'énergie devrait jouer un rôle clé dans l'exécution des engagements pris.

1.3. Leçons tirées et identification des mesures politiques requises

- 1) L'état doit déclarer clairement, et sans ambiguïté la situation critique de la durabilité et de la disponibilité des ressources énergétiques dans le pays, ainsi que le risque pour l'Egypte de devenir rapidement un importateur net de pétrole et de gaz naturel à court et à moyen terme. La perception actuelle des parties concernées et du grand public est que l'Egypte possède d'abondantes ressources énergétiques avec un surplus dédié à l'exportation, même à long terme. Aussi, la poursuite de la dépendance accrue d'utilisation des combustibles fossiles aura des

incidences négatives sur le CC. Ces aspects, qui ne sont pas correctement traités au niveau national, devraient être discutés d'une manière plus adéquate.

- 2) Sans une pleine prise de conscience par la population et les parties prenantes de l'ampleur du danger et des véritables problèmes qui menacent cette génération et les générations futures, la réalisation d'un scénario alternatif d'énergie sera sérieusement compromise. En effet, la mobilisation de l'ensemble du pays vers une économie plus efficace au niveau de l'énergie est indispensable pour prévenir et réduire les impacts du CC et ses conséquences négatives.
- 3) Les questions de subvention de l'énergie devraient être abordées et traitées dans les plus brefs délais. Il s'agirait de tendre vers une situation plus équilibrée prenant en compte la nécessité de diminuer les subventions et tout en considérant les conséquences sociales négatives de cette mesure qui pourraient être engendrées à court terme. On pourrait atténuer ces effets néfastes grâce à des moyens économiques et financiers, tels que le don de subventions en liquide pour les plus pauvres et les plus durement touchés. Toutefois, des campagnes de sensibilisation, expliquant les avantages à long terme sur l'économie nationale de la diminution des subventions, devraient être effectuées afin de convaincre le grand public d'accepter une hausse des prix.
- 4) Il est devenu presque impératif de développer le cadre réglementaire actuel de l'énergie et d'introduire de nouvelles législations en faveur de l'ER et de l'URE. Elles serviraient à soutenir et à promouvoir leur utilisation, à un niveau très large, ainsi qu'à diffuser leurs technologies dans des applications pertinentes. Ces nouvelles législations devraient être accompagnées par des mesures appropriées favorisant l'investissement dans ces domaines. Ce contexte économique assurerait une meilleure diffusion des ER et de l'URE.
- 5) Beaucoup plus d'attention devrait être accordée aux applications des technologies d'ER qu'à la production de masse d'électricité. Le Conseil suprême de l'énergie doit décider quelle sera l'institution qui en sera responsable, NREA ou une autre organisation
- 6) De même, il est devenu indispensable de créer une agence nationale consacrée à l'URE qui sera chargée d'élaborer une stratégie nationale, de fixer des priorités et des objectifs quantifiables, de proposer des plans d'action, des législations et de formuler des initiatives et des programmes nationaux. Cet organisme devra définir le rôle de chacun des intervenants, les moyens du soutien et des incitations financières, la coopération avec les organisations internationales et les leveurs de fonds, le suivi de réalisations ainsi que la modification et l'actualisation de ces activités en se fondant sur un retour d'information. L'agence proposée pour l'URE pourra également définir les applications distribuées d'ER.
- 7) Il est d'une importance cruciale de promouvoir la fabrication locale d'équipement d'ER et d'URE. Un programme de fabrication partiel de certains composants de systèmes d'énergie éolienne en Egypte a commencé en 2000 lorsque des prototypes des tours et des lames ont été fabriqués. Cette activité a été arrêtée depuis, puisque le rythme rapide du développement technologique, en particulier pour les éoliennes qui ont des tailles de plus en plus grandes, a rendu obsolète le programme de fabrication locale.
- 8) Compte tenu de l'augmentation rapide des prix des ER et des éoliennes durant ces dernières années, la réalisation de l'ambitieux plan d'action éolien pourrait être sérieusement compromise. Celle-ci ne peut pas continuer reposer sur du matériel importé. Différents schémas de fabrication locale devraient être pris en compte et traités sérieusement. La fabrication locale doit être envisagée dans une dimension régionale pour permettre des économies d'échelle. Elle peut prendre la forme de co-entreprises (joint venture), de fabrications sous licence ou en accord avec des représentants d'entreprises internationales, avec un soutien au développement technologique pour éviter une caducité rapide des installations.

- 9) Il devient impératif de faciliter la mise en place de fournisseurs de services en ER et en URE sur le marché local. Ceux-ci seraient des cabinets de conseil, des fabricants d'équipement et / ou des fournisseurs, des techniciens, des gestionnaires du service après-vente, des agents d'entretien. Des normes adéquates doivent être élaborées et appliquées afin d'assurer une haute qualité d'équipements et de services qui seront disponibles dans le marché local.
- 10) Il devient également nécessaire de favoriser la création de groupes de défense des droits civiques ainsi que des groupes de réflexion qui pourront développer des études indépendantes et des évaluations critiques de la situation énergétique en Egypte. Ces études répondraient au besoin d'une économie plus durable, dépendante d'une consommation énergétique efficace couplée à une baisse des émissions GES en incorporant toutes les formes possibles de technologies d'ER et d'URE. Ces «think-tanks» seront aussi censés populariser la notion de coûts-avantages des technologies d'ER et d'URE, dans une dimension plus sociétale qu'individuelle. Les efforts de la société civile sont essentiels pour créer un élan national de prise de conscience pour que les décideurs politiques et les consommateurs envisagent l'ER et l'URE dans leurs plans.
- 11) Il sera essentiel de promouvoir la formation d'associations de consommateurs de l'énergie et de groupes qui permettront la contribution des utilisateurs finaux de l'énergie aux propositions de politiques énergétiques adéquates et des mécanismes de soutien aux ER et à l'URE. Ces groupes faciliteraient aussi l'échange d'expériences entre les utilisateurs finaux de l'énergie sur le plan national, régional et international et formuleraient des projets importants à travers le regroupement de différents participants qui bénéficieraient de financements pour les mécanismes de soutien tels que le MDP et autres.
- 12) Le rôle du Conseil suprême de l'énergie devrait être encouragé, soutenu et activé comme il est précisé ailleurs dans ce rapport.

2. LEGISLATIONS ET MESURES DE LA REFORME DU MARCHÉ VISANT A RENFORCER LE ROLE DES ER ET DE L'URE

Le GE a décidé d'engager des réformes du marché de l'énergie dans le secteur de l'électricité grâce à de nouvelles législations contenues dans le nouveau projet de loi sur l'électricité envoyé au parlement égyptien à la fin de l'année 2007 pour approbation et ratification. L'arrière-plan de cette décision et l'état actuel de ce projet de loi peuvent être résumés comme suit:

- Depuis sa création en 2000, l'organisation de réglementation de l'électricité (ERA) « l'Egyptian Electricity Utilities and Consumer Protection Regulatory Agency », a été très préoccupée par les conditions du marché de l'électricité et la nécessité de son développement. En 2003, l'ERA a commencé des études avec l'aide d'un consultant américain et le soutien financier de l'USAID, pour envisager les options de réformes potentielles du marché de l'électricité. Des études ont également abordé les cadres législatifs et réglementaires requis pour la mise en œuvre de telles réformes avec pour objectif principal de mettre en place un libre marché de l'électricité et la création d'un environnement favorable pour encourager les investissements privés.
- L'ERA, soutenu par le consultant étranger, a joué un rôle clé dans cet effort, en particulier dans l'élaboration du projet de loi et du plan de réforme du marché. Ils ont été élaborés en coordination avec le Ministère de l'Electricité et de l'Energie (MOEE) et ses organisations affiliées.

- Il convient de noter que la nouvelle loi concernant l'électricité et les plans de réforme du marché n'ont pas encore été ratifiés ni approuvés par le Parlement égyptien ; ce processus devrait avoir lieu courant 2008.
- Le projet de loi concernant l'électricité, établit un cadre général dans lequel des plans d'action élaborés, qui comprennent les mécanismes de financement et le calendrier, restent à développer. Cette étude propose des mesures, des plans d'action et des réformes institutionnelles pour répondre à ce besoin.

Nous devons souligner que l'existence de l'ERA, pour le secteur de l'électricité, a été la raison principale de l'élaboration de ces projets de loi et des réformes du marché. Une telle institution de réglementation n'existe toujours pas à ce jour pour le secteur pétrolier, malgré sa nécessité.

2.1. Logique derrière la réforme proposée du marché de l'électricité

Depuis plus de 15 ans, le Gouvernement Egyptien (GE) est préoccupé par l'impact négatif des subventions tarifaires des produits pétroliers et de l'électricité sur l'ensemble de l'économie. Le 29/1/2003 le GE a pris la décision de faire flotter la Livre Egyptienne (LE) considérant cette étape comme importante dans une logique de libéralisation du marché local. Le résultat immédiat a été une grave et récurrente dévaluation de la LE à près de 50% de sa valeur initiale. Cette dévaluation a eu deux principales implications dans les marchés de l'énergie locale:

- 1) Une décision a été prise par le GE de mettre fin à l'application du mécanisme de BOOT (Build, Own, Operate & Transfer) pour construire de nouvelles centrales électriques, pour les raisons suivantes:
 - a) Le GE a été contractuellement obligé de fournir aux centrales électriques de BOOT le gaz naturel à un prix avantageux, le même que celui du secteur de l'électricité. Si ce n'était pas le cas le prix d'achat du kWh produit par ces stations aurait dû être ajusté en conséquence.
 - b) L'achat du kWh d'une centrale de BOOT est évalué et payé en US \$ mais sa vente aux utilisateurs finaux est en LE. Le tarif de l'électricité pour les consommateurs locaux est resté le même, ce qui implique que la charge de la dévaluation de la livre a été supportée par le budget de l'Etat.
- 2) Le prix du gaz naturel (GN) payé par les centrales électriques en LE a été maintenu sans révision, semblable aux tarifs de l'électricité, entraînant une véritable diminution des prix réels du GN de 1,05 à 0,7 \$ US / MBTU (MBTU: million de British Thermal Units). En revanche, la valeur de rentrée nette (netback value) est estimée à 1,5 \$ US / MBTU (prix du GN sur le marché en Europe, à ce moment-là, moins les frais d'expédition et de coûts du transport international, moins les coûts de liquéfaction, moins les coûts de transmission locale à la tête de puits, plus les frais de transport jusqu'aux centrales thermiques). Il convient de noter que la valeur des entrées nettes de GN représente le coût d'opportunité ou les revenus potentiels pour l'Égypte, celle-ci étant un exportateur de GN.

Les questions susmentionnées et les frais récurrents liés à la hausse des prix du pétrole et du GN sur le marché international, ont poussé le GE à prendre la décision d'atténuer progressivement les subventions à l'énergie. Il a aussi décidé de restructurer le cadre législatif du marché de l'électricité ainsi que de mettre en œuvre les réformes nécessaires. Ces efforts ont abouti à la finalisation du projet de la nouvelle loi d'électricité et de son récent envoi au Parlement pour révision et approbation, courant 2008.

2.2. Plan proposé de réforme du marché de l'électricité

L'objectif de la réforme du marché est d'établir un marché compétitif de l'électricité, où les activités de production, de transport et de distribution de l'électricité sont totalement dégroupées. Le marché proposé adoptera des contrats bilatéraux avec un mécanisme de balance et de règlement.

La proposition de plan de réforme du secteur de l'électricité comprend l'aménagement de deux éléments distincts mais interdépendants des structures du marché : le marché réglementé et le marché concurrentiel. Une approche en deux étapes pour assurer la transition entre les deux marchés sera élaborée par l'ERA. L'approche implique le rétrécissement du marché réglementé en faveur du marché concurrentiel. Cependant, aucun calendrier n'a été fixé pour ce processus de transition.

La logique sous-jacente est que la transition vers un marché concurrentiel doit surmonter deux contraintes majeures : i) le fait que le tarif actuel est toujours inférieur au coût économique de service fourni, ii) la nécessité d'établir un environnement attractif pour les investisseurs.

Les objectifs principaux des réformes du marché de l'électricité sont :

- 1) Attirer des fonds pour répondre à la demande d'électricité des plans de développement en Egypte
- 2) Améliorer l'efficacité du secteur de l'électricité et sa performance.
- 3) Assurer des avantages économiques plus larges, en particulier parvenir à un tarif reflétant le coût réel des services fournis.
- 4) Traiter les problèmes de subvention de l'électricité dans une approche progressive équilibrée qui tient compte de l'aspect social.
- 5) Promouvoir le rôle des ER et de l'URE dans le marché de l'électricité.
- 6) Paver la route de l'intégration à l'échelon régional (méditerranéen) des réseaux d'électricité grâce à la modernisation du marché de l'électricité.

Plus de détails concernant les réformes du marché de l'électricité sont disponibles dans l'annexe A.

2.3. Le nouveau projet de loi de l'électricité

La nouvelle loi concernant l'électricité proposée est élaborée par le GE afin de fournir les cadres législatifs et réglementaires nécessaires pour réaliser la réforme et atteindre les objectifs du marché de l'électricité. La loi défend également la création d'un environnement économique favorable aux investissements privés.

2.3.1. Caractéristiques de la loi proposée

Concernant la mise en place d'un marché concurrentiel de l'électricité qui se fonde sur des contrats bilatéraux et l'adoption de la notion de clients éligibles :

- Accès des Tiers au Réseau (ATR).
- Mise en place de gestionnaire de réseau de transport (GRT), garantie de son indépendance et dégroupage total des autres participants du secteur.

- Ratification des tarifs par l'organisme de réglementation.
- Soutien des ER, cogénération et l'électricité produite à partir de ressources secondaires.
- Soutien de l'EE et gestion de la demande..
- Accords vis-à-vis des législations internationales pour faciliter l'intégration du réseau national aux réseaux régionaux et méditerranéens à travers une interconnexion progressive.
- Protection des consommateurs et des intérêts de l'industrie électrique.
- Assurer un environnement attrayant pour les investissements privés.

2.3.2. Vue d'ensemble du contenu de la loi et ses principales parties

- 1) La loi se compose de dix parties couvrant 85 articles :
- 2) Dispositions générales
- 3) Définitions
- 4) Agence de réglementation des services publics d'électricité et de la protection des clients
- 5) Licence
- 6) Secteur de l'électricité et sécurité d'approvisionnement : production, opérateur de système de transmission, distribution, revendeurs et consommateurs
- 7) Les ER et l'URE.
- 8) Installations électriques
- 9) Services et ventes en gros
- 10) Sanctions
- 11) Dispositions finales

3. MESURES PROPOSEES POUR LA MISE EN ŒUVRE DES REFORMES DU MARCHÉ

Le projet de loi concernant l'électricité formulé par l'ERA contient un aperçu général des politiques à adopter en faveur de l'utilisation des ER et de l'URE. Cette loi devrait permettre le développement de plans d'action plus élaborés pour promouvoir l'utilisation des ER et de l'URE, à la fois sur le court et le long terme. La NREA, chargée de la promotion des ER, a limité ses activités à l'élaboration de plans d'action avec des objectifs quantifiables pour les ER, essentiellement pour l'énergie éolienne. L'URE n'a pas reçu la même attention.

3.1. Les mesures à adopter par la loi pour les ER

Comme indiqué plus tôt, le Conseil suprême de l'énergie en Égypte a adopté une résolution qui vise à satisfaire 20% des besoins en énergie électrique d'ici à 2020 par les ER, l'hydroélectricité incluse.

12% proviendront de l'énergie éolienne. Conformément à cette résolution, le projet de loi concernant l'électricité a adopté des lignes directrices visant l'intégration des ER dans le plan de réforme du marché de l'électricité comme suit:

- 1) En plus de la réforme du marché qui garantit l'Accès des Tiers au Réseau (ATR), la production d'électricité à partir de sources renouvelables bénéficiera d'une priorité d'accès.
- 2) La mise en place d'un fonds pour les ER visant à combler le fossé entre le coût des ER et les prix du marché. Celui-ci prendrait en considération les bénéfices marginaux qui favoriseraient à leur tour les investissements du secteur privé dans les ER. La principale source de financement de ce fond proviendrait de la différence entre les prix du marché international des combustibles fossiles économisés grâce à l'utilisation de l'ER et du prix subventionné de ce montant spécifique épargné.
- 3) Il est prévu qu'à partir de 2009/10, le projet de mise en œuvre des ER sera composé de deux phases comme suit :

La phase I emploiera un processus compétitif d'appel d'offre pour une capacité installée prédéfinie ou une part mandatée du marché (mandated market share), dans le cadre duquel les offres seront attribuées au coût le plus bas du kWh généré.

Les critères d'une telle approche incluent:

- Parvenir aux prix les plus bas possibles.
- Contrôler l'augmentation des capacités d'ER à installer en fonction de la capacité du système de transmission et de la capacité d'absorption du marché.
- Egyptian Electricity Transmission Company - EETC (il deviendra Transmission System Operator TSE) s'engage à acheter les ER générées
- Augmentation de la fabrication locale.
- Croissance de l'investissement privé.
- Fournir des garanties aux investisseurs fondées sur des accords d'achat d'électricité à long terme.

La Phase II emploiera un tarif de rachat (feed-in tarif) des KWh d'ER, où les prix atteints dans la phase I seront utilisés comme directives pour estimer la valeur la plus appropriée pour le tarif de rachat (feed-in tarif) et son évolution temporelle.

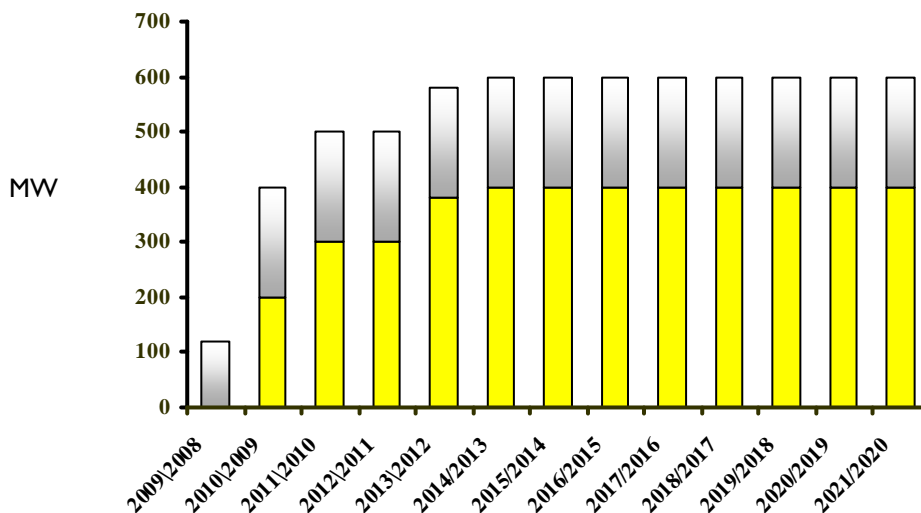
Aucun calendrier pour les réformes du marché n'a encore été établi pour le passage d'une phase à l'autre. Aussi, il convient de noter que les éléments détaillés du plan d'action, au niveau des mécanismes de financement et des procédures d'implémentations doivent être plus élaborés.

3.2. Taille projetée du marché pour la production d'électricité éolienne

La Figure 5 montre l'évolution annuelle de la capacité éolienne installée d'ici 2020/21. On peut y lire une capacité de 120 MW en 2008/2009, suivie de 400 MW en 2009/2010, 500 MW en 2010/2011, et une évolution d'environ 600 MW/an jusqu'à 2020/2021. L'augmentation annuelle de la capacité éolienne projetée est répartie entre la NREA, avec une part annuelle constante de 200 MW pendant 12 ans, et les investisseurs du secteur privé avec une part annuelle constante de 400 MW pendant les 9 dernières années du plan. La part du secteur privé dans l'implémentation du plan représente deux

tiers de l'objectif annuel. Cela souligne le rôle crucial des investissements privés et l'urgence de la réforme du marché.

Figure 5 - Addition annuelle de la capacité éolienne et les parts relatives de la NREA et du secteur privé jusqu'en 2020/21



3.3. Les mesures à adopter par la loi pour les URE

Les mesures suivantes sont proposées par la loi sur l'électricité qui est en cours de ratification:

- Le portefeuille d'investissement des compagnies d'électricité devrait comprendre les projets et les programmes d'amélioration d'URE et de DSM (Demand side Management) grâce à des objectifs d'investissement spécifiques.
- L'ATR avec la priorité pour la cogénération et l'électricité générée par des sources secondaires.
- Soutien à la création de sociétés de services énergétiques (ESCO) dans le service public.
- Appel à la nomination de manager dans le domaine de l'énergie au sein des établissements qui ont une puissance électrique supérieure à 500 kW.
- Plan d'expansion de l'étiquetage et des normes, ainsi que disparition progressive du matériel à faible efficacité énergétique.

De telles mesures génériques prévues par la loi sur l'électricité doivent encore se traduire par l'élaboration de plans d'action ayant des objectifs quantifiables pour les années à venir dans les différents secteurs d'utilisation finale. Les informations nécessaires tels que d'étalonnage de l'énergie (benchmarking), pour les différents types d'industries et de services, doivent être mises à la disposition des différents utilisateurs finaux de l'énergie.

Nous tenons à souligner à nouveau notre proposition pour la création d'une institution nationale dédiée à l'URE, de préférence sous la supervision du Conseil Suprême de l'Energie. Cette entité sera responsable de la formulation des stratégies nationales et des programmes d'URE, de la mise en valeur d'objectifs quantifiables, du suivi des réalisations et de la définition des rôles spécifiques des parties concernées.

IV. COUT D'INVESTISSEMENT ET ASPECTS ECONOMIQUES DU SCENARIO ENERGETIQUE A FAIBLE CONTENU EN CARBONE

Afin de pouvoir évaluer le coût d'un scénario énergétique alternatif à plus faible contenu en carbone d'ici 2015, il est nécessaire de partir d'un scénario de référence basé sur un plan d'actions défini en fonction du savoir faire et des technologies disponibles dans le pays. Les détails du scénario de référence, les émissions de GES ainsi que le coût d'investissement peuvent être estimés. Une fois les émissions de GES prévues par le scénario de référence évaluées, un meilleur scénario d'énergie moins émetteur en GES peut être proposé. Toute proposition de scénario énergétique alternatif sera considérée comme valable si et seulement si elle fournit la même quantité de produits et de services que le scénario de référence, en utilisant soit moins d'énergie (URE), soit la même quantité d'énergie mais plus propre (ER) ou une combinaison de ces deux processus. De même, le critère de sélection d'un scénario alternatif sera lié à son coût d'investissement et à la réduction des émissions de GES par rapport au scénario de référence.

L'approche adoptée dans cette étude pour établir un scénario énergétique alternatif est de proposer un "package" de projets supplémentaires d'ER et d'URE à mettre en œuvre d'ici 2014/15. L'adoption de ces propositions de projets évitera l'installation des centrales électriques utilisant des combustibles fossiles initialement prévues dans le cadre du scénario de référence.

Afin d'assurer la bonne formulation et la mise en œuvre d'un scénario à plus faible teneur en carbone, il est indispensable de considérer la mise en place de mécanismes et de mesures de réalisation répondant à ce besoin. Cette partie du chapitre expose les principaux aspects suivants :

- Présentation et évaluation des différentes configurations possibles du marché pour la création d'un environnement favorable aux investissements afin de renforcer le rôle des ER et de l'URE.
- Développement de l'analyse économique concernant les projets proposés dans cette étude qui forment le scénario alternatif à faible teneur en carbone. Afin de réduire les coûts d'investissement, l'analyse inclut l'éventualité d'accord de prêts à taux réduit « soft loans » par des Institutions Financières Internationales (IFI).
- Estimation du coût total de l'investissement des projets supplémentaires proposés dans le scénario alternatif, qui sera comparé au coût estimé de l'investissement pour le scénario de référence.

1. PERSPECTIVES DE REALISATION D'UN ENVIRONNEMENT FAVORABLE A L'INVESTISSEMENT EN ER ET URE

1.1. Création d'un environnement favorable aux investissements en ER

Comme indiqué dans la partie 3, le plan d'énergie éolienne à long terme sollicite une capacité installée annuelle de près de 600 MW. La NREA peut contribuer annuellement à 200 MW maximum, laissant 400 MW pour les investisseurs du secteur privé (soit deux tiers de l'objectif annuel). Cela souligne l'importance du rôle de l'investissement du secteur privé et de la nécessité de développer un environnement favorable au niveau de la réglementation et de l'ensemble des aspects économiques. Pour atteindre cet objectif, une nouvelle loi sur l'électricité et de nouveaux plans d'action sont proposés. Cette nouvelle loi, encore en cours d'approbation, ouvrirait le parcours à la création d'un environnement favorable à l'investissement et à des réformes du marché. Des travaux supplémentaires sont encore nécessaires pour définir, en détail, le cadre législatif et réglementaire qui permettrait la mise en œuvre de ce projet de loi.

Les mesures spécifiques proposées par la loi sur l'électricité soutenant la création d'un climat favorable aux investissements en ER peuvent être résumées comme suit:

- Créer un fonds d'ER visant à combler le fossé entre le coût réel (plus élevé) du KWh produit par des ER et son prix vente (plus bas) dans le marché local. La principale source de financement de ce fond proviendrait de la différence entre les prix du marché international des combustibles fossiles économisés grâce à l'utilisation de l'ER et du prix subventionné de ce montant spécifique économisé.
- Assurer la priorité d'accès (de tiers) au réseau de transport pour les installations de production d'électricité à partir de ressources d'ER dès lors que cette offre est disponible.
- Adopter une approche à deux phases pour le développement du marché afin de tenir compte des réformes attendues, basées sur les nouvelles législations telles qu'elles sont présentées dans la partie 3 et élaborées en particulier pour l'énergie éolienne (section 2.3).

1.2. Création d'un environnement favorable aux investissements en URE

Le nouveau projet de loi de l'électricité proposé inclut également quelques mesures pour appuyer la mise en œuvre de l'URE. Nous constatons que ces mesures proposées sont assez limitées, ce qui reflète le manque d'attention à l'URE pour les raisons susmentionnées. Nous allons donc proposer des mesures complémentaires.

Les mesures indiquées dans la loi sur l'électricité qui visent à créer un environnement favorable aux investissements en URE sont:

- Mandater les compagnies d'électricité et isoler une partie de leurs investissements pour répondre à l'accroissement de la demande d'électricité par des activités d'URE et de gestion de la demande (Demand Side Management - DSM)

- Assurer la priorité d'accès (de tiers) au réseau de transport pour les installations de cogénération et de production d'électricité à partir de ressources secondaires.
- Offrir un soutien à la création de Sociétés de Services Energétiques (ESCO) dans le service public d'électricité.
- Favoriser l'expansion de l'étiquetage et les normes d'URE, ainsi que l'élimination progressive du marché, du matériel à faible EE.

En plus de celles indiquées dans la loi sur l'électricité, de nouvelles mesures complémentaires sont proposées dans cette étude :

- Créer un Fond National d'Efficacité de l'Energie, FNEE (National Energy Efficiency Fund NEEF) pour une période limitée, avec la participation des leveurs et bailleurs de fonds internationaux. Ces fonds pourraient créer un créneau dans le marché pour les URE. Ainsi, en augmentant la demande, le coût baissera, et inversement.
- Créer une Organisation Non Gouvernementale (ONG) à but non lucratif qui pourrait prendre la forme d'un centre nommé "Egyptian Energy Efficiency Centre - E3C". Il pourrait favoriser le transfert de technologie et de savoir-faire des pays qui ont connu un succès notable dans ce domaine vers l'Egypte. Un tel centre devrait offrir une Assistance Technique (AT) aux fabricants locaux et aux fournisseurs de services pour assurer la qualité adéquate des produits et des services requis pour développer le marché de l'EE. L'E3C pourrait également jouer un rôle de catalyseur pour stimuler la création d'entreprises conjointes, internationales et locales. Il fournira également une AT aux utilisateurs finaux de l'énergie et pourra ainsi être un « match maker » entre les fournisseurs de services d'EE et les demandeurs de ces services.
- Créer des fonds de garantie pour les investissements dans les projets d'URE.

1.3. Schémas proposés pour l'investissement et le marché de l'énergie éolienne en Egypte

Afin de participer à la définition du futur marché de l'énergie éolienne en Egypte, et pour analyser et évaluer la pertinence des différents schémas dans le contexte égyptien, la NREA a effectué différentes études en coopération avec des consultants internationaux. Ces études analysent les différents choix de mécanismes potentiels pour encourager un marché de l'énergie éolienne attirant les investissements privés. Il est important de faire une distinction entre les mécanismes de "push" et de "pull" pour la promotion de l'éolien. Ces études ont proposé un plan basé sur un mélange des deux, mais avec une légère préférence pour les mécanismes de "pull". Cela explique pourquoi le projet de loi sur l'électricité n'a spécifié aucun pourcentage spécifique obligatoire ou part donnée de la contribution des ER et de l'UER au mix énergétique. En effet, la réalisation de près des deux tiers de l'objectif déclaré pour l'éolien, d'ici à 2020, est soumise à la mise en place des mécanismes de marchés favorisant ce phénomène.

En général, il y a deux hypothèses de base dans les approches proposées pour le développement du marché des ER. La première est fondée sur le prix (notamment représenté par le "Feed-in tariffs") alors que la seconde est basée sur la quantité (représenté par le "mandated market share"). Chacune de ces approches a ses avantages et repose sur des conditions particulières du marché. En outre, elles peuvent se diviser en sous-catégories.

Dans le cadre des mécanismes basés sur les prix, on peut distinguer le tarif uniforme/fixe, le tarif à échelle diminuant et le feed-in tariff, soit seul ou avec un système de subventions.

De l'autre côté, les mécanismes fondés sur la quantité reposent sur des appels d'offre à long terme pour des Contrats d'Achat d'Electricité (CAE) avec l'opérateur du réseau national de transport. Les régimes d'adjudications diffèrent en ce qui concerne les mécanismes de fixation des prix des CAE. Soit le prix marginal de l'offre est donné à tous les soumissionnaires/acheteurs, ce qui rapproche cette méthode des mécanismes de feed-in, soit, chaque soumissionnaire est payé à son prix d'offre, ce qui est plus en accord avec les objectifs des mécanismes d'appel d'offre qui sont d'atteindre les tarifs les plus bas.

Les régimes d'adjudications diffèrent également sur la manière dont la quantité mentionnée dans le contrat est fixée : l'offre peut fixer la quantité contractuelle (le prix de l'offre définit le coût financier de cette offre) ou celle-ci peut définir l'ensemble du soutien financier à offrir au contractant potentiel (ainsi, les offres vont établir la quantité de MW ou les MWhs qui va être achetée avec le montant de soutien des prix attribués).

1.3.1. Facteurs ayant une influence sur le choix du marché éolien et leurs impacts

Les études réalisées par la NREA et ses consultants ont montré qu'il existe différents facteurs qui influencent le choix des méthodes et des procédures les plus pertinentes et réalisables parmi le feed-in tariff et le régime d'appel d'offre. En adoptant un choix spécifique pour l'Egypte, nous devrions avoir un aperçu rapide de ces facteurs et en particulier voir comment ils correspondent aux conditions du marché local sur le court et le long terme. Dans le même temps, nous allons comparer d'autres mécanismes qui peuvent également porter sur les conditions du marché égyptien pour définir l'option la plus appropriée.

1) Incidence de l'insuffisance des informations sur la taille du marché

Les informations concernant la taille du marché et les forces dynamiques qui affectent son développement à court terme en Égypte, ne sont généralement pas suffisantes. Cela s'explique par des distorsions du marché et principalement la subvention de l'énergie qui impactent tous les aspects de l'économie. Il y a également trop peu d'informations sur la façon dont cette baisse des subventions de l'énergie aura un effet sur l'économie nationale et dans quelle mesure ces répercussions affecteront les différents secteurs de l'économie en particulier et l'ensemble de l'économie en général. Par conséquent, si on opte directement pour le choix du mécanisme de « feed-in tariffs » (sans passer par des appels d'offre) pour le développement du marché proposé de l'énergie éolienne, il pourrait être soit trop faible pour atteindre les objectifs déclarés soit, au contraire, trop élevé, ce qui conduirait à de graves difficultés financières. Cela représenterait un poids supplémentaire sur l'économie et ainsi, sur les consommateurs d'énergie finaux.

Le processus d'adjudication est connu pour fournir l'électricité à base d'ER selon les CAE (Contrats d'Achat d'Electricité) à bas prix. En effet, cette dernière option est la plus favorable pour les pays ayant choisi de combiner un grand nombre de subventions et des objectifs ambitieux en ER, comme l'Égypte. Toutefois, le feed-in tariff a l'avantage de soutenir un développement plus rapide sur un plus grand marché par rapport au système d'appel d'offre.

2) L'impact de l'insuffisance d'information au niveau du poids des subventions sur l'économie

En raison de l'incapacité des planificateurs de fixer le feed-in tariff au prix le plus opportun, (comme en Egypte), la lourdeur du potentiel de support financier de soutien aux ER ne peut être raisonnablement estimée. C'est un obstacle sérieux faisant face à une bonne planification. Cet obstacle décourage l'utilisation de ce système au moins aux premiers stades de développement où d'importantes réformes du marché sont en cours, durant lesquelles des incertitudes sont toujours associées à ce genre de processus.

3) Impact des coûts de transaction sur le type d'investisseur

Le feed-in tariff est idéal pour les investisseurs car il n'y a quasiment pas de risques de marché. Celui-ci attirerait une plus large variété d'investisseurs et de développeurs de projets éoliens que le processus d'adjudication. Ces derniers, pourraient être à la fois des petits, des grands et des investisseurs ad-hoc, des promoteurs de projets, mais aussi les services publics et les producteurs indépendants d'électricité (Independent Power Producers - IPPs) seraient susceptible d'être intéressés par le feed-in-tariff. Par conséquent, beaucoup plus de projets pourraient être mis en œuvre, ce qui conduirait à l'augmentation des capacités éoliennes au-delà de celles prévues à l'origine, qui peut alourdir le montant potentiel de soutien financier des ER.

Le processus d'adjudication est à l'extrémité opposée car il attire seulement des investisseurs ou des développeurs de projets éoliens. Dans le cas de l'Egypte, cette situation pourrait être considérée comme un avantage, car elle permettrait d'attirer des entités plus fiables et plus professionnelles. Ainsi, cela pourrait minimiser les risques et les pertes éventuelles pour l'économie nationale, qui continue de souffrir de différentes inefficacités.

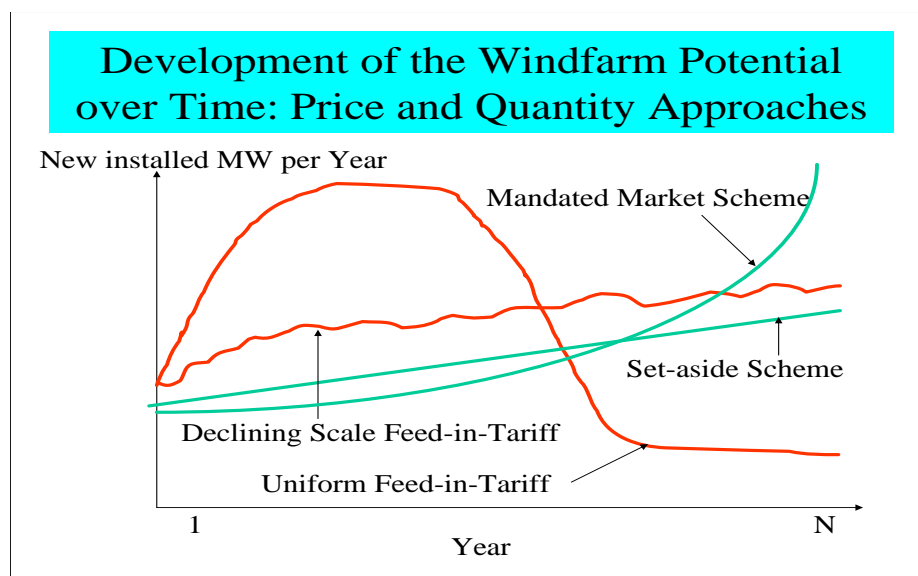
4) L'impact des progrès technologiques sur les coûts et la taille du marché

Malgré le développement rapide de la technologie éolienne durant la dernière décennie et l'augmentation de la productivité qui lui est associé, elle n'a pas encore pleinement mûrie ni atteint son niveau de production maximale. Cela laisse à penser que le feed-in tariff uniforme pourrait se traduire par une augmentation des profits pour les développeurs de projets éoliens à long terme plutôt que par un accroissement des avantages directs pour l'Egypte.

1.3.2. Choix du marché et des mécanismes d'investissement pour l'énergie éolienne en Egypte

Sur la base des conclusions des études de la NREA, la figure 6 illustre l'effet, dans le temps, des facteurs mentionnés ci-dessus sur les quatre mécanismes de marché examinés, à savoir: a) le feed-in tariff uniforme, b) le feed-in tariff à échelle décroissante c) le marché à part mandatée « mandated market share » mis en œuvre pour le processus d'adjudication, et d) le mécanisme de mise à part (set-aside), où un montant prédéterminé des ER ou éolienne est acheté chaque année par le biais d'appels d'offre, sur la base d'un plan fixé préalablement.

Figure 6 - Développement du potentiel du marché de l'éolien, basé sur différentes approches



En comparant ces mécanismes on remarque que :

- Le développement du marché dans le cadre du feed-in tariff uniforme est rapide, la raison principale étant son faible risque pour les investisseurs. Les sites ayant le plus grand potentiel de ressources éoliennes dans le pays sont donc très rapidement exploités. Toutefois, cela ne permet pas de d'utiliser ces mêmes emplacements lorsque les développements technologiques se traduiraient par une meilleure productivité.
- Avec les feed-in tariff à échelle décroissante, le développement du marché est plus progressif. Pourtant, il pourrait être moins prévisible et plus fluctuant que le développement dans un mécanisme de marché à part mandaté. Cela s'explique par des incertitudes sur la façon dont l'amélioration de la productivité modulaire ainsi que la totalité du marché éolien pourraient ainsi se développer.
- Le régime de marché à part mandaté « mandated market share » impose aux détaillants d'électricité l'obligation de garantir un pourcentage fixe de leurs ventes à partir de ressources d'ER. Le quota d'achat (d'ER) pourrait croître chaque année, jusqu'à ce que le seuil politiquement fixé soit atteint, faisant des contrats pour de nouveaux investissements (en ER) une nécessité pour chaque nouvelle année. La croissance de la demande nationale d'électricité implique une augmentation de la demande d'investissements annuels dans les ER. Dans ce cas, le taux de croissance annuel en quantité contractuelle est le résultat cumulatif de la croissance de la demande nationale d'électricité et de l'obligation d'augmentation du pourcentage du quota d'ER.
- Dans le cadre d'un mécanisme de « mise à part » (set aside scheme), le gouvernement peut utiliser une quantité fixe de MW pour des nouvelles capacités annuelles de production basées sur les ER, ou bien laisser la quantité contractuelle augmenter régulièrement chaque année. Ce dernier cas est celui indiqué sur la figure 6.

Compte tenu de l'argument précédent, on peut conclure que le régime de marché le plus pertinent pour l'Égypte (à court terme jusqu'en 2015) est un mécanisme de « mise à part », couplé avec des appels d'offre pour obtenir le prix (tarif) le plus bas par kWh. Les raisons suivantes justifient une telle décision :

- 1) L'évaluation des ressources éoliennes développée préalablement a indiqué des données précises et fiables sur la vitesse du vent et ses profils. Les informations disponibles ont déjà révélé les meilleurs emplacements pour les parcs éoliens.
- 2) La superficie des terres déjà prévues pour l'utilisation de l'éolien, qui sont dotées d'abondantes ressources en vent, a un coût considérablement faible. Elles sont presque exclusivement des zones de désert aride, sans aucune contrainte d'utilisation pour les parcs éoliens, où le gouvernement envisage d'offrir des incitations pour leur développement.

L'approche proposée par le GE et la NREA, pour la réalisation des objectifs du plan éolien, fait appel à un procédé à deux phases comme indiqué dans la partie III du présent chapitre. Elle commencera par la première phase de l'appel d'offre selon les critères indiqués au point 3-3.2, puis après un certain temps, pas encore défini, la deuxième phase de l'application du "feed-in tariff" peut prendre la suite. Cette approche proposée peut être résumée comme suit:

- Différents appels d'offres successifs auront lieu pendant les deux premières années (période encore à définir) soit pour la totalité, soit pour une partie prédéterminée ou réservée de la capacité éolienne à installer selon le plan annuel mentionné dans la partie III. Le soumissionnaire retenu sera celui qui offre le prix le plus bas / kWh.

- Après une série d'appels d'offre pour trouver le moindre coût / kWh, les prix par kWh atteints seront utilisés comme directives pour déterminer ou estimer le "feed-in tariff" destiné à être utilisé pour la deuxième phase.

1.3.3. Autres schémas potentiels pour l'investissement en éolienne

En plus des schémas précédemment proposés pour la réforme du marché, les auteurs ont défini un autre schéma d'investissement important (encore sous développement en Egypte) dans le marché de l'éolien avec un potentiel raisonnable de reproduction. Ce mécanisme a été préconisé par des sociétés internationales propriétaires d'entreprises en Egypte, caractérisées par une consommation intensive d'énergie. Le motif est double : le premier est l'intention annoncée par le GE de réformer le marché de l'énergie couplé avec l'augmentation progressive des tarifs de l'électricité pour tous les consommateurs ; l'autre est la forte consommation d'énergie de ces firmes, à un tarif plus élevé que les consommateurs normaux.

Un exemple de cette nouvelle tendance est le mémorandum d'accord pour la mise en œuvre d'un projet d'énergie éolienne allant de 120 à 400 MW à Gabal El-Zeit, signé entre la NREA et "Ital-Gen", l'entreprise spécialisée en énergie du groupe "Italcementi". Cette dernière est également propriétaire du groupe "Ciment Suez" ayant 5 usines de ciment en Egypte,

Le rôle de NREA est de :

- Identifier le site et le terrain pour l'installation du parc éolien parmi ceux qui ont été alloués à la NREA pour les projets éoliens.
- Attribuer le site à l'Ital-Gen pour l'usage exclusif de l'énergie éolienne.
- Fournir les données concernant les ressources en vent du site.
- Aider à mettre sur pied une convention d'achat d'électricité entre l'investisseur et l'opérateur du système de transport de sorte que l'électricité produite par le parc éolien sera transmise, par l'intermédiaire du réseau, aux installations de fabrications de l'investisseur. Le réseau électrique sert à compenser le déficit en électricité pour les besoins d'"Italcementi" et à absorber l'excès d'électricité produit par l'énergie éolienne.
- Offrir l'assistance technique, lorsque cela est nécessaire, en particulier pour le fonctionnement et l'entretien.

Le rôle d'Italcementi est de :

- Mener les études de faisabilité et de l'Evaluation des Impacts Environnementaux (EIE).
- Etudier conjointement avec la NREA les possibilités de fabrication locale d'une partie de l'équipement.
- Lever tous les fonds nécessaires à la réalisation du projet en privilégiant les Investissement Etranger Direct (IED) en Egypte.

Bien que les détails nécessaires pour développer ce type de mécanisme d'investissement ne sont pas encore bien établis, d'autres sociétés internationales ont manifesté leur intention de suivre le même chemin d'investissement dans l'énergie éolienne en Egypte. Cette tendance souligne l'importance croissante des possibilités d'IED en Égypte dans le domaine d'énergie éolienne avant même la réalisation de la réforme prévue du marché.

2. ANALYSE ECONOMIQUE DES PROJETS PROPOSES D'ER ET D'URE

La méthode d'analyse économique adoptée est présentée dans l'annexe B. Trois types de projets (d'ER et d'URE) sont analysés pour mettre en évidence leurs caractéristiques économiques. Afin d'illustrer les possibilités d'investissement dans l'ER et l'URE, cette analyse économique a été mise en place en considérant différents mécanismes de financement comme il sera montré dans les cas suivants.

2.1. 200 MW de fermes éoliennes pour la production d'électricité

Sur le plan national, la production d'électricité éolienne représente un domaine important pour l'investissement. Un modèle de projet d'énergie éolienne est présenté, ses caractéristiques économiques sont mises en avant afin de présenter les différentes possibilités d'investissement dans l'énergie éolienne en Egypte. Le tableau 4,1 présente des résultats d'une analyse économique simple, fondée sur une étude de l'utilité (Utility Perspective) pour un projet type de 200 MW qui doit être installé à Gabal El-Zeit. Cette zone bénéficie d'un très fort potentiel éolien qui devrait être en mesure d'accueillir plus que 3000 MW de parcs éoliens.

L'analyse de ce projet type de 200 MW, a pour but de présenter les situations économiques qui pourraient rendre ce genre de projets escomptables. Cela peut aider à la réalisation de l'objectif d'énergie éolienne de 800 MW indiqué plus tôt dans le scénario alternatif de l'énergie à faible teneur en carbone d'ici 2014/15, en plus des projets établis par le scénario de référence. La taille de projet retenue (200 MW) est la taille recommandée pour les futurs projets (qui seront développés par la NREA) par d'autres études internes récentes mises au point par la NREA en coopération avec des consultants internationaux.

Les calculs dans cette analyse économique sont développés pour un "cas de base" selon des données de référence pour les paramètres variables de projets tels que : la productivité énergétique, le prix de vente d'un kWh, le prix du combustible économisé et les conditions de prêt pour la composante en devises étrangères d'investissements internationaux nécessaires. Le revenu du MDP (Mécanismes de Développement Propre) évalué sur la base de 10 euros pour une RCE (Réduction Certifiée d'Emission) a également été pris en considération.

Le coût d'investissement de ce projet est de 270 millions d'euros et la durée de vie des équipements est de 20 ans. La structure de financement du projet se compose de 75% en devises étrangères (soit 203 millions d'euros) et 25% en monnaie locale (soit 580 millions de LE équivalant à 67 millions d'euros). Le "cas de base" suppose que 75% de la part des devises étrangères soit couvert par un prêt à taux réduit (152 millions d'euros), tandis que les 25% restants (51 millions d'euros) soit couvert par un prêt commercial avec les conditions de l'OCDE. La monnaie locale est couverte par un prêt de la Banque Nationale d'Investissement égyptienne.

La première partie du tableau 3 présente les résultats de l'analyse du "cas de base". La deuxième partie indique les résultats de l'analyse de sensibilité dans laquelle les paramètres principaux varient pour chaque cas, sachant que la composante locale de 25% est un paramètre commun pour tous les scénarios.

Les principaux indicateurs financiers sont : le coût annuel en niveau du kWh (levelized) produit à partir du parc éolien et du Taux de Rendement Interne (TRI) sur l'investissement alloué pour le projet. On peut remarquer que les valeurs du TRI sont toujours négatives, sauf pour les deux situations suivantes:

- Le doublement du prix de vente de kWh qui confirme que cette question est cruciale pour attirer les investissements étrangers.
- La prise en compte des gains évalués aux prix internationaux des combustibles économisés, indique que tous les cas étudiés sont bénéfiques à l'économie nationale, selon la perspective sociétale.

Tableau 3 - Résultats d'analyse économique d'un projet de parc éolien de 200 MW installé à Gabal El-Zeit (Golf du Suez)

"Cas de Base"	
Capacité Installée	200 MW
Coût par KW installé (Euro/KW)	1350
Budget Total du Projet	270 Million Euro
Facteur de Capacité	45%
Energie Produite	788400 MWh/an
Prix de vente de l'énergie	14.6LE/MWh
Taux de croissance du prix de vente de l'énergie	7.5% par an
Nombre d'unités de RCE par MWh	0.55 par MWh
1 RCE	10 Euro
Taux d'actualisation "Discount Rate"	6%
O&M	1.5% du coût total d'investissement avec 2.5% taux de croissance
Coût de la remise en état après 10 ans de fonctionnement (Overhaul)	10% du coût total d'investissement
Prix d'exportation du Gaz Naturel (économisé par l'éolien)	3 EURO/MBTU
Taux moyen de consommation de combustibles par les centrales thermiques	226.2 gmep/KWh
Prêt Local 25% : 13% taux d'intérêt, période de remboursement de 10 ans, 2 ans de période de grâce (N.B. : le prêt local en LE se trouve dans tous les cas)	580 Mio LE
Prêt étranger : 75% du budget total (pour couvrir le composant en devises)	203 Mio Euro
75% de ce prêt est à taux réduit (soft loan): 1.5% de taux d'intérêt, 20 ans de période de remboursement, 7 ans de période de grâce	152 Mio Euro
25% de ce prêt est commercial: 4.5% de taux d'intérêt, 10 ans de période de remboursement, 1 an de période de grâce	50 Mio Euro
Résultats du "Cas de Base"	
a. Coût de production (nivelé, levelized) sans MDP	= 3.3 cent. d'euro/KWh
b. TRI sans MDP	= -14%
c. Coût de production (nivelé, levelized) avec MDP	= 2.78 cent. d'euro/KWh
d. TRI avec MDP	= -9%
e. TRI avec économie de combustible	= 16%
Résultats de l'Analyse de Sensibilité	
1- Augmentation de la production d'énergie de 11% (facteur de capacité 50%)	
a. Coût de production (nivelé, levelized) sans MDP	= 2.97 cent. d'euro /KWh
b. TRI sans MDP	= -12%
c. Coût de production (nivelé, levelized) avec MDP	= 2.45 cent. d'euro /KWh
d. TRI avec MDP	= -5%
e. TRI avec économie de combustibles	= 18%
2- Le prêt étranger est 100% à taux réduit (représentant 75% du coût de projet)	
a. Coût de production (nivelé, levelized) sans MDP	= 3.12 cent. d'euro /KWh
b. TRI sans MDP	= -13%
c. Coût de production (nivelé, levelized) avec MDP	= 2.59 cent. d'euro /KWh
d. TRI avec MDP	= -8%
e. TRI avec l'économie de combustibles	= 17%
3- 100% d'augmentation du prix de vente de l'électricité, le prix devient donc (0.292LE/KWh)	
a. Coût de production (nivelé, levelized) sans MDP	= 3.3 cent. d'euro /KWh
b. TRI sans MDP	= 7%
c. Coût de production (nivelé, levelized) avec MDP	= 2.78 cent. d'euro /KWh
d. TRI avec MDP	= 11%
e. TRI avec l'économie de combustibles	= 21%
4- Changement des conditions de prêt local, 6% de taux d'intérêt, 15 ans de période de remboursement, 5 ans de période de grâce	
a. Coût de production (nivelé, Levelized) sans MDP	= 2.85 cent. d'euro /KWh
b. TRI sans MDP	= -10%
c. Coût de production (nivelé, Levelized) avec MDP	= 2.33 cent. d'euro /KWh
d. TRI avec MDP	= -1%
e. TRI avec l'économie de combustibles	= 19%

5-	Le prix économique du gaz naturel évalué sur le site du central a doublé (6 Euro/MBTU)	
a.	Coût de production (nivelé, Levelized) sans MDP	= 3.3 cent. d'euro /KWh
b.	TRI sans MDP	= -14%
c.	Coût de production (nivelé, Levelized) avec MDP	= 2.78 cent. d'euro /KWh
d.	TRI avec MDP	= -9%
e.	TRI avec l'économie de combustibles	= 22%

2.2. Projet d'installation de 50 000 systèmes (100 000 m²) de chauffe-eau solaire

Le chauffage solaire de l'eau dans le secteur résidentiel en Égypte représente un domaine important d'activité d'ER avec une faisabilité économique relativement acceptable. Le projet "type" analysé vise à l'installation de 100 000 m² de chauffe-eau solaire pendant un an, afin de remplacer 50 000 chauffe-eau électrique. La durée de vie est de 20 ans, la part du solaire est de 80% et les 20% restants proviennent du réseau électrique, comme source auxiliaire. Le coût total de ce projet est de 22,1 millions d'euros et les conditions de financement pour le « cas de base » de ce projet sont les mêmes que la proposition de projet éolien (75% est une composante en devise étrangère et 25% la composante de financement est locale). L'analyse économique est réalisée pour trois situations : (i) le cas de base, (ii) le cas de 100%, prêt à taux réduit "soft loan" pour la composante en devise étrangère, (iii) le cas où les tarifs de l'électricité double. Pour chacune de ces trois situations mentionnées, une analyse de sensibilité a été effectuée pour des valeurs différentes des unités de RCE à 0, 5 et 7,5 et 10 Euros / RCE.

Les résultats de cette analyse (tableau 4,2) indiquent que, pour toutes les situations, ce projet aurait des retombées positives en termes de valeurs de TRI. En cas de doublage des prix de vente d'électricité (la composante étrangère du budget requise est couverte, comme dans le cas de base, avec 75% de prêt à taux réduit et 25% de prêts commerciaux. Même sans les recettes provenant des RCE (0 euros / RCE), ce projet reste attractif pour les investisseurs. D'autre part, si la composante étrangère du budget est couverte (à 100%) par un prêt à taux réduit et même si le prix de vente de l'électricité n'est pas modifié, les prix élevés des RCE (7,5 et 10 euros / CER) rendent ces projets escomptables.

2.3. Initiative d'éclairage efficace visant la distribution de 40 millions de Lampes à Basse Consommation (LBC)

2.3.1. Introduction

Les Lampes à Basse Consommation (LBC) ont une EE élevée par rapport aux lampes classiques à incandescence ; mais leurs coûts initial tend à décourager les ménages d'en acheter. Malgré le petit effort de la part des services publics de l'électricité à promouvoir leur large diffusion, la subvention ou le tarif résidentiels et le faible niveau de revenu des ménages sont d'autres contraintes majeures qui freinent l'achat des LBC.

La demande d'éclairage du secteur résidentiel est une composante déterminante de la charge de pointe d'électricité en Egypte. Un fort taux de pénétration des LBC pour l'éclairage des ménages permettra de réduire la croissance de la charge de pointe de la demande d'électricité. Par conséquent, elle sera à l'origine du report d'investissements coûteux dans l'expansion du système électrique, ce

qui engendrera des économies de carburant, la réduction des ventes subventionnées de l'électricité, et ainsi la diminution des impacts sur l'environnement.

Les résultats de l'étude de la viabilité économique des LBC, des perspectives sociétales, de l'utilité en considérant différentes catégories de consommateurs d'électricité, peuvent être utilisés pour concevoir des programmes spécifiques visant à atteindre des objectifs précis. Comme des études plus détaillées dans ce domaine sont nécessaires, nous présentons un programme préliminaire qui indique les avantages économiques de cette activité d'URE qui peut être considérée comme une bonne opportunité d'investissement.

Un Programme d'Eclairage Efficace (PEE) propose de diffuser 40 millions de LBC dans l'ensemble du pays sur une période de cinq ans, en particulier parmi les ménages consommant moins de 350 kWh / mois, pour lesquels les taux électriques sont fortement subventionnés et l'achat de LBC n'est pas financièrement attrayant. De cette manière, le fournisseur d'électricité peut réduire la lourdeur des subventions et aussi fournir un service aux clients à faible revenu qui pourront ainsi réduire leurs coûts d'éclairage (compte tenu du plan du gouvernement qui vise à alléger les subventions à l'électricité). Le coût total d'investissement de ce projet est estimé à 102 millions d'euros et la structure de financement est de 75% en devise étrangère et 25% en monnaie locale. Pour faciliter la lecture, tous les coûts seront exprimés en US\$.

Tableau 4 - Les résultantes d'analyse économique d'un projet de 50 000 systèmes de chauffe eau solaires qui remplace des chauffes eau électriques.

		Le prêt étranger est: 75% à taux réduit + 25% prêt commercial (Base Case)				Le prêt étranger est 100% à taux réduis				Augmentation du prix de vente d'électricité par 100% Le prix devient (0.292 LE/KWH)			
		100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
Capacité installée des systèmes de chauffe eau solaires	M2	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
Budget total	Million Euro	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1
Facteur de Capacité	80% Solaire + 20% électricité												
Energie produite	MWh / an	94 186	94 186	94 186	94 186	94 186	94 186	94 186	94 186	94 186	94 186	94 186	94 186
Prix de vente d'électricité	LE /KWh	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.292	0.292	0.292	0.292
Taux de croissance annuelle de prix de vente d'électricité	per MWh	7.5%	7.5%	7.5%	7.5%	7.5%	7.5%	7.5%	7.5%	7.5%	7.5%	7.5%	7.5%
RCE	kgCO2/kWhe	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Différent prix de RCE	Euro/RCE	0	5	7.5	10	0	5	7.5	10	0	5	7.5	10
Taux d'actualisation (Discount Rate)		6.0%	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%
O&M (% de coût d'investissement total)		0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%
Prêt Local ((Million Euro) 25%		48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Taux d'intérêt		13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%
Période de remboursement (années)		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Période de grâce (années)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Prêt étranger ((Million Euro) 75%		16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6
75% à taux réduit (soft loan) (Million Euro)		12.4	12.4	12.4	12.4	16.6	16.6	16.6	16.6	12.4	12.4	12.4	12.4
Taux d'intérêt		1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
période de remboursement (années)		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
période de grâce (années)		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
25% un prêt commercial (Million Euro)		4.1	4.1	4.1	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	4.1	4.1	4.1
Taux d'intérêt		4.5%	4.5%	4.5%	4.5%					4.5%	4.5%	4.5%	4.5%
période de remboursement (années)		10	10	10	10					10	10	10	10
période de grâce (années)		1	1	1	1					1	1	1	1
Résultats													
Coût de chaque KWh Solaire produit (nivelé, Levelized) (cent. d'euro /KWh)		1.250	1.073	0.984	0.896	1.228	1.050	0.962	0.873	1.250	1.073	0.984	0.896
TRI		9.0%	12.0%	13.6%	15.4%	11.1%	16.1%	19.3%	23.4%	55.8%	68.2%	75.4%	83.3%

N.B.: Les trois cas dans le tableau ont un prêt local en LE de 25% du budget total du projet et un prêt en devises étrangères de 75%. Pour le cas de base et le troisième cas le prêt étranger, à son tour, se divise en deux prêts : l'un de 75% à taux réduit et l'autre de 25% en prêt commercial

2.3.2. Logique derrière le PEE

Une précédente enquête de l'OEP a indiqué qu'il existe un potentiel élevé d'acceptation des LBC avec une pénétration réelle minimale du marché. L'étude reflète également une forte volonté des consommateurs à acheter des LBC si elles étaient plus abordables et s'ils disposaient de plus de données quant à leurs performances et leurs capacités. D'après les avis d'experts, l'Égypte a un potentiel de remplacement de près de 120 millions de LBC. Ce potentiel est défini comme étant égal au nombre de lampes à incandescence d'au moins 25 W, utilisées au moins quatre heures par jour dans tous les secteurs résidentiel, commercial et industriel.

L'objectif du projet proposé est de diffuser 40 millions de LBC dans le pays sur une période de cinq ans. Nous supposons que 20% des 40 millions de LBC seront achetées et installées chaque année. La conception du projet devrait inclure différentes approches (y compris du porte à porte / ventes directes), qui peuvent améliorer le taux de pénétration (des LBC) dans chaque secteur du marché, tout en maintenant des coûts administratifs les plus bas possibles. Les clients pourraient acheter des LBC cash ou à crédit (auquel cas, ils devraient payer les frais associés à ce crédit) qui se rembourseraient mensuellement avec la facture d'électricité sur une période d'un ou deux ans. L'un des principaux objectifs du projet est de cibler les clients dans les groupes de revenus les plus faibles et de saturer cette partie du marché.

La conception du programme (des 40 millions de LBC) doit inclure un mécanisme d'évaluation élaboré pour non seulement surveiller les ventes de LBC aux différents groupes de consommateurs, mais également pour vérifier que les LBC sont utilisées correctement et pour examiner le degré d'acceptation, d'utilisation, de satisfaction des acquéreurs de LBC.

2.3.3. Méthodologie et données

L'impact économique de l'utilisation des LBC diffère selon qu'on se place du côté de la perspective sociétale, des services publics ou des clients résidentiels. Ni les avantages, ni les coûts ne sont identiques pour chaque perspective. Le taux d'actualisation approprié pour obtenir la valeur actualisée des bénéfices et des coûts futurs varient aussi selon chaque perspective. De plus, les avantages diffèrent même à l'intérieur du groupe des clients résidentiels parce qu'ils sont confrontés à différents prix marginaux de l'électricité. Les avantages pour la société résultent du fait que la même qualité de service d'éclairage sera fournie à un moindre coût sociétal total que par le passé car la société ne portera que le coût des LBC et des frais administratifs liés à l'implémentation de ce programme.

Les bénéfices de l'utilisation des LBC, du côté de services publics, incluent l'ajournement de l'investissement dans les centrales électriques, les réseaux de transmission et de distribution et l'économie de carburant qui permettent la diminution des impacts négatifs sur l'environnement. Le coût porté par les services publics dépend de la part des achats et des coûts du programme de LBC que les services publics doivent absorber. Ce dernier pourrait perdre des revenus selon les catégories de clients (en particulier pour les clients à haute consommation, donc à haut tarif) auxquels il vendrait moins d'électricité. Ces "pertes de revenus" ne sont pas un coût à proprement parler, mais elles affectent l'état des finances du service public.

Du point de vue du client, les bénéfices sont l'économie sur les factures de l'électricité et l'économie du «non-achat» d'ampoules à incandescence, tandis que le coût à porter est simplement le prix d'achat de LBC.

Coûts des lampes et leur économie énergétique

La majorité des lampes à incandescence utilisées en Egypte sont de puissance : 25, 40, 60, 100, 150 W. Pour les commodités de calculs, nous prendrons une valeur moyenne pour la puissance des lampes à incandescence de 60 W qui devront être remplacées par des LBC à 18 W (économisant ainsi 42 W par lampe). Nous estimons qu'avec un achat en gros, les LBC peuvent être achetées à un prix moyen de 3US\$ l'unité, en supposant que ces lampes soient exemptées de taxes, de sorte que le prix pour la société et pour les consommateurs soit le même. Le coût de mise en place du programme et de son évaluation, est estimé à 1US\$ par lampe, soit un coût total par lampe d'US\$ 4.

Nous supposons aussi que le facteur de « pic coïncidence » (peak coincidence factor) est de 0,75 (c'est-à-dire, 75% des 40 millions de LBC seront utilisées pendant les heures de pointe d'environ 7 à 11 heures). Nous supposons aussi que le passage à une plus grande efficacité d'éclairage ne conduit pas les consommateurs à utiliser les LBC plus qu'ils n'utilisaient les lampes à incandescence auparavant.

La période durant laquelle l'économie de l'énergie aura lieu est la durée utile de vie des LBC (estimé à 7 500 heures). Cela équivaut à environ 5 ans avec 4 heures d'utilisation par jour. Un engagement à long terme du service public dans la promotion des LBC devrait contribuer à assurer que les utilisateurs remplacent les LBC usées par des produits similaires dans le cadre d'un programme de collecte structuré.

Coûts évités dans le secteur de l'électricité

La demande d'éclairage résidentiel coïncide avec les heures de pointe du système. Ainsi, l'utilisation des LBC permettra de réduire la nécessité d'investir dans des centrales de production d'électricité assez coûteuses qui peuvent répondre à la demande en heures de pointe. Nous avons utilisé des estimations à long terme du coût marginal pour l'énergie et de la capacité durant les heures de pointe, qui a été déterminée dans une étude interne pour l'EEHC. Pour satisfaire les besoins des clients du secteur résidentiel, le coût annualisé de capacité marginale des heures pointes a été estimé à US\$ 150/kW et le coût de l'énergie en heures de pointe à US\$ 5 cents/kWh. Ces valeurs incluent le coût de la transmission et de la distribution de l'électricité aux consommateurs résidentiels. La production évitée des centrales thermiques et les économies de carburant réalisées réduiront à leur tour les émissions de GES et les polluants atmosphériques.

Taux d'actualisation

Etant donné que l'utilisation des LBC implique un compromis entre un investissement initial plus élevé et un flux d'économies futur, le choix d'un taux d'actualisation a un impact important sur les résultats. Dans le cadre de la présente analyse, nous utilisons 6% comme taux d'actualisation pour les perspectives sociétales et du service public et 8% pour la perspective du consommateur.

Prix de l'électricité

Le tarif résidentiel d'électricité en Egypte est divisé en 5 catégories selon le niveau de consommation mensuel. Le prix du kWh augmente avec la consommation. Nous avons utilisé une moyenne des coûts d'électricité évité estimée à US\$ 3,5 cents/kWh. Nous supposons également que le prix réel de l'électricité devrait augmenter de 7,5% au cours des cinq années de vie d'une LBC utilisée.

2.3.4. Résultats

Dans les sections qui suivent, nous allons présenter les résultats de l'analyse coûts-bénéfices en supposant que les coûts du programme sont distribués sur 40 millions de LBC pendant 5 ans.

a. Perspective sociétale

Si 40 millions de LBC sont utilisées pendant quatre heures par jour en moyenne, le total de la capacité de pointe évitée à la fin du programme s'élèvera à 1260 MW et la production d'électricité évitée pour la première année du programme sera de 370 GWh conduisant à une économie de carburant de 0.09 mtep (65 000 barils équivalents pétrole). L'économie totale du carburant pendant la durée de vie des 40 million LBC est estimée à 2.25 mtep.

La Valeur Actualisée Nette (VAN) des bénéfices à un taux d'actualisation de 6% est de 8,3 US\$ par lampe. Pour le programme de 40 millions de LBC, cela se traduit par une VAN totale de 332 US\$ millions par rapport à une VAN au coût de 160 US\$ millions.

b. Perspective du consommateur

Nous allons présenter les résultats selon la perspective du consommateur dans le cas où il doit payer la totalité du coût des LBC, et des frais administratifs liés au programme.

Avec une utilisation de LBC quotidienne de quatre heures et un taux d'actualisation à 8%, la VAN par lampe pour le consommateur moyen (dont l'utilisation mensuelle d'électricité est de l'ordre de 201-350 kWh) est d'environ 1,75 US\$ et la période de récupération est de 2,25 ans.

La VAN et la période de récupération varient selon le prix marginal de l'électricité que paye le client. Pour les clients dans la classe tarifaire la plus basse, qui représentent environ 20% de l'ensemble des clients, la période de récupération est d'environ neuf ans. Cette période est plus longue que la durée de vie prévue d'une LBC, conduisant à une VAN négative. Ces clients paient un prix marginal de l'électricité très bas (et fortement subventionné) et ne voient ainsi aucun avantage financier dans les LBC s'ils doivent payer la totalité de leur coût. Seuls les clients qui utilisent plus de 200 kWh par mois ont une VAN positive. En revanche, pour les ménages situés dans la classe tarifaire la plus élevée (consommation supérieure à 450 kWh / mois), représentant environ 10% des consommateurs, la période de récupération est inférieure à un an.

Il n'existe pas encore d'étude sur la période de récupération jugée acceptable par les ménages en Egypte, mais il est peu probable que le client moyen achète des LBC si sa période de récupération est de plus de deux ans. Le service public doit payer une partie des coûts afin de rendre la période de récupération des LBC attractive pour tous ses clients.

c. Perspective du service public

L'attractivité de ce projet pour le service public dépend de la quantité des pertes de revenus liés aux tarifs attribués aux catégories des classes de clients qui achètent le plus de LBC. Le gain est maximum pour le service public dans le cas de l'achat de LBC par les clients dans la catégorie tarifaire la plus basse; car ces clients paient un tarif marginal bien en dessous du coût évité de l'électricité. En revanche, le service public subit une perte nette lorsque les clients de la classe tarifaire la plus haute achètent des LBC. D'une manière générale, si la distribution de LBC reflète les coûts et les bénéfices applicables pour le consommateur moyen, le service public recevrait des bénéfices de VAN d'US\$ 122 millions dans le cadre du projet.

d. Discussion

Dans la perspective sociétale, le gain net du programme PEE sera considérable quel que soit le type de client résidentiel qui achète une LBC. Pour le service public, les coûts évités sont environ les mêmes, selon que la LBC soit utilisée par un consommateur à revenu élevé ou à bas revenu. Toutefois, les tarifs réservés au secteur résidentiel par le service public sont loin de couvrir les coûts

marginaux pour la plupart des clients (particulièrement pour les clients qui utilisent moins de 350 kWh/mois). Paradoxalement, le service public gagne lorsque ses clients consomment moins d'électricité. En revanche, le service public subit d'une perte lorsque les consommateurs de la classe tarifaire la plus haute utilisent les LBC.

Il est dans l'intérêt du service public de vendre autant de LBC que possible à des clients dans les catégories tarifaires les plus faibles. En plus du soutien financier pour réduire les coûts initiaux, l'option de paiement par crédit des LBC pourrait aider à surmonter le premier obstacle du coût initial dominant pour la majorité des ménages dans les classes sociales moyennes ou basses.

3. ESTIMATION DU COUT TOTAL DES PROJETS PROPOSES POUR LE SCENARIO D'ENERGIE A PLUS FAIBLE CONTENU EN CARBONE

Comme il a été déjà indiqué dans la partie II, le scénario alternatif proposé pour l'énergie comprend un "package" de projets d'ER et d'URE qui doivent être réalisés pour 2014/15. Ce "package" devrait être mis en place en plus des projets d'ER prévus par le scénario de référence. En l'ajoutant au scénario de référence, ce dernier se transforme en un scénario alternatif à faible teneur en carbone.

Le «package» comprend :

- 4 parcs éoliens de 200 MW chacun, soit un total de 800 MW à installer entre 2009/10 et 2014/15. Cette taille de projet de 200 MW d'énergie éolienne a un coût d'investissement de 270 millions d'euros et peut être réalisé en 2 ans. Le coût total de l'investissement pour cette activité est estimé à 1080 millions d'euros.
- Un programme visant à installer 250 000 systèmes de chauffe-eau solaires (soit 500 000 m² de surface de capteurs) remplacerait les chauffe-eau électriques actuellement utilisés dans les ménages jusqu'en 2014/15. On propose de réaliser ce programme par une organisation non gouvernementale à but non lucratif qui devrait être en mesure de coopérer avec des acteurs nationaux et internationaux et d'assurer la durabilité de cette activité au-delà de la durée du projet. Le coût total d'investissement estimé du programme est de 125 millions d'euros dont 14 millions d'euros seront alloués à la gestion du projet.
- Un Programme d'Eclairage Efficace (PEE) qui vise à diffuser 40 millions de LBC dans l'ensemble du pays sur une période de cinq ans, en particulier parmi les ménages consommant moins de 350 kWh/mois, pour lesquels les tarifs électriques sont fortement subventionnés. Le coût total d'investissement de ce projet est de 102 millions d'euros.

Pour réaliser ce scénario, un coût d'investissement supplémentaire est nécessaire. Cet investissement supplémentaire est égal au coût total du "package" précédent, prenant en compte les ajouts qui transforment le scénario de référence en un scénario alternatif moins émetteur en CO₂.

Le tableau 5 résume le coût total du package proposé.

Tableau 5 - Coût total des projets proposé pour transformer le scénario de référence en scénario alternatif jusqu'en 2014/15

Projets proposés	Coût d'Investissement En Million d'Euros
800 MW de fermes éoliennes	1080
250.000 systèmes de chauffe-eau solaire	125
40 million de LBC (PEE)	102
Coût total des packages de projets proposés	1307

Basé sur les informations et les estimations disponibles, le coût total du scénario de référence pour les secteurs de l'énergie jusqu'à l'année 2014/15 peut être projeté comme suit:

Tableau 6 - Coût d'investissement total du scénario de référence jusqu'en 2014/15

Secteur ou activité	Coût d'investissement En milliards d'euros
Secteur de l'électricité (n'incluant l'éolien)	5.7
2200 MW de fermes éoliennes	3
Secteur Pétrolier	4
Coût total du scénario de référence	12.7

Comme on peut le voir dans les tableaux 6 et 6, le total des coûts d'investissement requis pour les projets additionnels nécessaires pour transformer le scénario de référence en un scénario alternatif dans le secteur de l'énergie jusqu'en 2014/15 représente environ 10% du coût d'investissement du scénario de référence.

D'autre part, en se fondant sur le coût d'investissement des projets d'énergie éolienne et sur des calculs simplifiés du montant total des combustibles économisés durant les 20 années de la durée de vie des installations éoliennes, nous pouvons estimer que le coût des investissements permettant des économies d'une tep (tonne équivalent pétrole) est d'environ 50 euros / tep, alors que celle basée sur l'EE est de 20 à 30 euros / tep. Le coût pour éviter les émissions de GES provenant d'activités énergétiques peut être estimé à 19 et 10 euro/tCO₂éq pour les projets éoliens et les actions d'EE respectivement.

V. SYNTHÈSE DES CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

1. LE CONTEXTE ÉGYPTIEN ET LES ENJEUX DE L'ÉLABORATION D'UN SCÉNARIO ALTERNATIF D'ÉNERGIE À FAIBLE TENEUR EN CARBONE

1.1. Tendances et obstacles observés dans le secteur de l'énergie, et les besoins de réformes

- 1) La plupart de la production, des modes de consommation et des profils énergétiques ont généralement maintenu leurs tendances précédentes. La production de pétrole a connu un taux de croissance annuel moyen négatif (ou une diminution) de 2,4% au cours des 25 dernières années. Le gaz naturel quant à lui a connu un taux de croissance annuel moyen de 12,3% pendant la même période ; ce qui revient à un taux combiné annuel moyen des taux de croissance d'environ 2,8%. D'autre part, la moyenne annuelle des taux de croissance de la consommation totale de pétrole et de gaz naturel était d'environ 4,8%, soit plus de 70% au-dessus du taux de production. Cela reflète le besoin pressant de renforcer la contribution des ER et de l'URE dans le secteur de l'énergie.
- 2) De même, les tendances précédentes de la croissance de la charge de pointe d'électricité, qui est pratiquement le seul facteur gouvernant les plans d'expansions du système électrique, a augmenté à un taux moyen de plus de 6,6% au cours des 25 dernières années. Ce taux de croissance relativement fort dépasse celui de la population et celui du PIB. Cela se traduit par une intensité énergétique élevée qui, à son tour, souligne l'urgence de l'adoption d'une stratégie et de plans d'action d'Utilisation Rationnelle de l'Énergie (URE) à long terme.
- 3) Le cadre institutionnel de l'énergie reste quasiment inchangé. Le secteur de l'électricité reste fortement centralisé alors que le secteur pétrolier ne dispose toujours pas d'organisme de réglementation.
- 4) Le secteur pétrolier est moins avancé que les autres secteurs de l'énergie en terme de cadre institutionnel, malgré son rôle crucial dans l'économie nationale. Les informations données par ce secteur (qui restent limitées) sont encore une source de désagréments et de confusion notamment en ce qui concerne la production et l'exportation par rapport aux réserves qui doivent être maintenues pour protéger la sécurité énergétique nationale sans mettre en péril la durabilité de l'énergie. Plus encore, et malgré sa nécessité, il n'est pas certain qu'un organisme de réglementation pour le secteur pétrolier soit prévue dans un futur proche.
- 5) Les plans de développement actuels des Énergies Renouvelables (ER) prennent en compte principalement la production massive d'électricité alors que d'autres applications potentielles, telles que les systèmes de chauffe-eau solaires manquent encore de soutien. Cela explique pourquoi des réalisations importantes d'énergie éolienne ont été atteintes.
- 6) En dépit des progrès réalisés récemment en particulier l'apparente volonté gouvernementale de réformer le marché de l'électricité, les subventions à l'énergie restent un dilemme tant économique que social. Cependant, le secteur pétrolier a encore besoin d'efforts similaires.
- 7) L'intégration des ER (excluant l'éolien préalablement inclu), et de l'URE dans les stratégies nationales de développement durable et dans la planification énergétique, est encore inférieure à

celle du niveau requis. La même chose peut-être dite concernant l'intégration des efforts d'atténuation du CC dans les mêmes processus de planification nationale.

1.2. Résultats positifs attendus de la réforme proposée

- 8) Les cadres législatifs et réglementaires font actuellement l'objet d'une grande attention. Il est prévu que les changements anticipés se traduisent par le renforcement du rôle des ER et de l'URE dans le système énergétique égyptien, ce qui aura pour conséquence l'atténuation des effets du Changement Climatique (CC).
- 9) Après une longue attente, les discussions autour des changements du marché de l'électricité ont conduit à la naissance d'un projet d'une nouvelle loi sur l'électricité qui est actuellement en cours de ratification à l'Assemblée nationale.
- 10) Une caractéristique importante des objectifs de la loi sur l'électricité, en particulier pour la promotion de l'utilisation des ER, est la création d'un climat financier favorable qui attirera les investissements internationaux privés. Ces derniers contribueront à la réalisation de l'ambitieux plan d'énergie éolienne qui vise l'installation de 7200 MW d'ici 2020. Cela devrait se traduire par des réductions annuelles des émissions de Gaz à Effet de Sert (GES) d'environ 17MtCO₂eq.

1.3. Actions supplémentaire pour améliorer les résultats attendus de la réforme proposée:

- 11) Comme la loi de l'électricité est plutôt générique, un grand nombre de travaux et d'efforts doivent être fournis pour développer tous les détails qui permettront la réussite de la mise en place de cette nouvelle loi. Ces détails devraient permettre d'atteindre la libéralisation progressive du marché de l'électricité, qui est l'objectif final de la loi.
- 12) En plus du peu de mesures favorables dans le nouveau projet de loi sur l'électricité, l'URE n'a toujours aucun objectif quantifiable à atteindre, ni même d'entité chargée de sa promotion. Cette situation est vraie pour le côté de l'approvisionnement et encore plus claire pour le côté de la demande en énergie. Il est donc indispensable de créer une telle institution.
- 13) La coopération Euro-méditerranéenne l'Assistance Technique (AT) est nécessaire au niveau du soutien institutionnel et de la formulation de la politique énergétique au niveau national et régional. Il est suggéré qu'une initiative centralisée pour le soutien politique et institutionnel des ER et d'URE devrait être créée dans les PSEM (Pays du Sud et de l'Est Méditerranéens) afin de coordonner, harmoniser, intégrer et améliorer les efforts nationaux et régionaux dans ce domaine.

2. RECOMMANDATIONS

L'analyse présentée dans ce rapport a été élaborée pour estimer le coût d'un scénario alternatif d'énergie moins émetteur de CO₂ (principalement par le renforcement du rôle des ER et de l'URE). Dans le but de paver la route pour la formulation et la mise en place de ce scénario énergétique à

faible teneur en carbone, un certain nombre de recommandations sont proposées et résumées comme suit:

- 1) Des réformes du marché couplées à l'application de procédures et d'outils appropriés devraient prendre en considération l'intégration des ER et de l'URE comme des éléments clés pour la planification stratégique de l'énergie en Egypte.
- 2) Il est urgent d'élaborer une stratégie nationale pour l'URE et de créer une entité qui lui est dédiée afin d'affiner cette stratégie et de développer des initiatives et des programmes et de lui établir des objectifs quantifiables. L'entité proposée devrait faire le suivi des plans d'action et du degré de succès de la mise en œuvre de ces plans. Par conséquent, elle devrait recommander les modifications et les réadaptations nécessaires.
- 3) Il faut mettre au point un programme d'encouragement de l'URE visant les grandes diversités d'utilisation de l'énergie. Ce programme devrait également être adapté aux besoins des différentes catégories et types de consommateurs finaux.
- 4) Il est important de développer l'analyse économique basée sur les trois perspectives proposées : consommateurs, service public et société, afin de mesurer les coûts-bénéfices selon ces trois perspectives et être plus à même de proposer la conception de nouvelles initiatives de soutien aux ER et à l'URE.
- 5) Il est nécessaire d'encourager la coopération et les efforts de développement de la fabrication locale de l'équipement d'ER et d'URE en visant en particulier l'expansion vers les marchés régionaux comme un élément indispensable pour atteindre des économies d'échelle.
- 6) Il est important de rechercher, enquêter, formuler et peut-être recommander des mécanismes de financement novateurs pour appuyer l'utilisation généralisée d'ER et d'URE.

VI. CONCLUSION

L'Égypte s'est engagée à renforcer le rôle des ER et de l'URE dans son système énergétique. Comme un organisme dédié à l'ER existe (NREA), certains progrès ont eu lieu dans ce domaine. Inversement, le retard de d'avancement dans le domaine de l'URE peut être attribué à l'absence d'institution ciblée sur l'URE

La durabilité improbable des ressources énergétiques conventionnelles et la demande toujours croissante de l'énergie commencent à mettre en danger la sécurité d'approvisionnement. C'est pourquoi le renforcement du rôle des ER et de l'URE devient une obligation plutôt qu'un choix. Cette tendance qui prévoit de renforcer la contribution des ER et de l'URE, ouvre la voie à un dialogue national en ce qui concerne la création d'un scénario énergétique alternatif à faible contenu en carbone. Ce scénario ne sera atteint que si des réformes adéquates du marché et un environnement favorable aux investissements seront mis en place en vue d'accroître la participation du secteur privé dans ces activités.

L'Agence de réglementation de l'électricité (ERA) en coopération avec les compagnies électriques appartenant à l'Etat, a élaboré un nouveau projet de loi concernant l'électricité, qui a été envoyé au Parlement pour ratification. Le nouveau projet de loi vise à renforcer la contribution des ER de l'URE. Des mesures de réforme du marché de l'électricité, proposées par l'ERA, faciliteront l'application de la loi sur l'électricité une fois qu'elle sera approuvée. Afin de formuler un scénario énergétique alternatif à faible teneur en carbone, cette étude a proposé de nouvelles mesures complémentaires. La plupart des mesures prévues dans la loi sur l'électricité doivent encore être accompagnées par l'élaboration de plans d'action détaillés ayant des objectifs quantifiables, ainsi que d'un calendrier d'implémentation.

CHAPITRE 8

Le défi du secteur de l'électricité, les émissions de CO₂ liées et les solutions potentielles

Houda ALLAL, Habib ELANDALOUSSI, Thomas NIESOR et Jean-Loup ROUYER
Observatoire Méditerranéen de l'énergie

TABLE DES MATIERES

MESSAGES CLES	5
INTRODUCTION	7
I. CAPACITE INSTALLEE : 208 GW SUPPLEMENTAIRES SONT NECESSAIRES JUSQU'A 2020	9
II. PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE	10
1. Croissance rapide de la production d'électricité	10
2. Production électrique par source	11
3. Les combustibles dans la production électrique et les rendements de centrales	16
4. Des investissements considérables nécessaires pour des centrales supplémentaires à l'horizon 2020	19
III. QUELLES OPTIONS POUR LIMITER L'AUGMENTATION DES EMISSIONS DE CO₂ PROVENANT DU SECTEUR DE L'ELECTRICITE ?	21
1. Changement de combustible et réhabilitation des centrales	22
2. L'option de la capture et du stockage du dioxyde de carbone	26
IV. CONCLUSION	35

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 - Consommation d'électricité par habitant (en kWh/habitant)	11
Tableau 2 - Production d'électricité en Méditerranée (en TWh)	11
Tableau 3 - Tendances dans la croissance de production d'électricité (par source, 1971-2006)	12
Tableau 4 - Production électrique par source et par région (en TWh)	14
Tableau 5 - Combustibles fossiles dans la production d'électricité (en Mtep)	17
Tableau 6 - Consommations spécifiques des combustibles fossiles pour la production d'électricité (Mtep/TWh)	17
Tableau 7 - Estimations des besoins en investissements pour une capacité supplémentaire à l'horizon 2020 (x 1000 millions \$).....	20
Tableau 8 - Émissions de CO ₂ dans le secteur de l'électricité.....	21
Tableau 9 - Capacités des anciennes centrales électriques dans les PSEM	24
Tableau 10 - Coûts du CSC, source IEA « Essentiels de la technologie de l'énergie », déc. 2006	30
Tableau 11 - Maturité technique et économique des technologies CCS	34
Figure 1 - Méditerranée : tendances pour les paramètres choisis (1970 = indice 100).....	7
Figure 2 - Capacité totale installée dans la région Méditerranée (2006 et 2020).....	9
Figure 3 - Tendances dans la production d'électricité en Méditerranée (TWh)	10
Figure 4 - Les 5 principaux producteurs d'électricité en Méditerranée (TWh).....	11
Figure 5 - Tendances de la production d'électricité en Méditerranée (TWh)	12
Figure 6 - Part des sources d'énergie dans la production énergétique des PSEM.....	13
Figure 7 - Part des sources d'énergie dans la production électrique des PNM	14
Figure 8 - Contributions totales des combustibles fossiles dans la production électrique.....	16
Figure 9 - Combustibles fossiles pour la production électrique dans les PNM et PSEM.....	17
Figure 10 - Consommation spécifique du gaz et du charbon dans les centrales électriques	18
Figure 11 - Efficacité énergétique des combustibles fossiles pour la production d'électricité (Mtep/TWh).....	19
Figure 12 - Capacité installée des PSEM	20
Figure 13 - Émissions de CO ₂ dans le secteur de l'électricité, par source.....	21
Figure 14 - Émissions de CO ₂ dans le secteur de l'électricité par région	22
Figure 15 - Émissions de CO ₂ dans le secteur de l'électricité, par source dans les PSEM.....	24
Figure 16 - Réduction totale de CO ₂ grâce aux deux options proposées.....	26
Figure 17 - Capture en post-combustion.....	27
Figure 18 - Capture de précombustion.....	28
Figure 19 - Processus d'oxycombustion	28
Figure 20 - Oxycombustion, la boucle chimique.....	28
Encadré 1 - Exemple de centrales électriques anciennes existantes dans les pays de la Méditerranée.....	25

MESSAGES CLES

La demande énergétique totale de la région se caractérise par une croissance spectaculaire de la demande d'électricité beaucoup plus rapide que celle du PIB, de la consommation d'énergie primaire ou de la population, en particulier dans les PSEM. Pour ce groupe de pays, elle pourrait être multipliée par 2,6 entre 2006 et 2025, notamment du fait d'un triplement des consommations en Turquie, Tunisie et Algérie et un doublement en Egypte et au Maroc.

Le développement attendu du secteur industriel, l'accélération de l'accès à l'électricité et l'amélioration des niveaux de vie (directement liée à la consommation du résidentiel) sont la source de ces augmentations fulgurantes de consommation.

En 2006, la consommation d'électricité des PSEM représente 26% de la consommation totale d'électricité du bassin méditerranéen. Ce chiffre pourrait passer à 40% en 2025. La Turquie et l'Egypte représentent environ 60% de la production totale d'électricité des PSEM. La consommation annuelle moyenne par habitant d'électricité est 3,8 fois plus faible dans les PSEM que dans les PNM ; ce ratio pourrait être réduit à 2,3 à l'horizon 2025. Dans les PSEM, les énergies fossiles utilisées pour produire de l'électricité représentent plus du tiers de l'énergie primaire (34%) en 2006. Le choix des filières dépend des ressources naturelles disponibles dans les pays (gaz en Algérie et en Egypte, charbon en Israël, en Turquie et au Maroc). Depuis les 35 dernières années, un fait marquant est la pénétration du gaz naturel qui représente en 2006 50% des sources d'énergie utilisées pour produire de l'électricité, contre 3% en 1971. La part du pétrole dans la production d'électricité a évolué en sens inverse : passant de 56% en 1971 à 17%. Le charbon, qui représentait 10% en 1971 représente 20% en 2006. A l'horizon 2025, le charbon devra représenter 31% des combustibles fossiles pour l'électricité (contre 23% en 2006) et le gaz 64% (contre 55% en 2006). La question du nucléaire est considérée dans les PSEM ; elle pourrait commencer à apparaître dans le mix énergétique à l'horizon 2025.

Il résulte de ces évolutions que les émissions de CO₂ par le secteur de l'électricité ont été multipliées par 10 entre 1971 et 2006. En 2025, ces émissions devraient plus que doubler par rapport à leur niveau de 2006 dans les PSEM. Elles seront alors 1,2 fois supérieures aux émissions du secteur de l'électricité des pays de la rive Nord, alors qu'elles étaient 1,5 fois moins importantes en 2006. Les émissions du secteur représentent en 2006 34% des émissions totales de CO₂, part qui pourrait rester identique en 2025.

La forte pénétration du gaz naturel au dépend du pétrole depuis 1970 (dont la combustion émet 1,2 fois moins de CO₂ que le pétrole) a contribué à limiter les hausses d'émissions. Cependant, l'accroissement de la demande et l'augmentation de la part du charbon pour la production d'électricité (dont la combustion émet 1,7 fois plus que celle du gaz et 1,4 fois plus que celle du pétrole) a eu tendance à diminuer les avantages procurés par la pénétration du gaz naturel.

Dans ce chapitre, trois options sont analysées pour estimer le potentiel de réduction possible à l'avenir :

- L'accélération du passage d'un type de combustible à un autre (gaz naturel) : selon le scénario tendanciel dans les PSEM, la part du gaz naturel dans la consommation d'énergie primaire (dont environ la moitié est utilisée pour la production d'électricité dans les PSEM) passera de 34% en 2006 à 38%. Cette évolution permettrait de réduire le niveau des émissions de CO₂ à hauteur de 7% à 10%¹ par rapport à un scénario où la part du gaz naturel reste à son niveau de 2006.
- L'utilisation de technologies plus efficaces et moins consommatrices de combustibles : l'évolution tendancielle précédente peut être infléchie à travers un vaste programme de réhabilitation des centrales anciennes sur une dizaine d'années. L'OME a recensé un parc de plus de 22000 MW de centrales candidates à la réhabilitation ou au déclassement. Un tel programme, grâce à de nouvelles centrales de rendement plus élevé (50% dans les cycles combinés) pourrait permettre une réduction de consommation de combustibles de l'ordre de 10 Mtep par an, soit l'équivalent d'une réduction supplémentaire dans des émissions CO₂ de l'ordre de 3,7% à 5,2% à l'horizon 2025².
- Enfin, la capture et le stockage du CO₂ émis par les centrales électriques pourrait palier aux fortes émissions des centrales à charbon. Cependant, cette option est actuellement coûteuse (coût deux fois plus élevé que pour une centrale non équipée), consommatrice d'énergie et ne fait pas l'objet d'un marché mature et qui intègre de nombreuses incertitudes, notamment environnementales, ce qui ne permet pas de penser que les PSEM puissent massivement l'utiliser à l'horizon 2025.

L'essor prévu des consommations d'énergie dans les PSEM est considérable d'ici 2025, ceci est surtout lié au développement de la production d'électricité comme il est montré dans ce chapitre.

Cet essor pourrait toutefois être ralenti par les problèmes de financement des infrastructures. L'une des principales contraintes, pour les pays du Sud et de l'Est et de la Turquie, est liée aux investissements nécessaires pour les nouvelles centrales (+120 GW d'ici 2020) qui ont été estimés par l'OME, sur la base des coûts de janvier 2008, à près de 110 milliards d'Euros.

¹ Ceci représente une réduction de 50 à 71 Mt de CO₂ à l'horizon 2025 grâce à la pénétration de gaz prévu dans les différents pays. Ces taux de réduction sont calculés comparativement au niveau actuel d'émissions totales dans les PSEM de 709 Mt de CO₂.

² Ceci représente 26 à 37 Mt de CO₂ à l'horizon 2025. Ces taux de réduction sont calculés par rapport aux émissions totales de 709 Mt de CO₂ en 2006 dans les PSEM.

Il faut, de plus, ajouter les investissements relatifs aux ports charbonniers et aux infrastructures de production et de transport du gaz naturel qui sont également considérables ; ceci explique entre autres l'engouement pour les projets de centrales à cycles combinés au gaz (+60 GW) moins coûteuses et plus rapides à construire que les centrales thermiques à charbon par exemple.

A cela, on pourrait ajouter que le développement des interconnexions électriques et des échanges d'électricité permettront d'optimiser le fonctionnement des parcs de production et de contribuer à diminuer les besoins en nouvelles capacités de production. Il est donc indispensable, pour surmonter les obstacles et les contraintes qui s'opposent à un développement durable de la région, de développer les infrastructures qui permettront d'accroître les échanges, et tout particulièrement les interconnexions électriques et gazières.

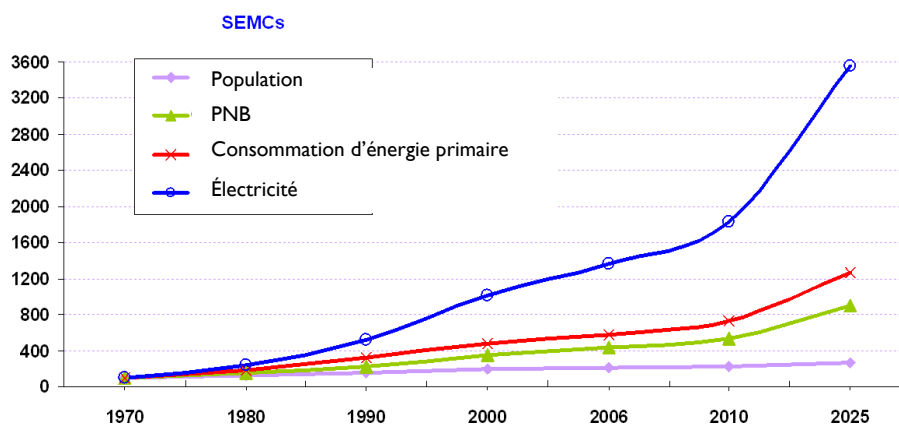
INTRODUCTION

Contexte et objectifs

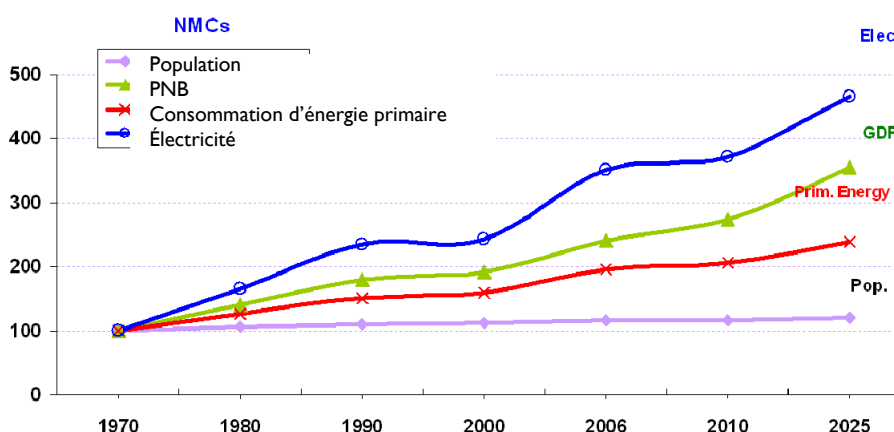
Le secteur de l'électricité de la région Méditerranée se développe rapidement, la croissance de l'électricité étant nettement supérieure aux croissances de l'économie, de la consommation d'énergie primaire et de la population. Ceci est plus particulièrement vrai pour les PSEM, où la croissance de la consommation d'électricité et d'énergie primaire est beaucoup plus rapide que celle des paramètres économiques et démographiques. Pour ce groupe de pays, la demande en électricité pourrait être multipliée par 2,6 entre 2006 et 2025.

Cette tendance marquée s'explique principalement par des développements dans le secteur industriel (notamment nouveaux procédés et automatisation) ainsi que par l'amélioration du niveau de vie du secteur résidentiel (par exemple appareils ménagers et climatisation).

Figure 1 - Méditerranée : tendances pour les paramètres choisis (1970 = indice 100)
PSEM



PNM



Source: OME

La forte demande en électricité est l'un des facteurs déterminants de la très nette augmentation de la consommation d'énergie primaire dans les pays de la Méditerranée. En 2006, dans les pays du Sud et

de l'Est de la Méditerranée, les combustibles fossiles utilisés pour produire de l'électricité comptaient pour 34% de la demande totale en énergie primaire.

Deux éléments sont particulièrement frappants dans les tendances du secteur de l'électricité : l'augmentation spectaculaire de la part du gaz naturel qui vient principalement remplacer le pétrole et la « résistance » du charbon qui se traduit par un fort impact sur les émissions de CO₂.

Le présent chapitre a pour objectif d'examiner la situation ainsi que les perspectives de ce secteur si riche en défis, les émissions de CO₂ correspondantes ainsi que les solutions possibles pour faire face aux préoccupations en matière d'émission de CO₂.

Sources d'information

Ce chapitre s'appuie sur une mise à jour et une extension de l'étude existante déjà réalisée par l'OME. Des informations supplémentaires ont été recueillies auprès des membres de l'OME, dans la littérature et auprès d'organismes internationaux.

À propos de ce chapitre

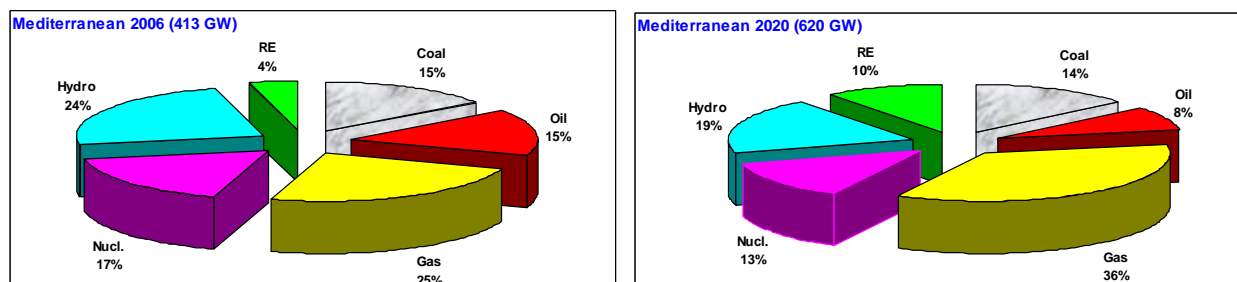
Le présent chapitre commence par une analyse détaillée du secteur de l'énergie, permettant l'estimation des émissions de CO₂ en fonction d'un scénario donné, et propose ensuite d'explorer les options disponibles pour limiter les émissions de CO₂, dans la production électrique.

I. CAPACITE INSTALLEE : 208 GW SUPPLEMENTAIRES SONT NECESSAIRES JUSQU'A 2020³

La capacité installée dans la région Méditerranée a considérablement progressé au cours des trois dernières décennies pour atteindre en 2006 413 GW. La capacité a augmenté d'un tiers au cours de la dernière décennie. En 2006, la part du gaz naturel représente 25% de l'énergie produite, suivi par l'énergie hydraulique (24%), le pétrole (15%), le nucléaire (17%), le charbon et les énergies renouvelables (respectivement 15 et 4%).

Entre 2006 et 2020, de nouvelles centrales devraient produire environ 208 GW supplémentaires. Dans leur grande majorité, ces centrales électriques seront alimentées à partir de gaz naturel (57% de l'augmentation, c'est-à-dire +120 GW) et d'énergies renouvelables (22% de l'augmentation ; soit +46 GW), ce qui montre une augmentation spectaculaire. Il est à noter que la part du pétrole devra diminuer dans toute la région (Figure 2).

Figure 2 - Capacité totale installée dans la région Méditerranée (2006 et 2020)



Source: OME

Dans les pays du Nord de la Méditerranée, en 2006, deux tiers environ du total des 309 GW de capacité installée sont couverts par l'énergie hydroélectrique, nucléaire et produite à partir du gaz naturel (respectivement 26, 23 et 18%). La capacité installée totale devrait être amenée à 400 GW avant 2020 ; la part du gaz naturel devrait alors dominer, suivi par l'énergie hydroélectrique et par l'énergie nucléaire. Les énergies renouvelables (hors hydraulique) devraient voir leur part augmenter de manière significative et atteindre 10.2% (contre 5% en 2006). Ce phénomène est dynamisé par le développement de l'énergie éolienne.

La capacité installée totale dans les PSEM a atteint 103 GW en 2006, avec la prépondérance du gaz naturel, du pétrole et de l'énergie hydraulique (respectivement 45, 20 et 19% du total). La capacité devrait atteindre 220 GW avant 2020 (capacité supplémentaire d'environ 120 GW), le gaz représentant environ 53% de la capacité installée totale (+64 GW), suivi par l'énergie hydraulique et le charbon. Dès 2015, le nucléaire devrait figurer dans le bouquet énergétique par le biais de projets égyptiens et turcs (Tunisie après 2020).

Entre 2000 et 2006, 64 GW de nouvelles centrales électriques ont été construites (environ 11 000 MW/an). Dans le scénario de base (*business as usual*), cette tendance se poursuivra avec un taux moyen d'environ 15 000 MW/an, ce qui donne une capacité supplémentaire de 200 GW avant 2020 (ceci représente 400 nouvelles centrales électriques, chacune ayant capacité de 500 MW).

³ Les évolutions de la capacité installée prévues par les entreprises s'arrêtent en 2020, les données pour 2025 n'ayant pas encore été rendues publiques.

II. PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE

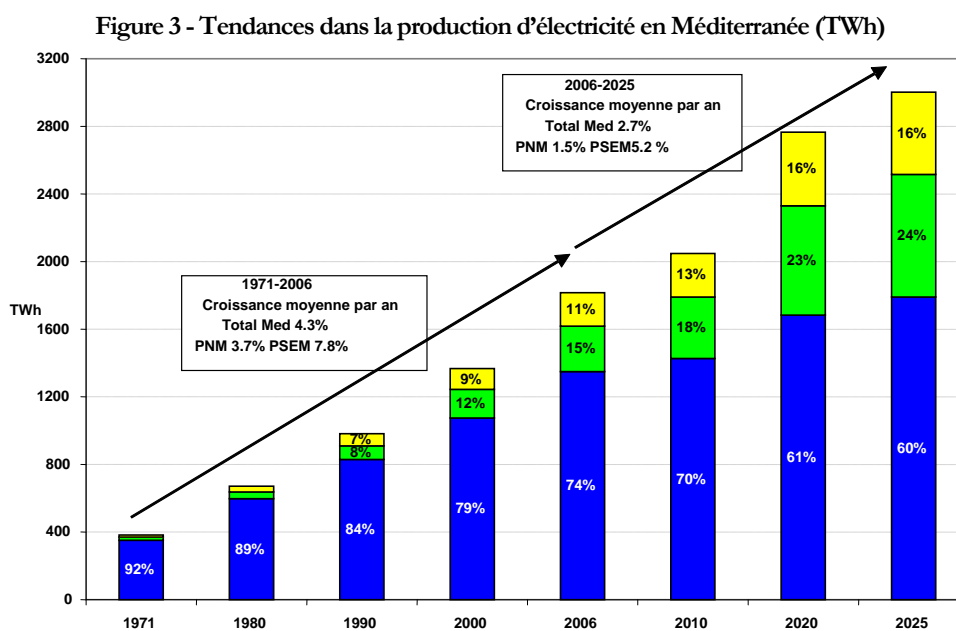
1. CROISSANCE RAPIDE DE LA PRODUCTION D'ELECTRICITE

La production d'énergie électrique en Méditerranée a atteint 1816 TWh en 2006 (419 TWh en 1971), dont 75% produits par les PNM (92% en 1971) et les 25% restant dans les PSEM (8% en 1971). La croissance de la production d'électricité a été forte dans toute la région (4,3%) et plus spécifiquement dans les PSEM, avec un fort taux de croissance moyenne de 7,8% entre 1971 et 2006 comparé à 3,7% pour les PNM.

Selon les prévisions publiées par les opérateurs énergétiques, la production totale d'électricité dans la Méditerranée devrait atteindre 3 000 TWh avant 2025, avec un taux de croissance moyen annuel de 2,7% entre 2006 et 2025. Dans les PNM, la production totale d'électricité devrait passer de 1350 à 1790 TWh (croissance annuelle moyenne de 1,5%). Sur la même période, la production dans les PSEM devrait plus que doubler, passant de 466 à 1212 TWh (croissance annuelle moyenne de 5,2%) (Figure 3).

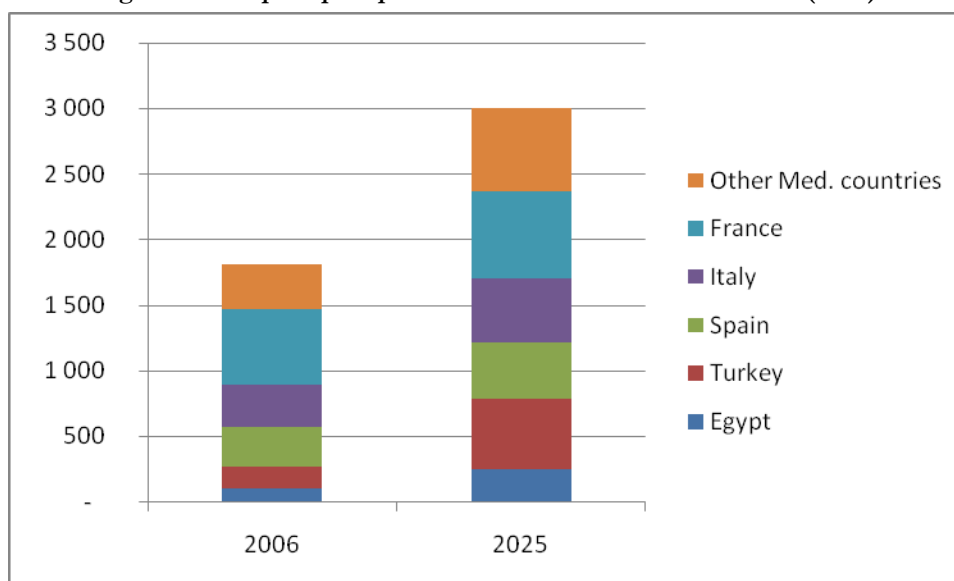
La Turquie et l'Égypte représentent ensemble environ 60% de la production électrique totale des PSEM. En 2025, la Turquie pourrait être le second producteur d'électricité du bassin méditerranéen (derrière la France).

La consommation d'électricité dans les pays de la Méditerranée est très étroitement liée au niveau de développement économique. Il est à noter que la consommation d'électricité par habitant diffère entre les deux rives de la Méditerranée, avec une moyenne de 6810 kWh/habitant dans les PNM contre 1780 kWh/habitant dans les PSEM. Le ratio de consommation d'électricité par habitant entre les PSEM et PNM est passé de 1/8 en 1971 à 1/4,2 en 2006 et il devrait atteindre 1/2,3 en 2025 (voir Tableau 2).



Source: OME

Figure 4 - Les 5 principaux producteurs d'électricité en Méditerranée (TWh)



Source: OME

Tableau 1 - Consommation d'électricité par habitant (en kWh/habitant)

	1971	1990	2000	2006	2020	2025
PNM	2259	4776	6119	6810	8205	8700
Med du SE	417	1168	2074	2504	4975	5499
Med du SO	191	715	1021	1278	2271	2504
PSEM	281	897	1451	1778	3364	3713
Méditerranée	1437	2799	3524	3944	5248	5641
FEMIP	284	513	1247	1504	2442	2722

Source: OME

Tableau 2 - Production d'électricité en Méditerranée (en TWh)

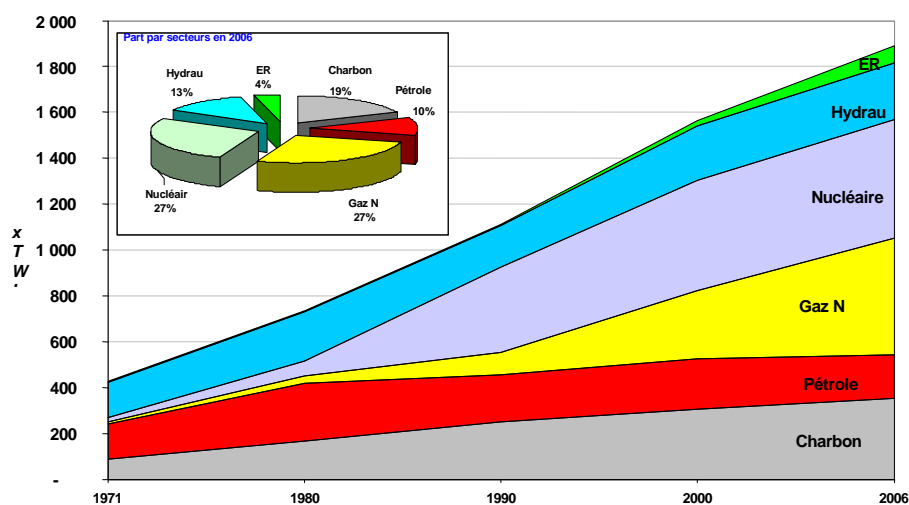
	Production en électricité (en TWh)				Taux de croissance annuel (%)	
	1971	1990	2006	2025	1971-2006	2006-2025
Med du nord	385	899	1350	1790	3,7%	1,5%
Med du SE	20	92	268	725	7,7%	5,4%
Med du SO	14	84	199	487	7,9%	4,8%
PSEM	34	176	466	1212	7,8%	5,2%
TOTAL	419	1075	1816	3002	4,3%	2,7%
FEMIP	24	54	284	647	7,3%	4,4%

Source: OME

2. PRODUCTION ELECTRIQUE PAR SOURCE

La Figure 4 illustre la forte croissance de la production d'électricité en Méditerranée. La croissance moyenne de la production annuelle basée sur le gaz naturel a atteint 11,5%, contre un très faible taux de croissance pour le pétrole (0,7%).

Figure 5 - Tendances de la production d'électricité en Méditerranée (TWh)



Source: OME

Le Tableau 3 compare la croissance de la production d'électricité par source d'énergie entre les deux régions. Depuis trente ans, le taux de croissance du gaz naturel n'a cessé d'augmenter, tant pour les PNM que pour les PSEM. Les 17,1% de progression spectaculaire dans les PSEM sont dus à une faible utilisation de ce combustible dans les années 1970 (la croissance a atteint 8% par an au cours des six dernières années). Pour les PNM, ces dernières années, le taux de pénétration du gaz naturel s'est accru de plus en plus rapidement (10,6% entre 2000 et 2006).

Tableau 3 - Tendances dans la croissance de production d'électricité (par source, 1971-2006)

	Charbon	Pétrole	Gaz naturel	Nucléaire	Hydras et ER	Total
PNM	3.1%	-0.8%	9.6%	10.6%	1.5%	3.7%
Med du SE	9.8%	3.6%	-	-	7.7%	7.7%
Med du SO	11.3%	5.3%	15.5%		2.2%	7.9%
PSEM	10%	4.3%	17.1%		5.3%	7.8%
Total	3.9%	0.5%	10.6%	10.6%	2.0%	4.3%

Source: OME

Partant d'une production d'électricité à base de gaz naturel de 1 TWh en 1971, les PSEM atteignent en 2006 un niveau de 230 TWh et devraient atteindre 682 TWh en 2025. Cette tendance correspond à la production en électricité basée sur le gaz naturel et représente une évolution passant de 3% en 1971 à 49% en 2006 et atteignant 56% en 2025.

Entre temps, la part de la production d'électricité à base de pétrole a nettement reculé au bénéfice du gaz naturel. La production à base de pétrole était de 20 TWh en 1971 (57% de la production totale), 81 TWh en 2006 (part de 17%) et devrait baisser à 41 TWh en 2025 (part de 3%).

La production d'électricité à base de charbon concerne trois pays, la Turquie, Israël et le Maroc. Sa production est passée de 3 à 92 TWh entre 1971 et 2006 (respectivement 10 et 20% de la production électrique totale) ; plus récemment, la Tunisie projette d'installer une capacité de production électrique à base de charbon d'environ 10 TWh avant 2020 (1600 MW) et 15 TWh à l'horizon 2030 (2800 MW). Pour l'ensemble des PSEM, le charbon devrait représenter 252 TWh d'électricité produite à l'horizon 2025 (part de 21%).

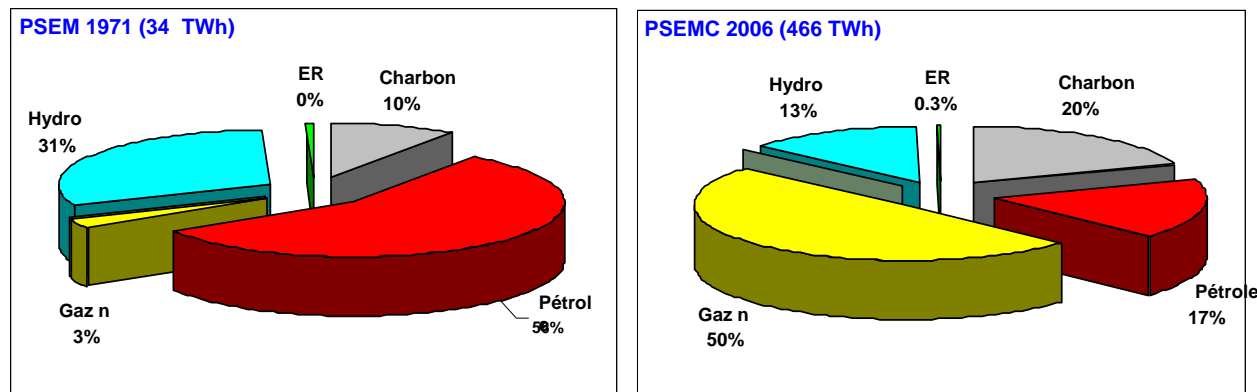
La production d'électricité basée sur l'énergie hydraulique est quant à elle passée de 10 à 62 TWh sur la période et devrait atteindre environ 142 TWh à l'horizon 2025. Sa part dans la production électrique totale a toutefois baissé en passant de 31 à 12%, et devrait se stabiliser à ce niveau à

l'horizon 2025. Alors que les PSEM ont atteint leur plein potentiel hydroélectrique, la croissance de ce secteur se maintiendra en Turquie.

La production d'électricité basée sur les ER a commencé en 1990, notamment avec des projets en Tunisie, au Maroc et en Égypte pour atteindre 1,4 TWh en 2006 (0,3% de la part de la production totale) et devrait augmenter à 42 TWh en 2025 (part de 3,4%).

Si à l'heure actuelle la production d'électricité nucléaire est non existante, elle devrait voir un certain développement avec des projets de centrales électriques envisagés en Égypte et en Turquie, à partir de 2015 et en Tunisie à partir de 2025.

Figure 6 - Part des sources d'énergie dans la production énergétique des PSEM



En partant d'une production à base de gaz naturel de 11 TWh, les PSEM ont atteint un niveau de 258 TWh en 2006 et devraient atteindre 578 TWh en 2025. Cette tendance correspond à une production d'électricité basée sur le gaz naturel, tenant compte d'une part de 3% en 1971, de 19% en 2006 et de 33% à l'horizon 2025.

Entre temps, la part de la production d'électricité basée sur le pétrole a nettement diminué au bénéfice du gaz naturel. La production à base de pétrole était de 132 TWh en 1971 (34% de la production totale), tombée à 100 TWh en 2006 (part de 7%) et devrait descendre à 69 TWh en 2025 (part de 4%).

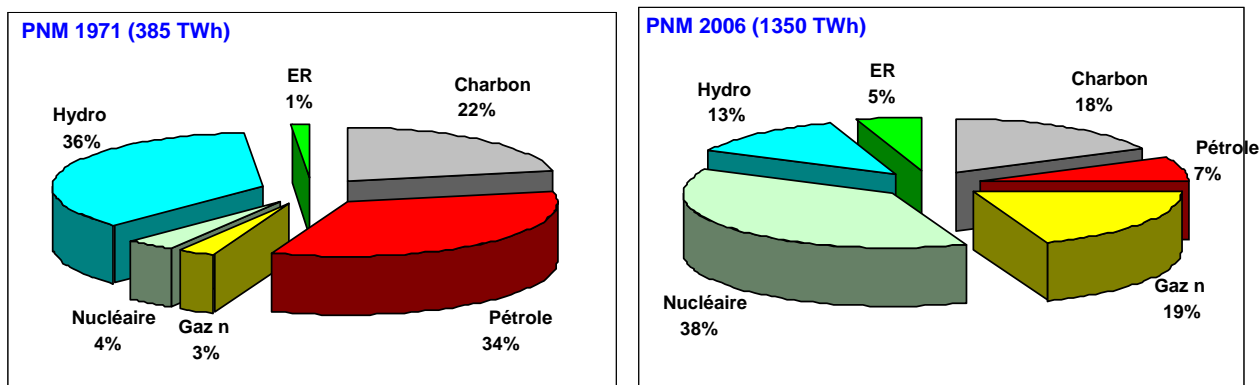
La production à base de charbon est passée de 83 à 237 TWh entre 1971 et 2006 (respectivement 22 et 18% de la production totale). Elle devrait décroître à 217 TWh à l'horizon 2025 (part de 12%). Ceci s'explique par le fait que la production à base de charbon devrait diminuer au bénéfice du gaz naturel, principalement en Espagne et en France.

La production d'électricité hydraulique est passée de 139 TWh en 1971 à 172 TWh en 2006. Elle devrait atteindre environ 204 TWh à l'horizon 2025. La part de l'hydraulique dans la production énergétique totale est passée de 36 à 13% et devrait se stabiliser à ce niveau au moins jusqu'à 2025.

La production énergétique basée sur les énergies renouvelables a commencé timidement avec 5 TWh en 1971 (1,3% de la part totale) pour atteindre 69 TWh en 2006 (5,1% de la production totale). Elle devrait augmenter et atteindre 207 TWh en 2025 (part de 12%). Cette part devrait être supérieure si les pays de l'UE se conforment aux nouvelles directives obligatoires de l'UE liées aux énergies renouvelables.

La production énergétique nucléaire est apparue dans les années 1970 dans le cadre du développement du programme nucléaire français. La production a augmenté pour passer de 15 à 515 TWh entre 1971 et 2006 (respectivement une part de 4 et 38% de la production totale). La production d'électricité nucléaire devrait atteindre 518 TWh à l'horizon 2025 (part de 29%).

Figure 7 - Part des sources d'énergie dans la production électrique des PNM



Source: OME

Tableau 4 - Production électrique par source et par région (en TWh)

	Méditerranée du Nord	Med du SE	Med du SO	PSEM	TOTAL
	Charbon	Charbon	Charbon	Charbon	Charbon
1971	82,8	3,0	0,3	3,3	86,1
1980	157,1	6,0	1,0	7,0	164,1
1990	200,8	30,6	2,2	32,9	233,7
2000	209,4	67,8	8,8	76,6	286,1
2006	237,3	78,9	12,9	91,8	329,0
2010	199,2	103,1	13,0	116,1	315,3
2020	178,7	204,3	23,6	227,9	406,7
2025	217,4	224,0	27,6	251,6	469,1

	Méditerranée du Nord	Med du SE	Med du SO	PSEM	TOTAL
	Pétrole	Pétrole	Pétrole	Pétrole	Pétrole
1971	132,4	13,4	5,8	19,3	151,6
1980	207,6	21,4	15,5	36,9	244,6
1990	137,0	21,9	34,9	56,8	193,8
2000	131,9	42,6	27,1	69,7	201,6
2006	99,6	46,0	35,1	81,0	180,6
2010	64,1	25,2	20,4	45,7	109,8
2020	56,8	30,5	23,6	54,1	110,9
2025	68,7	31,0	9,5	40,5	109,1

	Méditerranée du Nord	Med du SE	Med du SO	PSEM	TOTAL
	Gaz naturel	Gaz naturel	Gaz naturel	Gaz naturel	Gaz naturel
1971	10,5	0,1	0,9	0,9	11,4
1980	20,4	0,1	10,9	11,0	31,4
1990	47,5	12,6	35,5	48,1	95,6
2000	141,1	55,6	92,8	148,3	289,4
2006	258,3	93,9	135,6	229,5	487,8
2010	362,9	164,0	201,5	365,5	728,4
2020	568,0	247,6	338,5	586,1	1154,1
2025	575,6	301,6	380,4	682,0	1257,6

Tableau 4 - Production d'électricité par source et par région (en TWh) (suite)

	Méditerranée du Nord	Med du SE	Med du SO	PSEM	TOTAL
	Nucléaire	Nucléaire	Nucléaire	Nucléaire	Nucléaire
1971	15,2	0,0	0,0	0,0	15,2
1980	68,6	0,0	0,0	0,0	68,6
1990	373,0	0,0	0,0	0,0	373,0
2000	482,1	0,0	0,0	0,0	482,1
2006	514,8	0,0	0,0	0,0	514,8
2010	525,0	0,0	0,0	0,0	525,0
2020	521,5	31,7	10,5	42,2	563,7
2025	518,4	31,7	23,3	55,0	573,4

	Méditerranée du Nord	Med du SE	Med du SO	PSEM	TOTAL
	Hydrau	Hydrau	Hydrau	Hydrau	Hydrau
1971	138,7	3,5	6,9	10,4	149,2
1980	178,8	14,8	11,6	26,4	205,2
1990	134,7	26,4	11,3	37,7	172,5
2000	176,0	34,6	14,5	49,1	225,1
2006	171,5	48,4	13,9	62,3	233,9
2010	190,9	65,0	16,1	81,1	272,0
2020	202,5	123,1	18,1	141,2	343,7
2025	203,7	123,3	18,3	141,6	345,3

	Méditerranée du Nord	Med du SE	Med du SO	PSEM	TOTAL
	ER	ER	ER	ER	ER
1971	5,0	0,2	-	0,2	5,1
1980	5,0	0,1	-	0,1	5,2
1990	6,2	0,1	-	0,1	6,3
2000	19,9	0,3	0,2	0,6	20,5
2006	68,5	0,4	1,0	1,4	69,9
2010	84,5	6,2	7,2	13,4	97,8
2020	155,8	10,1	21,4	31,5	187,2
2025	206,6	13,3	28,2	41,5	248,0

	Méditerranée du Nord	Med du SE	Med du SO	PSEM	TOTAL
	Total	Total	Total	Total	Total
1971	385	20	14	34	419
1980	638	42	39	81	719
1990	899	92	84	176	1 075
2000	1 161	201	143	344	1 505
2006	1 350	267	199	466	1 816
2010	1 427	364	258	622	2 048
2020	1 683	647	436	1 083	2 766
2025	1 790	725	487	1 212	3 002

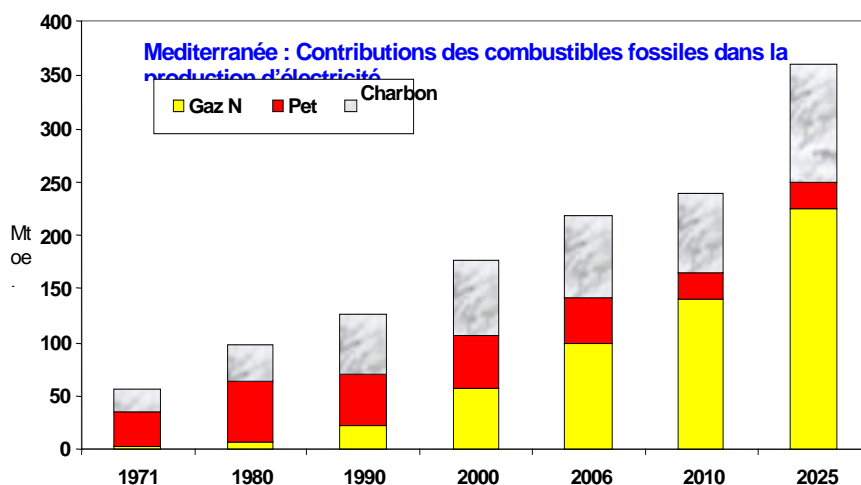
Source: OME

3. LES COMBUSTIBLES DANS LA PRODUCTION ELECTRIQUE ET LES RENDEMENTS DE CENTRALES

3.1. LES COMBUSTIBLES DANS LA PRODUCTION ELECTRIQUE

En 2006, dans la Région Méditerranée, les quantités de combustibles fossiles dans la production d'électricité ont atteint 220 Mtep (ce qui représente 23% des approvisionnements totaux en énergie primaire). Cette part est répartie comme suit : 45% pour le gaz, 35% pour le charbon et 20% pour le pétrole. À l'horizon 2025, les combustibles fossiles consommés pour la production d'électricité devraient atteindre 360 Mtep (environ 25% des approvisionnements totaux en énergie primaire), le gaz, le charbon et le pétrole représentant respectivement 63%, 31% et 7%.

Figure 8 - Contributions totales des combustibles fossiles dans la production électrique

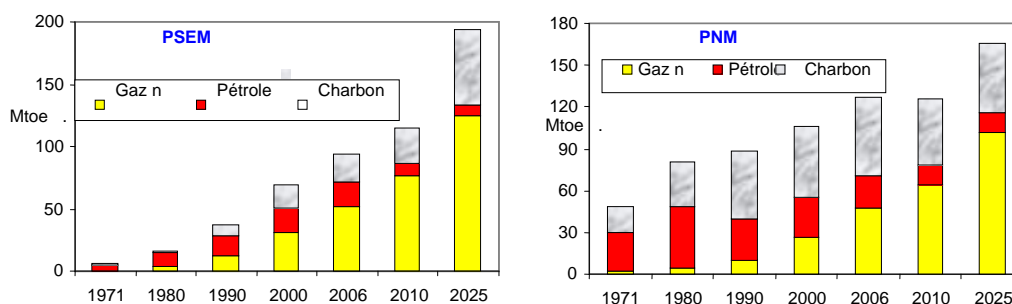


Source: OME

Pour les PSEM, la part des combustibles fossiles dans la production d'électricité s'élève en 2006 à 93 Mtep (représentant 34% des approvisionnements totaux en énergie primaire (ATEP)), le gaz, le charbon et le pétrole représentant respectivement 55, 24 et 22%. À l'horizon 2025, les combustibles fossiles consommés pour la production d'électricité devraient atteindre 194 Mtep (environ 32% des ATEP) dont respectivement 64% pour le gaz, 31% pour le charbon et 5%, pour le pétrole.

La consommation de combustibles fossiles dans la production d'électricité des PNM s'est élevée à 127 Mtep en 2006 (ce qui représente 18% des ATEP) dont 38% pour le gaz et 44 et 18% respectivement pour le charbon et le pétrole. À l'horizon 2025, les combustibles fossiles dédiés à la production d'électricité devraient atteindre 166 Mtep (environ 20% des ATEP) dont 61% pour le gaz, 30% pour le charbon et 5% pour le pétrole.

Figure 9 - Combustibles fossiles pour la production électrique dans les PNM et PSEM



Source: OME

Les combustibles fossiles contribuant à la production d'électricité sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 5 - Combustibles fossiles dans la production d'électricité (en Mtep)

	2006			2025		
	PNM	PSEM	MED	PNM	PSEM	MED
Gaz naturel	48	51	99	101	125	226
Pétrole	23	20	43	15	9	24
Charbon	56	22	78	49	60	110
TOTAL	127	93	220	166	194	360

Source: Estimations OME

En conclusion, on peut estimer que la part des combustibles fossiles entrant dans la production électrique restera relativement stable entre 2006 (23% des ATEP) et 2025 (25% des TATEP) pour la région dans sa globalité et pour les sous-régions. Comme les tendances décrites dans la section précédente le laissent supposer, la contribution du pétrole à la production diminuera alors que celle du gaz augmentera. Il est également important de souligner que la production d'électricité à partir du charbon augmentera également, ce qui aura un impact conséquent sur les émissions de CO₂ dans la région.

3.2. RENDEMENTS DES CENTRALES ET EFFICACITE DANS LA GENERATION ELECTRIQUE

L'efficacité énergétique des combustibles fossiles, charbon, pétrole et gaz naturel, est présentée dans le Tableau 6. En général, on observe une amélioration de la consommation spécifique sur la période. L'amélioration la plus remarquable concerne le gaz naturel grâce aux progrès significatifs réalisés dans la génération électrique avec des cycles combinés (rendement de 50% contre environ 25% pour une turbine à gaz).

Tableau 6 - Consommations spécifiques des combustibles fossiles pour la production d'électricité (Mtep/TWh)

Charbon	1971	1980	1990	2000	2006	2025
Méditerranée du Nord	0,264	0,242	0,242	0,244	0,236	0,227
Med du SE	0,409	0,314	0,264	0,244	0,236	0,242
Med du SO	0,303	0,358	0,321	0,216	0,244	0,225
PSEM	0,399	0,321	0,268	0,240	0,237	0,240
TOTAL	0,270	0,246	0,245	0,243	0,236	0,234

Tableau 6 - Consommations spécifiques des combustibles fossiles pour la production d'électricité (Mtep/TWh) (suite)

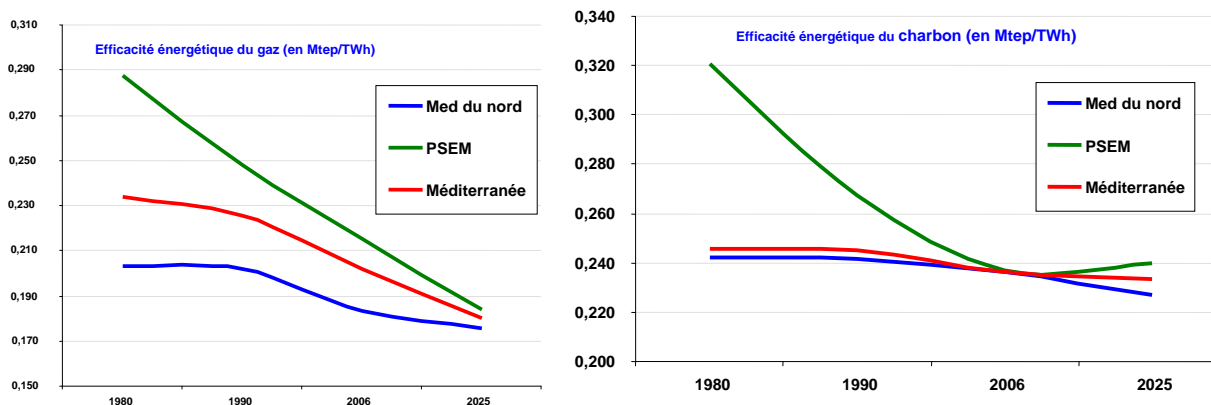
Gaz	1971	1980	1990	2000	2006	2025
Méditerranée du Nord	0,210	0,203	0,202	0,185	0,183	0,176
Med du SE	0,237	0,299	0,214	0,174	0,199	0,171
Med du SO	0,353	0,288	0,261	0,229	0,242	0,195
PSEM	0,346	0,288	0,248	0,208	0,215	0,184
TOTAL	0,221	0,234	0,225	0,197	0,202	0,180

Pétrole	1971	1980	1990	2000	2006	2025
Méditerranée du Nord	0,212	0,220	0,220	0,218	0,226	0,221
Med du SE	0,253	0,269	0,278	0,228	0,231	0,237
Med du SO	0,283	0,331	0,252	0,293	0,276	0,181
PSEM	0,262	0,294	0,263	0,251	0,249	0,225
TOTAL	0,218	0,231	0,233	0,230	0,236	0,223

GLOBAL	1971	1980	1990	2000	2006	2025
Méditerranée du Nord	0,229	0,227	0,229	0,220	0,212	0,192
Med du SE	0,281	0,279	0,259	0,216	0,219	0,202
Med du SO	0,292	0,315	0,258	0,242	0,248	0,197
PSEM	0,284	0,296	0,259	0,227	0,232	0,200
TOTAL	0,234	0,236	0,237	0,223	0,220	0,196

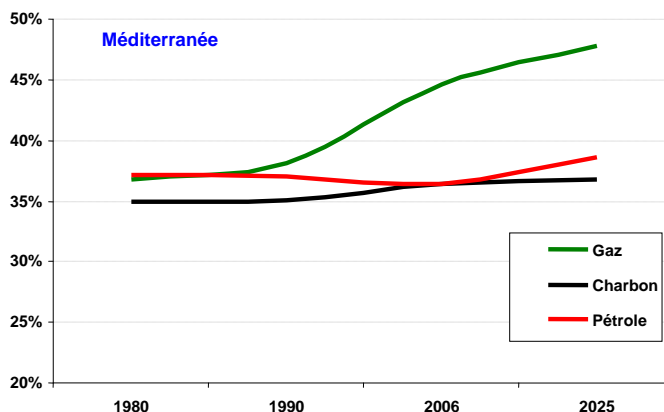
Source: OME

Figure 10 - Consommation spécifique du gaz et du charbon dans les centrales électriques

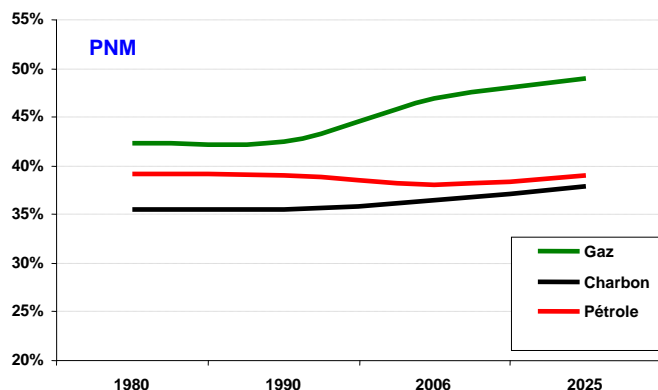
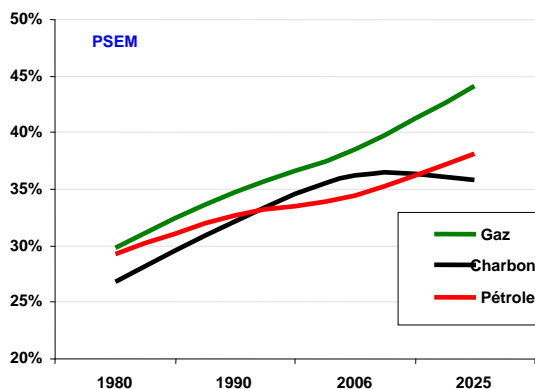


Source: OME

Figure 11 - Efficacité énergétique des combustibles fossiles pour la production d'électricité (Mtep/TWh)



Source: OME



Source: OME

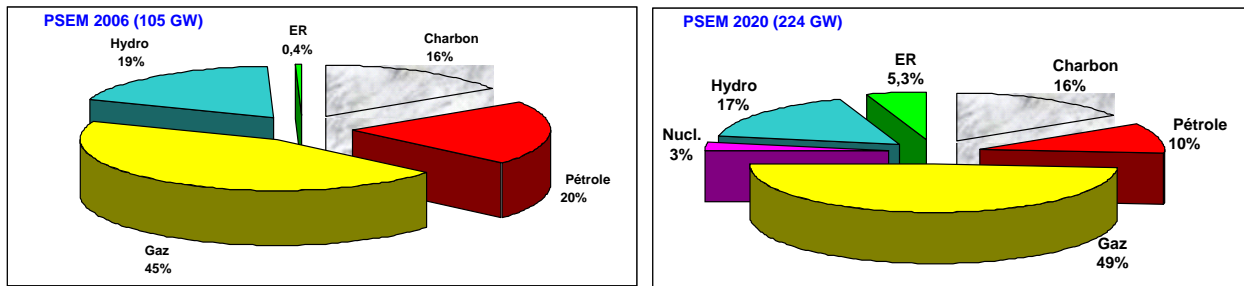
4. DES INVESTISSEMENTS CONSIDERABLES NECESSAIRES POUR DES CENTRALES SUPPLEMENTAIRES A L'HORIZON 2020

Devant la forte augmentation de la demande en électricité, les PSEM sont confrontés à un besoin croissant en nouvelles infrastructures. La capacité de production d'électricité de ces pays devrait plus que doubler au cours des 15 prochaines années, ce qui nécessitera la construction d'une capacité supplémentaire d'environ 120 GW à l'horizon 2020.

Il est difficile d'estimer avec précision les investissements à long terme. Bien qu'il est constaté qu'il existe une forte volatilité des coûts (construction et ingénierie) pour les centrales thermiques (conformément aux données du « European Power-CERA Watch », avril 2008) et une augmentation significative avec le temps, une estimation approximative, basée sur les coûts de janvier 2008, préfigure d'un niveau d'investissements cumulés d'environ 110 milliards €⁴ à l'horizon 2020 176 milliards d'USD, Tableau 7). Devant les difficultés pour attirer des investissements dans les projets énergétiques nationaux, les PSEM devront faire face à un défi majeur.

⁴ Les estimations de l'OME sont basées sur les coûts CERA, détaillant la volatilité des coûts des différents projets de centrales électriques thermiques à combustibles fossiles. Pour les centrales nucléaires, les coûts sont basés entre 2100 à 2500 €/kW.

Figure 12 - Capacité installée des PSEM



Source: Eurelectric, UAPTDE et communication directe de l'OME auprès des entreprises.

Les besoins futurs du Maghreb, de l'Égypte et de la Turquie impliquent de relever des défis particuliers car ces devront plus que doubler leur capacité installée sur les 15 prochaines années, passant de 83 GW en 2006 à 188 GW en 2020, soit 89% de la capacité supplémentaire des PSEM. Plus de la moitié de cette capacité additionnelle sera alimentée en gaz, principalement avec des centrales à cycle combiné –CCGT– (+38%). Les projets actuels couvriront environ 40 GW de capacité supplémentaire.

Des investissements substantiels seront également nécessaires pour réhabiliter la capacité de production existante. Le parc de production thermique des PSEM est essentiellement constitué de centrales relativement anciennes. Un premier recensement dans les PSEM indique que plus de 180 centrales ou groupes de production remontent à 20 et 50 ans d'âge et, par conséquent, devraient faire l'objet d'un programme de déclassement que ces pays devront envisager.

Tableau 7 - Estimations des besoins en investissements pour une capacité supplémentaire à l'horizon 2020 (x 1000 millions \$)

	Charbon	Pétrole	Gaz	Nucléaire	Hydro	ER	Total	Part par pays
Turquie	30729	0	20311	11250	21095	4221	87606	49,8%
Syrie		122	2992		206		3320	1,9%
Liban		20	651				671	0,4%
Israël	4788	1651	3909		960	350	11657	6,6%
PNA			1400				1400	0,8%
Jordanie		50	1404			71	1525	0,9%
Égypte			27492	3000	91	5040	35623	20,2%
Libye			10405			678	11084	6,3%
Tunisie	3040		2800		5	1595	7439	4,2%
Algérie		968	7840			2672	11480	6,5%
Maroc	1397	551	778			1509	4235	2,4%
PSEM	39953	3361	79983	14250	22357	16137	176040	100%

Source: OME

III. QUELLES OPTIONS POUR LIMITER L'AUGMENTATION DES ÉMISSIONS DE CO₂ PROVENANT DU SECTEUR DE L'ÉLECTRICITÉ ?

Pour la région Méditerranée, la part des émissions de CO₂ dans le secteur de l'électricité représente 30% du total des émissions de CO₂ en 2006 ; la part la plus importante revenant aux PSEM avec 36% contre 27% dans les PNM. Les émissions totales de CO₂ provenant du secteur de la production électrique s'élèvent à 636 Mt de CO₂ en 2006 dont 253 Mt dans les PSEM et 383 Mt dans les PNM.

D'après les prévisions de demande en électricité et les installations de production mises en œuvre, une augmentation des émissions de CO₂ (en valeurs absolues) dans le secteur électrique de la région Méditerranée est attendue, passant de 636 Mt en 2006 à 992 Mt en 2025, la part du secteur de l'électricité dans le total des émissions en Méditerranée restant stable, aux alentours de 30%.

Tableau 8 - Émissions de CO₂ dans le secteur de l'électricité

	1971	1980	1990	2000	2006	2010	2025
Gaz naturel	6	16	49	130	223	317	511
Pétrole	90	154	130	135	116	66	65
Charbon	75	129	218	265	297	288	417
Total	170	300	397	530	636	671	992

PNM Émissions de CO₂ dans le secteur de l'électricité (Mt CO₂)

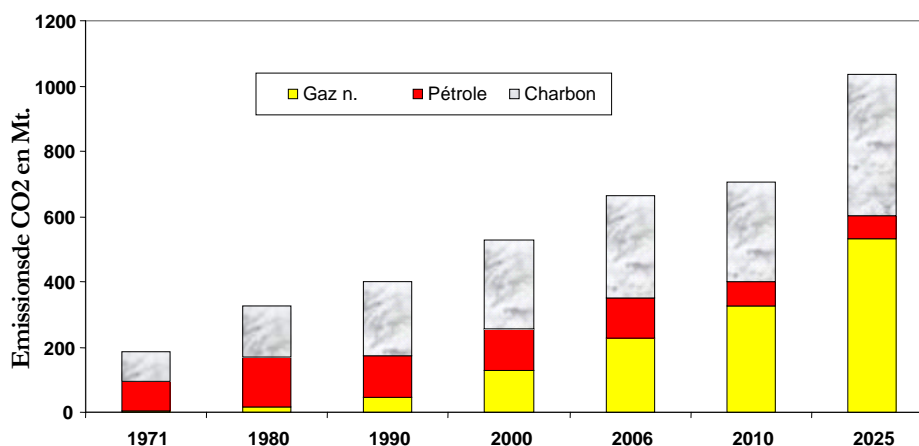
	1971	1980	1990	2000	2006	2010	2025
Gaz naturel	5	9	22	59	108	144	229
Pétrole	75	120	81	78	61	39	41
Charbon	70	121	185	195	214	182	187
Total	150	250	288	333	383	365	457

PSEM Émissions de CO₂ dans le secteur de l'électricité (Mt CO₂)

	1971	1980	1990	2000	2006	2010	2025
Gaz naturel	1	7	27	70	116	174	282
Pétrole	14	30	43	52	55	27	24
Charbon	5	9	33	70	83	106	229
Total	19	46	103	192	253	306	536

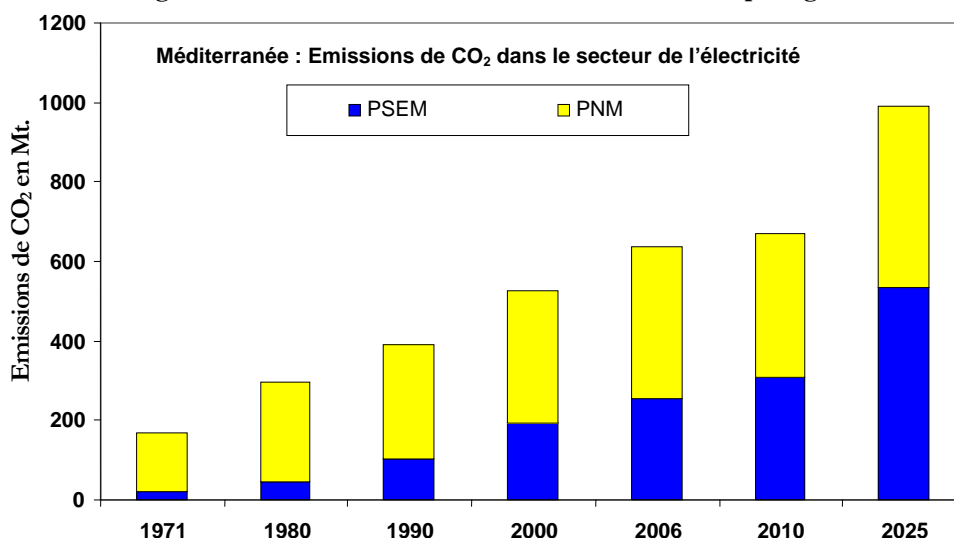
Source: OME

Figure 13 - Émissions de CO₂ dans le secteur de l'électricité, par source



Source: OME

Figure 14 - Émissions de CO₂ dans le secteur de l'électricité par région



Source: OME

Toutefois, l'augmentation des émissions de CO₂ n'est pas une fatalité et il existe plusieurs options permettant de limiter ou d'infléchir ces émissions. Il est à souligner l'impact positif sur les émissions de CO₂ de la forte intégration du gaz naturel en remplacement du pétrole au cours des dernières décennies. Toutefois, la progression attendue du charbon réduira les bénéfices pour l'environnement liés au développement du gaz naturel. Ainsi, l'amélioration du rendement dans les centrales électriques et la conversion ou le remplacement d'une source de combustible fossile par une autre moins polluante (passage du charbon ou du pétrole au gaz naturel) devraient figurer parmi les solutions en vue de réduire les émissions de CO₂.

Nous nous arrêterons ci-dessous plus particulièrement sur trois options afin d'estimer le potentiel de réduction des émissions de CO₂ en passant d'une source de combustible à une autre (teneur en carbone inférieure du gaz naturel), en favorisant des technologies plus efficaces en consommant moins de combustibles, et en capturant et stockant le CO₂. Ces deux premières actions comportent une très forte pénétration du gaz naturel et le remplacement des anciennes centrales électriques en exploitation dans les PSEM par de nouvelles centrales avec de meilleurs rendements.

1. CHANGEMENT DE COMBUSTIBLE ET REHABILITATION DES CENTRALES

1.1. L'augmentation de l'utilisation du gaz naturel contribue à réduire les émissions de CO₂

Dans la région Méditerranée, nous notons la forte pénétration du gaz naturel dans le bouquet énergétique des pays. La part du gaz naturel dans le bilan énergétique a progressé de 6% en 1971 à plus de 25% en 2006. À l'horizon 2025, elle devrait atteindre un niveau de 33%, environ 550 m³ de consommation de gaz.

Au début des années 1970, seuls cinq pays de la Méditerranée utilisaient du gaz naturel, alors qu'aujourd'hui, le gaz naturel occupe une part significative du bilan énergétique de la plupart des pays méditerranéens (à l'exception de Chypre, de Malte, du Liban et de la Palestine). Les derniers entrants sont la Grèce en 1999 (avec du GNL provenant d'Algérie), la Jordanie en août 2003 (avec du gaz

égyptien via le Gazoduc Arabe), Israël depuis 2004 (avec une production off-shore locale) et le Maroc en janvier 2005 (avec la mise en service de la première centrale électrique au gaz naturel à cycle combiné de Tahadart alimentée par le gaz algérien via le gazoduc GPDF). Avec l'extension du Gazoduc Arabe, Chypre, le Liban et la Palestine rejoindront bientôt les pays consommateurs de gaz. On s'attend également à ce que tous les pays méditerranéens augmentent progressivement leur consommation de gaz naturel. Le gaz, qui est la source privilégiée de combustible pour les nouvelles centrales, tant au nord qu'au sud, est ainsi appelée à connaître une plus forte pénétration grâce au développement des marchés dans le résidentiel et le tertiaire des PSEM, renforcée par la croissance démographique et par l'augmentation de l'urbanisation des régions côtières. La disponibilité des réserves en gaz (8500 m³ dans les PSEM) devrait permettre de satisfaire les niveaux élevés de consommation de gaz naturel. Cependant, il est évident que cela nécessitera des investissements majeurs dans les infrastructures pour relier les régions de production aux centres de consommation.

Une pénétration plus élevée de gaz dans la région devrait contribuer à éviter des émissions substantielles de CO₂ dans la région Méditerranée.

En effet, à titre d'illustration, si nous considérons qu'à l'horizon 2025, la part du gaz naturel dans la consommation d'énergie primaire demeure à son niveau de 2006 (34% pour les PSEM, et 26% pour l'ensemble de la Méditerranée) et que la consommation d'énergie supplémentaire nécessaire (d'environ +98 Mtep pour toute la Méditerranée, dont + 20 Mtep pour les PSEM) soit couverte par du pétrole et/ou du charbon, les émissions de CO₂ qui en découleraient à l'horizon 2025 seraient plus élevées⁵ encore que celles du scénario tendanciel présenté ici. Dans le scénario tendanciel, la pénétration du gaz naturel contribue donc, dans une certaine mesure à limiter la croissance des émissions de CO₂.

Plus encore, une solution permettant de réduire la croissance des émissions de CO₂ issues de la production d'électricité dans le scénario tendanciel serait d'accroître volontairement la rapidité de la pénétration du gaz naturel comme combustible pour la production électrique. D'un point de vue technique, on peut faire l'hypothèse que cette vitesse de pénétration soit deux fois plus rapide que dans le scénario tendanciel⁶.

Dans ce cas, les émissions de CO₂ dans les PSEM pourraient être inférieures de 55 à 77 Mt CO₂ en 2025, par rapport au scénario tendanciel. Ceci représente environ 8% à 11% des émissions des PSEM de 2006.

Ce calcul simple montre clairement qu'il existe un potentiel de réduction d'émissions par le changement de combustibles dans la génération d'électricité. Il montre aussi que le remplacement du charbon offre un potentiel plus important.

Néanmoins, ces émissions peuvent être réduites plus encore, par le biais d'une utilisation soutenue de nouvelles technologies avec de meilleurs rendements telles que le cycle combiné, l'énergie solaire, etc. particulièrement en ce qui concerne les centrales les plus anciennes qui devront être remplacées.

1.2. Réduction des émissions de CO₂ par la réhabilitation des centrales électriques les plus anciennes : quelles possibilités ?

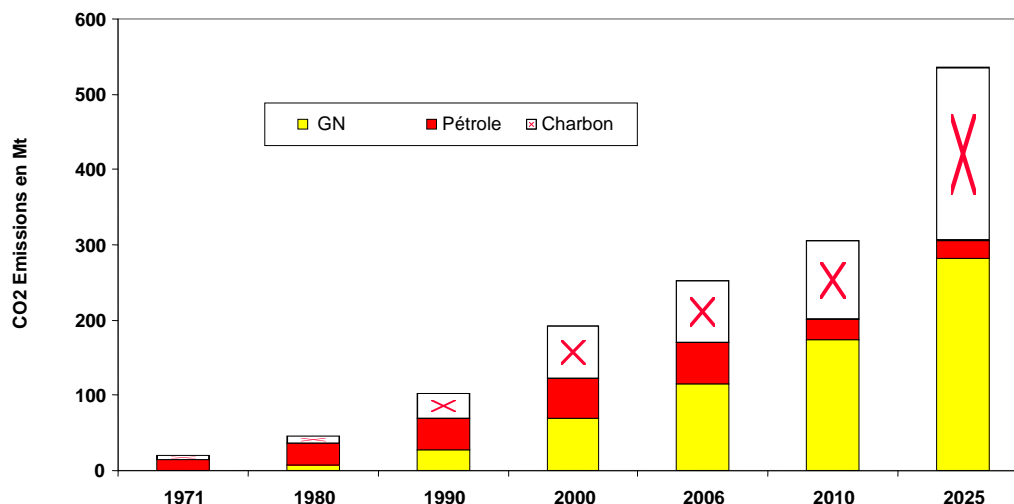
La deuxième source potentielle de réduction des émissions de CO₂ est étroitement liée au remplacement des anciennes centrales électriques en exploitation dans les PSEM par des centrales électriques dotées d'une nouvelle technologie avec de meilleurs rendements.

⁵ Dans ce cas, les émissions de CO₂ seraient supérieures de 266 à 374 Mt

⁶ Ceci signifie qu'au lieu de passer, pour la production d'électricité, de 51 Mtep de gaz (soit 55% des combustibles pour l'électricité) en 2006 à 125 Mtep en 2025 (64% des combustibles pour l'électricité), on passera à une quantité de 144 Mtep de gaz en 2025 (74% des combustibles pour l'électricité), ce qui représente environ 19% de plus de gaz entrant dans les centrales des PSEM en 2025.

On estime en 2006 les émissions de CO₂ qui proviennent du secteur électrique dans les PSEM à 253 Mt de CO₂. Conformément aux prévisions, elles pourraient atteindre environ 536 Mt à l'horizon de 2025, vu les besoins en combustibles fossiles des centrales électriques (principalement lignite, charbon et pétrole).

Figure 15 - Émissions de CO₂ dans le secteur de l'électricité, par source dans les PSEM



Source: OME

Pour faire face au besoin croissant en électricité, les PSEM doivent se doter de nouvelles centrales électriques et parallèlement en renouveler certaines qui doivent être déclassées. 50% environ des nouvelles centrales devraient être des centrales au gaz naturel et devraient, par conséquent, produire moins de CO₂.

Une étude récente dans les PSEM montre que plus de 180 centrales électriques ou groupes ont plus de 20 ans. Ces centrales les plus anciennes sont également caractérisées par de très faibles taux de rendement et par de mauvaises performances sur le plan environnemental ; elles doivent donc faire l'objet d'un programme de déclasserment que les PSEM devraient mettre en œuvre.

Si nous considérons que les 22000 MW des centrales les plus anciennes (qui fonctionnent au charbon et/ou au pétrole à des niveaux de rendements moyens ou faibles variant entre 22 et 33%) doivent être remplacées par des centrales plus performantes telles que les centrales électriques à cycle combiné au gaz (avec un rendement supérieur à 50%), on devrait économiser annuellement plus de 10 Mtep de combustible en entrée dans les centrales électriques ; ceci signifie par conséquent une réduction supplémentaire d'émissions de CO₂ dans les PSEM d'environ 3,7% à 5,2% (comparé au niveau de 2006 d'émissions totales de CO₂ de 709 Mt⁷ dans les PSEM). Le tableau ci-dessous répertorie certaines des centrales électriques les plus anciennes dans certains pays et montre qu'il existe déjà un potentiel important de réduction des émissions de CO₂ relativement facile à exploiter.

Tableau 9 - Capacités des anciennes centrales électriques dans les PSEM

	Nombre de centrales électriques	Capacité installée en MW sup >20 ans	Part de la capacité thermique en %
Turquie	55	4757	18%
Syrie	7	1602	29%
Liban	3	1065	45%
Jordanie	5	556	31%
Égypte	15	4358	27%
Libye	46	3719	59%

⁷ Ces taux de réduction vont de 10.4% à 14.7% si on les compare au niveau 2006 de 253 Mt d'émissions de CO₂ dans le secteur de l'électricité dans les PSEM.

Tunisie	18	1255	27%
Algérie	18	2931	38%
Maroc	14	1517	41%
TOTAL	181	21760	29%

Source: OME

Pour conclure, on peut noter que l'action combinée, à savoir la construction de nouvelles centrales électriques plus performantes, et le choix d'une technologie plus efficace dans la réhabilitation des anciennes centrales électriques, pourrait permettre une importante réduction des émissions de CO₂ dans la production d'électricité. Le programme de réhabilitation pourrait être mis en œuvre sur 9 à 10 ans pour renouveler les anciennes centrales électriques (2000 MW par an) avec une réduction estimée à 8-12% par rapport au niveau de 2006.

La troisième mesure pour la réduction des émissions de CO₂ est de recourir à la capture et le stockage du dioxyde de carbone, conformément à ce qui est illustré dans la section suivante.

Encadré 1 - Exemple de centrales électriques anciennes existantes dans les pays de la Méditerranée

En **Égypte**, 15 centrales électriques ont entre 20 et 40 ans, ce qui implique le déclassement potentiel d'une capacité de 4400 MW, soit environ 27% du total de la capacité thermique installée. Certaines des unités les plus anciennes ont plus de 40 ans, telles que les 113 MW de El Seiuf (construites respectivement en 1961 et 1969, avec un rendement de 21% en 2005). L'Égypte est le premier pays à avoir favorisé le développement de nouvelles centrales à cycle combiné. Dans ce but, EGAS a signé en avril 2008 un protocole d'accord avec Eni (Italie) et EEHC (Egyptian Electricity Holding Co.), pour réaliser une étude de faisabilité sur l'utilisation des toutes dernières technologies dans les centrales du pays. L'étude sera axée sur l'introduction des cycles combinés dans certaines centrales électriques afin d'améliorer le rendement et de réduire la consommation de gaz. Le protocole d'accord vise une économie de plus de 20% des quantités de gaz actuellement consommées dans ces centrales et de dégager des « bénéfices significatifs pour l'environnement ». Une partie des économies réalisées en consommation de gaz servira à couvrir les frais inhérents au projet.

En **Algérie**, 18 centrales environ ont entre 20 et 40 ans, ce qui implique le déclassement potentiel d'une capacité de 2930 MW, soit environ 38% du total de la capacité thermique installée. Parmi les unités les plus anciennes de plus de 40 ans avec une efficacité moyenne inférieure à 29% en 2006, on trouve le Port d'Alger (120 MW mis en service depuis 1961) ; Oran Ravin Blanc (133 MW, 1965) et Annaba (125 MW, 1973). Pour faire face à cette problématique, Sonelgaz a lancé un programme de construction de nouvelles centrales en vue de satisfaire la forte augmentation de la demande et de remplacer progressivement les centrales les plus anciennes (TV et TG arrivant en fin de vie). Ceci comporte 3600 MW de projets de centrales électriques à cycle combiné (pour couvrir la charge de base) et 2000 MW de turbines à gaz (pour la charge de pointe).

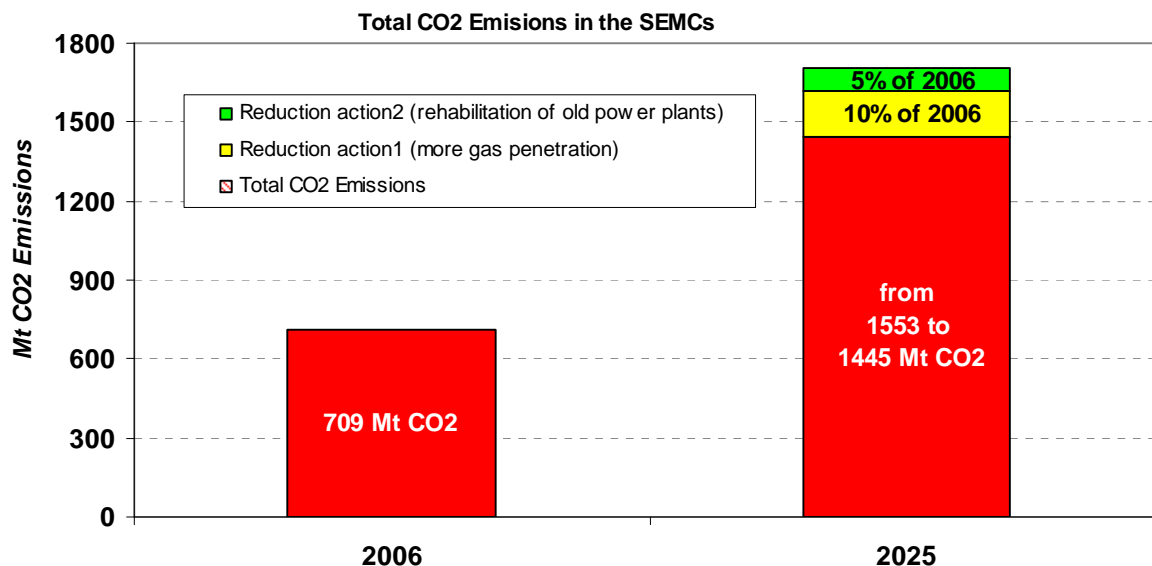
Au **Maroc**, 14 centrales électriques environ ont entre 20 et 40 ans ce qui implique le déclassement potentiel d'une capacité de 1520 MW, soit environ 41% de la capacité thermique installée de ce pays. Parmi les unités les plus anciennes qui ont plus de 35 ans, on note celles de Jerada (charbon 160 MW existant depuis 1972); El Ayoun (36 MW, 1971); Agadir (40 MW, 1974); Tanger (40 MW, 1975); Tétouan (40 MW, 1975/1977) et Kenitra (300 MW, 1979).

En **Tunisie**, 18 centrales électriques environ ont entre 20 et 40 ans ce qui implique le déclassement potentiel d'une capacité de 1260 MW, soit environ 27% du total de la capacité thermique installée du pays. Parmi les anciennes unités, on note celles de la Goulette (54 MW depuis 1965/1968); Ghanouche (52 MW, 1972), Ghennoude (44 MW, 1973); Tunis-Sud (52 MW, 1975); Gabes (23 MW, 1974/1978); Sfax (44 MW, 1977) et El Borma (44 MW, 1977).

En **Turquie**, 55 centrales électriques environ ont entre 20 et 40 ans ce qui implique le déclassement potentiel d'une capacité de 4860 MW soit près de 18% du total de la capacité thermique installée. Parmi les plus anciennes unités de plus de 30 ans, on trouve principalement des centrales électriques alimentées à la lignite et au fioul telles que Tuncbilek A&B (lignite 365 MW depuis 1956 et 1978); Soma A (lignite 44 MW, 1958); Zongdulak (fioul, 75 MW, 1961); Isdemir-Hatay (220 MW, 1970); Ambarli (630 MW, 1970) et d'autres unités d'autoproductions de plus de 150 MW (brûlant de la lignite et exploitée depuis 1922 et 1978).

1.3. Bénéfices en termes de réduction d'émission et investissements requis

Figure 16 - Réduction totale de CO₂ grâce aux deux options proposées



En 2025, la somme des réductions de CO₂ estimée grâce aux deux options analysées dans ce paragraphe (changement de combustible, réhabilitation des centrales électriques) est équivalent à 15% du total des émissions de CO₂ comparées au niveau des émissions en 2006 (Figure 15).

Les deux options proposées sont partiellement liées car la réhabilitation de centrales peut intégrer une utilisation plus importante du gaz. Mais, dans tous les cas les centrales électriques les plus anciennes doivent être rénovées car elles arrivent au bout de leur espérance de vie. Néanmoins, dans d'autres cas, la substitution de combustible peut être faite indépendamment des réhabilitations, ce qui explique que ces deux options sont présentées séparément dans ce chapitre.

Précédemment dans ce chapitre, les besoins d'investissement pour les centrales électriques dans le scénario tendanciel pour les PSEM à l'horizon 2020 ont été estimés à 110 milliards d'euros. Les deux options analysées ici nécessiteraient des investissements additionnels. La réhabilitation des centrales par des cycles combinés coûterait 19 à 20 milliards d'euros. Sachant que le changement de combustible (par la conversion de centrales existantes) est considéré comme moins coûteux que la construction d'une nouvelle centrale, le coût estimé dans le cas de cette option analysée serait de 8 à 10 milliards d'euros.

2. L'OPTION DE LA CAPTURE ET DU STOCKAGE DU DIOXYDE DE CARBONE

Afin d'éviter une forte concentration de CO₂ dans l'atmosphère, l'une des solutions techniques est de diminuer les émissions provenant du secteur de l'électricité et d'autres industries grosses consommatrices d'énergie. Parmi ces dernières, on trouve les cimenteries, les raffineries, la métallurgie, les aciéries et l'industrie pétrochimique (voir Annexe « Localisation des installations présentant les plus forts taux d'émission au niveau mondial »). Mais parmi toutes ces industries à forte intensité énergétique, le secteur de l'électricité représente plus de 75% des émissions de CO₂.

La capture et le stockage du dioxyde de carbone (CSC) est une solution possible. Ce procédé consiste à séquestrer le CO₂ en cours de production puis à le comprimer, le transporter et le stocker à long terme.

2.1. Technologies de capture

Dans une centrale traditionnelle, les gaz d'échappement contiennent principalement des gaz non polluants. Par ailleurs, les capacités de stockage sont limitées et sont techniquement complexes à exploiter. C'est pourquoi la première opération, à savoir la séquestration du CO₂, est nécessaire.

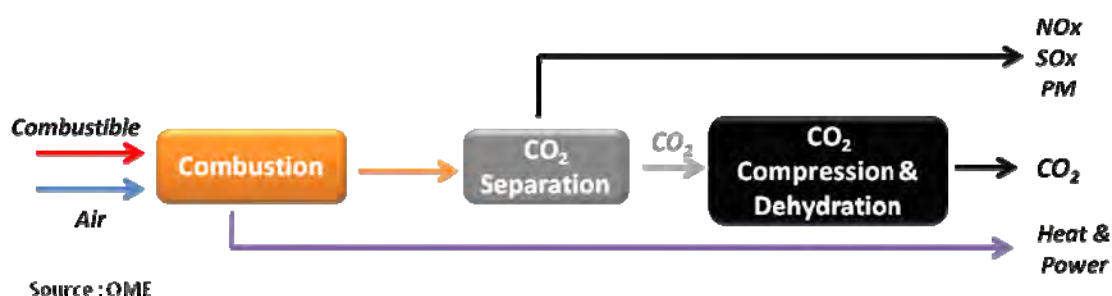
Dans le cas de la production d'électricité, la séparation du CO₂ peut se faire à différentes étapes du processus de production : avant, pendant ou après la combustion. Un processus de capture induit une diminution du rendement de la centrale électrique de 8 à 12 points. La capture permet une réduction des émissions de CO₂ supérieure à 85% dans les centrales électriques.

Pour les centrales alimentées au charbon, le terme « technologie au charbon propre » est fréquemment utilisé de manière abusive aujourd'hui. En fait, un « charbon propre » est un concept qui se réfère au CSC (capture et stockage du carbone) pour les technologies au charbon.

Processus de post-combustion

Dans ce cas, le traitement des gaz suit l'étape de combustion. Pour commencer, on isole les oxydes de soufre (SOx). Le mélange résiduel qui contient 15% de CO₂, est transporté vers une tour d'absorption dans laquelle le CO₂ est piégé par un solvant chimique. Le principal problème est le volume important de vapeurs d'échappement traité car le CO₂ est dilué et se trouve à basse pression. Dans un second tour, le solvant est chauffé pour récupérer le CO₂. Cette solution est la plus avancée mais aussi la plus coûteuse, mais s'avère être la seule utilisable dans les centrales électriques existantes.

Figure 17 - Capture en post-combustion



À l'heure actuelle, on utilise des amines comme solvants pour piéger le CO₂. Mais ils sont très sensibles aux impuretés et se détériorent rapidement : pour une tonne de CO₂ capturée, il faut renouveler environ 1 kg de solvant. C'est pourquoi les constructeurs développent d'autres solutions qui permettront également de réduire les coûts.

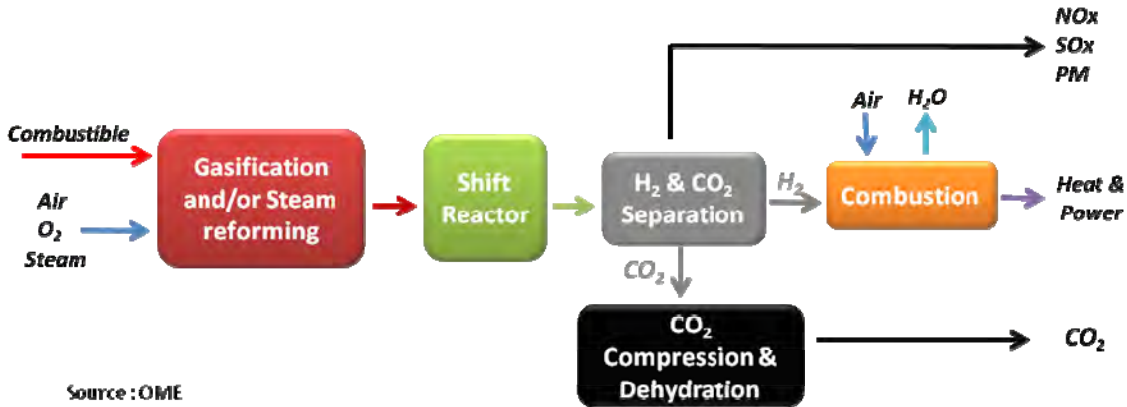
Les oxydes d'azote (NOx), les oxydes de soufre (SOx) et les particules (PM) sont des polluants toxiques qui tombent déjà sous la législation de réduction des émissions. Ces polluants sont localement nocifs pour la santé publique et contribuent également à la pollution atmosphérique mondiale.

Capture en précombustion

Dans ces installations, plusieurs étapes sont nécessaires. Le combustible est tout d'abord partiellement brûlé avec de l'oxygène (O₂) dans une unité de reformage de vapeur. Lorsque le

charbon ou la biomasse sont utilisés comme combustible, une étape de gazéification précède le reformage. Ces processus produisent de l'hydrogène (H_2) et du CO_2 . Mais l'exploitation de l'hydrogène (H_2) exige de concevoir un nouveau programme énergétique.

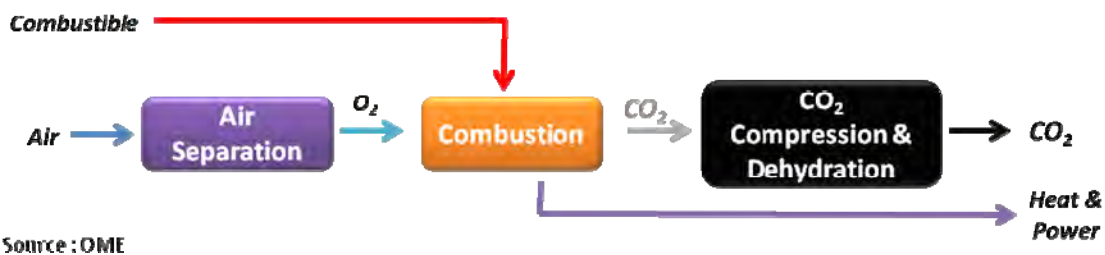
Figure 18 - Capture de précombustion



Oxycombustion

Ce dernier processus, combinant les aspects des autres systèmes, est en phase de démonstration. Toute la combustion se fait avec de l'oxygène pur en une seule étape. Les fumées d'échappement ne contiennent que du CO_2 et de la vapeur d'eau de sorte que le volume à traiter est nettement réduit.

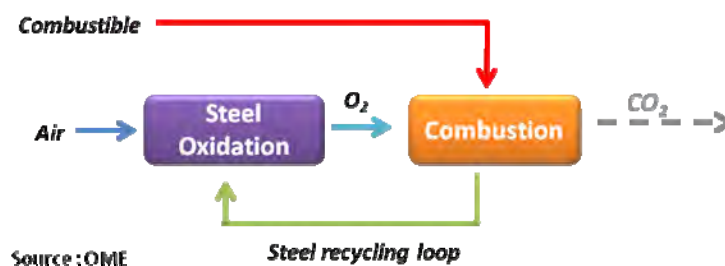
Figure 19 - Processus d'oxycombustion



Le second avantage considérable de cette technique est la réduction des émissions de NO_x , de SO_x et de PM. Mais la principale difficulté est la capacité des matériaux à résister aux températures extrêmes de la combustion par oxygène pur. Un autre problème est celui de la séparation de l'air actuellement réalisée par distillation cryogénique qui consomme beaucoup d'énergie. L'absorption modulée en pression sous vide est une alternative; mais à l'heure actuelle ce processus est utilisé uniquement dans de petites installations de séparation d'oxygène car il nécessite un adsorbant spécifique.

À l'Institut français du pétrole, la recherche cherche à développer une solution de production d'oxygène moins coûteuse, le « processus de boucle chimique »:

Figure 20 - Oxycombustion, la boucle chimique



2.2. Le transport

Le transport du CO₂ entre le site de capture et le site de stockage n'implique pas de difficultés spécifiques. Toutes les techniques issues du transport de gaz naturel sont disponibles. Les gazoducs peuvent être utilisés pour des distances courtes et moyennes. Afin d'éviter la corrosion des oléoducs, une phase de déshydratation est combinée avec la compression du CO₂. Le coût du transport dans un oléoduc existant est très faible pour de courtes distances (inférieures à 1 000 km), mais pour des distances plus longues et particulièrement pour des installations offshores, la construction des pipelines reste problématique. Dans ce cas, le transport de CO₂ par bateau est préférable. En cas de forte demande, les tankers utilisés en Méditerranée sur une large échelle commerciale pour le transport de Gaz naturel liquéfié (GNL), peuvent également transporter du CO₂.

2.3. Techniques de stockage

Après avoir été piégé et transporté, le CO₂ doit être stocké pendant des centaines d'années afin de couvrir toute la période problématique des émissions de gaz à effets de serre. Il n'est pas nécessaire de stocker le CO₂ « éternellement », mais plutôt d'utiliser un stockage tampon sécurisé pour retarder les émissions dans l'atmosphère. Deux techniques sont actuellement à l'étude : le stockage géologique et le stockage en mer. Le stockage en mer en est toujours au stade de la recherche et ne sera disponible que d'ici dix ou vingt ans, essentiellement pour des raisons de sécurité. Les difficultés inhérentes au stockage géologique sont moindres. La découverte des réservoirs géologiques naturels de CO₂, dans le sud de la France par exemple, rend ce processus possible.

Le stockage géologique peut utiliser :

- Les champs de gaz ou de pétrole épuisés ou exploités
- Les formations salines en profondeur
- Les veines de charbon inexploitées

Champs de gaz et de pétrole

Les champs de gaz et de pétrole présentent de nombreux avantages. Le terrain géologique est bien connu, l'étanchéité a déjà été testée. Pour le cas spécifique de champs pétrolifères en exploitation, l'injection de CO₂ contribue à l'optimisation de la production : ce processus est appelé « EOR » c'est-à-dire l'extraction pétrolière assistée.

La problématique de ce stockage est la distribution inégale à la surface de la planète de ce type de réservoir et le fait que les capacités disponibles semblent insuffisantes pour répondre aux besoins de stockage à long terme.

Même si les champs pétrolifères et de gaz semblent plus sûrs, il demeure quelques risques : l'évolution des fissures, les interactions chimiques entre le gaz et les roches, les contraintes pesant sur les réservoirs épuisés... Le suivi des projets actuels permettra de répondre à ces questions.

Formations salines profondes

Ces eaux souterraines saumâtres sont situées en profondeur et leurs eaux sont trop salines pour être potables ou servir à l'irrigation. Le potentiel de stockage est supérieur à celui des champs de gaz et de pétrole et les formations salines profondes sont également mieux réparties dans les différentes régions du monde. Les recherches autour de ces réservoirs sont récentes et il n'y a pas d'informations particulières sur l'évolution à long terme dans le cas de l'injection de CO₂. Ici, il

existe un risque spécifique de pollution des formations d'eau douce qui sont à proximité des formations salines.

Veines de charbon inexploitable

Les veines de charbon ont la capacité d'adsorber le CO₂ de préférence au méthane qui est naturellement présent dans le charbon. Ce mécanisme de stockage peut être couplé avec l'exploitation du méthane afin d'en réduire le coût : ce processus est appelé Extraction assistée de méthane issu des veines de charbon (ECBM). Mais la faisabilité à long terme n'est pas encore prouvée car les veines de charbon non exploitables sont plus perméables que les autres réservoirs.

Potentiel

On estime le potentiel de stockage global total à plus de 2 000 GtCO₂, représentant environ 80 ans d'émissions actuelles. À ce jour, aucune étude spécifique n'a encore fourni d'estimation du potentiel en Méditerranée.

2.4. Aspects économiques

Les processus de capture génèrent une diminution de 8 à 10 points de la performance moyenne d'une centrale électrique. Les frais de capture sont donc élevés en raison des investissements et de la contribution à l'exploitation. À l'heure actuelle, les investissements pour un prototype de centrale électrique équipée d'installations de capture représentent le double des investissements nécessaires pour une centrale électrique sans installations de capture. Les frais de production sont également quasiment multipliés par deux, mais les coûts de transport et de stockage de CO₂ sont plus abordables.

Pour ces raisons, même si certains PSEM possèdent des capacités de stockage, notamment les réservoirs de gaz épuisés, les coûts de opérations de capture constituent un obstacle majeur à une implantation d'envergure du CSC dans la région.

La faible valeur du CO₂ est le principal obstacle au développement du CSC. Le Programme Européen d'Echange de Quotas d'Emission de Gaz à Effet de Serre (EU ETS) fixe un prix pour le CO₂. Mais les projets CSC ne sont pas inclus dans l'EU ETS et, même s'ils l'étaient, la valeur actuelle du CO₂ est très faible. L'incertitude sur la réglementation est le second élément qui ralentit les investissements des industriels.

Tableau 10 - Coûts du CSC, source IEA « Essentiels de la technologie de l'énergie », déc. 2006

Costs	
Investment (\$/kW)	Some 50% of the power plant investment cost (demonstration plants with CCS)
O&M (\$/kW)	Same as the power plant (2.5-4% of the investment cost per year)
Capture from p. plants	\$ 20-80/tCO ₂ (\$20-40/t for cost-effective separation techniques)
Transport	\$ 1-10/tCO ₂ per 100 km for large-scale transportation by pipeline
Storage & monitoring	\$ 2-5/tCO ₂ site-sensitive
Total cost from p. plants	\$ 30 to 90/tCO ₂ (may be much higher depending on technology, site, CO ₂ purity)
Impact on electricity cost	\$ 20-30/MWh (incremental electricity cost due to CCS)
Separation from nat. gas	\$ 5-15/tCO ₂ (onshore-offshore)
Cost projections	Total CCS cost expected to fall below \$ 25/tCO ₂ by 2030, depending on technology learning/advances, with incremental electricity cost of \$10-20/MWh

Frais	
Investissement (\$/kW)	50% du coût de l'investissement d'une centrale électrique (centrales prototypes avec CSC)
O&M (\$/kW)	Idem centrale électrique (2,5 à 4 % du coût d'investissement par an)
Capture à partir de centrales électriques	20 à 80 \$/tCO ₂ (20 à 40\$/t pour des techniques de séparation rentables)
Transport	1 à 10\$/tCO ₂ par 100 km de transport à grande échelle par pipeline
Stockage et surveillance	2 à 5\$/tCO ₂ sensible au site
Coût total à partir de centrales électriques	30 à 90 \$/tCO ₂ (peut être supérieur en fonction de la technologie, du site, de la pureté du CO ₂)
Impact sur le coût de l'électricité	2 à 30\$/MWh (coût additionnel de l'électricité dû au CSC)
Séparation du gaz naturel	5 à 15 \$/tCO ₂ (onshore-offshore)
Projections de coût	Le coût total du CSC attendu doit baisser à un niveau en dessous de 25 \$/tCO ₂ à l'horizon 2030, en fonction des progrès de la technologie, avec un coût additionnel de l'électricité de 10 à 20 \$/MWh.

2.5. Aspects sécurité

Risques

Le processus de capture en lui-même, ne présente pas de risques spécifiques, mais les risques habituels pour la santé publique, la sécurité et l'environnement d'un tel processus industriel devront être gérés.

Le transport du dioxyde de carbone présente moins de risques que celui des hydrocarbures par oléoducs ou par bateau.

Le cas des réservoirs est plus compliqué ; le stockage du CO₂ peut impliquer d'importantes modifications dans l'environnement géologique et remonter à la surface. Pour éviter ou éliminer ces risques, une gestion bien structurée est obligatoire, impliquant :

- le choix minutieux du site
- le suivi précis de l'évolution des réservoirs
- l'indépendance réglementaire
- la possibilité de modifier la procédure en cas d'incident.

Aspects juridiques

Aucune loi internationale ne définit les conditions pour la capture, le transport et le stockage du dioxyde de carbone. Une réglementation spécifique est nécessaire, notamment pour le stockage. Pour les installations à terre, les réglementations nationales peuvent être suffisantes, quelques cadres juridiques pour le stockage de CO₂ à long terme sont déjà en cours d'élaboration. Le transport et le stockage offshore sont plus complexes, des traités internationaux sont obligatoires. Le problème du CO₂ doit être étudié et décrit de manière précise dans un instrument international existant tel que la Convention de Londres et la Commission OSPAR.

L'aspect problématique de l'assurance émane de la législation : les compagnies d'assurance doivent élaborer les normes visant la couverture du transport et du stockage de CO₂.

Informations du public

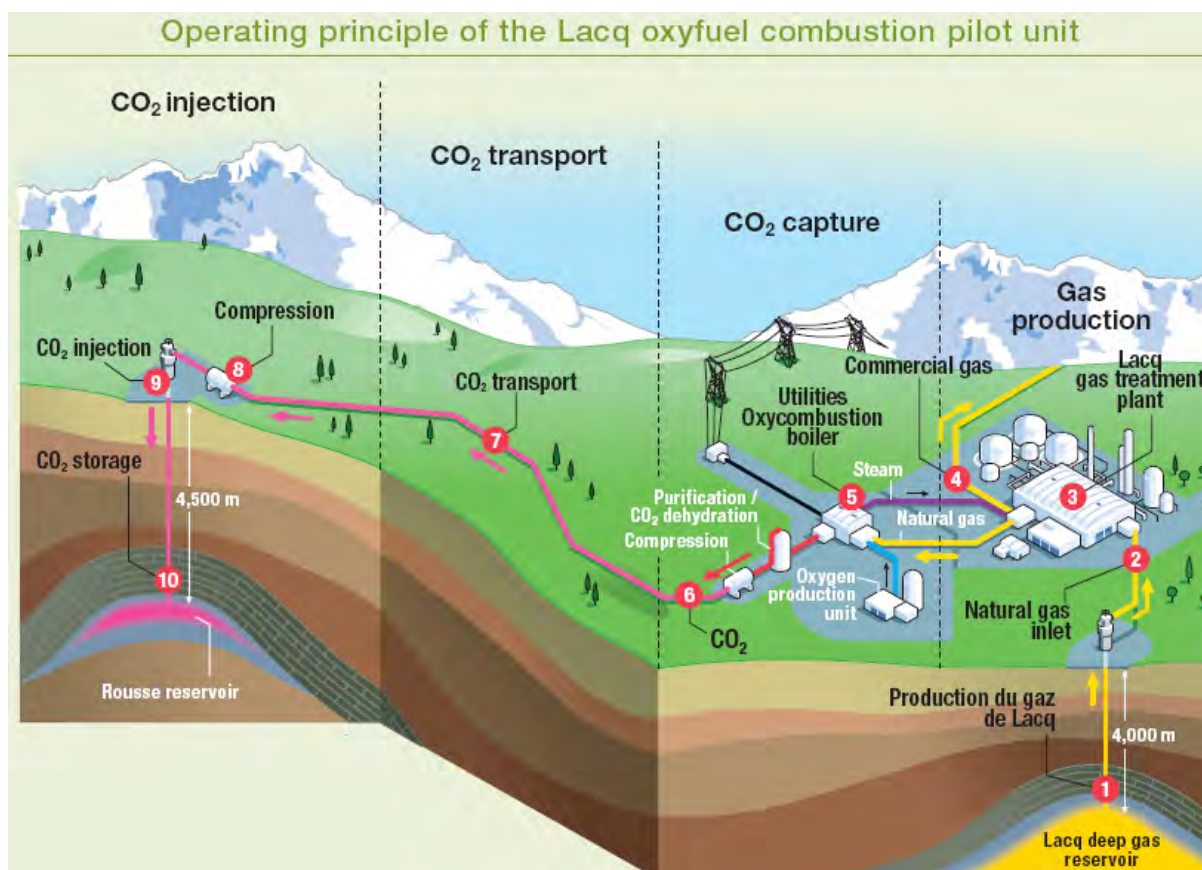
Le public ne semble pas bien renseigné sur la capture et le stockage du dioxyde de carbone. Ainsi, en France, un récent sondage révèle que seules 6% des personnes sondées avaient déjà entendu parler du CSC. Après explication des processus du CSC, 59% sont favorables au stockage, mais 63% sont préoccupés par les risques et demandent des recherches plus approfondies (Source: Sofres). Il est nécessaire de consulter tous les partenaires afin d'éviter le syndrome NUMBY (Pas dans mon jardin).

2.6. Projets en cours dans la Méditerranée

La majorité des projets CSC sont entrepris dans les pays de l'OCDE et seuls quelques projets sont situés dans les pays de la Méditerranée.

En France : le projet CCS de Lacq (Source : Total)

Le programme français couvrira les essais du processus complet de capture et de stockage de CO₂, depuis la source jusqu'au stockage souterrain dans une formation géologique. Ce projet implique la conversion d'une des cinq chaudières à vapeur de la centrale vapeur de Lacq en unité d'oxycombustion, avec capture et compression des émissions de CO₂, transport de gaz via un gazoduc de 27 kilomètres pour injection dans un réservoir de gaz naturel quasiment épuisé de Rousse dans la région de Lacq à une profondeur de 4500 mètres. La centrale pilote produira quelque 40 tonnes de vapeur par heure pour les industries du complexe de Lacq, produisant des émissions de 150 000 tonnes de CO₂ sur une période de deux ans.



Source: Total

Le puits de Rousse sera soumis à une surveillance étroite par le biais de détecteurs posés sur toute la surface et placés dans les régions souterraines afin de mesurer le débit d'injection, la pression, la température et les concentrations de CO₂.

L'unité pilote devrait démarrer fin 2008, après deux ans d'étude et de préparation. Le projet a trois objectifs principaux :

- améliorer la maîtrise du processus d'oxycombustion, particulièrement dans la perspective de son utilisation dans la production de pétroles très lourds,
- diviser par deux le coût de ce processus de capture du carbone par rapport au processus existant,

- développer des méthodes et des instruments de suivi pour démontrer, à plus grande échelle, la fiabilité et le caractère durable de la technologie de stockage à long terme du CO₂.

En Algérie : Projet In Salah (Source : BP Alternative Energy)

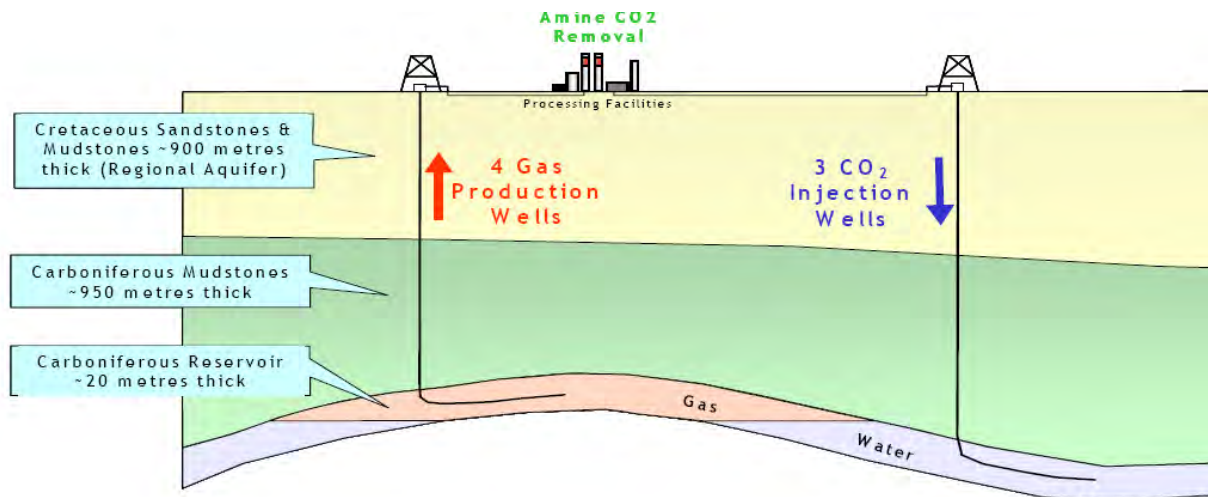
Le projet In Salah est un projet conjoint qui regroupe BP, Sonatrach et Statoil. Ce projet se subdivise en trois parties :

- Développement du gaz
- Stockage de CO₂ (1 MtCO₂ / an)
- Recherche et développement

Il n'y a pas de bénéfice commercial pour le CSC qui reste une démonstration à l'échelle industrielle du stockage géologique de CO₂ avec capture en postcombustion.

Par conséquent, les objectifs du Projet de Recherche et Développement d'industrie conjointe de In Salah sont les suivants :

- apporter l'assurance que le stockage géologique sécurisé de CO₂ peut être rentable et vérifier que l'on peut fournir l'assurance à long terme par un suivi à court-terme,
- démontrer aux intervenants que le stockage géologique de CO₂ à l'échelle industrielle est une réelle option d'atténuation,
- définir des précédents pour la réglementation et la vérification du stockage géologique de CO₂, permettant l'obtention de crédits de CO₂.



Source: BP Alternative Energy

2.7. Perspectives en Méditerranée

Le tableau ci-après résume l'état d'avancement des différents composants du CSC. Il montre clairement que la capture et le stockage de dioxyde de carbone n'est pas encore un marché totalement mûr. Même si des projets pilotes existent déjà dans les PNM, un scénario de développement considérable du CSC ne semble pas pertinent pour les pays de la Méditerranée. Le seul moyen de permettre une pénétration significative du CSC dans les Pays de la Méditerranée serait

que les projets CSC soient pris en compte dans l'EU ETS, avec des prix de carbone plus élevés, un cadre réglementaire et une meilleure gestion des risques.

Tableau 11 - Maturité technique et économique des technologies CCS

		Phase de recherche	Phase de démonstration	Réalisable économiquement dans des conditions spécifiques	Marché mûr
Capture	Post-combustion			X	
	Pré-combustion			X	
	Oxycombustion		X		
Transport	Pipeline				X
	Par bateau			X	
Stockage géologique	Récupération assistée du pétrole (EOR)				X
	Champs de gaz et de pétrole épuisés			X	
	Formations salines en profondeur			X	
	Veines de charbon non exploitables		X		
Stockage dans l'océan	Injection directe (lack ou dissolution)	X			

Source: OME, adaptation d'un document du GIEC

IV. CONCLUSION

La croissance des consommations d'énergie et surtout d'électricité dans les pays méditerranéens sera très importante dans les vingt prochaines années en particulier pour les pays des rives Sud et Est. Cette croissance est un des facteurs clefs du développement économique et social de ces pays qui devra être soutenu d'ici 2025.

L'essor prévu des consommations d'énergie est considérable, entre 2006 et 2025 avec pour l'énergie une hausse de +480 Mtep (dont +330 Mtep au Sud et Est); ceci est surtout lié au développement de la production d'électricité qui consommera plus de 30% des énergies fossiles primaires du Bassin Méditerranéen en 2025 (34% dans les PSEM). En effet, la production d'électricité augmenterait fortement avec une hausse de +1186 TWh,, en particulier dans les pays du Sud et de l'Est où elle triplerait (+746 TWh d'ici 2025).

Cet essor pourrait toutefois être ralenti par les problèmes de financement des infrastructures. L'une des principales contraintes, pour les pays du Sud et de l'Est, est liée aux investissements nécessaires pour les nouvelles centrales (+120 GW d'ici 2020-2025) qui ont été estimés à près de 110 milliards d'Euros.

Il faut, de plus, ajouter les investissements relatifs aux ports charbonniers et aux infrastructures de production et de transport du gaz naturel qui sont également considérables; ceci explique entre autres les projets de centrales à cycles combinés (+60 GW entre 2006 et 2025) moins coûteuses que les centrales à charbon par exemple.

Le développement des interconnexions électriques et des échanges d'électricité permettront d'optimiser le fonctionnement des parcs de production et de diminuer les besoins en nouvelles capacités de production. L'ampleur des échanges d'électricité dépendra des différences entre les coûts de production, et donc indirectement des prix des combustibles, dans les différents pays méditerranéens.

L'augmentation de la production d'électricité entraînera une hausse très forte des consommations de charbon et de gaz naturel.

Pour le charbon, les prévisions indiquent un niveau d'importation et de consommation particulièrement dans le secteur de la production électrique où les besoins seraient de 110 Mtep en 2025 (60 Mtep pour les PSEM) contre 78 Mtep en 2006 (22 Mtep pour les PSEM); ce développement pourrait se heurter aux contraintes environnementales (construction des ports et des centrales, émissions dans l'atmosphère...).

Pour le gaz naturel, la consommation totale du secteur électrique serait de près de 226 Mtep en 2025 (dont 125 Mtep pour les PSEM) contre 99 Mtep en 2006 (dont 51 Mtep pour les PSEM). A l'exception de l'Algérie, l'Égypte, la Libye et la Syrie, tous les autres pays méditerranéens sont importateurs, et la hausse des importations serait très marquée, d'ici 2025, ce qui nécessiterait de développer les sources actuelles et aussi à faire appel en particulier à des approvisionnements gaziers de plus en plus lointains: Sibérie, Moyen-Orient, Nigeria... Cet éloignement entraînera inévitablement une hausse des besoins d'investissement afin de financer les infrastructures nécessaires (gazoducs et chaînes GNL).

La forte croissance de combustibles fossiles dans la production d'électricité entraînant des augmentations des émissions de CO₂, et les forts besoins d'investissements dans la construction de centrales seraient les principales contraintes que pourraient rencontrer les pays du Sud et de l'Est.

Certes, quelques solutions pour y faire face seraient d'encourager la pénétration des énergies renouvelables et du gaz naturel dans les PSEM. Egalement, un soutien au renforcement des

interconnexions électriques pour compléter la boucle électrique autour de la Méditerranée, sachant que le développement des interconnexions électriques et des échanges d'électricité permettraient d'optimiser le fonctionnement des parcs de production et de diminuer les besoins en nouvelles capacités de production.

Aussi, trois options ont été analysées pour estimer le potentiel de réduction possible à l'avenir des émissions de CO₂, à savoir :

- L'accélération du passage d'un type de combustible à un autre (comme le gaz naturel) moins émetteur de carbone. Cette première action, dans le scénario tendanciel (horizon 2025), permettra de limiter les hausses d'émission de 7,1% à 10% par rapport à un scénario où la part du gaz naturel resterait au niveau de 2006.
- L'utilisation de technologies plus efficaces et moins consommatrices de combustibles, en commençant à l'appliquer dans le cadre d'un programme de réhabilitation de près de 22000 MW de centrales candidates au déclassement. Un tel programme, grâce à de nouvelles centrales de rendement plus élevé (50% dans les cycles combinés) pourrait permettre une réduction de consommation de combustibles de l'ordre de 10 Mtoe en 2025, soit l'équivalent d'une réduction supplémentaire des émissions de CO₂ entre 3,7% et 5,2% à l'horizon 2025.
- Une troisième possibilité, la capture et le stockage du CO₂ émis par les centrales électriques pourrait par exemple palier aux fortes émissions des centrales à charbon. Cependant, c'est une option trop coûteuse (deux fois plus élevée que pour une centrale non équipée), elle-même consommatrice d'énergie, qui ne fait pas l'objet d'un marché mature et qui intègre de nombreuses incertitudes, notamment environnementales ; ce qui ne permet pas de penser que les PSEM puissent massivement l'utiliser à l'horizon 2025.

La mise en œuvre des deux premières actions combinées permettrait de totaliser une réduction sensible des émissions de CO₂ de 10,4% à 15,2% dans les PSEM à l'horizon 2025.

Une quatrième option pourrait être de pousser vers des échanges plus soutenus d'électricité et de gaz naturel à l'horizon 2025, qui dépend du futur développement économique et de la coopération entre les pays méditerranéens. Il est indispensable, pour surmonter les contraintes qui se posent dans la région, de développer les infrastructures qui permettront d'accroître les échanges, et tout particulièrement les interconnexions électriques et gazières. Les interconnexions électriques pourraient assurer en plus des échanges d'électricité "verte" provenant de sources d'énergies renouvelables comme le solaire, pour lequel la région dispose d'un très fort potentiel⁸.

⁸ Tout kWh (de source ENR ou gaz naturel) échangé, à travers ces interconnexions électriques, viendrait contribuer à une réduction des émissions de CO₂ en Méditerranée

PARTIE 3

Vulnérabilité et adaptation du secteur énergétique

CHAPITRE 9

Espaces boisés, changement climatique et énergie en Méditerranée

CHAPITRE 10

Eau/énergie, Énergie/eau et changement climatique en Méditerranée

CHAPITRE 11

Défis intersectoriels : énergie/tourisme, villes/énergie et changement climatique

INTRODUCTION

Les Parties I et II ont mis en évidence que le système énergétique est au cœur de la problématique du changement climatique. D'une part, il est fortement émetteur de CO₂ et il est donc directement visé par les politiques de réduction d'émission ; D'autre part, comme abordé brièvement dans la Partie I, il est contraint par le climat par l'intermédiaire des infrastructures et des ressources en eau (ex. : dimensionnement des barrages, hydro-électricité) ; enfin, les mesures d'adaptation qui seront/ont prises dans les secteurs touchés par le changement climatique auront un impact direct sur les consommations futures d'énergie et par conséquent sur la compatibilité du développement énergétique avec des objectifs de développement durable.

Cette partie a pour objectif d'analyser plus en détail ces questions afin de mieux cerner les vulnérabilités, les options d'adaptation possibles et les enjeux énergétiques liés.

Elle le fait à travers l'analyse de la question énergétique dans différents secteurs et pour la gestion de différentes ressources : la forêt (chapitre 9), la production d'électricité, l'eau (chapitre 10), le tourisme, le bâtiment et le transport urbain (chapitre 11).

Ce chapitre montre ainsi qu'il n'est plus possible de considérer le secteur de l'énergie indépendamment des autres secteurs.

CHAPITRE 9

Espaces boisés, changement climatique et énergie en Méditerranée

Jean de Montgolfier
Plan Bleu

TABLE DES MATIERES

MESSAGES CLES	6
INTRODUCTION	7
I. CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ESPACES BOISES	9
1. Les relations entre les espaces boisés et les climats	9
2. Les conséquences des changements climatiques	13
II. LES CONTRIBUTIONS A LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	20
1. L'accumulation de carbone par les espaces boisés naturels	20
2. Le problème des incendies	21
3. Les utilisations énergétiques traditionnelles ou améliorées de la biomasse forestière	22
4. Vers la production de nouvelles bioénergies forestières ?	26
III. CONCLUSION : RECOMMANDATIONS POUR L'ACTION	29
1. La nécessité d'une gestion prudente	29
2. Le développement et le partage des connaissances	30
3. Les moyens institutionnels et financiers.	32
REFERENCES	34
LISTE DES ABREVIATIONS	35

MESSAGES CLES

- Les espaces boisés méditerranéens jouent un rôle majeur dans la protection et la gestion de certains biens publics mondiaux : biodiversité, lutte contre la désertification, ressources en eau. Ils fournissent également des services environnementaux essentiels au développement durable d'une économie dont le tourisme durable est une composante essentielle : paysages, loisirs de nature, écotourisme.
- Leur rôle comme puits de carbone est relativement limité, du fait de leur productivité primaire faible, de la faible accumulation de carbone dans leur sol, et du risque accru d'incendie dans un contexte d'augmentation des températures et de diminution des précipitations.
- Ces espaces, façonnés par un long processus de co-évolution avec l'homme et ses troupeaux, ont jusqu'à présent fait preuve de fortes capacités de résilience. Ces capacités vont être soumises à rude épreuve par les changements climatiques prévisibles. Les pressions humaines et les aggravations du climat agissent en synergie : il faudra donc alléger les pressions humaines pour rester dans des conditions de résilience possibles. La gestion devra être beaucoup plus « écologique » et adaptée qu'elle ne l'a, en général, été jusqu'à maintenant.
- On observera probablement un certain glissement vers le nord, ou en altitude, des aires de répartition des différentes espèces végétales. Il conviendra de favoriser ce glissement naturel en évitant de créer des barrières écologiques, ou des phénomènes « d'insularisation » qui pourraient entraîner des disparitions d'espèces nombreuses.
- Leurs utilisations traditionnelles (production de bois, notamment « bois de feu », et de produits autre que le bois, notamment de ressources fourragères pâturées) ont très fortement décliné dans les pays de la rive Nord depuis plusieurs décennies, mais sont encore très présentes dans ceux de l'Est et du Sud, où la surexploitation et le surpâturage ont pu créer, et créent parfois encore, de graves dégradations.
- Dans les pays du Nord, un certain renouveau de l'utilisation du bois de feu est vraisemblable, selon des méthodes fortement automatisées (plaquettes), mais à un coût moyen plus élevé que dans les forêts d'autres régions, plus accessibles et plus productives. Des contraintes strictes de gestion prudente et durable devront être respectées.
- Dans les pays du Sud, la surexploitation du bois de feu est encore une menace grave. Une des priorités est de substituer au bois d'autres formes d'énergie renouvelable.
- La région méditerranéenne paraît peu propice au développement de puissantes filières industrielles de bio-carburants de seconde génération (éthanol de cellulose ou synthèse de Fischer-Tropsch) ou de bio-chimie lourde à base de bois. En revanche des produits « de niche » (marché de faible dimension) pourraient être développés, tels que la valorisation des déchets des scieries.
- Pour être durable, la gestion des espaces boisés doit être participative et associer, dans un esprit de bonne gouvernance, tous les acteurs sociaux concernés : collectivités territoriales, propriétaires et usagers, acteurs économiques, ONG... Elle doit donc se faire à une échelle territoriale adaptée.
- Mais elle doit aussi être située dans le cadre de politiques et de stratégies plus larges, établies au niveau des Etats et de leurs subdivisions régionales, et faire l'objet de mécanismes de suivi et d'évaluation adaptés.
- La coopération entre pays du bassin méditerranéen est plus que jamais extrêmement importante, au plan intellectuel (recherche, échange et développement d'expériences innovantes, enseignement supérieur et technique, information) et au plan opérationnel (moyens, notamment aériens, de lutte contre les grands incendies).

INTRODUCTION

Contexte, problématique et objectif

Le sujet de ce chapitre se trouve placé à l'intersection de plusieurs des grands thèmes de prospective: les changements climatiques globaux, le maintien de la biodiversité, la valorisation des « services environnementaux », la gestion durable des ressources naturelles, les énergies alternatives, la lutte contre l'érosion et la désertification, la lutte contre la pauvreté, la gestion des territoires, le développement local durable et équitable, la bonne gouvernance... Quoique focalisé sur les questions de bilan carbone et d'énergie, ce texte cherche à les relier à tous ces autres grands sujets.

Ce chapitre a ainsi pour objectif d'analyser :

- d'une part les conséquences possibles des changements climatiques globaux sur les écosystèmes boisés méditerranéens,
- d'autre part les contributions que ces espaces peuvent apporter à la lutte contre ces changements, en stockant du carbone et en produisant des ressources énergétiques et naturelles renouvelables.

Sources d'information, méthodologie.

Fidèle à l'esprit des approches développées par le Plan Bleu, ce chapitre s'efforce d'être aussi systémique et prospectif que possible. Systémique : cela s'impose du fait de la multiplicité des enjeux, de la complexité des interrelations entre facteurs naturels et anthropiques, de la diversité des échelles de temps et d'espace impliquées. Prospectif : cette analyse se situe dans la suite logique du RED (rapport de synthèse sur l'environnement et le développement de la Méditerranée en 2025), (Plan Bleu, 2005 ; the Blue Plan, 2005). Il s'en distingue par la place centrale donnée aux changements climatiques globaux, et par la prise en compte d'horizons nettement plus lointains (entre 2050 et 2100), à cause des longues durées impliquées aussi bien par les évolutions climatiques que par celles des écosystèmes boisés.

Parmi les principales sources d'informations, il faut citer la documentation rassemblée à l'occasion de la rédaction du fascicule n°12 du Plan Bleu sur les espaces boisés méditerranéens (Montgolfier, 2002), l'ensemble des documents et communications présentés au forum de Rabat sur le secteur forestier méditerranéen (Maroc, 2005), et ceux du récent colloque de Marseille sur le changement climatique (Association Forêt Méditerranéenne, 2007). La synergie avec les travaux en cours sur le développement rural durable, menés en commun par le Plan Bleu et le CIHEAM a également été très profitable.

Contenu du chapitre.

Ce chapitre est organisé autour de trois parties.

La première traite des conséquences des changements climatiques globaux sur les écosystèmes boisés méditerranéens. Elle est divisée en deux sous-parties :

La première sous-partie, de caractère principalement systémique, pose les fondements d'une approche prospective en décrivant les principales relations qui lient, en Méditerranée, espaces boisés et climat.

La seconde sous-partie, de caractère surtout prospectif, fondée sur l'analyse précédente, envisage les différentes modifications que les changements climatiques globaux sont susceptibles d'apporter au fonctionnement de ces écosystèmes boisés, ainsi que les évolutions et les enjeux liés à ces modifications.

La deuxième partie traite des contributions que ces espaces peuvent apporter à la lutte contre ces changements, en stockant du carbone et en produisant des ressources énergétiques et naturelles renouvelables. Elle analyse successivement l'accumulation de carbone sur pied, les usages énergétiques traditionnels, les nouvelles bioénergies ou bioproduits envisageables, et les conditions de leur production. Elle conclut à une contribution réelle, mais plus limitée que celui d'autres types de forêts, tropicales, tempérées ou boréales.

La troisième partie propose à la réflexion des « décideurs », sous un aspect aussi pragmatique que possible, des conclusions et des recommandations pour l'action, afin de pallier, autant que faire se peut, les effets destructeurs de ces changements et de faire participer ces espaces aux grands enjeux de l'environnement et du développement durable (luttés contre le réchauffement, contre la pauvreté, contre l'érosion... ; maintien des « biens publics mondiaux », de la biodiversité, des « services environnementaux »...).

I. CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ESPACES BOISES

1. LES RELATIONS ENTRE LES ESPACES BOISES ET LES CLIMATS

Cette première sous-partie a pour but de résumer, pour un lecteur non forestier, les bases de l'analyse systémique sur laquelle sont fondés les raisonnements, les conclusions et les recommandations présentés dans les parties suivantes. Elle considère les espaces boisés méditerranéens comme des « éco-socio-systèmes » complexes, où interagissent de nombreux facteurs naturels, mais aussi anthropiques : depuis des millénaires, l'influence des hommes et des sociétés sur les écosystèmes et les paysages méditerranéens est majeure, voire déterminante.

1.1. Quels espaces boisés ?

En Région méditerranéenne, il est préférable de poser la problématique en termes d'espaces boisés, plutôt que de forêts. En effet, selon les définitions statistiques de la FAO, les espaces boisés regroupent les forêts, et les autres terres boisées. Font partie de cette catégorie les matorrals, garrigues, maquis, steppes boisées, qui occupent une place très importante autour de la Méditerranée : en Espagne, en Grèce, en Turquie, les autres terres boisées recouvrent environ la moitié de la surface boisée totale ; en Afrique du Nord, elles en recouvrent de l'ordre du tiers. La problématique méditerranéenne est ainsi une problématique « espaces boisés », plutôt que « forêts proprement dites ».

En dessous des seuils de couvert définissant les forêts et les autres terres boisées, (10% et 5%), on est dans les espaces non boisés. On peut y trouver aussi bien des espaces de type naturel (alpages, steppes non boisées d'altitude, steppes non boisées pré-désertiques, nappes alfatières), plus ou moins utilisés par le pastoralisme, que des espaces maintenus artificiellement déboisés par une exploitation plus intensive (prairies permanentes). Ces espaces rentrent, lorsqu'ils sont pâturés, dans la catégorie statistique de la FAO : pâturages permanents (qui fait elle-même partie de la catégorie des terres agricoles, qui comprend aussi les terres arables et les cultures permanentes). Mais il faut noter que beaucoup de forêts et autres espaces boisés méditerranéens sont actuellement pâturés (au sud) ou l'ont été jadis (au nord). Cette question du pâturage est loin d'être anecdotique. Au contraire, elle crée une interdépendance forte entre les problématiques forestières et les problématiques « biodiversité », « lutte contre l'érosion » et « lutte contre la pauvreté ».

1.2. Les besoins des végétaux

Pour bien éclairer les relations complexes entre les évolutions prévisibles du climat méditerranéen, les évolutions des espaces boisés qui pourront en résulter et les rôles de ces espaces dans le stockage du carbone et la production énergétique, il est utile de rappeler quelques grands principes de base du fonctionnement des végétaux et des écosystèmes. Ces rappels seront très schématiques, et de multiples précisions seraient nécessaires pour expliciter telle ou telle question particulière ; néanmoins ils permettent de bien resituer la problématique d'ensemble.

Les végétaux ligneux sont formés de bois et d'autres matières vivantes. Le bois constitue le matériau de soutien des troncs, branches et racines ; il s'accumule, année après année en couches (ou « cernes ») superposées. Les autres matières vivantes constituent notamment les écorces, le liber, les rameaux fins, les feuilles, les fleurs, les fruits, les racines fines ; beaucoup de celles-ci ont un cycle de création et de disparition sur une année, parfois moins (racines fines...), parfois plus (feuilles des arbres toujours verts). Les végétaux non ligneux sont, par définition, ceux qui n'accumulent pas de bois.

Le bois est constitué principalement de cellulose (sucre très hautement polymérisé), de lignine (polyphénol) et d'hémicellulose. Il est donc constitué essentiellement de carbone (de l'ordre de la moitié de son poids sec), d'oxygène et d'hydrogène. Dans les autres tissus végétaux il y a aussi de l'azote (constituant caractéristique des acides aminés et des protéines), du phosphore, du potassium, du calcium, du magnésium (caractéristique de la chlorophylle) et de nombreux oligo-éléments.

Pour indiquer des ordres de grandeur : un hectare de forêt tempérée (ou une forêt méditerranéenne très bien alimentée en eau) peut fabriquer annuellement de l'ordre de 10 à 20 tonnes de matières sèches biologiques, dont environ la moitié de bois qui s'accumule dans les arbres, et la moitié d'autres matières qui suivent un cycle annuel. Les forêts tropicales peuvent être beaucoup plus productives (30 à 50 tonnes de MS/ha/an). Les forêts méditerranéennes « normales » sont généralement beaucoup moins productives (1 à 10 tonnes de MS/ha/an), à cause du « facteur limitant » que constitue l'alimentation en eau, contrainte majeure du climat méditerranéen.

En effet, pour produire bois et autres matières vivantes, les végétaux ont besoin de plusieurs éléments et facteurs naturels :

- de l'énergie, fournie par la capture des photons de la lumière solaire. La lumière constitue le facteur limitant ultime lorsque tous les autres facteurs sont en surabondance. En région méditerranéenne, ce n'est pratiquement jamais le cas ;
- du carbone, fourni par le dioxyde de carbone, CO₂, présent dans l'atmosphère, qui pénètre dans les feuilles par de petits orifices, les « stomates », puis est transformé en divers produits, notamment en sucres (ultérieurement polymérisés en cellulose, amidon etc.), grâce à l'énergie fournie par la lumière ;
- de l'eau, qui fournit l'oxygène et l'hydrogène des molécules organiques, et qui, en bien plus grande quantité, s'évapore par les stomates des feuilles, cette évaporation causant l'ascension par capillarité de la sève brute depuis les racines. Il faut de l'ordre de 500 litres d'eau pour fabriquer 1 kilogramme de matière sèche. Donc pour fabriquer 1 tonne de matière sèche sur un hectare (ce qui est bien peu), il faut 500 mètres-cubes d'eau, soit une lame d'eau utilisable de 50 millimètres. Mais toute l'eau qui tombe lors des précipitations n'est pas utilisable : une bonne partie se perd par évaporation, ruissellement ou drainage profond. Seule est vraiment utilisable celle qui s'infiltre dans les couches du sol prospectées par les racines ; et encore faut-il que cette eau infiltrée (souvent tombée en automne et en hiver), soit encore disponible au moment où les plantes en ont le plus besoin (printemps et début de l'été). Quelques chiffres pour indiquer les ordres de grandeur : dans un climat méditerranéen « moyen », il tombe de l'ordre de 600 mm d'eau par an ; mais on considère que seuls 200 à 300 mm seront vraiment utiles, permettant de fabriquer 4 à 6 tonnes de matière sèche, dont au plus la moitié pourra être stockée sous forme de bois ; finalement le « puits de carbone » sera au mieux de 1 à 1,5 tonne par hectare et par an. Cet exemple souligne bien la contrainte très forte que représente l'eau dans les écosystèmes méditerranéens ;
- divers « nutriments » (azote, phosphore, potassium etc.) puisés dans le sol par les racines, et par les champignons (mycorhizes) qui leur sont associés. Lorsque le sol est suffisamment riche en tous ces éléments, aucun problème ne se pose. Mais certaines carences en l'un ou l'autre de ces

nutriments peuvent devenir des facteurs limitants, notamment les carences en azote, phosphore ou potassium, ce qui justifie l'apport de ces trois types d'engrais dans les sols cultivés.

1.3. Aspects éco-socio-systémiques

Ce qui vient d'être dit concerne les végétaux supérieurs (arbres, arbustes, plantes herbacées) considérés à l'échelle individuelle. Les choses se complexifient quand on prend en compte l'ensemble des écosystèmes auxquels ils appartiennent. D'une part, il faut considérer tous les organismes vivants interférant entre eux : végétaux inférieurs, champignons, algues, bactéries, virus, animaux de tous ordres, vers, mollusques, insectes, autres arthropodes, oiseaux, mammifères etc., sans oublier l'homme bien sûr, dont le rôle est absolument essentiel. D'autre part il faut considérer tous les processus à travers lesquels ces organismes interagissent : habitat, reproduction, consommation, coopération, parasitisme, maladies, décomposition, pédogenèse (constitution des sols), cycles de l'eau, du carbone, de l'azote, des autres nutriments, etc.

Il n'est évidemment pas question d'entreprendre ici une description, même très schématisée, de toutes ces relations, mais seulement de souligner quelques aspects particulièrement importants pour comprendre comment pourraient évoluer les écosystèmes boisés sous l'effet des changements globaux.

L'action humaine est, depuis plusieurs millénaires, une composante fondamentale des écosystèmes méditerranéens. Depuis le néolithique, ces espaces sont façonnés par les défrichements pour une mise en culture temporaire ou permanente, par les incendies volontaires ou non, par les pressions d'un pâturage plus ou moins intensif, par les prélèvements des cueillettes et des chasses, par les récoltes de bois pour les feux domestiques, les industries (poterie, métallurgie...), la construction, l'outillage... Suivant les siècles et les régions, des périodes de pressions intenses, durant lesquelles la forêt était restreinte et dégradée, ont alterné avec des périodes de déclin démographique et économique où la dynamique spontanée de la végétation permettait la reconquête de la forêt.

Les écosystèmes boisés méditerranéens sont en effet très résilients, ou du moins ont fait preuve d'une grande résilience (cf. ci-dessous) dans le cadre des conditions climatiques stables des siècles passés. C'est à dire qu'ils sont capables de revenir à leur état antérieur, en quelques dizaines d'années (50 à 100 ans pour les forêts, 10 à 30 pour les maquis et garrigues), même après une perturbation très forte comme un incendie ou une mise en culture temporaire.

Aujourd'hui la situation est très contrastée entre les deux rives du Bassin méditerranéen. Dans tous les pays du nord, la forêt est en forte progression, à la fois en superficie, et en volume de bois sur pied. Ceci est dû à la déprise agricole, au cours du 20ème siècle, qui s'est traduite par l'abandon progressif des pratiques agricoles et pastorales sur la plupart des terres marginales, qui n'étaient plus rentables dans un contexte de marchés agricoles élargis. L'accroissement des superficies boisées dû à la reconquête végétale naturelle a été encore amplifié par les actions de reboisement des services forestiers. Cette progression des secteurs boisés généralement très embroussaillés explique d'ailleurs la progression des incendies. En revanche, dans les pays du sud et de l'est, les espaces boisés sont encore soumis à de très fortes pressions : défrichement et mise en culture de terres marginales, surpâturage, surexploitation du bois de feu. Il semble cependant que, depuis quelques années, la situation soit en voie de stabilisation en de nombreux endroits.

Dans quelle mesure la remarquable résilience dont les espaces boisés ont fait preuve sous un climat connu se poursuivra-t-elle en cas de changements climatiques globaux ? Existe-t-il des seuils de basculement ? Ce sont des questions fondamentales qui seront reprises plus loin.

Le sol est un compartiment des écosystèmes très important, mais difficile à étudier et à connaître avec des mesures précises. Dans la problématique des changements climatiques, il intervient de trois manières principales : par sa capacité à emmagasiner une réserve d'eau utilisable par les plantes, par sa teneur en nutriments, et par son rôle dans le cycle de la matière organique, et donc du carbone. Eau utilisable et nutriments conditionnent la productivité globale des écosystèmes (cf. ci-dessus).

Son rôle dans le cycle du carbone provient du recyclage des matières vivantes autres que le bois accumulé sur pied. Des feuilles, branchettes, fleurs, fruits, sans oublier les déjections et les cadavres d'animaux, tombent sur le sol et s'y décomposent sous l'action d'organismes vivants multiples : bactéries, champignons, vers de terre, micro-arthropodes, etc. Quant aux racines fines elles se renouvellent et se décomposent dans le sol lui-même. Après des processus complexes, le carbone contenu dans toutes ces matières en décomposition peut se retrouver sous deux formes principales : soit sous forme de CO₂ rejeté, in fine, dans l'atmosphère par la respiration des organismes décomposeurs, soit sous forme de molécules organiques assez stables constituant l'humus du sol.

En outre, le bois stocké dans les souches et les grosses racines constitue aussi une biomasse relativement importante, notamment en région méditerranéenne. Pour résister aux conditions climatiques, et notamment pour aller chercher l'eau à de longues distances en profondeur, les arbres y ont souvent un système racinaire très développé et un rapport biomasse racinaire sur biomasse totale nettement plus élevé que dans d'autres types de climat.

En définitive, les espaces boisés présentent 2 « puits de carbone » : le bois sur pied et le sol. Les forêts tropicales humides peuvent stocker des quantités considérables (des centaines de tonnes à l'hectare) de carbone dans le bois sur pied, mais stockent peu d'humus, à cause de la respiration très active des organismes décomposeurs, due à la chaleur et à l'humidité. Les forêts boréales stockent moins de bois, mais peuvent accumuler des quantités énormes d'humus, ou plus précisément de tourbe. Les forêts méditerranéennes, de même d'ailleurs que les forêts tropicales sèches, ne sont pas très performantes, ni pour le bois, car elles sont peu productives, ni pour l'humus, car il s'y décompose trop vite.

1.4. Climat et répartition des végétaux

Deux paramètres climatiques principaux gouvernent la répartition spatiale des végétaux méditerranéens (cf. la classification proposée par Pierre Quézel, reprise dans [Montgolfier 2002]) : la moyenne annuelle des précipitations détermine le type de bioclimat (de per aride à per humide en passant par aride, semi-aride, sub humide et humide). la moyenne des minima du mois le plus froid détermine la variante thermique du bioclimat (de extrêmement froide à chaude) ainsi que l'étage altitudinal de végétation.

A chacun de ces bioclimats et à chacune de leurs variantes correspondent certaines associations végétales, qui regroupent des espèces ayant des exigences voisines, en matière de climat, ainsi qu'en matière de sol.

Les associations sont organisées en séries de végétation. Une série est formée par les diverses associations susceptibles de se succéder en un même lieu en fonction de la dynamique de la végétation. Une série méditerranéenne typique pourra être formée par la succession d'une pelouse, d'un maquis bas, d'un maquis haut, d'une forêt claire, d'une forêt dense. Les plantes peuvent être classées en plantes pionnières (abondantes dans les premières phases d'une succession), plantes post-pionnières (dans les phases intermédiaires) et « dryades » (ou plantes de maturité, dans les phases de maturité, parfois appelées « climax »). Normalement, la végétation progresse naturellement d'une phase à une autre, mais une perturbation forte (des incendies répétés, un défrichement, un

surpâturage prolongé) peut la ramener en arrière, vers une phase pionnière, à partir de laquelle elle progressera à nouveau dans une dynamique naturelle, à moins qu'une nouvelle perturbation n'intervienne.

Cette capacité des écosystèmes à reprendre une évolution dynamique après une forte perturbation constitue précisément ce qu'on appelle leur résilience. Mais la résilience n'est pas toujours efficace. Il peut exister des cas de blocage où l'écosystème ne peut plus retrouver son état antérieur : disparition des semenciers d'une ou plusieurs espèces essentielles de l'écosystème ; forte dégradation du sol, due par exemple à une érosion massive... ; changement des conditions climatiques : c'est précisément une des préoccupations majeures liées aux changements globaux : comment évoluera la résilience des formations végétales si le climat (donc le bioclimat) change ?

2. LES CONSEQUENCES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

2.1. Les évolutions des paramètres climatiques

Il existe de nombreux modèles de prévision des changements des paramètres climatiques. Leurs résultats varient en fonction des hypothèses de modélisation retenues pour décrire ce que l'on connaît actuellement des mécanismes du climat global et régional, et en fonction de différents scénarios relatifs au volume des rejets de gaz à effet de serre (cf. chapitre 1). Au niveau du bassin méditerranéen, les modèles convergent pour présenter comme extrêmement probables les phénomènes suivants :

- Les températures moyennes vont augmenter en toutes saisons.
- Les précipitations moyennes vont diminuer en toutes saisons, et probablement, proportionnellement davantage en saison chaude, où elles sont déjà très basses, qu'en saison froide ou fraîche.
- Les phénomènes extrêmes (tempêtes, vents violents) vont augmenter, encore que cette augmentation soit moins assurée que celles de la température et de l'aridité.
- La variabilité du climat (estimée à partir de l'écart type des séries statistiques des paramètres de température et de précipitations) va augmenter ; en particulier la variabilité interannuelle des précipitations, ce qui signifie que la probabilité de succession de plusieurs années sèches ou très sèches consécutives va augmenter. Or le climat méditerranéen est déjà caractérisé par une forte variabilité.

Les principaux traits du climat défavorables pour la végétation vont donc empirer : très forte chaleur et longue sécheresse en été, et grande variabilité interannuelle, obligeant les plantes pérennes à être capables de supporter, plusieurs années de suite, des conditions de survie très difficiles.

Seul aspect apparemment favorable : la hausse des températures moyennes en saison fraîche : elle devrait permettre aux plantes d'avoir une période de croissance automnale plus longue, et un redémarrage printanier plus précoce, permettant ainsi de mieux valoriser l'eau qui tombe en ces périodes. Mais, revers de la médaille, cette précocité présente le gros inconvénient d'exposer davantage les jeunes pousses aux risques de gelées tardives. Or, du fait de la variabilité, ce risque diminuera probablement assez peu. Par ailleurs, les plantes pérennes ont des besoins en froid pour conditionner l'éclosion des bourgeons au printemps ; ces besoins risquent de ne plus être satisfaits ce qui conduirait au dépérissement des espèces concernées.

Ces généralités concernent l'ensemble du bassin. Plus on cherche à descendre au niveau des sous-régions, plus les données fournies par les différents modèles diffèrent. Il semble néanmoins que l'aggravation sera pire dans les zones déjà arides ou semi-arides, surtout présentes dans les pays des rives sud et est, que dans les zones sub-humides ou humides.

La vitesse à laquelle ces évolutions sont prévues dépend, évidemment, très fortement des hypothèses qui sont faites sur le résultat des politiques menées, au niveau mondial, pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Mais elle dépend aussi de la structure et des hypothèses du modèle, et notamment de la façon dont sont modélisées les interactions entre atmosphère, biosphère et océans. C'est pourquoi les chiffres de prévision pour une année donnée (2050, 2100,...) varient souvent dans des fourchettes très larges. Mais le sens général des variations n'est pas douteux. Et, fait inquiétant, les modèles ont tendance à devenir de plus en plus pessimistes au fur et à mesure qu'ils s'affinent.

Dés à présent, des observations significatives peuvent être faites de cette aggravation du climat méditerranéen.

2.2. Conséquences pour les végétaux et les écosystèmes

2.2.1. Effets de la sécheresse et de la température

La disponibilité en eau étant le principal facteur limitant de la croissance de la végétation naturelle en climat méditerranéen, la diminution des précipitations moyennes annuelles ralentira sans doute cette croissance, et donc diminuera la production primaire nette de matière végétale, et par conséquent la quantité de carbone stockable annuellement.

Lorsque l'alimentation en eau est bonne et ne constitue pas un facteur limitant, l'accroissement de la température augmente à la fois l'assimilation chlorophyllienne, qui stocke du carbone, et la respiration des végétaux, qui en déstocke. Globalement le bilan s'équilibre en faveur du stockage, qui s'accroît avec la température, tant que celle-ci n'est pas excessive (moins de 30 à 35 degrés C), et surtout tant qu'il y a de l'eau disponible pour l'évapotranspiration. En saisons fraîches cet effet se produira, et permettra une meilleure utilisation des pluies de ces saisons ; ce phénomène jouera pleinement dans les cas des rares formations végétales qui effectuent l'essentiel de leur cycle végétatif en hiver (par exemple les « phryganes » à euphorbes arborescentes).

En revanche, la hausse des températures en saison chaude sera nettement moins bénéfique, à cause du manque d'eau disponible. A partir d'une certaine température, et d'une certaine sécheresse, les feuilles ralentissent puis arrêtent la photosynthèse, mais la respiration continue : il y a globalement déstockage de carbone. Si la température monte encore les feuilles peuvent mourir, puis la plante toute entière. La température létale varie beaucoup selon chaque espèce végétale.

La hausse des températures maximales estivales, l'allongement de la durée de la saison sèche, et la probabilité accrue de voir plusieurs années sèches se succéder augmenteront la mortalité des végétaux. Même si les plantes méditerranéennes sont bien adaptées à la température et à la sécheresse, il y a des limites à ce qu'elles peuvent supporter, et une fois ces limites franchies elles meurent.

Les semis et les jeunes plants sont, presque toujours, beaucoup plus sensibles à ces phénomènes que les plantes adultes. La régénération des écosystèmes boisés deviendra donc plus difficile et plus aléatoire. Elle ne se produira correctement que lors d'années humides ou, mieux, lors d'une succession d'années humides, événements qui seront de plus en plus rares. En revanche, les arbres âgés résisteront d'autant mieux qu'ils auront un système racinaire important, explorant un vaste

volume de sol. Ils pourront donc constituer des réserves de « semenciers », permettant d'attendre pendant de longues années sèches que des années humides propices à la régénération surviennent. Encore faudra-t-il que des actions humaines (coupes, surpâturage, incendies...) ne viennent détruire ni ces semenciers, ni les rares et précieuses régénérations lorsqu'elles auront eu lieu.

2.2.2. Effets de la composition chimique de l'atmosphère

L'augmentation de la teneur de l'atmosphère en dioxyde de carbone est favorable à la photosynthèse ; elle accroît donc la production biologique nette, et par conséquent le stockage potentiel de carbone, du moins lorsqu'un facteur limitant de cette production est précisément cette teneur en dioxyde. On dispose de nombreuses données expérimentales confirmant cet effet sur les plantes cultivées. Pour les écosystèmes naturels, il en va sans doute de même. Le problème est que pour la grande majorité des espaces boisés méditerranéens, le principal facteur limitant est l'eau, et non le dioxyde. Cet effet favorable du dioxyde ne peut donc jouer que pendant les périodes de l'année où l'alimentation en eau des arbres est satisfaisante.

Par ailleurs l'augmentation de la teneur en oxydes d'azote a un effet contrasté : d'une part l'acidité des pluies augmente, ce qui peut entraîner des effets nocifs connus sous le nom de « pluies acides » ; cependant ils sont rarement aussi importants en région méditerranéenne que dans des régions plus nordiques ; d'autre part, l'azote apporté par les pluies vient enrichir les sols, ce qui est favorable à la croissance des plantes, car la pauvreté en azote est souvent un autre facteur limitant sévère dans beaucoup d'écosystèmes méditerranéens.

Globalement, dans les pays où les forêts font l'objet d'un suivi statistique régulier au moyen d'inventaires forestiers périodiques, on observe une nette augmentation de la production annuelle de bois depuis que ces inventaires existent. Cette augmentation peut être attribuée à la fois à celles du dioxyde de carbone, des oxydes d'azote, et des températures moyennes. La diminution des précipitations moyennes n'a pas, dans un passé récent, annulé ces effets positifs. Mais dans les décennies à venir, il pourrait en aller autrement si le déficit en eau s'accroît.

2.2.3. Effets sur les risques

Les risques d'incendie seront accrus par l'accroissement des températures, la plus grande dessiccation des végétaux durant les longues périodes sèches, et peut-être (mais c'est un des points où les résultats des modèles sont les moins assurés) par l'augmentation du nombre de jours avec vent violent. Une certaine compensation sera apportée par la présence d'une masse combustible plus faible : les végétaux ligneux bas, communément appelés broussailles, qui constituent l'aliment principal des flammes ayant, comme les autres, une croissance en biomasse ralentie. Et, après un débroussaillage à objectif de défense préventive contre l'incendie, ces broussailles repousseront plus lentement. Néanmoins le risque augmentera globalement et, par suite, également, les difficultés de la lutte contre les feux.

Aujourd'hui, il existe un état d'équilibre dynamique entre les incendies et la reconstitution naturelle des espaces boisés après incendie. Lorsque les incendies ne sont pas trop fréquents, cet équilibre se fait au bénéfice des surfaces boisées qui progressent dans la plupart des pays de la rive nord, du fait de la baisse des pressions agricoles, pastorales et forestières. Mais que deviendra cet équilibre dans l'avenir, lorsque les risques de feu seront plus élevés, et les difficultés de régénération plus grandes ? La maîtrise des grands incendies sera à la fois plus essentielle et plus difficile. Certains faits récents sont alarmants : 300 000 hectares de forêts brûlés au Portugal en 2003, année de canicule, mais qui pourrait apparaître comme normale avant la fin du siècle.

Concernant l'évolution de la santé des espaces boisés, il est plus difficile de faire des prévisions. Les végétaux soumis à des stress thermiques et hydriques plus prolongés auront certainement une moindre résistance aux attaques des maladies et des ravageurs. On peut penser que, de manière générale, les champignons pathogènes seront plutôt dévalorisés par la sécheresse, alors que certains insectes ravageurs seront favorisés par la hausse des températures. Par exemple, on observe actuellement en France une montée vers le nord des attaques de chenilles processionnaires du pin, car le froid hivernal est un de leurs principaux facteurs limitant.

2.2.4. Effets sur les sols

Concernant le stockage de carbone dans les sols, la situation est complexe à analyser. La chaleur (sauf lorsque qu'elle devient vraiment excessive) augmente la respiration et l'activité des êtres vivants, donc en particulier celles de la microflore et de la microfaune du sol. Leur action de décomposition de la matière organique des sols, et de transformation en CO₂ du carbone stocké, en sera donc accélérée. Mais il faut aussi de l'eau pour que cette activité soit importante. L'augmentation de la sécheresse compense donc partiellement celle de la chaleur. Une analyse précise exigerait de comparer les évolutions prévisibles des courbes de température et de précipitations avec ce qu'on sait de l'écophysiologie des principaux éléments de cette microflore et de cette microfaune. Il paraît néanmoins très vraisemblable que l'évolution générale sera dans le sens du déstockage. D'autant plus que les incendies, dont le risque s'accroîtra, pourront détruire périodiquement la matière organique des couches les plus superficielles des sols.

Il est également vraisemblable que la sensibilité des sols à l'érosion et à la désertification augmentera, à cause de la moindre couverture végétale du sol et de sa moindre teneur en matière organique. Erosions et désertification s'accroîtront aussi si les événements extrêmes augmentent : vents violents facteurs d'érosion éolienne et de tempêtes de sable, ou pluies rares mais torrentielles, facteurs d'érosion hydrique. Ces processus ont eux-mêmes des conséquences néfastes du point de vue énergétique : perte de fertilité des sols, et envasement des réservoirs de barrages.

2.3. Les risques pour la biodiversité

Chaque espèce possède une certaine biodiversité génétique intra-spécifique ; de même, à l'intérieur de chacune des espèces, chaque population présente sur un site donné possède sa propre diversité génétique. Les changements climatiques exerceront une forte « pression de sélection » sur les espèces et leurs populations.

2.3.1. Adaptation sur place ?

Il est vraisemblable que certaines espèces pourront puiser dans leur diversité génétique pour s'adapter, et que leurs populations pourront évoluer sur place et se maintenir malgré des conditions climatiques plus dures. Il est tout aussi vraisemblable que certaines autres espèces, ou populations, n'y parviendront pas, car l'ampleur des changements dépassera celle de leurs capacités génétiques d'adaptation. Elles devront donc se déplacer grâce à la dissémination des graines ou des propagules ou disparaître. Mais, en l'absence de connaissances génétiques précises sur l'immense majorité des espèces, il est bien difficile aujourd'hui de prédire lesquelles seront dans l'une ou l'autre de ces situations.

2.3.2. Ou déplacement des aires de répartition ?

Nonobstant ces possibilités d'évolution sur place de certaines espèces, il est très vraisemblable que l'on va observer, dans le courant du siècle, d'importants déplacements des aires géographiques de la plupart d'entre elles. En effet chacune des espèces va conserver sensiblement les mêmes exigences bioclimatiques (précipitations et températures).

En revanche, les caractéristiques bioclimatiques d'un lieu géographique donné vont évoluer en fonction des diminutions des précipitations moyennes et des augmentations des températures minimales moyennes du mois le plus froid : certains lieux humides deviendront sub-humides ; certains lieux sub-humides deviendront semi-arides, etc. De même certains lieux froids deviendront frais ; certains lieux frais deviendront tempérés, etc.

Pour rester dans les mêmes conditions bioclimatiques, les végétaux devront donc changer d'aire géographique par la dissémination des graines. Dans certains cas ce sera relativement facile, par exemple s'il suffit de monter de quelques centaines de mètres le long d'un versant pour retrouver les mêmes conditions climatiques, ou s'il suffit de passer d'un versant sud à un versant nord voisin, ou encore d'un versant sec à un versant mieux arrosé. Dans d'autres cas ce sera plus difficile : plaine ou plateau sur lequel il faut parcourir plusieurs centaines de kilomètres pour retrouver des conditions analogues ; voire impossible : proximité du sommet d'une montagne ou du rivage de la mer.

Les contraintes topographiques sont donc déterminantes dans les possibilités de migration des espèces. Cependant il est clair que l'homme peut les aggraver, notamment en fragmentant les écosystèmes en îlots séparés, ou en créant de larges coupures artificialisées. Mais il peut aussi aider à s'en affranchir par des transports de graines ou de plants, soit volontaires, soit involontaires. Il peut également créer des « corridors biologiques » facilitant la progression naturelle des espèces.

Face aux nécessités de migrer, les plantes sont très inégales, en fonction de leur mode de reproduction et de dissémination. Les plantes annuelles et celles des plantes pérennes qui se reproduisent dès leur jeune âge seront favorisées par rapport à celles qui se reproduisent à un âge avancé : les populations des premières peuvent ainsi se déplacer à un « pas » beaucoup plus rapide que celles des secondes. Mais surtout, les plantes dont les semences peuvent être disséminées à grande distance par le vent, les oiseaux ou les mammifères seront grandement favorisées par rapport à celles qui ne se disséminent qu'à proximité des semenciers. On peut donc penser que les populations de végétaux pionniers, et, dans une moindre mesure de végétaux post-pionniers, n'auront pas trop de mal à se déplacer en fonction des translations de leurs aires biogéographiques de prédilection. Au contraire, les populations de végétaux de maturité (dryades) rencontreront beaucoup plus de difficultés, et on pourrait assister à des disparitions de populations entières. Le cas sera particulièrement grave pour les dryades endémiques dont les populations sont très localisées : des disparitions d'espèces sont alors probables.

En résumé, on assistera vraisemblablement à l'adaptation sur place de certaines espèces, au glissement vers les altitudes plus élevées et vers le nord de la plupart des espèces pionnières et post-pionnières, à la disparition d'espèces endémiques de maturité.

2.4. Les effets cumulatifs des pressions humaines et climatiques.

Depuis des millénaires les espaces boisés méditerranéens ont été soumis à des stress d'origine humaine souvent très importants : exploitation excessive du bois de feu, pâturage très intensif, mise en culture temporaire de terres marginales. Ces stress ont provoqué deux types d'évolution :

- - Des effets irréversibles, ou du moins réversibles à très long terme (échelle des siècles, voire des millénaires) dus à l'érosion et au départ des couches meubles des sols. Déjà Platon déplorait l'érosion dans la Grèce antique.
- - Des effets réversibles à moyen et long terme (à l'échelle de quelques décennies) entraînant une dégradation des forêts dans le sens de la « matorralisation » (transformation en maquis, garrigues ou landes plus ou moins boisées) et de la « descente d'étage ».

C'est ainsi que les naturalistes du début du 20^{ème} siècle (on ne disait pas encore les écologues) décrivaient la Basse Provence calcaire et les Garrigues languedociennes comme l'aire typique du Chêne vert. Or, dans ces zones, on constate depuis plusieurs décennies une tendance générale au retour du Chêne pubescent, qui était considéré par ces mêmes naturalistes comme climacique dans les moyennes montagnes plus humides de la Haute Provence et du Haut Languedoc. On explique maintenant ce retour par la diminution des très fortes pressions humaines du 19^{ème} et du début du 20^{ème} siècle. La coupe répétée des taillis pour produire du bois de feu et le pâturage en forêt favorisaient grandement le Chêne vert au détriment du Chêne blanc, bien que ce dernier fût bien adapté aux conditions bioclimatiques.

Ceci n'est qu'un exemple, mais il est tout à fait typique et très généralisable. Les stress causés par les changements climatiques et les stress causés par une intense pression d'origine humaine ont des effets semblables : d'une part des effets de modification des formations végétales, en général réversibles à moyen terme grâce à la bonne résilience de la flore méditerranéenne ; d'autre part des effets quasi irréversibles dus à l'érosion.

La principale conclusion à retenir est que pressions climatiques et pressions humaines s'ajoutent les unes aux autres. Les écosystèmes méditerranéens font preuve, en général d'une bonne résilience, mais celle-ci a ses limites, que l'on connaît malheureusement mal. Si les pressions se cumulent, les limites de la résilience peuvent être franchies, et des évolutions irréversibles s'enclencher.

Une des meilleures façons de lutter contre les effets néfastes des changements climatiques est, au-delà du protocole de Kyoto, d'éviter cet effet cumulatif, et donc de réduire les pressions humaines.

Dans les pays européens de la rive nord, cette réduction des pressions a été réalisée de facto, depuis un temps plus ou moins long, grâce à la modernisation de l'agriculture et du mode de vie rural : exploitation intensive du bois de feu, pâturage en forêt, mises en labour temporaire ont très largement disparu ; la forêt en a très largement profité pour se redévelopper spontanément, augmentant dans tous ces pays en superficie ainsi qu'en volume de bois sur pied. Les principales menaces sont aujourd'hui les incendies et les défrichements liés à une urbanisation pas toujours bien maîtrisée, et de ce fait génératrice d'un grand gaspillage d'espaces (résidences, équipements touristiques, infrastructures de transports...).

Dans ces pays, il convient cependant de rester très vigilant : prévention et lutte contre les incendies, dont le risque va se trouver accru ; bonne organisation de l'espace ; gestion équilibrée des ressources encore exploitées ; et, bien sûr, prudence dans l'utilisation énergétique de la biomasse de la végétation naturelle. Il ne faudrait pas, sous prétexte de valoriser intensivement une biomasse existante, créer de nouvelles pressions trop fortes qui viendraient aggraver celles du climat, même si une certaine réouverture des milieux peut être favorable, notamment en termes de biodiversité.

La gestion prudente des forêts et espaces boisés des pays européens est donc plus que jamais une nécessité. Pour être vraiment effective, elle doit impliquer tous les acteurs d'un territoire (propriétaires, élus, usagers, ONG, agents économiques) dans une optique de bonne gouvernance. Des expériences nombreuses et probantes existent dans les pays de l'Union Européenne.

Dans les pays des rives sud et est, la situation est plus difficile. La modernisation de la production agricole y est certes en route, mais l'agriculture y est encore très duale, avec des secteurs d'agriculture

de subsistance très pauvres. Et, malheureusement, les zones boisées font souvent partie de ceux-ci. La lutte pour la conservation des espaces boisés, de même que la lutte contre l'érosion et la désertification, y est d'abord une lutte contre la pauvreté rurale, et passe par des actions de développement rural durable, intégrant la modernisation des pratiques agricoles et pastorales, mais aussi l'éducation, la santé, les infrastructures, le développement d'activités économiques secondaires et tertiaires. Les gouvernements et les administrations de ces pays sont en général bien conscients de cette nécessité impérieuse. Mais beaucoup de choses sont à faire, et les difficultés de mise en œuvre sont grandes. Les travaux en cours du CIHEAM et du plan Bleu sur le développement rural durable, qui intègre les aspects pastoraux et forestier, et la mise en œuvre de la stratégie méditerranéenne de développement durable en rendent compte.

II. LES CONTRIBUTIONS A LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

1. L'ACCUMULATION DE CARBONE PAR LES ESPACES BOISES NATURELS

Les forêts et espaces boisés méditerranéens ne sont pas des puits de carbone de très haute activité, car leur productivité primaire est relativement faible, leurs sols contiennent assez peu de matière organique, et ils sont soumis à des risques d'incendie.

Néanmoins, actuellement, ces puits fonctionnent assez bien dans les pays de la rive nord car les surfaces boisées augmentent, ainsi que les volumes à l'hectare de bois stockés sur pied.

Risquons un calcul très approximatif :

L'ensemble de ces pays (Espagne, France, Italie, Balkans, Grèce) possède 50 millions d'hectares de forêts. Mais si l'on s'en tient aux seules forêts « vraiment » méditerranéennes, on doit éliminer une grande partie de la France et des Balkans, ainsi que le nord de l'Espagne, de l'Italie et de la Grèce. Reste donc 20 à 25 millions d'ha de forêts vraiment méditerranéennes. S'y ajoutent 20 millions d'ha d'autres terres boisées qui, elles, sont presque toutes vraiment méditerranéennes. Faisons l'hypothèse qu'actuellement le stockage de bois sur pied représente en moyenne de l'ordre de 500 kilos de carbone par hectare et par an dans les forêts, et une centaine dans les autres terres boisées. On arrive à un ordre de grandeur de 10 à 15 millions de tonnes de carbone stocké par an.

Le grand pays forestier de l'est, la Turquie, possède 10 millions d'ha de forêts et 10 millions d'autres terres boisées. Les surfaces y progressent, et probablement les stocks sur pied aussi, même si c'est moins rapidement qu'en Europe.

Le Maghreb a 6 millions d'ha de forêts, et 4 millions d'autres terres boisés. Les superficies semblent stabilisées. En revanche, les volumes continuent probablement à régresser, notamment au Maroc, ce qui induirait un certain déstockage, mais sans doute en grande partie compensé par le stockage au nord.

Quant aux autres pays, ils sont trop petits ou trop peu boisés pour influencer fortement sur les bilans.

Pour la totalité du bassin, l'ordre de grandeur du stockage du carbone par les forêts et autres espaces boisés méditerranéennes reste donc de l'ordre de 10 à 15 millions de tonnes par an. Ce chiffre doit évidemment être considéré avec beaucoup de circonspection.

Si les conditions climatiques restaient identiques, ce stockage, modeste mais néanmoins appréciable, pourrait continuer à s'accumuler pendant de nombreuses décennies, car les forêts méditerranéennes sont très loin d'avoir atteint leur maximum de volume sur pied. Le volume supplémentaire stocké sur pied annuellement pourrait même croître pour plusieurs raisons :

- Au nord, les forêts retrouvent un meilleur état biologique après des siècles de surexploitation agro-sylvo-pastorale. Leur capacité à produire plus de bois augmente donc. Cela est très visible lorsqu'on compare les données de croissance de l'inventaire forestier national français relevées à des intervalles de dix ans.
- Beaucoup d'autres espaces boisés (matorrals, garrigues, maquis) se convertissent spontanément en forêts, et développent de ce fait leurs capacités à stocker du carbone.

- Au sud, les efforts de lutte contre la pauvreté rurale et pour le développement devraient avoir comme conséquence, entre autres, une baisse de la pression humaine sur les forêts, et donc une augmentation de leur capacité de stockage.

Mais, ces perspectives prometteuses risquent d'être remises en cause par l'aggravation du climat, qui ralentira la croissance potentielle des forêts. Au total, on peut donc supposer que pour quelques temps encore (une vingtaine d'années ?) la capacité de stockage annuelle des espaces boisés méditerranéens va continuer à croître, puis elle se stabilisera et régressera probablement. Mais à quelle vitesse et avec quelle ampleur ? La réponse dépend évidemment de l'efficacité de la lutte contre les gaz à effet de serre, mais aussi de nombreuses inconnues sur la résilience des forêts et leur capacité de réponse aux changements climatiques.

2. LE PROBLEME DES INCENDIES

Les incendies viennent périodiquement remettre en cause la pérennité du stock de carbone constitué par les forêts. Pour fixer les idées, essayons d'estimer non pas des chiffres précis, mais des ordres de grandeur des quantités de carbone déstockées au cours d'un incendie.

Lors du passage du feu, seuls brûlent les feuilles, les rameaux, les petites branches, la litière et les parties superficielles des troncs et des branches grosses et moyennes. La quantité de carbone libérée dépend de l'intensité du feu, de sa vitesse, et de la nature de la végétation. Disons que l'ordre de grandeur pourrait être de 1 à 10 tonnes de carbone par hectare incendié relâchées dans l'atmosphère.

Après le passage de l'incendie, restent sur pied les troncs, les grosses et les moyennes branches, qui représentent l'essentiel de la biomasse. Certains arbres peuvent survivre : ceux à écorce très épaisse (chênes lièges) ou ceux qui ont incomplètement brûlé. Ceux qui sont morts ne tombent au sol que quelques années après le feu ; puis leur biomasse continue à se décomposer au sol, sous l'effet des insectes lignivores, et surtout des champignons décomposeurs. Ce processus peut prendre quelques dizaines d'années, au long desquelles le carbone est progressivement libéré. La décomposition est accélérée par la chaleur et l'humidité. Dans le sol, une partie des souches et des racines mortes se décomposent aussi et libèrent leur carbone ; une autre partie peut cependant se retrouver intégrée à la matière organique du sol. Enfin certaines souches restent vivantes et donnent naissance à des rejets. La quantité de carbone totale déstockée au cours de ce lent processus de décomposition est très variable, et dépend de la biomasse du peuplement qui a brûlé. Elle peut aller de quelques tonnes à l'hectare pour un matorral peu dense à plus d'une centaine pour une belle futaie. Heureusement, parmi les superficies incendiées, celles de matorral sont en général beaucoup plus étendues que celles de belle futaie.

Après un incendie, plusieurs questions se posent. Il y a d'abord celle du reboisement. Dans une grande majorité de cas, dans les conditions climatiques du 20^{ème} siècle, reboiser n'était pas nécessaire : la nature rétablissait spontanément une formation végétale proche de celle qui avait brûlé : c'est précisément en cela que consiste la résilience. Mais quand le climat aura changé, il sera peut-être, plus souvent que par le passé, nécessaire de reboiser avec des essences mieux adaptées à l'aridité, car les limites de la résilience du peuplement incendié auront été dépassées.

Une autre question est : après l'incendie, faut-il récupérer la biomasse des arbres brûlés, au lieu de la laisser se décomposer sur pied ? La réponse à apporter est nuancée. Du point de vue du bilan de carbone, cela semble souhaitable, lorsque cette biomasse est suffisamment importante. Mais il ne faut pas oublier que l'efficacité économique est le troisième pilier du développement durable : il faut donc que cette biomasse soit réellement valorisable, et que ses coûts d'exploitation (main d'œuvre,

transport...) ne soient pas trop élevés. Du point de vue écologique, il est en général conseillé de recéper (couper au ras de la terre) les arbres susceptibles de rejeter de souche (tout particulièrement les taillis de chênes). Mais il est également conseillé de laisser sur pied les résineux endommagés ou même morts qui portent encore des semences (cônes de pins particulièrement). Ces arbres peuvent également constituer un abri relatif pour les jeunes semis.

Dans les pays du nord, jusqu'à présent, les incendies ont été suffisamment bien maîtrisés pour que les superficies forestières et les volumes sur pied augmentent. Cette maîtrise est obtenue grâce à un important, et assez coûteux dispositif de prévention et de lutte : entretien et équipement préventif de certains espaces boisés, sapeurs-pompiers de plus en plus professionnalisés, moyens de lutte terrestres (véhicules spécialisés) et aériens (hélicoptères et avions bombardiers d'eau) modernes et performants. Cependant le risque augmente avec les changements climatiques, et ceci a été confirmé ces dernières années par de très vastes incendies, liés à des épisodes caniculaires. Pour maintenir le rythme de stockage du carbone, il sera certainement nécessaire d'intensifier la prévention et la lutte, donc d'en augmenter le coût.

Dans les pays de l'est et du sud, l'incendie n'était pas, jusqu'à récemment, un problème majeur, car le sous-bois était maintenu « propre », c'est à dire bien débroussaillé, par le pâturage très intensif des animaux. Mais la modernisation de l'agriculture et de l'élevage fait reculer cet effet bénéfique. Il est très difficile de trouver le bon équilibre entre trop de pâturage, ce qui provoque dégradation du couvert végétal et érosion, et pas assez de pâturage, ce qui augmente l'embroussaillage et le risque d'incendie. Ces pays vont donc se trouver confrontés à un problème difficile : bien gérer la prévention des incendies par l'élevage pour ne pas avoir à s'équiper en grande quantité avec des moyens modernes de lutte très coûteux.

3. LES UTILISATIONS ENERGETIQUES TRADITIONNELLES OU AMELIOREES DE LA BIOMASSE FORESTIERE

3.1. Les usages traditionnels

Pendant des millénaires, le bois a constitué la principale source d'énergie utilisée par les sociétés méditerranéennes, aussi bien pour les usages domestiques (chauffage, cuisine) et urbains (thermes, hammams) que pour les usages artisanaux et pré-industriels (cuisson des briques, des tuiles, des poteries, fabrication et fonte du verre, métallurgie du cuivre, du fer, du plomb et autres métaux...). Pour obtenir les hautes températures souvent nécessaires (verre, métaux) on utilisait non pas le bois directement, mais le charbon de bois. Ce dernier, produit en forêt, a en outre l'avantage d'être bien plus léger que le bois, donc plus facile à transporter, par exemple pour alimenter les villes éloignées de la forêt.

Ces usages ont trop souvent conduit à la surexploitation des forêts, c'est à dire à une exploitation non durable où le prélèvement annuel de bois était supérieur à l'accroissement biologique. Cette surexploitation jointe au surpâturage et à la mise en culture temporaire a, dans différentes régions et à différentes époques, amené à la dégradation du couvert végétal et des sols, et au déclin des activités dont ils étaient la base. L'histoire forestière est une longue succession de conflits entre détenteurs des droits de propriété, usagers souvent abusifs aux droits contestés, et autorités publiques cherchant à arbitrer tant bien que mal ; conflits pouvant souvent rester aux plans politiques et juridiques, mais s'aggravant parfois et devenant violents.

Au cours des 19^{ème} et 20^{ème} siècles, à la plupart de ces emplois pré-industriels du bois et du charbon de bois ont été substitués la houille, puis le pétrole, le gaz naturel, ou l'électricité. Dans les pays du nord, les emplois domestiques du bois énergie ont résisté plus longtemps, surtout à la campagne, mais ils avaient très fortement régressé dans la seconde moitié du 20^{ème} siècle, avant de connaître un certain renouveau depuis quelques années. Au contraire, l'emploi du bois énergie est encore très important dans les pays de l'est et du sud, où il continue à mettre en péril la durabilité de certaines forêts.

Cette différence entre nord et sud s'explique par la différence des salaires, ou plus exactement par la différence du coût d'opportunité du travail. Couper du bois en forêt, le façonner en rondins ou en bûches, le manipuler, le transporter demande un gros travail. Le bas prix des énergies de substitution et le niveau élevé des coûts salariaux ont fait que, dans les pays du nord, il n'était plus du tout économiquement rentable de payer des ouvriers pour faire ce travail. Seuls ont continué à couper du bois en forêt les personnes qui disposaient d'une capacité de travail peu coûteuse (agriculteurs n'ayant pas d'autre activité plus profitable pendant la morte-saison, bûcheronnant souvent pour leur auto-consommation), ou qui avaient accès à un marché « de niche » valorisant le produit au-dessus de sa seule valeur énergétique (flambées dans les cheminées des résidences secondaires).

A l'inverse, dans les pays de l'est et du sud, le travail nécessaire est tout aussi pénible, mais le chômage latent dans les campagnes pauvres, et le bas coût d'opportunité du travail qui en résulte, font qu'il existe encore beaucoup de ruraux prêts à aller couper du bois en forêt, parfois même illégalement.

3.2. Quel avenir pour les plaquettes ?

Si on assiste aujourd'hui à une certaine reprise dans les pays du nord, c'est à cause de l'augmentation du prix des énergies fossiles, et plus encore de la prise de conscience de la nécessité de limiter les émissions des gaz à effet de serre. Mais des interventions des pouvoirs publics s'avèrent souvent nécessaires (subventions pour des chaudières au bois). De toute manière, il ne semble pas que la coupe « traditionnelle » de bûches permette un retour important à l'utilisation du bois-énergie. Si celui-ci se produit, ce sera en utilisant des méthodes complètement mécanisées, après transformation du bois en plaquettes livrées par camions à des installations de chaufferies, elles-mêmes complètement automatisées. Ces plaquettes seront souvent fabriquées par des machines déchiqueteuses, tractées ou automotrices, circulant en forêt, récoltant soit des rémanents d'exploitation (rares en forêts méditerranéenne), soit des petits ou moyens arbres entiers (coupes de taillis, débroussaillage de pare-feu).

Il convient de s'interroger d'une part sur la viabilité économique d'une telle filière entièrement mécanisée, d'autre part sur ses effets écologiques.

Actuellement, le coût de la plaquette rendue chez l'utilisateur est estimée, en France, par l'ITEBE entre 31 et 85 € la tonne. Cela donne donc un coût au kilowatt-heure de l'ordre de 1,5 à 2 centimes d'euro par tonne. Ce coût est donc compétitif, car du même ordre que celui des principaux combustibles de substitution (charbon industriel, fioul lourd industriel, gaz naturel).

Les plaquettes issues des bois méditerranéens, plus secs et denses, ont plutôt un bon pouvoir calorifique. Mais les conditions de récolte sont fréquemment difficiles (peuplements peu fournis, terrains souvent pentus et rocheux imposant des conditions de travail difficiles au personnel et au matériel, voies d'accès éloignées), et le coût de la récolte peut alors s'élever rapidement. Si la filière se développe, il est probable que ces coûts pourront baisser (professionnalisation du personnel, optimisation du matériel, organisation des chantiers...), mais il est vraisemblable que la plaquette

produite en forêt naturelle méditerranéenne conservera un coût de production moyen plus cher que dans d'autres régions.

Au plan écologique, on peut considérer qu'il s'agirait de reprendre les anciennes coupes de taillis, mais avec une technologie moderne. A climat constant, il n'y aurait sans doute pas de problème majeur, à condition de se fonder sur des aménagements forestiers bien faits, respectant les durées minimales de rotation (20 ou 25 ans au moins) et d'éviter soigneusement les risques d'érosion (notamment par les voies d'accès). On observerait, à coup sûr, que les espèces rejetant facilement de souche (le Chêne vert en particulier) seraient à nouveau très favorisées : il y aurait donc un certain retour en arrière par rapport à l'évolution de ces dernières décennies. Mais nous ne sommes plus à climat constant. La synergie entre les pressions dues au climat et celles dues aux coupes pourrait accentuer la régression des peuplements vers des écosystèmes plus adaptés à l'aridité, mais moins productifs. Un suivi fin de ces évolutions écologiques serait à mettre en place.

En ce qui concerne le bilan carbone, le recours à la biomasse forestière permet d'éviter de brûler des combustibles fossiles. Mais le maintien sur pied d'un stock de carbone qui s'accroît présente aussi des avantages : la valorisation de ces avantages contradictoires dépend beaucoup des hypothèses que l'on peut faire sur l'évolution, au cours des prochaines décennies, du coût d'opportunité de la tonne de carbone stockée : si ce coût décroît, on a plutôt intérêt à consommer rapidement les stocks. Mais s'il augmente, on a intérêt à conserver le plus longtemps possible les stocks de bois sur pied. Les calculs sont complexes, et dépendent des scénarios énergétiques mondiaux.

Par ailleurs, au plan social et politique, on peut craindre que des chantiers d'exploitation de surface étendue ne soulèvent de vigoureuses oppositions dans les secteurs résidentiels ou touristiques.

Au total, l'utilisation de plaquettes forestières méditerranéennes comme combustible est une solution économiquement viable à condition que la récolte ne soit pas trop malaisée et que son coût reste assez bas. Elle ne peut se faire qu'en respectant les conditions d'un aménagement forestier rigoureux assurant la soutenabilité de la récolte. Elle ne doit pas être entreprise si elle entraîne des risques notables d'érosion ou de perte de biodiversité.

Cependant, pour que le coût d'utilisation des plaquettes soit compétitif, il faut que le prix du bois sur pied payé au propriétaire soit aussi bas que possible : cela n'est pas très incitatif, et risque de limiter la mobilisation des bois. On peut donc penser que, en pratique, cette technologie se développera dans les cas suivants :

- Un certain nombre de propriétaires ruraux s'équiperont de petites chaudières et feront venir sur leurs parcelles forestières de petites déchiqueteuses qui fabriqueront des plaquettes pour leur auto-consommation, et éventuellement pour être cédées à certains de leurs voisins et connaissances. Les avantages de la mécanisation et de l'automatisation de la chaudière joueront un rôle majeur.
- Des communes forestières équiperont certains de leurs bâtiments publics en chaudières alimentées en plaquettes produites dans leurs forêts communales, soit en régie par les ouvriers de leur service d'espaces verts, soit par contrat avec des entreprises en général petites et locales.
- Une filière industrielle de grande ampleur ne se développerait vraisemblablement que si le coût des énergies de substitution augmentait fortement.

Un cas particulier propre à la région méditerranéenne est celui de la valorisation de la biomasse broyée au cours des opérations de débroussaillage en vue de la protection contre les incendies (bords des routes et des pistes, coupures stratégiques de combustible, mise en sécurité des abords des bâtiments et autres points sensibles) : on a tout intérêt à transformer cette biomasse en énergie, si cela permet de limiter le coût du débroussaillage qui, en général, reste élevé. En outre, si elle était laissée sur place, cette biomasse libérerait son carbone en se décomposant : on fait donc une

économie de carbone en l'employant comme combustible. En fait, dans le cas des débroussailllements, on est dans une logique de valorisation des déchets.

Quant à l'utilisation de la biomasse provenant des déchets des industries de la filière bois, ses avantages sont les mêmes en région méditerranéenne que dans les autres régions, et elle ne devrait pas y rencontrer de difficultés particulières. Le seul problème est que les quantités disponibles sont relativement faibles : les industries de première transformation (pâte à papier, sciages) sont peu développées autour de la méditerranée, pour de multiples raisons (ressource très hétérogène, pas très abondante, difficile à mobiliser et à exploiter, absence de traditions historiques) ; celles de seconde transformation sont développées localement (industrie du meuble en Italie...), mais produisent moins de déchets.

3.3. Lutter contre la surexploitation au sud

Tout ceci concerne les pays européens. Dans les pays du sud, notamment au Maghreb, la problématique est totalement différente. Des populations rurales très pauvres y exercent encore souvent une très forte pression pour la récolte de bois de feu, surtout au Maghreb, d'où dégradation du couvert végétal et progression de l'érosion. Les réponses apportées sont de plusieurs types :

- Répression des « délits de coupe » par les services forestiers locaux. Cette solution traditionnelle n'a pas toujours eu les résultats escomptés, et elle conduit à des conflits parfois violents. Les inconvénients politiques sont évidents. En outre, l'image de « gendarmes verts » des forestiers n'est pas très compatible avec le rôle d'agents de développement rural durable que les nouvelles politiques forestières veulent, à juste titre, leur donner.
- Plantation d'essences à croissance rapide, notamment eucalyptus, près des zones de consommation, pour soulager la pression sur les forêts naturelles. Ainsi les forestiers marocains disent souvent que les eucalyptus ont sauvé la forêt de la Mamora, forêt naturelle de Chêne liège située au nord de Rabat. Mais ceci n'est possible que sur des sols propices, et suffisamment bien alimentés en eau. - Substitution du bois, pour les usages domestiques, par des énergies fossiles : butane, propane, fioul. Cette politique est remise en cause par les évolutions actuelles, surtout dans les pays non producteurs.
- Remplacement des foyers ouverts traditionnels (qui ne récupèrent qu'environ 10% de l'énergie potentielle), par des dispositifs à l'efficacité énergétique satisfaisante. Par exemple, dans les montagnes marocaines, par des fourneaux en tôle, qui permettent à la fois de chauffer la pièce où ils se trouvent, de cuire les aliments, et de disposer d'une réserve d'eau chaude. Les modèles encouragés sont suffisamment simples pour pouvoir être réparés, ou même construits par des artisans locaux. Pour les hammams urbains des modèles de chaudière plus économes ont également été développés. Le développement du solaire a également un rôle à jouer dans des pays où l'ensoleillement est très propice.

4. VERS LA PRODUCTION DE NOUVELLES BIOENERGIES FORESTIERES ?

4.1. Quelles bioénergies ?

Ce qui vient d'être analysé concerne les utilisations classiques (combustion directe du bois ou du charbon de bois) de matières récoltées soit dans des forêts naturelles (particulièrement les taillis de chênes), soit dans des reboisements faits avec des espèces classiquement présentes en Méditerranée (en tout premier lieu diverses espèces de pins, plus certains autres résineux). Il convient d'examiner maintenant d'autres utilisations (biocarburants, chimie du bois) ou d'autres modes de production (essences à croissance rapide).

Déjà, pendant la seconde guerre mondiale, pour pallier le manque de produits pétroliers en Allemagne et dans les pays occupés, des substituts avaient été développés :

- Certains véhicules individuels ou de transport avaient été équipés de « gazogènes ». Ces dispositifs montés à l'arrière des véhicules transformaient par pyrolyse des petites bûchettes de bois, le « gazobois », en gaz combustible dans les moteurs, moyennant quelques modifications de leur alimentation. Le rendement énergétique était faible, et les moteurs s'encrassaient vite, mais ça permettait de rouler.
- Au plan industriel, la transformation de la houille en carburants liquides, notamment pour les véhicules, chars et avions militaires, avait été largement mise en œuvre, sur la base de réactions d'hydrogénation du carbone (synthèse de Fischer-Tropsch). Le même type de synthèse est également possible à partir de bois ou de charbon de bois.

Les « biocarburants », ou plutôt les « agrocarburants » de première génération utilisés aujourd'hui ont plusieurs origines :

- l'amidon des céréales transformé en éthanol, utilisable dans les moteurs à essence ;
- le sucre de canne ou de betterave, également transformé en éthanol ;
- les huiles végétales, transformées en diester, utilisable dans les moteurs diesels.

Les peuplements forestiers ne sont pas aptes à fournir de tels produits. En revanche, ils peuvent souffrir grandement de leur développement. Ainsi, on constate en Indonésie et en Malaisie des défrichements massifs de la forêt tropicale humide pour installer des plantations de palmiers à huile destinée au « biodiesel », et au Brésil des défrichements massifs de la forêt tropicale sèche du « Cerrado » pour produire de la canne à sucre pour l'éthanol. Toutefois les espaces boisés méditerranéens semblent peu menacés par de tels défrichements, en raison du potentiel peu productif de la plupart des sols qu'ils recouvrent.

Ces carburants de première génération, issus de plantes alimentaires cultivées, sont de plus en plus controversés, et il est vraisemblable qu'à moyen terme on s'orientera principalement vers la production de biocarburants de deuxième génération, utilisant la matière ligno-cellulosique des plantes entières, et pas seulement leur partie nutritive (amidon, sucre ou huile). Deux grandes voies sont possibles :

- la transformation en sucres de la plante entière par hydrolyse de la cellulose, puis par transformation de ces sucres en éthanol ;
- la transformation de la plante entière en produits de type pétrolier, par hydrogénation « Fischer-Tropsch » du carbone contenu.

Les végétaux forestiers se prêtent bien à ces productions de deuxième génération. Cependant, pour cet usage, comme pour beaucoup d'autres utilisations productives, les forêts naturelles méditerranéennes présentent de nombreux handicaps : productivité relativement faible, accès difficile, sols souvent pentus et rocheux. Il paraît vraisemblable que les sources de biomasse utilisées seront principalement :

- d'une part les déchets des industries de la filière bois et les « rémanents » (houppiers, branches, petits bois, écorces) des coupes forestières ;
- d'autre part des plantations d'essences à croissance rapide, spécialement dédiées à la production de biocarburants.

La relative faiblesse structurelle de l'exploitation forestière et des industries de première transformation en région méditerranéenne limitera toujours, vraisemblablement, l'importance de la ressource disponible en rémanents et déchets. En revanche, il convient d'examiner dans quelle mesure les plantations d'essences à croissance rapide sont susceptibles de se développer à une échelle industrielle.

4.2. Des plantations d'essences à croissance rapide ?

De nombreuses espèces sont envisageables, soit indigènes (peupliers, saules, platanes...) soit introduites (eucalyptus...) ; on peut aussi penser à des plantes non arborescentes (canne de Provence...) ; elles pourraient être sélectionnées ou génétiquement modifiées pour maximiser leur production de cellulose. La chaleur du climat méditerranéen est un facteur très favorable à une forte productivité. Plutôt que de production forestière, au sens classique du terme, il s'agira beaucoup plus d'une forme d'agriculture intensive, avec recours à la mécanisation de toutes les opérations de culture, aux engrais, aux produits phytosanitaires et, très souvent, à l'irrigation.

Une première limitation vient de ce que de telles plantations ne sont envisageables que sur des terrains facilement mécanisables pour l'installation, l'entretien et la récolte de ces plantations. Sur ces espaces, qui sont relativement restreints autour de la méditerranée, elles entreront donc en concurrence avec les autres productions agricoles, et les choix faits par les exploitants dépendront essentiellement de la comparaison entre les revenus qu'ils pourront tirer de ces diverses productions et donc des demandes relatives sur les différents produits.

Une limitation encore plus sévère viendra de la disponibilité en eau. Pour exprimer pleinement leur potentialité productive, ces essences auront besoin de beaucoup d'eau : une hauteur de lame d'eau de l'ordre de 1500 à 2000 millimètres par an. Les précipitations ne présentent une telle intensité que dans quelques rares secteurs du Bassin méditerranéen (zones de montagnes côtières exposées face à l'arrivée des vents humides). Même dans ces rares cas, les pluies ne tombent pas dans les saisons les plus favorables. Et, presque partout, il sera sans doute nécessaire d'apporter au moins une irrigation de survie pour aider ces plantations à survivre sans dépérissements graves, voire mortels, aux longs étés secs.

Or l'eau est rare en région méditerranéenne ; elle le sera de plus en plus avec les changements climatiques. Son coût d'opportunité est élevé et le sera de plus en plus. Il faudrait donc que le prix de l'énergie devienne très élevé pour qu'il soit opportun d'utiliser de l'eau à produire des cultures énergétiques. Mais, de toutes manières, bien d'autres régions du monde sont aptes à produire ces cultures à moindre coût. Donc il est très vraisemblable que les cultures énergétiques intensives ne se développeront pas en Méditerranée, à l'exception des rares cas où de l'eau serait disponible en abondance, à faible coût, et en l'absence d'utilisations plus valorisantes.

Des conflits pourraient toutefois apparaître en des lieux où l'eau procure des services environnementaux importants sans que cela se traduise par une valeur marchande correspondante : les

zones humides naturelles consomment par évapotranspiration une lame d'eau importante, du même ordre de grandeur que celle que consommerait une culture énergétique. La valeur produite par ces zones est en partie économique (produits de la pêche, attractivité touristique...), mais aussi en grande partie non marchande : services environnementaux, au premier rang desquels figure le maintien de la biodiversité. Si les coûts de l'énergie augmente, il risque d'y avoir une pression pour la mise en culture de ces zones, qui pourrait apparaître financièrement rentable pour certains agents économiques, mais entraînerait néanmoins une perte de valeur économique totale, marchande et non marchande.

4.3. Et les bio-produits ?

Outre la production d'énergie, les végétaux peuvent servir de matière première pour de nombreuses substances chimiques. Beaucoup étaient récoltées et traitées depuis des siècles, voire depuis l'antiquité, grâce à des techniques artisanales (résines, gommes, parfums, teintures, produits tannants...) ; certaines ont vu leur production se développer fortement au début de l'ère industrielle : colorants végétaux, produits dérivés de la résine de pins intensivement gemmés, produits issus de la pyrolyse du bois, synthèses réalisées à partir de la cellulose, de la lignine, des goudrons, du charbon de bois... Au 20^{ème} siècle, à la plupart de ces productions ont été substitués des produits de synthèses fabriqués à partir de la houille, du pétrole ou du gaz naturel. Mais si ces sources fossiles de carbone deviennent plus coûteuses que le bois (en internalisant leurs coûts écologiques respectifs, notamment ceux liés au cycle du carbone), il est tout à fait envisageable de revenir, au moins partiellement, à une chimie fondée sur le bois.

La problématique de la ressource en végétaux pour la chimie est très semblable à celle pour l'énergie. La région méditerranéenne paraît peu favorable : peuplements naturels peu productifs et difficiles à exploiter ; gisement de déchets ligneux faible ; plantations intensives en concurrence avec les autres productions pour les terrains mécanisables et surtout pour l'eau. Evidemment il reste des « produits de niche » traditionnels en Méditerranée liés aux plantes aromatiques (huiles essentielles) et à la grande diversité des végétaux (cosmétique, pharmacologie). Les quantités sont restreintes par définition mais les valeurs ajoutées peuvent être très élevées.

Dans la construction, le recours au bois permet d'améliorer le bilan carbone de deux manières : d'une part le bois utilisé immobilise du carbone pour de très longues périodes ; d'autre part il se substitue, au moins en partie, à du ciment ou à des métaux dont la production rejette beaucoup de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Mais, là encore, les forêts méditerranéennes sont peu compétitives : bois très hétérogènes, difficiles à récolter, difficiles à travailler, ou du moins mal adaptés aux technologies courantes. Actuellement, les bois utilisés dans la région sont souvent importés des pays nordiques (sciages) ou des pays tropicaux (placages). Le recours aux produits modernes en bois reconstitué peut pallier ces difficultés, mais on retombe sur les handicaps déjà soulignés pour l'énergie ou la chimie de base. En outre, malgré quelques exceptions locales, les cultures méditerranéennes valorisent plus les maisons en pierres (maisons de riches) que les maisons en bois (maisons de pauvres).

En outre, les maisons en bois n'isolent pas bien du chaud (alors qu'elles isolent bien du froid) et ne possèdent pas d'inertie thermique apte à exploiter la fraîcheur naturelle des nuits d'été méditerranéenne ou la chaleur des journées ensoleillées d'hiver.

Au total, la région méditerranéenne ne paraît pas très favorable au développement à grande échelle de filières bio-énergétiques de deuxième génération ou de filières bio-chimiques fondées sur l'exploitation de cultures ligneuses intensives ; ce qui n'exclut nullement le développement de projets de territoire fondés sur une ressource locale souvent originale et diversifiée, couplée avec d'autres sources d'énergie renouvelables dont les gisements sont importants en Méditerranée : solaire, éolien, géothermie.

III. CONCLUSION : RECOMMANDATIONS POUR L'ACTION

1. LA NECESSITE D'UNE GESTION PRUDENTE

Les stress dus aux pressions humaines et aux pressions climatiques conjuguent leurs effets sur les écosystèmes boisés (cf. ci-dessus, § II – 4). Pour éviter des conséquences graves et irréversibles (pertes importantes de biodiversité, disparition de nombreuses espèces endémiques, reprise massive de l'érosion, progression de la désertification), il est indispensable de ne pas outrepasser la capacité de résilience de ces écosystèmes. Or les seuils au-delà desquels cette capacité s'affaiblit, voire s'effondre, sont aujourd'hui mal connus. Il est donc indispensable d'adopter une gestion prudente.

Cette gestion prudente repose, au nord comme au sud, sur un socle commun, qui est celui de toute bonne gestion forestière durable :

- Ne pas prélever annuellement, en moyenne, plus que l'accroissement annuel (principe du rendement soutenu, inscrit, en France, dans des édits royaux depuis le 14^{ème} siècle, mais pas toujours rigoureusement appliqué avant le 19^{ème}).
- Respecter l'intégrité et la fertilité du sol, en prohibant les interventions susceptibles de provoquer érosion, compaction, pertes de matière organique (sols laissés sans protection, engins de travaux mal adaptés, voies d'accès mal conçues...).
- Respecter les « services environnementaux » rendus par les écosystèmes, en particulier la conservation de la biodiversité en général, et particulièrement des espèces rares ou menacées de la flore et de la faune, ainsi que la protection du cycle de l'eau. A défaut de savoir évaluer ces services de façon monétaire, et de pouvoir en « internaliser » la valeur dans les calculs de coûts, les traiter comme des contraintes à respecter.
- Prendre en compte les divers biens et services économiques et sociaux rendus par les espaces boisés : produits autres que le bois, cueillettes, chasses, pâturage, loisirs en forêt, paysage. De même, à défaut de savoir évaluer et en internaliser la valeur, les traiter comme des contraintes.
- Définir avec précision les droits de propriété et d'usages et en assurer la sécurité juridique.
- Etablir des procédures de participation permettant à tous les acteurs sociaux intervenant dans la gestion effective du territoire boisé, et à toutes les parties prenantes concernées par les biens et services produits, d'être effectivement impliqués dans la bonne gouvernance de ces territoires (Lazarev, 2008).

Ces principes communs de gestion durable et prudente s'appliqueront de manières diverses selon les pays, et selon leurs caractéristiques sociales et économiques. Au nord, les principales menaces proviennent du risque d'incendie qui s'accroîtra (cf. § III – 2), et de la pression foncière liée à l'urbanisation dispersée et aux infrastructures. Au sud, ces menaces sont déjà bien présentes, mais celles dues à la surexploitation des ressources par une population rurale très pauvre sont encore très fortes.

Au nord les collectivités territoriales de tous niveaux (municipalités, provinces ou départements, régions) et la société civile (grandes ONG nationales ou internationales, associations plus locales d'usagers ou de défense d'un site) sont généralement très présentes et très actives dans la gestion du territoire boisé. Propriétaires et gestionnaires forestiers, publics ou privés, sont habitués à travailler avec elles. Au sud, les collectivités et la société civile sont en plein essor, mais sont en général encore

nettement plus faibles qu'au nord ; la propriété forestière privée y joue un rôle généralement réduit. Les forestiers d'Etat y gardent donc encore un rôle primordial. Pour mettre en œuvre une gestion durable des espaces boisés, les modalités et les procédures de la gouvernance nécessaire dépendent donc fortement du contexte économique, social, culturel et juridique du pays.

Une ressource de valeur à gérer avec prudence face au risque de dépérissement : le Chêne liège

Le cas des forêts de Chêne liège, les suberaies, illustre très bien cette nécessité d'une gestion prudente. Ces forêts sont présentes dans tous les pays de l'ouest de la méditerranée, du Portugal et du Maroc atlantique à la Sardaigne et au nord tunisien, à condition que le sol ne contienne pas de calcaire (le Chêne liège est très calcifuge). Depuis des millénaires, le liège est utilisé pour divers usages : bouchons, flotteurs, ruches... La demande de liège de qualité (bouchons) s'est fortement accrue aux 19ème et 20ème siècles, et de nouveaux produits à base de liège sont apparus : produits de décoration et surtout matériaux isolants thermiques, ce qui correspond à un marché potentiel important, du fait des économies d'énergie. Des produits de substitution à base de matières plastiques diverses sont venus le concurrencer, mais on peut penser que du fait de ses qualités physiques et thermiques exceptionnelles, et dans un contexte de retour aux produits d'origine végétale, il a encore un bel avenir devant lui.

A l'origine, la récolte a pu se faire par simple cueillette en écorçant des arbres. Mais depuis longtemps des méthodes d'exploitation très organisées et rationalisées ont été élaborées. Les plus remarquables sont celles du sud-ouest ibérique : elles combinaient écorçage périodique (tous les 9 à 12 ans selon les lieux) des arbres sur une certaine hauteur (le « démasclage »), pâturage en sous-bois de divers animaux (bovins, ovins, et même porcs qui s'engraissent à l'automne en mangeant des glands), et mise en culture temporaire de céréales. Elles ont permis de constituer sur des millions d'hectares des paysages agro-sylvo-pastoraux très particuliers, appelés dehesas en Espagne, et montados au Portugal. Dans les autres régions productrices (Catalogne, Maures provençales, Corse, Sardaigne, nord tunisien, nord-est algérien, nord-ouest marocain), les méthodes de démasclage périodique rationalisées ont été introduites partout, à des dates diverses. Le pâturage sous bois, voire la mise en culture, se sont également pratiqués, avec des intensités très variables, mais de manière, en général, peu organisée, et parfois très dommageable (surpâturage et labours érosifs).

Aujourd'hui on constate dans de très nombreuses suberaies tout autour de la Méditerranée de fréquents dépérissement des chênes lièges, d'intensité très variable, depuis un léger éclaircissement du feuillage jusqu'à de fortes mortalités, et ceci aussi bien dans des régions de dehesas et de montados, gérées de façon traditionnelle, que dans des secteurs où l'exploitation est aujourd'hui largement abandonnée. Une explication pourrait être que le changement climatique s'ajoutant aux stress de l'exploitation classique (écorçage, pâturage, labour) a amené certains peuplements à tomber en-dessous de leur seuil de résilience. Les plus touchés pourraient être ceux où les suberaies ont été étendues par plantation au delà de l'aire de répartition optimale du Chêne liège. Convierait-il de modifier certaines pratiques d'exploitation, afin de les rendre moins stressantes dans un climat devenu plus chaud et sec ? Des études sont en cours, notamment au Portugal, pays leader en matière de liège, en collaboration avec les autres pays méditerranéens.

2. LE DEVELOPPEMENT ET LE PARTAGE DES CONNAISSANCES

Pour conduire une gestion prudente, il est nécessaire de disposer de connaissances adéquates, et lorsque ces connaissances manquent, il faut encore accroître la prudence, pour ne pas risquer d'atteindre les seuils, mal connus, d'irréversibilité.

Les rapports entre changements climatiques, évolution des espaces boisés et énergie posent à la recherche de très nombreuses questions, souvent complexes et interdisciplinaires. Certaines commencent à être abordées, mais les connaissances sont encore assez incertaines ou lacunaires. Sans chercher à être pleinement exhaustif, on peut en citer quelques-unes parmi les plus importantes :

- Comment évoluera le climat dans chacune des sous-régions du Bassin méditerranéen ? C'est une question que se posent légitimement les décideurs et le public. Seules des recherches au niveau mondial peuvent apporter des éléments de réponse. Elles sont en cours, dans le cadre du GIECC et portent tant sur l'approfondissement des connaissances environnementales fondamentales

(atmosphère, océans, biosphère) que sur la constitution de modèles nécessairement très complexes.

- Comment les écosystèmes boisés méditerranéens réagiront-ils à ces changements climatiques ? En raison de l'enjeu économique, des travaux ont déjà été menés concernant certaines plantes cultivées. Pour les plantes sauvages comme pour les écosystèmes naturels, peu de recherches sont menées en région méditerranéenne, et on raisonne surtout par analogie. L'écologie forestière méditerranéenne est pourtant un domaine où la nécessité d'une bonne coopération internationale a été ressentie très tôt : dès avant la première guerre mondiale des forestiers avaient posé le principe de ce qui est devenu la commission *Silva Mediterranea* de la FAO. Mais les résultats n'ont pas toujours été à la hauteur des intentions, faute d'une volonté assez marquée des états participants. L'Union Européenne a heureusement bien soutenu la recherche forestière méditerranéenne, ce qui a permis des avancées notoires et le maintien de réseaux de recherche, notamment en matière de génétique forestière et de prévention des incendies de forêt. Depuis quelques années, les réseaux européens ou nationaux de placettes d'observation et de suivi de l'écologie forestière ont apporté un grand nombre de données, dont l'analyse est très fructueuse. Il serait d'un très grand intérêt d'étendre ces réseaux à tous les pays du bassin.
- Comment mieux évaluer et mieux valoriser les multiples biens et services environnementaux (biodiversité, protection contre la désertification, stockage du carbone, aménités sociales et culturelles...) fournis par ces espaces boisés, afin de les prendre en compte de manière adéquate dans les décisions de gestion ? Des premiers résultats ont été obtenus par le programme MEDFOREX, dont les travaux pourraient être prolongés par le réseau EFIMED dans le cadre de l'EFI.
- Comment, face aux menaces et à l'importance des enjeux, améliorer la gouvernance des espaces boisés méditerranéens, en assurant la participation des acteurs sociaux concernés ? Plutôt que des recherches proprement dites, des réflexions sont en cours, portant sur des échanges d'expériences et de bonnes pratiques, notamment dans le cadre de l'AIFM (Association Internationale Forêt Méditerranéenne).
- Dans le domaine de l'énergie, la recherche et le développement de processus industriels de grande envergure pour les bio-carburants de deuxième génération ou la bio-chimie de base sont des questions qui se posent à un niveau global et non méditerranéen. Toutefois, des productions « de niche » ou typiquement méditerranéennes peuvent justifier des recherches spécifiques (chimie fine à base végétale, cosmétiques, médicaments... sans oublier le liège).
- L'utilisation plus économe et durable des ressources forestières et pastorales par les populations rurales pauvres du sud est une question essentielle pour l'avenir des espaces naturels de ces pays. Elle fait l'objet d'expérimentations locales qui mériteraient d'être mieux connues et coordonnées.

La création de connaissances sur les liens entre climat, forêts et énergie fait ainsi appel à un très grand nombre de disciplines : mathématiques, informatique, physique, chimie, biologie, écologie, agronomie, économie, sociologie, droit, technologies..., et va depuis la recherche fondamentale jusqu'au « bricolage », en passant par la recherche-action et le développement. D'où son grand intérêt, mais aussi sa grande difficulté, accentuée par la tendance naturelle de la recherche à préférer les problématiques plus fondamentales ou monodisciplinaires.

En outre, les travaux concernant les espaces boisés de la région méditerranéenne sont plus rares que ceux concernant d'autres types de forêts. Cette région regroupe en effet d'une part des pays qui disposent de relativement peu de moyens de recherche, et d'autre part des pays qui ont des moyens plus importants, mais où la Méditerranée n'est pas la première priorité. Une coopération très active entre tous les pays est donc indispensable pour leur permettre de progresser malgré ces moyens réduits.

Mais cette coopération ne doit pas se limiter aux échanges entre scientifiques et technologues pour faire progresser les connaissances scientifiques et techniques. Elle doit aussi permettre la diffusion des bonnes pratiques et des bons comportements parmi tous les acteurs concernés, qu'ils soient institutionnels (collectivités territoriales, organisations professionnelles, ONG...) ou individuels (agriculteurs, éleveurs, exploitants forestiers, usagers à titres divers...). Pour cela, elle doit aussi permettre une meilleure compréhension par ces acteurs, et même par l'ensemble de l'opinion publique, des principaux problèmes et des principaux enjeux. D'où l'importance de la formation et de l'information sur ces sujets. Les « bonnes pratiques » ne peuvent d'ailleurs être définies qu'au regard de tous ces enjeux partagés.

Une question est particulièrement cruciale : celle de la participation. Les Etats ne peuvent plus aujourd'hui prétendre vouloir gérer de manière directive les espaces forestiers, même en disposant d'une administration forestière de qualité. Il leur faut s'appuyer sur la participation active d'autres acteurs : collectivités, société civile, agents économiques. Cette participation ne peut bien fonctionner que si tous ces acteurs possèdent un minimum de vision commune des problèmes, des enjeux et des objectifs à atteindre. Cette construction d'une vision commune est longue et difficile à bâtir, mais elle est fondamentale. C'est à cela que doit tendre le développement et le partage des connaissances.

3. LES MOYENS INSTITUTIONNELS ET FINANCIERS.

Pour qu'une gestion durable s'instaure, il ne suffit pas que les connaissances nécessaires soient disponibles. Il faut aussi que des mécanismes adéquats, institutionnels, juridiques et financiers soient mis en œuvre.

Les actions tendant à pallier les impacts négatifs du changement climatique sur les espaces boisés (défense contre les incendies, lutte contre la désertification, conservation du patrimoine naturel...) et celles visant à utiliser au mieux les potentialités de ceux-ci (stockage du carbone sur pied, substitution du bois aux énergies et aux matières premières fossiles) doivent s'intégrer dans des projets cohérents, reposant sur un diagnostic et une vision partagés par les acteurs locaux, et concerner des territoires pertinents. Cette notion de territoire de projets peut prendre différentes formes selon les pays : parcs naturels régionaux, contrats de pays et chartes forestières de territoire en France ; développement des comarcas en Espagne et des comunita montane en Italie ; projets LEADER+ au niveau européen... C'est, bien sûr, à chaque pays de construire sa propre démarche, et de nombreux exemples apparaissent tout autour de la Méditerranée. Malgré la spécificité de chaque situation, les échanges d'expériences sont toujours très enrichissants.

L'échelon de cohérence au niveau du territoire de projet est fondamental ; mais il est tout aussi nécessaire qu'existe au niveau de chaque Etat une vision et une formulation claires d'une stratégie, avec ses objectifs et ses moyens. Celle-ci est à intégrer dans une stratégie nationale de développement durable. Elle peut, selon les pays prendre des formes diverses : plan forestier national, stratégie forestière nationale, loi d'orientation forestière... et se décliner en diverses composantes (lutte contre la désertification, protection des bassins versants, filière bois...), ou s'intégrer dans d'autres dimensions (lutte contre la pauvreté, développement rural, énergie, ressources en eau, biodiversité...). Tous les pays du bassin sont actuellement engagés dans des démarches de création, de suivi ou de mise à jour de telles stratégies. En fonction du degré de décentralisation des pays, cette fonction d'élaboration stratégique peut être effectuée principalement au niveau de l'Etat national, ou aux niveaux des régions ou provinces, selon leurs compétences réciproques.

Il n'y a pas de stratégie applicable sans les moyens humains, techniques, juridiques et financiers nécessaires. Or ces moyens sont rares dans de nombreux pays méditerranéens. D'importants gains d'efficacité et économies d'échelles peuvent être réalisés en mettant en commun certains d'entre eux, notamment dans les domaines de l'enseignement supérieur, de la recherche, de l'expertise : des réalisations convaincantes existent déjà notamment le CIHEAM et le PAM. L'Union Européenne a certainement un rôle important à jouer dans ce domaine.

L'utilisation en commun des moyens de lutte contre les grands incendies, notamment des avions et hélicoptères bombardiers d'eau, est aussi un domaine prometteur : ces moyens coûtent très cher à acquérir, à entretenir et à utiliser. Or la lutte contre les grands incendies est indispensable, entre autre pour éviter le relargage dans l'atmosphère du carbone stocké sur pied dans les forêts. De nombreuses coopérations entre pays riverains existent déjà et fonctionnent bien. Elles pourraient cependant être élargies et faire de cette lutte un domaine phare de l'action commune méditerranéenne.

Enfin, il ne faut jamais oublier que l'efficacité économique est le troisième pilier du développement durable : il ne peut y avoir préservation du capital naturel à long terme et équité dans la répartition des richesses produites que si les gaspillages de ressources naturelles, humaines et économiques sont évités. Toute politique ou tout projet, quelle que soit son échelle, doit pouvoir être évalué, quant à son efficience (rapport entre les résultats et les moyens) et son efficacité (rapport entre les résultats et les objectifs). Politiques et projets forestiers ou énergétiques doivent être soumis à cette obligation. Pour cela des procédures doivent être instituées, pouvant faire appel de façon adaptée aux contrôles réglementaires classiques, aux procédures volontaires de certification et de labellisation, aux indicateurs de développement durable.

REFERENCES

- Association Forêt Méditerranéenne – changements climatiques et forêt méditerranéenne – colloque 8-9 nov. 2007 – Marseille
- The Blue Plan (Benoit G. et Comeau A. Ed.) – A Sustainable Future for the Mediterranean – The Blue Plan's Environment and Development Outlook - Ed. Earthscan – November 2005 – 464 p.
- Bourbouze A. et al. – Gestion des espaces collectifs de parcours à l'est et au sud de la Méditerranée – rapport pour le CIHEAM et le Plan Bleu - 2008
- ECOFOR – Face aux changements environnementaux, sociétaux, économiques, quelle gestion, quelle recherche pour la forêt de demain ? - Forum 5-6 déc. 2006 - Paris
- FAO (Bazzaz F. et Sombroek W. ed.) – Changements du climat et production agricole – FAO – 1997
- FAO/Plan Bleu – Secteur forestier méditerranéen et développement durable : défis, politiques et gouvernance – forum régional, Rabat, 24-24 nov. 2005
- ITEBE - Institut des Bioénergies site www.itebe.org
- Lazarev G. – La prise en compte des territoires dans les politiques de développement rural en Méditerranée – rapport pour le Plan Bleu – 2008
- Maroc (Royaume du, Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification), FAO (Comité Silva Mediterranea), Plan Bleu – Secteur forestier méditerranéen et développement durable : défis, politiques et gouvernance – Forum régional – Rabat – 24-26 novembre 2005
- Merlo M. and Croitoru L. – Valuing Mediterranean Forest: Towards Total Economic Value – CABI publishing Wallingford - 2005
- Montgolfier(de) J. - Les espaces boisés méditerranéens – situation et perspectives - Ed. ECONOMICA collection les fascicules du Plan Bleu n° 12 - Août 2002 - 208 p.
- Montgolfier(de) J. - Espaces forestiers méditerranéens et développement durable - Revue Forestière Française – n° 1 – 2006
- OCDE, FAO – Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2007-2016 – OCDE/FAO 2007
- PLAN BLEU (Benoit G. et Comeau A. Ed.) – Méditerranée : les perspectives du Plan Bleu sur l'Environnement et le Développement – Ed. de l'Aube, diffusion Seuil – octobre 2005 – 432 p.
- PNUE/PAM – Stratégie Méditerranéenne pour le Développement Durable – 2005- 68 p.
- Povellato A., Bosello F., Giupponi C. – Cost-effectiveness of greenhouse gases mitigation measures in the European agro-forestry sector: a literature survey – Environmental Science and Policy 10 - 2007
- République Tunisienne – Changements climatiques : Effets sur l'économie tunisienne et stratégie d'adaptation pour le secteur agricole et les ressources naturelles – 2005
- RENECOFOR – Quinze ans de suivi des écosystèmes forestiers, résultats acquis et perspectives de RENECOFOR - colloque 9-11 mai 2007 – Beaune
- Schlamadinger B. et al. – A synopsis of land use, land-use change and forestry (LULUCF) under the Kyoto Protocol and Marrakech Accords – Environmental Science and Policy 10 – 2007
- United Nations Framework Convention on Climate Change – Rapports nationaux - site unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/items/2979.php
- Vennetier M., Vila B., Liang E-Y. , Guibal F., Ripert C. - Impact du changement climatique sur la productivité forestière et le déplacement d'une limite bioclimatique en région méditerranéenne française – Ingénieries N°44 – déc. 2005

LISTE DES ABREVIATIONS

AIFM : Association Internationale Forêts Méditerranéennes

CIHEAM : Centre International des Hautes Etudes Agronomiques

EFI : European Forest Institute

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations

GIECC : Groupe International d'Etude du changement climatique

ITEBE : Institut des bioénergies

PAM : Plan d'action pour la Méditerranée

RED : rapport sur l'environnement et le développement du Plan Bleu (2005)

CHAPITRE 10

Eau/énergie, Energie/eau et changement climatique en Méditerranée

Gaëlle THIVET
Plan Bleu

REMERCIEMENTS

Le Plan Bleu remercie vivement l'ensemble des personnes ayant contribué à la préparation et au bon déroulement de l'atelier régional tenu à Gammarth (Tunisie) le 17 décembre 2007, en particulier les organisateurs du séminaire de lancement de MEDITEP, les experts nationaux qui sont intervenus dans le cadre des 2 sessions, ainsi que les Présidents et rapporteurs de séances. Il remercie également vivement les partenaires financiers de cet atelier (la Banque Européenne d'Investissement et la Principauté de Monaco).

Merci également à M. Henri Boyé pour sa contribution dans la partie dessalement.

TABLE DES MATIERES

MESSAGES CLES	5
INTRODUCTION	6
I. LES BESOINS EN EAU POUR L'ENERGIE ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, SITUATION ACTUELLE ET PROSPECTIVE	8
1. L'eau, une ressource essentielle à la production d'électricité	8
2. Les impacts du changement climatique sur la production électrique : de l'analyse rétrospective...	10
3. ...à l'analyse prospective : vers une baisse du potentiel hydroélectrique mobilisable	11
4. Quel futur pour la production d'énergie à partir d'eau, quelles stratégies mettre en place ?	12
II. LES BESOINS EN ENERGIE POUR L'EAU ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, SITUATION ACTUELLE ET PROSPECTIVE	14
1. Les besoins actuels et futurs en électricité pour la gestion de l'eau en Méditerranée	14
2. Quelles sources d'énergie pour dessaler l'eau ?	16
3. La réutilisation des eaux usées épurées : une solution moins coûteuse en énergie	18
4. Les besoins en énergie pour l'irrigation	19
5. D'autres pistes à explorer pour une production durable d'eau douce	20
III. CONCLUSIONS	21

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 - Part de l'hydraulique dans le bilan énergétique en 2004 et croissance de l'approvisionnement total en énergie primaire (1990-2004)	8
Figure 2- Indices d'exploitation des ressources naturelles renouvelables en eau, pays entiers, 2000 et 2025	9
Figure 3- Baisse de puissance totale des centrales nucléaires du Rhône, Juillet 2006.....	10
Figure 4 - Evolution des débits de l'Isère à Saint-Gervais-le-Port	11
Figure 5 -Les demandes en eau et en électricité en 2000 et 2025 dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée.....	15
Figure 6 - Unité de dessalement solaire (osmose inverse et photovoltaïque) dans le village de Ksar Ghilène, Tunisie.....	17
Tableau 1- Les demandes en eau et en électricité en 2000 et 2025	15
Tableau 2 - Le dessalement dans les pays méditerranéens	16
Tableau 3 - L'adaptation du système « eau énergie » au changement climatique au Maroc.....	22

MESSAGES CLES

Dans les pays du pourtour méditerranéen, les ressources en eau sont limitées et inégalement réparties dans l'espace et dans le temps ; les pays de la rive Sud ne sont dotés que de 13% du total. La demande en eau des pays méditerranéens, ayant doublé au cours de la 2ème moitié du XXème siècle, devrait augmenter d'environ 50 km³ d'ici 2025 pour atteindre près de 330 km³/an, soit un niveau difficilement compatible avec les ressources renouvelables¹. La pénurie croissante des ressources en eau dans une partie de la région devrait, de plus, être accentuée sous les effets du changement climatique.

Eau et changement climatique : impacts sur la production d'énergie

- L'eau est essentielle à la production d'électricité. Elle constitue le « combustible » des centrales hydroélectriques mais est aussi la source froide des centrales thermiques. 13% de l'électricité produite dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée est d'origine hydraulique, le reste provenant de centrales thermiques.
- La lutte contre le changement climatique est un défi prioritaire se posant aux énergéticiens. La variabilité du climat, source de nombreux aléas, a une incidence très forte sur la quasi totalité du cycle de production-consommation d'électricité. Certains pays ont déjà enregistré une baisse significative de leur production hydroélectrique due à la diminution des apports en eaux de surface au niveau des barrages. L'augmentation de la température des cours d'eau peut engendrer une diminution importante de la production électrique du fait des valeurs limites à respecter pour la température des rejets en aval des centrales.
- Une bonne analyse de l'impact du changement climatique, à long terme, sur les débits et températures des cours d'eau est primordiale pour la conception et la gestion future du parc de production d'électricité. Il est pour cela indispensable de continuer à acquérir de la connaissance sur la disponibilité de la ressource en eau et sur les facteurs qui influent sur sa qualité.
- L'amélioration de l'efficacité des centrales hydroélectriques existantes et l'installation de stations de transfert d'énergie par pompage sont des solutions envisagées pour faire face à la croissance des besoins énergétiques. Le développement de micro-centrales hydroélectriques, les liens entre énergie hydraulique et énergie éolienne et les potentialités offertes par les énergies marines constituent d'autres champs d'investigation.

Eau et changement climatique : impacts sur la consommation d'énergie

- Les besoins en énergie pour l'eau sont appelés à croître fortement du fait i) de l'augmentation de la demande en eau, accentuée par le changement climatique, ii) de l'exploitation de ressources en eau de plus en plus lointaines (nappes souterraines profondes, transferts d'eau) et iii) du développement des productions d'eau non conventionnelles (dessalement, réutilisation), notamment comme option d'adaptation au changement climatique et pour faire face aux situations de crises.
- Les besoins actuels en électricité pour la production et la mobilisation de l'eau représenteraient de 5% (Nord de la Méditerranée) à environ 10% (Sud et Est) de la demande totale en électricité. A l'horizon 2025, ce chiffre pourrait atteindre 20% dans les pays du Sud et de l'Est.
- La première réponse à l'augmentation de la demande en eau et aux tensions sur la ressource consiste en la mise en place de politiques d'utilisation rationnelle de l'eau, ce dans les différents secteurs d'usage.
- Si les techniques de dessalement d'eau de mer ou saumâtre sont aujourd'hui bien maîtrisées, leur mise en œuvre requiert d'importantes quantités d'énergie à la fois coûteuses (le coût de l'eau ainsi produite serait au moins 2 fois plus élevé que celui de l'eau produite de manière conventionnelle, ce sans tenir compte de l'investissement initial élevé) et sources d'émissions de gaz à effet de serre. La réutilisation des eaux usées épurées s'avère une solution moins coûteuse en énergie.
- L'estimation des besoins en énergie pour l'irrigation, premier secteur consommateur d'eau en Méditerranée, est indispensable pour assurer la durabilité de l'agriculture irriguée. Elle requiert le renforcement, au niveau local, de la collecte de données relatives aux quantités d'eau prélevées et utilisées ainsi qu'aux différents postes de consommation d'énergie.
- En Méditerranée, les interactions entre eau et énergie sont très fortes et vulnérables au changement climatique, d'où la nécessité de mettre en place des stratégies de gestion intégrée des ressources en eau et en énergie, ce avec une vision prospective.
- Afin d'éviter tout type de développement encourageant des modes de production et de consommation non durables, il convient de s'interroger sur les valorisations de l'eau produite et sur les possibilités de développement des énergies renouvelables et d'actions d'utilisation rationnelle de l'énergie pour la production d'eau non conventionnelle.

¹ Pour compléter le sujet spécifique « Eau, énergie et changement climatique » présenté ici, se reporter aux travaux généraux conduits par le Plan Bleu sur la thématique de l'eau : <http://www.planbleu.org/themes/eau.html>

INTRODUCTION

Problématique

Dans les pays du pourtour méditerranéen, les ressources en eau sont limitées et inégalement réparties dans l'espace et dans le temps ; les pays de la rive Sud ne sont dotés que de 13% du total. La demande en eau des pays méditerranéens, ayant doublé au cours de la 2ème moitié du XXème siècle, devrait augmenter d'environ 50 km³ d'ici 2025 pour atteindre près de 330 km³/an, soit un niveau difficilement compatible avec les ressources renouvelables. La pénurie croissante des ressources en eau dans une partie de la région devrait, de plus, être accentuée sous les effets du changement climatique.

Dans le même temps, la demande totale en énergie primaire commerciale de l'ensemble des pays riverains devrait augmenter de 65% d'ici 2025. Les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM), en plein développement et où la population augmente sensiblement, pourraient connaître des taux de croissance de leur demande énergétique 4 fois plus élevés que ceux des pays du Nord de la Méditerranée (PNM). Le changement climatique pourrait accentuer les besoins en énergie. Or, la consommation d'énergie est aujourd'hui l'une des causes principales du réchauffement climatique. En Méditerranée, le taux de croissance des émissions de CO₂ est particulièrement élevé (par rapport à la moyenne mondiale) dans la mesure où les énergies fossiles constituent l'essentiel de l'approvisionnement énergétique, notamment dans les pays du Sud et de l'Est.

La région méditerranéenne a été identifiée comme un « hot spot » du changement climatique, c'est-à-dire une zone où les changements seront marqués en termes de températures et de précipitations moyennes, ainsi qu'en termes de variabilité interannuelle et d'événements météorologiques extrêmes (de fréquence et de violence plus élevées). Les questions liées à la gestion des ressources en eau et aux risques hydrologiques sont, dans ce contexte, particulièrement importantes, d'autant plus que la pression anthropique sur le milieu s'accroît progressivement.

Les interactions entre l'eau, l'énergie et le changement climatique seront de plus en plus fortes. L'augmentation de la demande en eau accentuée sous les effets du changement climatique, parallèlement à une diminution des ressources, pourrait conduire à une augmentation de la consommation d'énergie et, par conséquent, des émissions de gaz à effet de serre. Une partie de la production d'énergie repose, quant à elle, sur l'utilisation des ressources en eau (électricité hydraulique, refroidissement de centrales thermiques) susceptibles de diminuer et donc de perturber, en particulier, la production d'électricité et la gestion des infrastructures (barrages).

Objectifs du chapitre

Ce chapitre vise à apporter des éléments de réponse aux différentes questions qui se posent face à cette problématique et dans une vision prospective :

Quels seront les besoins futurs en énergie pour répondre à l'augmentation de la demande en eau et peuvent-ils devenir des moteurs de la demande en énergie ?

Inversement, quels seront les besoins futurs en eau pour assurer la production d'énergie et quelles tensions pourraient être générées sur la production d'énergie et sur les ressources en eau ?

Quelle est, et quelle sera, la vulnérabilité du système « eau-énergie » aux impacts du changement climatique ?

Quelles sont les options possibles et les réflexions en cours dans les pays pour adapter le système « eau-énergie » aux contraintes imposées par le changement climatique sans augmenter les émissions de gaz à effet de serre ?

Gestion de la demande en eau, efficacité énergétique, énergie renouvelable s'appliquent-elles d'ores et déjà au le système « eau-énergie » ?

Quels sont les investissements nécessaires à planifier et les coûts liés aux différentes options possibles ?

Sources d'informations

Afin d'évoquer ces différentes questions, le Plan Bleu et MEDITEP (Initiative de Type II sur l'énergie durable en Méditerranée) ont organisé conjointement, dans le cadre de leur partenariat sur les activités en matière d'énergie en Méditerranée, un atelier sur le thème « Eau, énergie et changement climatique » (Gammarth-Tunisie, 17 décembre 2007). Les résultats de cet atelier constituent la principale source d'informations de ce chapitre.

Des informations relatives à la production artificielle d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre sont par ailleurs issues d'un rapport d'étude régionale du Plan Bleu « Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée » (Boyé, 2008).

Contenu du chapitre

Ce chapitre s'organise en 2 parties. La première porte sur les besoins en eau pour la production d'énergie et la seconde sur les besoins en énergie pour la production et la mobilisation de l'eau. Chaque partie s'appuie sur les principaux résultats et conclusions des présentations thématiques des experts ayant participé à l'atelier régional (cf. programme joint en annexe), ainsi que sur les questions et débats entre les participants ayant suivi.

Ainsi, ce chapitre ne vise pas à présenter une analyse exhaustive du système « eau énergie » dans le contexte du changement climatique en Méditerranée, mais caractérise la situation de quelques pays (France, Maroc et Egypte) et de quelques secteurs clefs (hydroélectricité, dessalement, épuration de l'eau et irrigation).

I. LES BESOINS EN EAU POUR L'ENERGIE ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, SITUATION ACTUELLE ET PROSPECTIVE

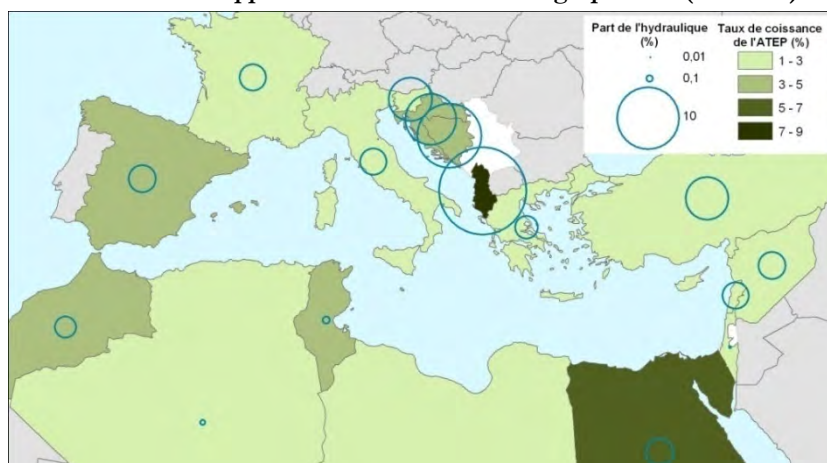
Cette partie porte sur les thèmes de l'hydroélectricité, principale source d'électricité renouvelable, et du refroidissement des centrales thermo-électriques (à combustible fossile ou nucléaire) avec des éclairages relatifs à la France, au Maroc et à l'Egypte².

1. L'EAU, UNE RESSOURCE ESSENTIELLE A LA PRODUCTION D'ELECTRICITE

En Méditerranée, la demande en électricité est en croissance spectaculaire dans les pays du Sud et de l'Est : entre 1970 et 2005, la consommation finale d'électricité a été multipliée par 3 dans les PNM, alors qu'elle l'a été par 15 dans les PSEM. Si aucune mesure n'est prise pour infléchir la demande en électricité au Nord comme au Sud, le scénario tendanciel de l'Observatoire méditerranéen de l'énergie montre qu'il pourrait y avoir un doublement de la consommation électrique des PSEM d'ici 2020.

L'eau est essentielle à la production d'électricité. Elle intéresse même la quasi totalité des moyens de production. Elle constitue le « combustible » des centrales hydroélectriques mais est aussi la source froide des centrales thermiques à flamme ou nucléaires, que celles-ci soient situées en bord de mer ou le long des rivières. En 2005, 13% de l'électricité produite dans les PSEM est d'origine hydraulique (12% dans les PNM), le reste provenant de centrales thermiques à gaz, pétrole et charbon, pour respectivement 60, 16 et 21% (dans les PNM, ces taux sont de 18, 7 et 18%, auxquels il faut ajouter 40% pour le nucléaire et 5% pour les énergies renouvelables)³.

Figure 1 - Part de l'hydraulique dans le bilan énergétique en 2004 et croissance de l'approvisionnement total en énergie primaire (1990-2004)



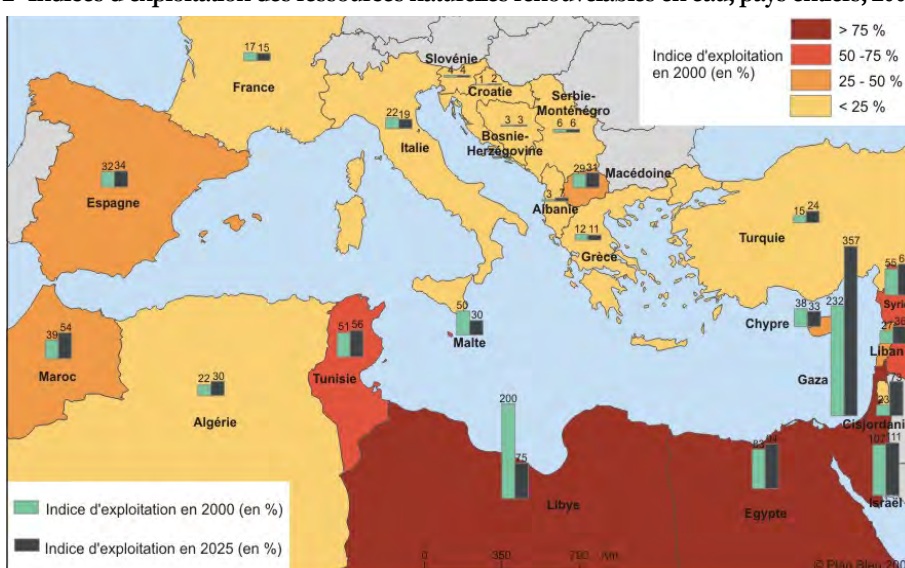
Sources : Plan Bleu, données AIE

² Elle s'appuie sur les présentations suivantes : Les besoins en eau pour l'énergie sur la façade méditerranéenne de la France (M. Bernard Mahiou, EDF), Les barrages et l'hydroélectricité au Maroc (M^{lle} Laila Oualkacha, Secrétariat d'Etat chargé de l'eau et de l'environnement au Maroc), Le rôle actuel et futur de l'hydroélectricité en Egypte (M. Adel Soliman, Sustainable Energy Users Association, Egypte).

³ Source des données : OME, 2007.

Aujourd’hui, le contexte de partage de la ressource en eau se complexifie. Pour répondre à la hausse de la demande en eau de l’ensemble des secteurs d’activité⁴ et à l’exigence d’une meilleure qualité de l’eau dans les rivières et en bord de mer, le contexte réglementaire et législatif évolue. Parallèlement, des crises hydroclimatiques sévères (crues, canicules, sécheresses...) marquent d’une empreinte significative la disponibilité de la ressource et laissent craindre, à moyen et long terme, des contraintes encore plus fortes liées aux impacts attendus du changement climatique dans la région. D’ores et déjà, dans certains pays, les prélèvements en eau approchent voire dépassent le niveau limite des ressources renouvelables. A l’horizon 2025, la pression des demandes sur les ressources, exprimée par l’indice d’exploitation des ressources en eau naturelles renouvelables⁵, met en évidence une géographie très contrastée, parfois inquiétante, du « futur en eau » (figure 2). De nouvelles politiques d’atténuation et d’adaptation sont désormais nécessaires et clairement appelées par l’Europe (Livre vert sur le changement climatique) et par les gouvernements des différents pays.

Figure 2- Indices d’exploitation des ressources naturelles renouvelables en eau, pays entiers, 2000 et 2025



Source : Plan Bleu, J. Margat

Les exposés ont permis de mettre en évidence le fait que la lutte contre le changement climatique faisait partie des grands défis se posant aux énergéticiens et qu’elle constituait même un défi prioritaire pour des entreprises « climatologiquement dépendantes » telles que les grands opérateurs électriques de la région gérant une capacité significative de centrales hydroélectriques. La variabilité du climat est source de nombreux aléas et a une incidence très forte sur la quasi totalité du cycle de production-consommation d’électricité. La consommation d’électricité est, tout d’abord, très sensible aux évolutions de la température de l’air. La production dépend, quant à elle, fortement de la disponibilité quantitative et qualitative de la ressource en eau. Enfin, la sécurité du réseau de transport et de distribution peut être durablement affectée par des événements climatiques majeurs (tempêtes, épisodes de neige collante...).

⁴ Se reporter à la Note du Plan Bleu « Faire face aux crises et pénuries d’eau en Méditerranée » (Plan Bleu, 2006).

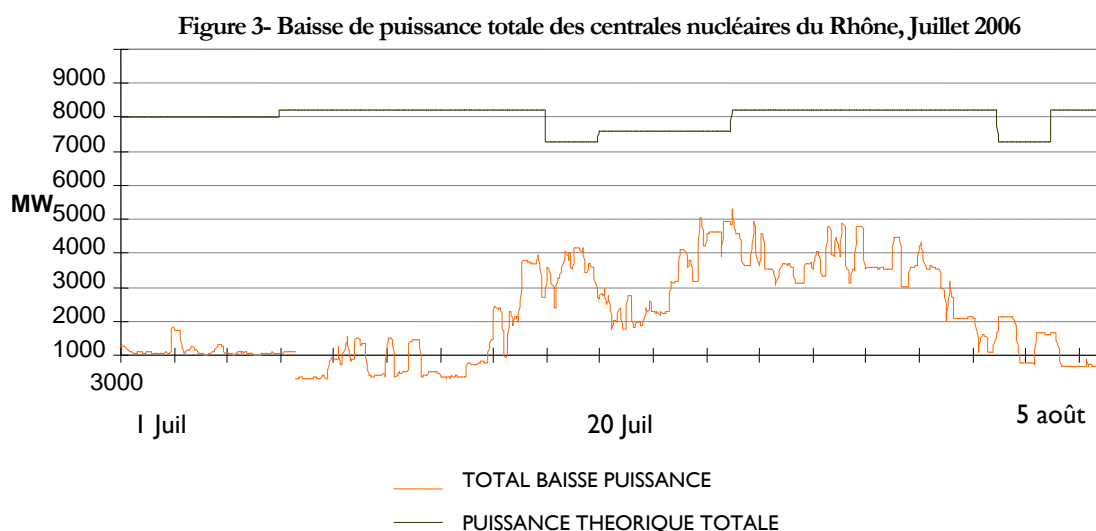
⁵ Un indice voisin ou supérieur à 75 % indique des tensions sur les ressources en eau déjà très fortes ; un ratio entre 50 et 75 % signale des risques importants de tensions structurelles à moyen terme ; avec un ratio entre 25 et 50 %, les pays peuvent connaître des tensions locales ou conjoncturelles.

2. LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA PRODUCTION ELECTRIQUE : DE L'ANALYSE RETROSPECTIVE...

L'analyse rétrospective sur la partie Sud de la France montre que l'élévation déjà constatée des températures de l'air a eu une incidence directe sur :

- L'enneigement, dont les évolutions récentes significatives ont eu pour conséquence, déjà visible pour l'exploitation d'un grand réservoir de tête de vallée comme celui de Serre-Ponçon, un déplacement des volumes de fusion disponibles et une gestion des réserves saisonnières plus délicate (notamment pour garantir la disponibilité en eau pendant la période estivale). Il s'avère ainsi nécessaire de passer d'une gestion annuelle à une gestion interannuelle de la côte de retenue.
- les températures de l'eau du Rhône. L'incidence des canicules récentes est ainsi très visible : en juillet 2006, des températures supérieures à 27°C ont été mesurées dès la sortie du Lac Léman et, en 2007, les températures mesurées en avril correspondaient à celles que l'on observe habituellement à la mi-juillet. Plus globalement, au cours des 30 dernières années, le Rhône et ses affluents ont vu leur température augmenter significativement de +0.5 à +1.6°C selon les stations de mesure.

L'augmentation de la température des cours d'eau peut engendrer une baisse significative de la production d'électricité dans la mesure où la température des rejets en aval des sites de production (centrales thermiques) ne doit pas dépasser une valeur limite - généralement fixée à 28°C en France - quelles que soient les conditions qui prévalent en amont. Au cours de l'été 2006, la puissance de certaines centrales a ainsi été rendue momentanément indisponible du fait de ces contraintes environnementales. Au pic de la séquence, le maximum d'effacement de puissance a atteint 5 000 MW sur le Rhône, ce qui est considérable au regard des conditions de sécurité et de stabilité du réseau.



Source : EDF, 2007

Le Maroc, qui s'est lancé dès les années 1960 dans la réalisation d'un important parc de barrages, d'ouvrages hydrauliques et hydro-électriques afin de faire face à la variabilité spatiale et temporelle des précipitations et de développer ses ressources en eau et en énergie, a enregistré une baisse significative de sa production hydroélectrique due, principalement, à la diminution des apports en eaux de surface au niveau des barrages. La moyenne nationale de ces apports a, en effet, chuté de l'ordre de 20% au cours des 30 dernières années sous les impacts du changement climatique et de la

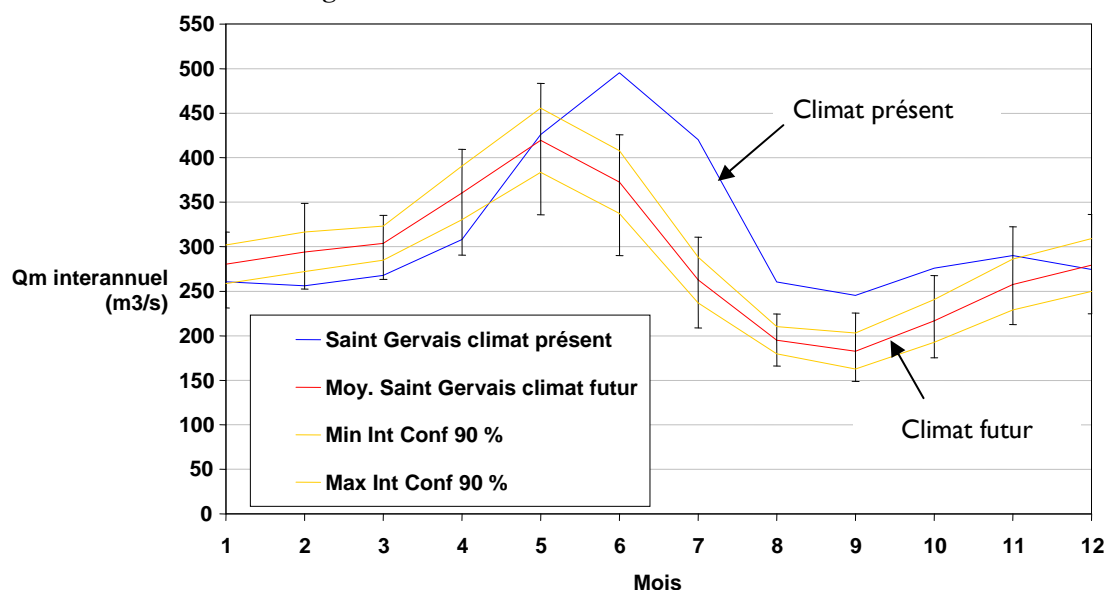
modification du régime des précipitations. Des pertes de capital productif s'expliquent également par un manque d'entretien et des problèmes d'envasement des barrages.

Des arbitrages pour allouer les ressources en eau entre usages sont de plus en plus nécessaires, l'alimentation en eau potable et l'irrigation constituant des priorités. La production moyenne réalisée au cours des 20 dernières années a varié entre 450 et 1500 Millions de kWh, représentant seulement près de la moitié de la production escomptée (l'objectif d'une production énergétique moyenne étant de 3200 GWh par an pour l'ensemble des usines hydroélectriques réalisées jusqu'en 2007). Si la production hydroélectrique joue encore un rôle appréciable dans la satisfaction des besoins énergétiques du pays (contribuant à 8% de la production électrique nationale), les impacts considérables de la sécheresse sur cette production ont imposé à l'Office National de l'Electricité du Maroc de s'orienter vers la production énergétique d'origine thermique et les énergies renouvelables.

3. ...A L'ANALYSE PROSPECTIVE : VERS UNE BAISSSE DU POTENTIEL HYDROELECTRIQUE MOBILISABLE

Outre l'analyse des données déjà observées, il s'avère nécessaire d'évaluer les incidences du changement climatique sur les ressources en eau, à plus longue échéance. Concernant tout d'abord les débits, les simulations réalisées à l'échelle européenne (à partir de 2 modèles climatiques différents) montrent que, globalement, les pays du Nord de l'Europe verront une augmentation sensible des débits de leurs cours d'eau et, qu'à contrario, les pays du Sud - dont la France - devraient connaître une baisse de leurs débits de l'ordre de 10%, baisse encore plus accentuée sur la rive méditerranéenne. S'agissant de l'enneigement, ayant déjà connu une évolution sensible au cours des 20 dernières années, les simulations réalisées dans les Alpes françaises montrent une altération très sensible à l'horizon 2050 avec, au global et en moyenne, moins de stock disponible sous forme de neige et une fonte plus précoce d'environ un mois. Les débits de printemps et d'été en seront modifiés d'autant, tout comme les étiages estivaux qui seront plus serrés et plus difficiles à soutenir.

Figure 4 - Evolution des débits de l'Isère à Saint-Gervais-le-Port



Source : EDF, 2007

Devraient s'en suivre des conséquences sensibles sur la gestion saisonnière des grandes réserves hydroélectriques et sur la réserve d'énergie de pointe, mais aussi une diminution probable du potentiel hydroélectrique mobilisable qu'il faudra prendre en compte pour caler des objectifs réalistes en matière d'énergies renouvelables à long terme. Des résultats analogues, et tout aussi marqués, s'observent lorsque l'on s'intéresse à l'évolution, en climat modifié, des températures de l'eau.

En Egypte, la production hydroélectrique repose entièrement sur l'exploitation des eaux du Nil. Les fortes incertitudes concernant les impacts du changement climatique sur l'évolution des ressources en eau (si certaines études prévoient une augmentation de 30% des ressources en eau à l'échelle du bassin versant du Nil, d'autres prévoient une diminution de 20 à 70% de ces ressources à l'horizon 2100) et sur celle du débit du Nil rendent très difficile l'estimation du potentiel hydroélectrique futur⁶.

4. QUEL FUTUR POUR LA PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR D'EAU, QUELLES STRATEGIES METTRE EN PLACE ?

Une bonne analyse de l'impact du changement climatique sur les débits et températures des cours d'eau est primordiale pour la conception et la gestion future du parc de production d'électricité. Cela est d'autant plus vrai que certaines infrastructures (par exemple l'EPR - réacteur pressurisé européen - pour les centrales thermiques) sont prévues pour fonctionner à des échéances auxquelles le changement climatique se fera véritablement sentir.

Aujourd'hui, la gestion en avenir incertain à partir du climat passé permet de bien prendre en compte les aléas liés à la forte variabilité quantitative et qualitative de la ressource en eau. Elle garantit une gestion sûre et optimisée de l'ensemble des moyens de production. A plus long terme, l'impact potentiel du changement climatique sur la disponibilité et la variabilité de la ressource en eau devra être directement pris en compte, tant en termes quantitatifs au regard de la disponibilité de la ressource qu'en termes qualitatifs vis-à-vis des impacts sur le milieu. Il faudra notamment pour cela adapter le régime réglementaire applicable aux centrales thermiques (fossiles et nucléaires) en fonction de l'évolution observée des débits et températures des fleuves du fait des changements climatiques, tout en visant l'absence d'impacts notables sur la biodiversité. Les objectifs cibles en matière d'énergies renouvelables devront par ailleurs être adaptés.

En Egypte, où l'hydroélectricité représente en 2007 près de 11% de l'approvisionnement total en électricité (taux estimé à 3,5% à l'horizon 2025), les autorités nationales envisagent, pour faire face à la croissance des besoins énergétiques :

- d'améliorer l'efficacité des centrales hydroélectriques existantes (amélioration de la gestion des flux d'eau, amélioration des équipements),
- d'installer des Stations de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP) qui s'avèrent une solution adaptée aux pays où le recours à l'énergie éolienne est important et où les courbes de charge sont très variables. Le pompage turbinage qui permet, notamment, de gérer les pics de demande, constitue en effet un vrai domaine d'investigation.
- de réexaminer le projet de transfert d'eau de mer vers la dépression de Quattara pour la production d'hydroélectricité (énergie « hydro-solaire »).

⁶ Il serait nécessaire de développer des études relatives à l'évolution du débit du Nil à l'entrée du Lac Nasser.

Des actions pourraient par ailleurs être conduites dans un cadre de coopération régionale avec d'autres pays africains (n'ayant pas exploité tout leur potentiel en matière d'hydroélectricité) dans le but de satisfaire les besoins des pays, voire d'exporter de l'électricité vers l'Europe. Avec d'autres pays, l'Égypte promeut le concept de réseau électrique continental. Elle est impliquée dans des projets d'interconnexion électrique régionale, en particulier avec les pays du bassin du Nil. Plusieurs initiatives ont été lancées (l'Initiative de Bassin de Nil -NBI-, la Nouvelle Association pour le Développement de l'Afrique -NEPAD- et l'Union de Producteurs, Convoyeurs et Distributeurs d'Énergie Électrique en Afrique -UPDEA).

Les participants à l'atelier ont évoqué d'autres champs d'investigation ou pistes de réflexions, dont :

- Le développement de micro-centrales hydroélectriques,
- Les liens entre l'énergie renouvelable hydraulique et l'énergie renouvelable éolienne,
- Les potentialités offertes par les énergies marines (courants, vagues, énergie thermique, marées...), avec la nécessité d'identifier les zones pouvant être concernées.

Pour accompagner ces évolutions, il est indispensable de continuer à acquérir de la connaissance sur la disponibilité de la ressource en eau et sur les facteurs qui influent sur sa qualité. Ceci passe par le renforcement des programmes de mesure et de surveillance et par la poursuite des efforts de recherche dans le domaine de la thermique et de la biologie des cours d'eau. Il faudra notamment favoriser les études transdisciplinaires (hydrologie, climatologie, biologie, écotoxicologie, physico-chimie...) pour mieux cerner tous les facteurs d'évolution de la biodiversité aquatique et en tirer des pistes pour le futur. Il sera nécessaire aussi de construire ces adaptations en recherchant le meilleur consensus scientifique possible, au travers notamment de programmes d'actions et de recherche transfrontaliers (exemple des programmes de recherche sur les impacts écologiques) qui permettront de mettre en commun les connaissances et de partager toutes les expériences utiles.

II. LES BESOINS EN ENERGIE POUR L'EAU ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, SITUATION ACTUELLE ET PROSPECTIVE

Cette partie présente un bilan global des besoins en énergie pour l'eau en Méditerranée et aborde ensuite plus en détails les besoins en énergie pour le dessalement de l'eau, la réutilisation des eaux usées épurées et l'irrigation⁷.

1. LES BESOINS ACTUELS ET FUTURS EN ELECTRICITE POUR LA GESTION DE L'EAU EN MEDITERRANEE

Une étude récente⁸ montre que les besoins actuels en électricité pour la gestion de l'eau (incluant les pompages, le traitement de l'eau potable, l'épuration des eaux usées, le dessalement, les transferts...) dans les pays méditerranéens représentent de 5% (pour les pays du Nord) à 10 % (pour les pays du Sud et de l'Est) de la demande totale en électricité (sachant que l'électricité constitue la principale source d'énergie utilisée dans le secteur de l'eau).

S'il s'est avéré extrêmement difficile de recueillir des statistiques sur les consommations d'énergie liées aux usages de l'eau dans l'ensemble des pays méditerranéens, quelques informations ont pu être obtenues pour la France (consommation de 15 TWh pour la production d'eau en 2003, soit près de 3,5% de la consommation nationale d'électricité), Israël (11,5% de la consommation nationale d'électricité) et la Tunisie (la SONEDE ayant comptabilisé environ 200 GWh en 2004 pour la gestion de l'eau potable). Les données collectées ont permis d'obtenir des ordres de grandeur selon les types d'activités dans le secteur de l'eau et de les extrapoler à des situations analogues.

La consommation moyenne d'électricité pour l'eau varie fortement en région méditerranéenne. A partir des données recueillies, elle a pu être estimée, en 2000, à 0,4 kWh/m³ en France (où l'eau est produite essentiellement de façon conventionnelle) et à 1,5 kWh/m³ en Israël (où la production d'eau non conventionnelle - dessalement d'eau de mer, transferts - est importante). Pour estimer les quantités d'énergie moyennes requises à l'échelle méditerranéenne, les valeurs suivantes ont été retenues pour l'année 2000 : entre 0,2 et 0,3 kWh/m³ d'eau produite et traitée dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM), 0,4 kWh/m³ pour les pays du Nord de la Méditerranée (PNM). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant.

⁷ Elle s'appuie sur les présentations suivantes : Les besoins en énergie pour l'eau en Méditerranée (Mme Houda Ben Jannet Allal et M. Jean-Loup Rouyer, OME), L'énergie pour le traitement et l'épuration de l'eau (M. Michel Coeytaux, Veolia Eau), Le dessalement de l'eau de mer, énergies renouvelables et nucléaire (M. Alain Maurel, consultant), Les besoins en énergie pour l'irrigation en Egypte (M. Mohamed Nour El Din, Université Ain Shams, Le Caire), ainsi que sur l'étude « Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée » (Boyé, 2008).

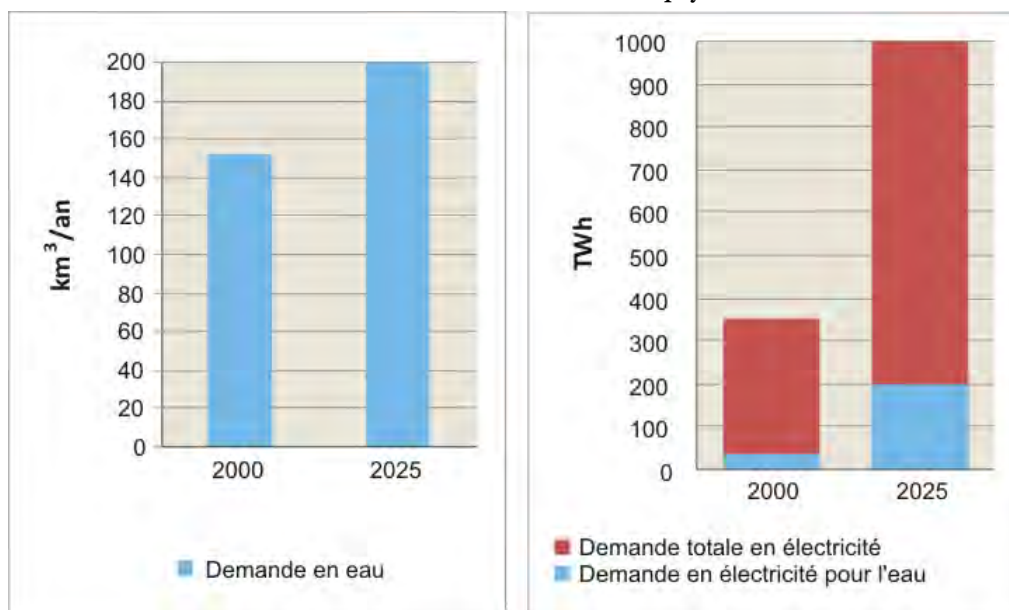
⁸ Rouyer, J.-L., Morel, J. (2007). *De l'énergie pour l'eau dans le bassin méditerranéen*. Rapport préparé en vue de la Conférence Hydrotop, France.

Tableau 1- Les demandes en eau et en électricité en 2000 et 2025

	PNM		PSEM		Total Méditerranée	
	2000	2025	2000	2025	2000	2025
Demande en eau (km ³ /an)	138	133	152	200	290	333
Demande en électricité (TWh)	1150	1800	350	1000	1500	2800
dont pour l'eau (TWh)	55	93	30 à 45	200	85 à 100	293
% électricité pour l'eau	4,8	5	8,5 à 13	20	5,6 à 6,7	10

Sources : Jean Margat (Plan Bleu), Jean-Loup Rouyer (OME)

Figure 5 -Les demandes en eau et en électricité en 2000 et 2025 dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée



Sources : Jean Margat (Plan Bleu), Jean-Loup Rouyer (OME)

D'après les projections du Plan Bleu (scénario tendanciel de base), la demande en eau pourrait encore de 43 km³ d'ici 2025⁹ ; l'essentiel de cette croissance serait le fait des pays du Sud et surtout de la rive Est, notamment la Turquie et la Syrie, principalement du fait de leur croissance démographique. L'agriculture devrait rester le principal utilisateur, en volume, de la ressource.

L'augmentation de la demande en eau, accentuée par le changement climatique, conduira inéluctablement à une augmentation des besoins en énergie pour la production et la mobilisation de l'eau. La satisfaction des besoins en eau reposera par ailleurs sur l'exploitation de ressources de plus en plus coûteuses en énergie (prélèvements de ressources souterraines profondes, transferts d'eau de ressources de plus en plus lointaines, dessalement de l'eau de mer...).

Ainsi, en 2025, la consommation d'électricité pour 1 m³ d'eau mobilisé pourrait être de l'ordre de 1 kWh pour les PSEM et de 0,7 kWh pour les PNM. A cet horizon, les besoins en électricité pour la gestion de l'eau en Méditerranée représenteraient de l'ordre de 5% (pour les pays du Nord) à 20 % (pour les pays du Sud et de l'Est) de la demande totale en électricité (Rouyer, 2007).

Il convient de préciser que ces estimations globales (par grandes régions géographiques) et ne prenant en compte que la seule énergie électrique sont chargées de fortes incertitudes et n'indiquent pas si certains pays (ou certains territoires à l'intérieur des pays) seront plus contraints que d'autres

⁹ Se reporter à la Note du Plan Bleu « Faire face aux crises et pénuries d'eau en Méditerranée » (Plan Bleu, 2006).

par de fortes augmentations de leurs besoins en électricité pour l'eau. Il conviendrait d'affiner les estimations pays par pays et de compléter cette analyse par les consommations en énergies fossiles pour la gestion de l'eau.

2. QUELLES SOURCES D'ENERGIE POUR DESSALER L'EAU ?

Les techniques de dessalement sont bien maîtrisées puisque, à ce jour, la capacité totale installée au niveau mondial dépasse les 40 millions de m³/jour. Certains pays méditerranéens ont d'ores et déjà d'importantes capacités installées (cf. tableau 3). Le total de ces capacités pourrait être multiplié par 6 d'ici 2030 pour atteindre 30 millions de m³/j.

Tableau 2 - Le dessalement dans les pays méditerranéens

Pays	Capacité installée	Projets programmés	Remarques
Algérie	600 000 m ³ /j	2 300 000 m ³ /j (2009)	Approvisionnement en eau de grands centres urbains
Libye	10 000 m ³ /j	Extension en cours	
Égypte		Projets en zones isolées (Sinai, Mer Rouge)	Recours à l'énergie éolienne
Espagne	2 500 000 m ³ /j	Projets en cours pour des cultures sous serre	Seul pays méditerranéen à utiliser de l'eau dessalée en l'agriculture
Israël	800 000 m ³ /j		320 000 m ³ /j à Ashkelon (unité osmose inverse)
Libye	1 000 000 m ³ /j (distillation)	Projet de dessalement nucléaire	
Malte	150 000 m ³ /j		60% de l'approvisionnement en eau potable
Maroc	20 000 m ³ /j	150 000 m ³ /j (3 unités)	
Tunisie	100 000 m ³ /j	250 000 m ³ /j (5 unités)	Un projet de dessalement avec énergies renouvelables

Source : Plan Bleu, Boyé, 2008

Si le dessalement des eaux de mer ou des eaux saumâtres constitue l'une des réponses possibles pour s'adapter à la pénurie croissante des ressources en eau dans certains pays méditerranéens, il n'est pas, en soi, une option de développement durable. Sa mise en œuvre requiert en effet d'importantes quantités d'énergie (sous forme de chaleur ou d'électricité) à la fois coûteuses et sources potentielles d'émissions de gaz à effet de serre.

En une cinquantaine d'années, les différents procédés ont néanmoins fait des progrès considérables en matière de consommation d'énergie. Ainsi il existe, sur le marché, des installations de distillation à multiples effets qui nécessitent environ 250 MJ/m³ ($\sim 60.10^3$ kcal/m³) d'énergie thermique à bas niveau ($\sim 100^\circ\text{C}$) plus 2 à 3 kWh électrique pour la recirculation de l'eau de mer. Le procédé d'osmose inverse, quant à lui, grâce à la mise en place de systèmes de récupération d'énergie et de membranes beaucoup plus performantes, ne nécessite que 3 à 4 kWh d'énergie électrique par m³ d'eau. Dans le cas où l'énergie primaire disponible est du fioul, la consommation d'énergie est de l'ordre de 1 kg de fioul lourd (à 10 000 kcal/kg ou 42 MJ/kg) pour 1 m³ d'eau avec l'osmose inverse (avec récupération d'énergie) et de l'ordre de 3,5 kg de fioul lourd pour la distillation.

Les techniques de dessalement ne dépendent pas de la source d'énergie primaire. Ainsi, le recours à l'énergie nucléaire, envisagé pour les unités de dessalement de grande capacité, n'implique pas de technologie spécifique de dessalement. Il s'agit d'un complexe intégré dans lequel le réacteur nucléaire et l'installation de dessalement sont construits sur le même site. Dans le cas de l'osmose inverse, qui ne nécessite que de l'énergie électrique, aucun problème de couplage ne se pose. Ainsi, un réacteur standard de 900 MW pourrait produire plus de 5 millions de m³/jour d'eau douce. Si l'énergie nucléaire présente un certain nombre d'avantages (en termes de préservation des ressources fossiles, de réduction des émissions de gaz à effet de serre, de stabilité des prix...), les pays

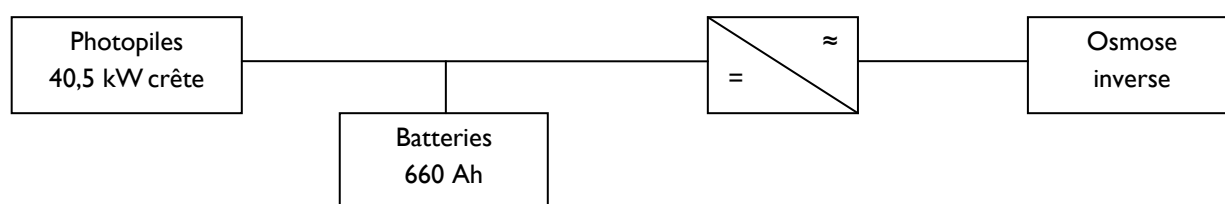
souhaitant y recourir doivent faire face à un coût élevé de l'investissement initial ainsi qu'au problème d'acceptation du public (concernant notamment la sécurité et le devenir des déchets nucléaires). Ils doivent, par ailleurs, mettre en place un système administratif et réglementaire adapté.

Les énergies renouvelables (solaire et éolien) peuvent être utilisées pour l'alimentation de petites unités de dessalement sur des sites isolés. Utiliser l'énergie du soleil pour distiller l'eau de mer n'est, en effet, pas une idée nouvelle. Le distillateur « serre » est le procédé de dessalement le plus ancien et le plus simple, mais dont les possibilités restent limitées. La productivité ne peut dépasser 4 à 5 litres d'eau douce par jour et par m² de bassin et l'on arrive très vite à des surfaces de serres très importantes.

Une autre possibilité est d'utiliser les énergies renouvelables avec des procédés de dessalement conventionnels à haut rendement : distillation à multiples effets associée à des capteurs solaires ; osmose inverse associée soit à des photopiles soit à des aérogénérateurs. Le développement de ces procédés se heurte cependant à deux problèmes :

- le coût élevé des investissements concernant à la fois la source d'énergie et l'installation de dessalement à haut rendement (d'où l'utilisation de procédés de dessalement à très hautes performances énergétiques) ;
- le caractère discontinu et aléatoire des énergies renouvelables (alternance régulière jour/nuit pour le solaire, aléas climatiques pour le solaire et l'éolien) qui implique un stockage d'énergie plus ou moins important (par batteries pour les unités de petite capacité, par raccordement à un réseau électrique pour les unités de capacité $\geq 1\ 000\ m^3/j$).

Figure 6 - Unité de dessalement solaire (osmose inverse et photovoltaïque) dans le village de Ksar Ghilène, Tunisie



Unité de dessalement	Conditions de fonctionnement		Coût de l'eau produite
Salinité des eaux saumâtres : 4,5 g/l Capacité de l'unité osmose inverse : 2 m ³ /h Taux de conversion : 70% Puissance nécessaire : 3,57 kW Énergie consommée : 1,7 kW/ m ³	Été 35 kWh/j Soit 15 m ³ /j (7,5 h/j*2 m ³ /h)	Hiver 16 kWh/j Soit 7,5 m ³ /j (3,75 h/j*2 m ³ /h)	5,6 €/m ³ (à comparer avec 8,5 €/m ³ pour le transport par camion)

Source : Maurel, 2007

Le dessalement : une solution coûteuse pour faire face aux crises

La production industrielle d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre fournit des ressources non conventionnelles croissantes en Méditerranée¹⁰. S'étant d'abord développée dans des situations d'isolement insulaire (Malte, Baléares, Chypre) et en zone littorale (Libye), notamment pour faire face aux besoins du secteur touristique se caractérisant par de fortes pointes saisonnières, elle essaime aujourd'hui tout autour de la Méditerranée. Elle constitue jusqu'à 60% de l'alimentation en eau potable à Malte. L'Algérie qui dispose d'énergie bon marché a, quant à elle, clairement misé sur le dessalement pour approvisionner en eau les grands centres urbains comme Alger, Oran ou Skikda. L'Espagne, au 4^{ème} rang de la production mondiale, a la particularité d'affecter une part importante de l'eau dessalée au secteur agricole pour une production maraîchère sous serre à contre saison vouée à l'exportation. A Chypre, le dessalement - pour un usage domestique - contribue à faire face aux situations de sécheresses répétées et à minimiser les mesures de rationnement de l'eau potable...

Le dessalement à grande échelle reste néanmoins une option consommatrice d'importantes quantités d'énergie électrique, productrice d'émissions de gaz à effet de serre et coûteuse. Le coût de l'eau produite par dessalement d'eau de mer serait ainsi de l'ordre de 0,4 à 0,6 €/m³ (et de 0,2 à 0,3 €/m³ pour de l'eau saumâtre dessalée) pour de grandes unités, soit environ 2 fois plus élevé que celui de l'eau « conventionnelle » et 1,5 fois plus élevé que celui de l'eau épurée pour être réutilisée, et ce sans tenir compte de l'investissement initial élevé. Ces coûts sont plus élevés pour des unités plus petites, moins performantes ou anciennes, et bien sûr très sensibles au coût de l'énergie qui diffère selon les pays. Il convient également de souligner les impacts négatifs du dessalement sur l'environnement local, impacts habituels des infrastructures sur le littoral mais également ceux liés au rejet de saumures dans le milieu naturel (pouvant conduire à une dégradation des écosystèmes aquatiques et de la qualité de l'eau).

Ainsi, certains critères à observer avant de développer et de financer tout projet de dessalement sont proposés :

- Utilisation de l'eau dessalée uniquement pour l'alimentation en eau potable des populations,
- Justification de la nécessité et de l'opportunité du projet de dessalement (au regard d'autres alternatives pour l'approvisionnement en eau douce),
- Choix d'un mode d'exploitation permettant de limiter, autant que faire se peut, les impacts négatifs (minimiser les consommations d'énergie, encourager l'utilisation d'énergie sans empreinte carbone, minimiser les impacts sur l'environnement local...),
- Mise en œuvre d'un plan de gestion environnementale des rejets (saumures),
- Intégration de co-bénéfices significatifs en termes d'emplois, de développement de filières industrielles, de créations d'entreprises de service, etc.

Source : Plan Bleu, Boyé, 2008

3. LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES : UNE SOLUTION MOINS COUTEUSE EN ENERGIE

L'analyse comparée de 3 applications (le dessalement d'eaux saumâtres, l'épuration des eaux résiduaires urbaines et la réutilisation des eaux épurées) a permis de mettre en évidence les conclusions suivantes :

- Le dessalement des eaux saumâtres (contenant de 1 à 10 g/l de sel) consomme moins d'énergie que le dessalement de l'eau de mer (1,5 kWh/m³ au lieu de 4 kWh/m³ pour l'eau de mer) dans la mesure où les eaux saumâtres sont de bonne qualité biologique, contiennent peu de matières en suspension (d'où des pré-traitements simplifiés) et ont une pression osmotique plus faible que l'eau de mer. Le taux d'utilisation des eaux saumâtres dessalées est élevé (~ 90%) mais l'élimination des résidus salés reste problématique.
- Le critère énergétique est un critère supplémentaire d'appréciation des procédés d'épuration des eaux résiduaires urbaines. Classiquement, la valorisation énergétique des boues permet d'atteindre

¹⁰ Ces ressources approchaient, en 2000, 0,4 km³/an dans l'ensemble du bassin méditerranéen (Algérie, Chypre, Egypte, Espagne, Israël, Libye, Malte, Maroc, Syrie, Tunisie).

un taux de couverture des besoins de l'ordre de 60%. L'autonomie énergétique des stations d'épuration est concevable à court terme.

- La réutilisation des eaux usées épurées constitue la solution la moins coûteuse en énergie (~1 kWh/m³) par rapport au dessalement (eau de mer ou eau saumâtre) et à l'import d'eau si la distance est supérieure à 60 km. Elle est aussi plus vertueuse pour la préservation de la ressource.

4. LES BESOINS EN ENERGIE POUR L'IRRIGATION

L'agriculture est le premier secteur consommateur d'eau en Méditerranée. Elle représentait, en 2005, 64% de la demande totale en eau (45% au Nord et 82% au Sud et à l'Est). D'après les projections du Plan Bleu, la demande en eau agricole pourrait encore s'accroître de 32 km³ d'ici 2025, essentiellement dans les pays du Sud et de l'Est. Ces projections rendent d'autant plus cruciale l'amélioration de l'efficacité du transport et de l'utilisation de l'eau agricole (passant, notamment, par la mise en place d'équipements et de technologies économes à la fois en eau et en énergie).

Du fait de la croissance à la fois de la demande en eau d'irrigation et du coût de l'énergie, il s'avère important d'estimer les quantités d'énergie nécessaires à l'irrigation pour assurer la durabilité de l'agriculture irriguée. Dans l'étude régionale réalisée par Rouyer et Morel (2007), l'énergie nécessaire pour 1 m³ d'eau d'irrigation est estimée à 1 kWh (pour le prélèvement, le transport et l'irrigation à la parcelle).

Dans le cas de l'Egypte par exemple, d'importantes quantités d'énergie sont requises pour :

- l'irrigation gravitaire des terres anciennes dans la Vallée et le Delta du Nil. Pour cette irrigation traditionnelle reposant essentiellement sur le fonctionnement de pompes diesel pour élever l'eau du Nil de 1,5 à 2 m, les besoins en énergie sont estimés entre 10 000 et 32 000 kWh/ha/an (Goosens et Bonnet, 2001) ;
- l'irrigation des terres nouvellement mises en valeur (majoritairement dans le désert) basée sur des systèmes de canaux pressurisés (aspersion, goutte-à-goutte) et dépendant principalement d'eaux souterraines. La plupart des pompes utilisées pour exploiter ces eaux souterraines (d'une profondeur de 50 à 300 m) sont des pompes électriques ;
- le pompage des eaux de drainage pour leur évacuation ou leur réutilisation (6 Mds m³ d'eaux de drainage sont réutilisés chaque année pour fournir un complément d'eau d'irrigation) ;
- le renouvellement de l'eau dans les piscicultures.

Dans le cas de l'irrigation traditionnelle, des projets consistant en le remplacement de petites pompes diesel individuelles en des stations de pompage collectives situées en amont des canaux d'irrigation visent à améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau et à réduire les consommations d'énergie. De plus importantes économies d'énergie pourraient être obtenues par électrification de ces pompes.

L'estimation des besoins en énergie actuels et futurs pour l'irrigation s'avère néanmoins très difficile du fait de l'absence de données fiables, au niveau local, pour ces différents postes de consommation d'énergie. Elle requiert davantage de données relatives aux quantités d'eau prélevées pour l'irrigation et drainées, à l'énergie consommée pour le fonctionnement des pompes, à l'implantation et au fonctionnement des piscicultures, etc.

5. D'AUTRES PISTES A EXPLORER POUR UNE PRODUCTION DURABLE D'EAU DOUCE

Il existe une vaste gamme de méthodes de gestion des ressources en eau, encore trop peu explorée, qui permettrait d'augmenter le potentiel exploitable des ressources naturelles renouvelables et ce, à moindre coût énergétique, économique et environnemental. Certaines pistes concernant les pays arides (recharge artificielle des nappes, fractionnement des ouvrages de régulation en amont des bassins versants, conservation des eaux et des sols...) mériteraient d'être approfondies dans tous les pays, même si elles font souvent appel à des innovations impliquant un large spectre de disciplines (hydrogéologie, hydrologie, agronomie, pédologie...).

D'autres pistes, comme le captage de sources littorales ou sous-marines, commencent aussi à être explorées en Méditerranée (La Mortola en Italie, Menton en France). La production d'eau douce à partir de ces sources sous-marines n'implique que de très faibles consommations d'énergie (dans la mesure où l'eau douce remonte naturellement en surface) et n'engendre pas de rejets organiques ou minéraux. L'eau ainsi produite serait jusqu'à 10 fois moins coûteuse que l'eau produite par dessalement d'eau de mer.

III. CONCLUSIONS

Face à l'augmentation tendancielle des demandes en eau et en énergie, les pays riverains de la Méditerranée sont confrontés à plusieurs défis : gérer durablement des ressources hydriques et énergétiques limitées, assurer l'accès à l'eau potable et à l'électricité aux populations non encore desservies et inciter les usagers à des comportements économes. Ces défis sont d'autant plus cruciaux que les tensions sur les ressources risquent d'être exacerbées sous les effets du changement climatique. L'augmentation de température et la baisse des précipitations prévues conduiraient à la fois à une réduction des ressources et à une augmentation de la demande en eau. Elles engendreraient parallèlement une baisse de la production d'électricité (hydroélectricité, centrales thermiques) et une augmentation de la demande en énergie pour la production et la mobilisation de l'eau (la demande en électricité pour la production d'eau représentant d'ores et déjà près de 10% de la demande totale en électricité dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée).

Les éléments à prendre en considération lors de choix d'investissements à effectuer dans le secteur eau-énergie sont les suivants (cf. tableau 1) :

La première réponse à l'augmentation de la demande en eau consiste en la mise en place de politiques de gestion de la demande aptes à réduire les pertes et les mauvaises utilisations, à gérer la ressource en eau avec équité et en veillant à satisfaire les différents usages. De même, la première réponse à l'augmentation de la demande en énergie consiste en une meilleure gestion de la demande (efficacité énergétique) qui offre un potentiel très important dans les pays des rives Sud et Est de la Méditerranée en particulier.

En outre, dans certains pays, une augmentation de l'offre d'eau, à organiser via une meilleure gestion de la ressource (augmentation du potentiel exploitable, lutte contre la pollution...) ou via des formes non conventionnelles d'approvisionnement en eau, s'avère également nécessaire. De même, l'augmentation de l'offre d'énergie en Méditerranée est et sera nécessaire, tout en diversifiant le mix énergétique au travers de l'exploitation de ressources renouvelables (solaire et éolien) et favorisant un développement énergétique durable.

Le dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre constitue ainsi l'une des réponses possibles pour s'adapter à la pénurie croissante des ressources en eau dans certains pays méditerranéens. Cependant, si les techniques de dessalement sont aujourd'hui bien maîtrisées, leur mise en œuvre requiert d'importantes quantités d'énergie à la fois coûteuses et sources potentielles d'émissions de gaz à effet de serre. La réutilisation des eaux usées épurées s'avère une solution moins coûteuse en énergie et plus « vertueuse » pour la préservation de la ressource. Il convient alors, afin d'éviter tout type de développement encourageant des modes de production et de consommation non durables, de s'interroger sur les valorisations (usages et gestion) de l'eau dessalée ainsi que sur les possibilités de développement des énergies renouvelables et d'actions d'utilisation rationnelle de l'énergie pour le dessalement.

Dans les zones arides peu peuplées des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée la fourniture d'électricité solaire décentralisée est déjà une réalité (Maghreb, Egypte...). La baisse tendancielle du coût du photovoltaïque et l'augmentation de celui des combustibles fossiles devraient favoriser le développement des énergies renouvelables dans ces régions rurales arides, mais aussi progressivement dans les régions littorales urbaines et péri-urbaines très densément peuplées.

En Méditerranée, les interactions entre eau et énergie s'avèrent ainsi très fortes et extrêmement vulnérables au changement climatique. Ce constat renforce la nécessité de mettre en place des stratégies de gestion intégrée des ressources en eau et en énergie, ce avec une vision prospective. Le

Maroc a, en ce sens, développé une stratégie d'adaptation du système « eau énergie » au changement climatique.

Tableau 3 - L'adaptation du système « eau énergie » au changement climatique au Maroc

Stratégies de gestion intégrée et durable des ressources en eau	Stratégies de développement du secteur énergétique
<ul style="list-style-type: none"> • Intégration du facteur changement climatique dans la planification nationale des ressources en eau, • Gestion intégrée des ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles (dessalement, réutilisation...), • Mise en place d'une stratégie nationale d'économie d'eau promouvant la gestion de la demande en eau, installation d'équipements hydro-économiques, • Mise en place d'une gouvernance de l'eau adaptée (décentralisation, concertation et participation des acteurs), • Instauration d'un système de recouvrement des coûts compatible avec les besoins en financement du secteur, • Adoption d'un cadre institutionnel et réglementaire adéquat. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recherche du kWh le moins cher : utilisation rationnelle de l'énergie, amélioration des performances opérationnelles, encouragement à l'investissement privé, adoption de structures tarifaires appropriées, • Diversification des sources d'approvisionnement : dosage prudent entre les différents types de combustibles et leurs origines, développement des énergies renouvelables (solaire, hydraulique et éolien), introduction de nouvelles technologies respectueuses de l'environnement, poursuite des études pour le recours à l'énergie électronucléaire pour la production d'énergie, • Ouverture de l'Office national de l'électricité à l'international pour valoriser les savoir-faire et les échanges d'expériences.

Source : Secrétariat d'État chargé de l'eau et de l'environnement au Maroc, 2007

Parmi les pistes de travail à approfondir ou explorer, les intervenants et participants à l'atelier ont mis en évidence les points suivants :

- Améliorer la production et la collecte de données sur les besoins en eau pour l'énergie et les besoins en énergie pour l'eau dans les pays (conforter les ordres de grandeur, développer des analyses pays par pays...),
- Poursuivre ou développer, pays par pays, des études prospectives relatives à l'évolution des ressources et des demandes en eau et en énergie, en intégrant le facteur « changement climatique »,
- Approfondir la question du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, et en particulier celle du devenir des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique dans l'approvisionnement énergétique global pour le dessalement,
- Etudier les potentialités offertes par le pompage turbinage, la micro-électricité et l'énergie motrice des marées,
- Poursuivre l'échange d'expérience sur les liens entre l'eau, l'énergie et l'environnement (intégrant le facteur changement climatique) entre les différents pays méditerranéens, dans un cadre de coopération régionale.

CHAPITRE 11

Défis intersectoriels : énergie/tourisme, villes/énergie et changement climatique

Elisabeth Coudert (tourisme)
Plan Bleu

Silvia Laria (espaces urbains)
Plan Bleu

Céline Gimet
Plan Bleu / CEFI

TABLE DES MATIERES

MESSAGES CLES	5
INTRODUCTION	7
I. TOURISME, ENERGIE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE	8
1. Les liens entre tourisme et changement climatique	8
1.1. Le tourisme : Une activité majeure en Méditerranée ...	8
1.2. ... Qui contribue au changement climatique ...	10
1.3. ... et qui en subi(ra) les conséquences.....	10
2. Pistes d'actions pour l'adaptation	12
2.1. Quelles adaptations « durables » possibles ?	12
2.2. Quelles options pour des scénarios de réduction des émissions à 2035 ?	13
2.3. Quelques leviers d'action possible ?.....	13
II. ESPACES URBAINS, ENERGIE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE	16
1. Les liens entre développement urbain et changement climatique	16
1.1. Une population de plus en plus urbaine.....	16
1.2. Vulnérabilité des espaces urbains au changement climatique.....	17
2. Pistes d'actions pour l'adaptation	19
2.1. Des stratégies d'adaptation qui s'inscrivent dans une logique de mitigation sur le plus long terme	19
2.2. Le bâtiment, secteur à fort potentiel d'économies d'énergie	20
2.3. Transports et usage des sols.....	23
2.4. Des pistes de réflexion à approfondir.....	24
REFERENCES	25

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 – Recette du tourisme international en 2005 et part des recettes dans le PNB	9
Figure 2 – Entrées de touristes internationaux en 2025 et coefficient multiplicateur	9
Figure 3 - Des scénarios des émissions du tourisme à 2035	13
Figure 4 - Arrivées des touristes internationaux dans les pays méditerranéens par mode de transport.....	14
Figure 5 – Evolution de la population des villes méditerranéennes	17
Figure 6 - L'impact d'une élévation du niveau de la mer Méditerranée.....	18
Figure 7 - Impact d'une élévation du niveau de la mer sur la population des pays MENA	19
Figure 8 - Coût d'une élévation du niveau de la mer dans les pays MENA (en % du PIB)	19
Figure 9 - Installation de chauffe-eau solaires au Maroc (en m ²)	21
Tableau 1 -Effets attendus du changement climatique sur les destinations touristiques méditerranéennes	11
Tableau 2 - Emissions de GES et distances parcourues selon les différents modes de transport.....	14
Encadré 1 - Bâtiment, efficacité énergétique et requalification urbaine au Maroc.....	21
Encadré 2 - L'expérience de l'agglomération de Montpellier (Hérault), 470 000 habitants.....	22

MESSAGES CLES

Le tourisme

Le tourisme est une activité majeure pour la plupart des 21 pays du bassin méditerranéen. Ils accueillent plus de 30% du tourisme international, qui constitue une importante source de devises. Les pays de la rive Sud et Est les plus attractifs de la région sont la Turquie, l'Égypte, la Tunisie et le Maroc, qui accueillaient en 2005 respectivement 20, 8,2, 6,4 et 5,8 millions de touristes internationaux.

Or, le tourisme compte parmi les secteurs les plus exposés au climat. Le Nord et l'Est de la Méditerranée se distinguent en raison notamment des prévisions de fréquence accrue des sécheresses et des vagues de chaleur pouvant affecter directement la fréquentation touristique. Les zones côtières basses sont particulièrement exposées. En Tunisie par exemple, où 90% de la capacité d'accueil est installée sur la côte, le Golfe de Gabès semble très vulnérable. Il en va de même de la côte méditerranéenne de l'Égypte, où le tourisme domestique se développe rapidement. L'accentuation du manque de ressources naturelles (par exemple l'eau), à la quelle le tourisme contribue, est aussi facteur de réduction d'activité touristique.

Il est aussi avéré que la contribution du tourisme aux émissions de CO₂ mondiales est de l'ordre de 5%, dont les trois quarts doivent être imputés au transport (Céron, 2007). La prolongation des tendances observées (scénario business as usual), indique que la croissance du tourisme pourrait générer des émissions de gaz à effet de serre pouvant atteindre 152% à l'horizon 2035 (Céron, 2007) et donc jouer un rôle majeur dans l'aggravation du changement climatique lui-même responsable, in fine, de larges pertes économiques dans ce secteur.

En termes d'adaptation, les touristes modifieront probablement d'eux-mêmes le choix de leur destination au fur et à mesure que les conditions climatiques se dégraderont dans les destinations méditerranéennes. Cependant, le déplacement de l'activité touristique vers des zones moins exposées n'est pas toujours possible. Et, si il semble nécessaire d'anticiper les impacts futurs dans les investissements d'aujourd'hui, mais ceci demande des informations climatiques pas toujours disponibles (cartes de vulnérabilité) (Billé, 2007).

La question de la mise en place de mesures d'adaptation est actuellement peu abordée bien qu'il soit désormais évident que le tourisme en Méditerranée requiert une attention spécifique dans le cadre du changement climatique.

Secteur à la fois vulnérable et contribuant au changement climatique, la recherche de solutions s'oriente vers des mesures d'adaptation à faible émission, notamment :

la localisation des installations dans des zones non exposées à des variations du niveau de la mer et à l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes,

des offres touristiques limitant le gaspillage des ressources en eaux et en sols,

le management environnemental et la maîtrise de l'énergie dans les installations touristiques (bâtiments en particulier), permettant à la fois de répondre aux besoins de confort des touristes et de limiter les émissions de GES,

une meilleure maîtrise des transports aériens, fortement émetteurs de gaz à effets de serre, en jouant par exemple sur la fréquence des départs notamment pour les très longs trajets, ce qui suppose des changements de mentalité et de la culture du voyage..

Les espaces urbains

Les villes et espaces urbains sont des lieux de fortes émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (habitat et bâtiments, transports, industrie). Dans le même temps, le changement climatique apporte une dimension de risque « naturel » sur les villes.

Dans l'ensemble des vingt-et-un pays du pourtour méditerranéen, la population urbaine - résidant dans des agglomérations de plus de 10 000 habitants - est passée de 94 millions en 1950 (44% de la population) à 274 millions en 2000 (64%).

Les pays du sud de la Méditerranée connaissent une urbanisation accélérée, en raison d'une croissance démographique encore soutenue, de migrations interurbaines et d'un exode rural qui se maintient dans certains pays. Ainsi vers 2025, dans les pays Est et Sud, la population citadine pourra atteindre plus de 243 millions (soit 74% de la population totale de 2025 et 100 millions de plus qu'en 2000). Un gros tiers de cette croissance aura lieu dans les régions côtières méditerranéennes (Plan Bleu, 2005).

Ces évolutions associées à des modes de développement urbain mal maîtrisés, notamment sur le plan socio-spatial, accentuent la vulnérabilité des villes méditerranéennes face aux effets du changement climatique.

Du fait même de la structure urbaine, le réchauffement local est plus accentué en ville que dans les campagnes environnantes. En Méditerranée, les zones d'habitat spontané, très densément peuplées, sont particulièrement exposées aux événements extrêmes (inondations, glissements de terrain) dont la fréquence et l'intensité pourront s'accroître à

l'avenir. Les villes situées sur les zones côtières très basses et dans les zones de deltas devront affronter la montée du niveau de la mer. Par exemple, La ville d'Alexandrie, mais aussi Rosetta et Port Saïd, sont particulièrement vulnérables : une élévation du niveau de la mer de 50 cm pourrait entraîner la perte de 200 000 emplois et 30 milliards de dollars de pertes de terres agricoles et d'infrastructures d'habitations (scenario business as usual) (El Raey, 2007).

Outre le déplacement de populations des zones côtières basses vers des zones plus hautes, ou la mise en place des protections côtières efficaces, ce qui pourrait prendre 20 à 30 ans, les secteurs du bâtiment et des transports présente un fort potentiel d'actions.

Le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) présente un très fort potentiel d'efficacité énergétique et de recours aux énergies renouvelables. Ces options dans ce secteur sont des actions d'adaptation au changement climatique (meilleure isolation par exemple) permettant de limiter les émissions de CO₂, ce qui justifie d'autant plus la nécessité de leur donner la priorité. L'exploitation de ce potentiel se heurte à deux difficultés de taille : pour le parc de logements neufs, la difficulté d'introduction des solutions techniques connues dans un marché caractérisé par la part considérable de l'autoconstruction ; pour le parc de logements existants et anciens, très important en Méditerranée, la difficulté d'améliorer et de multiplier, à des échelles significatives, les techniques de rénovation et réhabilitation.

Le secteur des transports urbains pose des problèmes plus redoutables que le bâtiment. La croissance des consommations énergétiques est très rapide dans les scénarios tendanciels. Dans les stratégies de stabilisation des émissions, deux voies principales sont explorées : du côté de l'offre, le développement de réseaux de transports collectifs et les politiques de transfert modal ; du côté de la demande de déplacements, les solutions relèvent des politiques urbaines conjuguant mixité fonctionnelle et densités d'occupation des sols, afin de contenir l'étalement urbain. C'est une voie certainement plus difficile mais l'action dans ce domaine n'en est pas moins urgente.

INTRODUCTION

Objectif du chapitre

Ce chapitre vise à mieux comprendre l'impact du changement climatique sur le secteur du tourisme et sur les espaces urbains en Méditerranée et à mettre ces problématiques en perspective avec les questions d'énergie.

Il ne se veut pas exhaustif sur les sujets abordés. Il a plutôt pour objectif de fournir des pistes de réflexion sur les vulnérabilités et les possibilités d'action à l'aide d'expériences menées dans quelques villes ou pays méditerranéens et d'analyses de la situation du secteur touristique dans certains pays de la zone.

Sources d'informations

Ce chapitre s'appuie en partie sur les informations diffusées lors de deux tables rondes (l'une sur les villes, l'autre sur le tourisme) organisées par le Plan Bleu à ENERGAIA, les 6 et 7 décembre 2007, qui ont permis de présenter les expériences et les réflexions dans quelques pays de la région (Égypte, France, Maroc, Turquie). Il s'appuie également sur les travaux récents du Plan Bleu (Cf références) ainsi que sur la littérature existante en la matière.

Contenu du chapitre

Ce chapitre est divisé en deux sections. La première porte sur la situation des espaces urbains et la seconde se concentre sur le secteur du tourisme. Elles exposent la vulnérabilité de ces secteurs et espaces au changement climatique et mettent en évidence le caractère double des problématiques lorsqu'on les met en perspective avec la question de l'énergie (mitigation versus adaptation).

I. TOURISME, ENERGIE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les pays méditerranéens vont être rapidement confrontés à des difficultés liées au changement climatique qui se caractérise par une hausse des températures, une diminution des précipitations, une élévation du niveau de la mer et une augmentation de la fréquence des événements extrêmes.

Le tourisme compte parmi les secteurs les plus exposés au climat. Les pertes économiques anticipées pour la région seront donc d'autant plus élevées que cette activité a un poids important dans le revenu total de la plupart des économies de la zone méditerranéenne.

Cependant, la relation entre climat et tourisme est complexe et demeure difficile à cerner. Elle requiert une attention spécifique dans la mesure où il s'agit d'un secteur d'activité à la fois très vulnérable et émetteur majeur de gaz à effet de serre (GES).

Dans cette perspective, la problématique à traiter est nécessairement duale : elle comprend la question de l'impact du tourisme sur le changement climatique, qui renvoie aux enjeux de réduction des émissions de GES, et la question de l'impact du changement climatique sur le tourisme, qui fait référence aux enjeux de vulnérabilité et d'adaptation. Cependant ces deux aspects de la problématique « tourisme et changement climatique » sont en partie liés, les mécanismes d'adaptation au changement climatique pouvant être également économes en émissions de CO₂.

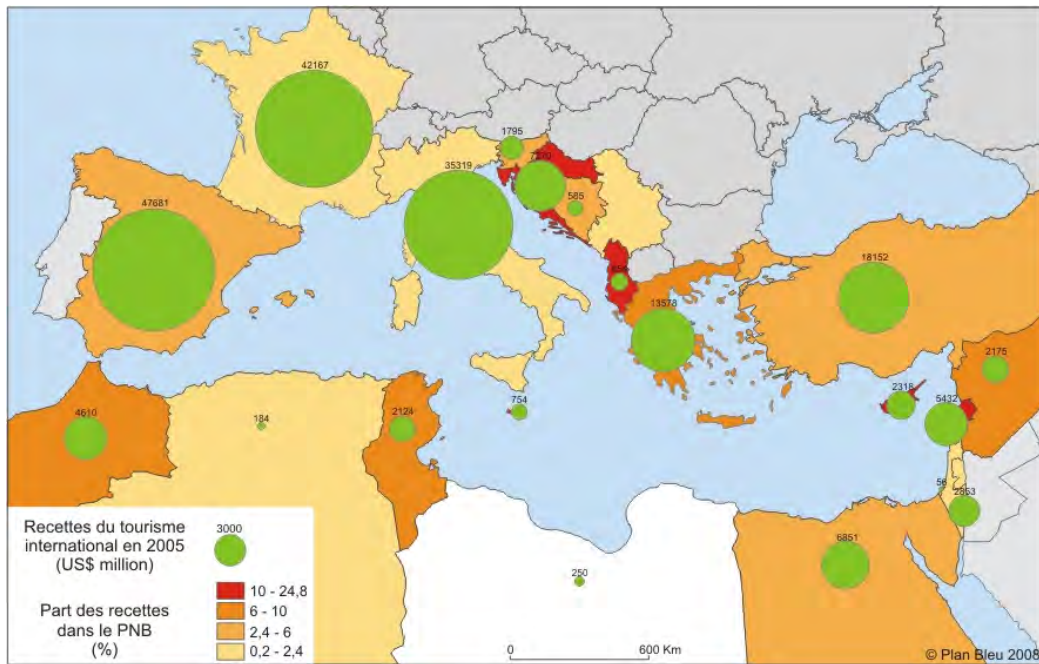
Après avoir brièvement rappelé l'importance du tourisme en Méditerranée, nous verrons dans quelles mesures l'évolution de ce secteur suit une tendance non durable dans cette région à cause notamment des effets néfastes qu'il engendre en termes d'émissions de GES ainsi que compte tenu de la perte d'attractivité de la région suite à la variation du climat. Cela nous permettra de mettre l'accent sur la nécessité de considérer la question de la mise en place de mesures d'adaptation susceptibles d'engendrer des bénéfices sociaux nets, même si la variation du climat est différente de celle qui a été anticipée ('no-regrets policies'), et qui pourraient être compatibles avec des objectifs de mitigation. Nous proposerons à cette fin des pistes de réflexions concernant les principaux leviers d'action permettant de répondre à la double problématique qui lie tourisme et changement climatique.

1. LES LIENS ENTRE TOURISME ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

1.1. Le tourisme : Une activité majeure en Méditerranée ...

Le tourisme, national ou international, est une activité majeure pour la plupart des 21 pays du bassin méditerranéen. Ils accueillent plus de 30% du tourisme international, qui constitue une importante source de devises (Figure 1). La croissance de ce secteur oscille depuis le début de cette décennie entre 3 et 4% par an. En Turquie par exemple, cela correspond à 17 milliards de dollars de recettes en 2006. Dans ce même pays, 20% des exportations en moyenne sont engendrées par le tourisme qui emploie 3 millions de personnes (Tosun, 2007).

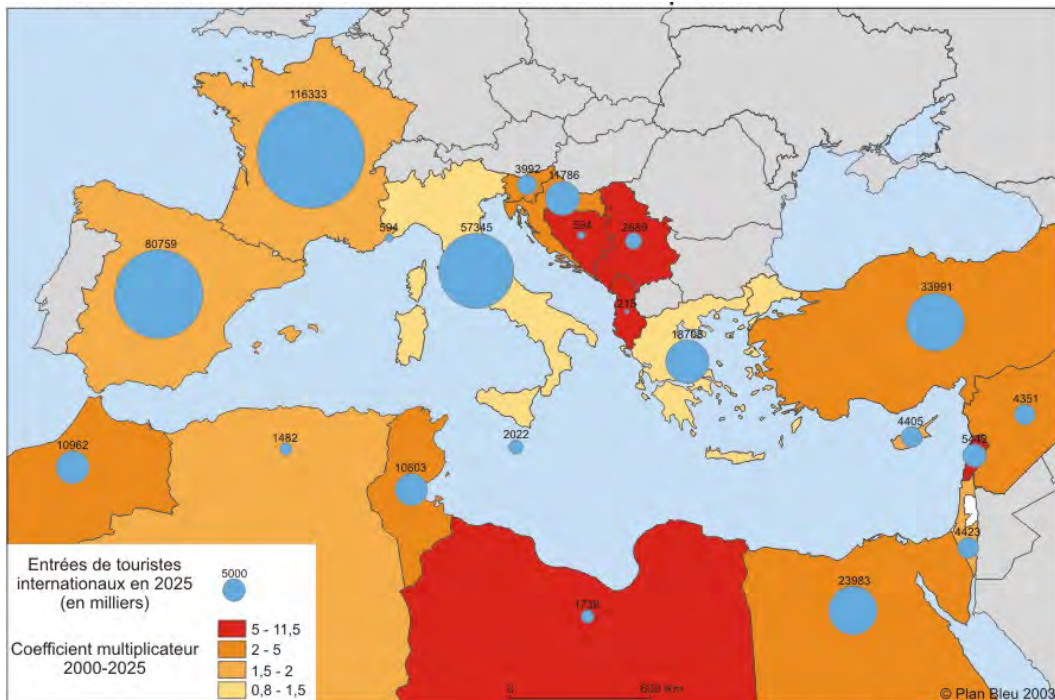
Figure 1 – Recette du tourisme international en 2005 et part des recettes dans le PNB



Source : OMT / WTO, Compendium 1980-1983 à / to 2007 ; OMT / WTO Fait saillants du tourisme, édition 2007 ; Plan Bleu

Les pays de la rive Sud et Est les plus attractifs de la région sont la Turquie, l’Égypte, la Tunisie et le Maroc, qui accueillent en 2005 respectivement 20, 8,2, 6,4 et 5,8 millions de touristes internationaux. Ce phénomène va s’intensifier dans les années à venir, car pour l’ensemble des pays du bassin, les projections à 2025 soulignent une augmentation importante des entrées de touristes internationaux, notamment dans les pays qui comptent aujourd’hui parmi les moins attractifs de la région (Plan Bleu, 2005) (Figure 2).

Figure 2 – Entrées de touristes internationaux en 2025 et coefficient multiplicateur



Source : OMT, Plan Bleu

1.2. ... Qui contribue au changement climatique ...

Le développement du tourisme suit aujourd'hui une évolution qui pourrait avoir des impacts environnementaux néfastes de plusieurs ordres : une dégradation des écosystèmes, un gaspillage des ressources en eau, et surtout une hausse des émissions de gaz à effet de serre...

Sur ce dernier point, il est avéré que la contribution du tourisme aux émissions de CO₂ mondiales est de l'ordre de 5%, dont les trois quarts doivent être imputés au transport (Céron, 2007). La prolongation des tendances observées (scénario business as usual), indique que la croissance du tourisme pourrait générer des émissions de gaz à effet de serre pouvant atteindre 152% à l'horizon 2035 (Céron, 2007) et donc jouer un rôle majeur dans l'aggravation du changement climatique lui-même responsable, in fine, de larges pertes économiques dans ce secteur.

1.3. ... et qui en subi(ra) les conséquences

Les effets du changement climatique sur le tourisme peuvent être répertoriés en quatre catégories (Billé, 2007 ; Ceron, 2007) :

- les impacts climatiques directs: variabilité accrue du climat d'où complication des conditions d'exercice de l'activité ; modification des conditions de confort, de santé et de sécurité ; événements extrêmes (tempêtes, inondations, canicules, etc.). Des « améliorations » locales ne sont pas à exclure : baisse des précipitations, extension de la période estivale ;
- les impacts indirects à travers des changements environnementaux. Par exemple, une réduction de la disponibilité des ressources en eau, en particulier en été, est envisagée dans plusieurs régions méditerranéennes et peut avoir des impacts variés sur le secteur touristique à travers l'accès à l'eau potable, les activités aquatiques, la modification de paysage naturels et agricoles attractifs. La hausse prévue du niveau de la mer, associée à d'autres phénomènes naturels ou d'origine anthropique, menace aussi nombre de ressources touristiques côtières, des infrastructures aux plages ;
- les impacts indirects des politiques de réduction des émissions, notamment sur les coûts et caractéristiques du transport. Selon les objectifs que nos sociétés se fixeront et les mesures qu'elles prendront dans les années à venir, ces impacts pourraient s'avérer largement supérieurs pour le tourisme à ceux du changement climatique lui-même ;
- les conséquences des impacts globaux du changement climatique sur les sociétés : modes de vie, croissance économique, stabilité politique, etc. C'est ici que se trouvent les plus grandes incertitudes et les interrelations les plus complexes, le tourisme étant dépendant de nombreux autres secteurs.
- conjugués, ces quatre types d'impact concourent à remettre en cause l'attractivité des destinations. En Méditerranée, où le flux principal de touristes va actuellement de l'Europe du Nord vers le bassin méditerranéen, les effets possibles sur les destinations sont nombreux (tableau 1).

Tableau 1 - Effets attendus du changement climatique sur les destinations touristiques méditerranéennes

Changement climatique sur le lieu d'origine	Changement climatique sur le lieu de destination	Implications pour la destination	Réactions possibles du marché
-Hivers beaucoup plus doux et humides -Etés plus chauds et secs -Etés mieux garantis	-Hivers plus doux et humides -Etés beaucoup plus chauds et secs -Changements plus marqués dans l'Est de la Méditerranée -Augmentation de l'indice de chaleur -Plus de jours au dessus de 40°C -Paysages plus arides -Impacts de la hausse du niveau de la mer accentués par la faiblesse des marées	-Sécheresses et risques d'incendies plus sévères -Accentuation du manque d'eau -Exposition personnelle accrue à la chaleur -Dégradation des plages et pertes d'habitats dus à la hausse du niveau de la mer -Vulnérabilité à davantage de maladies tropicales (ex: malaria) -Plus d'inondations éclaircies -Faible qualité de l'air dans les villes	-L'amélioration des étés du Nord de l'Europe génère plus de vacances domestiques -Incitation moindre à des vacances estivales sur la Méditerranée -Incitation accrue pour des vacances méditerranéennes pendant les saisons intermédiaires -Incitation accrue pour les sudistes à voyager vers le Nord

En Turquie par exemple, 42% du total de la fréquentation a lieu durant les mois d'été (Tosun, 2007). Toutefois, plusieurs scénarios climatiques prévoient des températures estivales supérieures à 40° dans les années à venir. Les impacts du climat sur l'environnement et la société seraient décuplés et engendrerait une perte d'attractivité du pays en matière de tourisme. A plus long terme, cette situation pourrait être aggravée par la hausse du niveau de la mer qui entraînerait des pertes d'hébergements et d'équipements touristiques. De même, des plages aujourd'hui réputées seraient submergées. La perte future de touristes en Turquie en période estivale est évaluée en moyenne à 45% d'ici les trente prochaines années par rapport à aujourd'hui.

Plus globalement, à chacun des quatre types d'impacts correspondent plusieurs formes de vulnérabilité, variables selon les régions et les pratiques touristiques et qui appellent les éléments de réflexion suivants :

- Pour les impacts directs d'une modification du climat, la définition des « points chauds du tourisme et du changement climatique » au niveau mondial croise les chiffres de fréquentation touristique de l'OMT et les analyses du GIEC sur le changement climatique. Le Nord et l'Est de la Méditerranée s'y distinguent en raison notamment des prévisions de fréquence accrue des sécheresses et des vagues de chaleur : ces points chauds sont particulièrement vulnérables aux impacts climatiques directs.
- La vulnérabilité aux impacts indirects d'une modification du climat est multidimensionnelle, mais de toute évidence les zones côtières basses sont particulièrement exposées. En Tunisie par exemple, où 90% de la capacité d'accueil est installée sur la côte, le Golfe de Gabès semble très vulnérable. Il en va de même de la côte méditerranéenne de l'Égypte, où le tourisme domestique se développe rapidement.
- Le touriste moyen est très gourmand en ressources : il consomme en particulier beaucoup d'eau (alimentation, toilette, piscines, ménage, jardins, terrains de golf, etc.), à des saisons de faible disponibilité. Le tourisme entre donc en compétition avec les usages locaux (consommation domestique, agriculture, industrie, etc.), augmentant la vulnérabilité du territoire sur lequel il s'implante – et donc la sienne propre. A titre d'exemple en Turquie, la consommation journalière dans l'industrie du tourisme se chiffre en moyenne à 400 litres d'eau par consommateur alors que les résidents n'en utilisent que 70 litres (Tosun, 2007).

2. PISTES D' ACTIONS POUR L' ADAPTATION

2.1. Quelles adaptations « durables » possibles ?

Pour promouvoir un tourisme soutenable en Méditerranée dans un contexte de changement climatique, plusieurs mesures d'adaptation peuvent être envisagées. A ce jour, pratiquement aucun pays n'anticipe les effets du changement climatique sur le tourisme et ne prend de mesures pour en atténuer les coûts futurs. Il convient cependant de souligner que le tourisme en Méditerranée ne répond actuellement (donc hors contexte de changement climatique) que très imparfaitement aux critères du développement durable, comme le prouvent les orientations et actions prônées par la Stratégie méditerranéenne pour le développement durable. En conséquence, les pays riverains sont faces à un double enjeu : (i) réguler et réorienter l'activité touristique vers plus de durabilité (économique, sociétale et environnementale) et simultanément (ii) anticiper les effets du changement climatique et prendre des mesures pour en atténuer les coûts. La tâche est colossale.

En termes d'adaptation, les touristes modifieront probablement d'eux-mêmes le choix de leur destination au fur et à mesure que les conditions climatiques se dégraderont dans les destinations méditerranéennes.

Chez les « voyageurs », l'adaptation passera aussi probablement par le choix de nouvelles destinations pour l'offre de voyages et de séjours touristiques.

Cependant, le déplacement de l'activité touristique vers des zones moins exposées n'est pas toujours possible, notamment pour les petits opérateurs locaux attachés fortement à un lieu. Ainsi, dans les pays concernés par un changement des conditions climatiques rendant le séjour touristique inconfortable (par exemple avec des températures supérieures à 40°), les nombreuses petites et moyennes entreprises du secteur hôtelier et toutes les activités associées au tourisme (restauration, loisir, etc) pourraient subir des pertes importantes pouvant avoir des répercussions sur l'ensemble de l'économie (Ceron, 2007). Pour y pallier, il semble nécessaire d'anticiper les impacts futurs dans les investissements d'aujourd'hui, ce qui demande des informations climatiques pas toujours disponibles (cartes de vulnérabilité). (Billé, 2007).

Le management environnemental des installations touristiques, avec l'implication des touristes (ex : économies d'eau et d'énergie, dispositifs de récupération des eaux de pluie, recyclage des eaux usées, design et architecture adaptés) grâce à des mesures financières incitatives constitue une mesure d'adaptation qui pourrait être envisagées par les pays. Toutefois, pour que ces mesures soient acceptées par les opérateurs, elles doivent engendrée par la suite des économies de fonctionnement.

La diversification de l'offre touristique en Méditerranée est aussi porteuse d'espoir dans un contexte de changement climatique. Le tourisme balnéaire (soleil, sable et mer), dominant en Méditerranée, est particulièrement vulnérable au changement climatique (érosion des côtes et élévation du niveau de la mer). L'enjeu est donc de développer des activités moins sensibles ou en tous cas ayant des sensibilités contrastées au climat, mais aussi des activités moins exigeantes en ressources (Billé, 2007).

La réduction de la saisonnalité avec une meilleure répartition des arrivées touristiques au cours de l'année constitue une autre adaptation permettant d'éviter par exemple les épisodes caniculaires du plein été.

Cependant, un scénario de développement durable suppose à la fois le maintien du tourisme, la réduction de la vulnérabilité des pays au climat mais aussi la diminution des émissions de gaz à effet de serre.

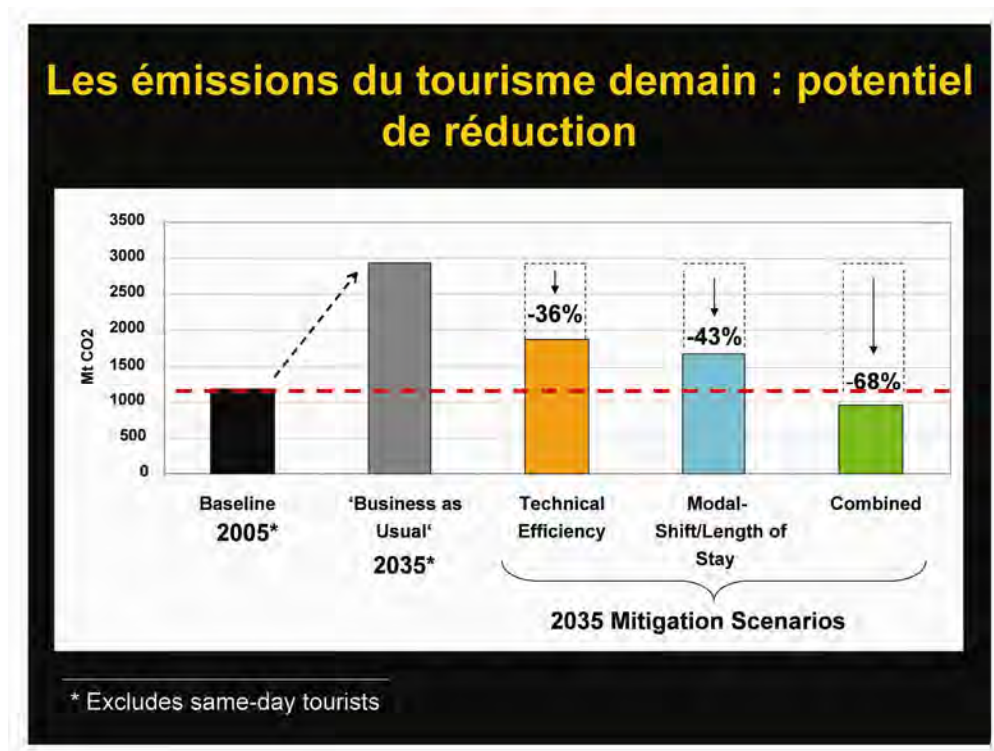
2.2. Quelles options pour des scénarios de réduction des émissions à 2035 ?

Au niveau mondial, deux grandes options pour des scénarios à 30 ans ont été explorées :

- une option de haute technologie avec des gains en efficacité énergétique de 50% pour les avions et de 2% dans les autres secteurs ;
- une option combinant transfert modal et augmentation de la durée des séjours, avec une croissance du train et du bus de 2,4% à 5% par an et avec une augmentation de la durée de séjour de 0,5% par an

A l'horizon 2035 le scénario « Efficacité technologique » comparé au scénario « business as usual » offre une réduction de 36% des émissions ; en outre, le scénario « Transfert modal et longueur de séjour », réduit les émissions de 43%. Le scénario combinant les deux options permet alors une réduction de grande ampleur (68%) de telle manière que les émissions se situent en dessous du niveau de 2005 (Figure 3) (Céron, Dubois, 2008).

Figure 3 - Des scénarios des émissions du tourisme à 2035



Source : Céron, Dubois, 2008

2.3. Quelques leviers d'action possible ?

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs leviers d'action pourraient être mis en œuvre. Il serait d'ailleurs plus judicieux de parler d'une **combinaison de leviers** à actionner simultanément, l'objectif étant double (adapter ET réduire les émissions) et le secteur touristique totalement horizontal.

Même si la contribution de la technologie reste limitée, les gains dus au progrès technique ne sont pas à négliger, notamment pour augmenter l'efficacité énergétique des modes de transport et de la construction.

En outre, l'Etat peut aider au financement des infrastructures nécessaires pour permettre un recours limité au transport aérien (financement des voies de chemin de fer...), le train et le bus étant des modes de transport à privilégier, comme l'illustre le cas de la France (tableau 2).

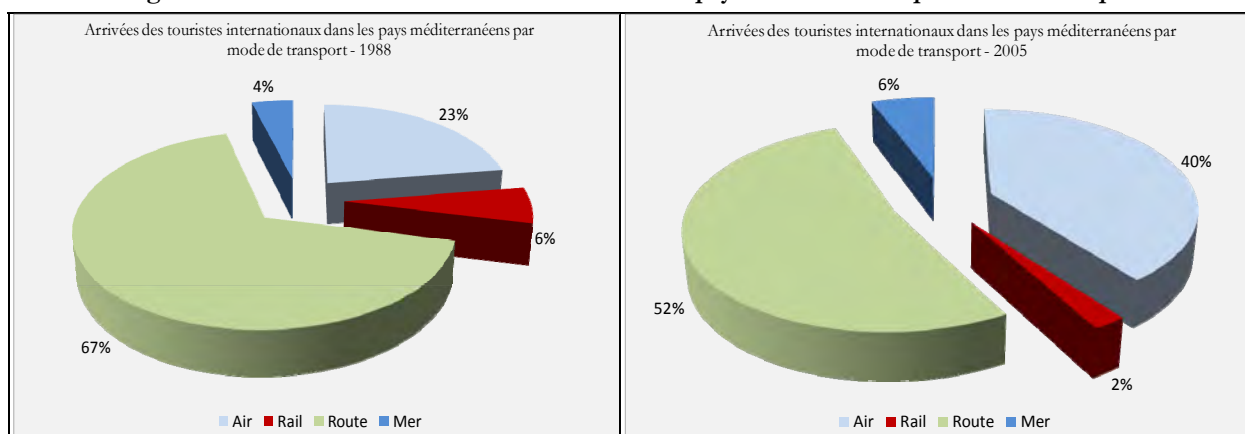
Tableau 2 - Emissions de GES et distances parcourues selon les différents modes de transport en France

	Emission moyenne par séjour (en kg)	Distance moyenne par séjour (en km)
Avion affaires	3731	5384
Avion éco	1252	5188
Camping-car	134	672
Minibus	78	993
Voiture	77	588
Moto	67	564
Bateau	57	1211
Autocar	51	1258
TER	14	362
Train Corail	10	759
Train TGV	3	1033

Source. Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale, 02/ 2008

En Méditerranée, les arrivées de touristes internationaux par fer ont diminué de 6 à 4% durant la période 1988-2005 alors que celles par air augmentaient de 23 à 40% (Figure 4). La réduction des émissions de GES dues au tourisme passe sans doute par un renversement de cette tendance. L'amélioration de l'efficacité énergétique des transports routiers (collectifs et individuels) reste également une piste non négligeable de réduction des émissions de GES, la route représentant toujours le mode de transport le plus utilisé (52%) en 2005.

Figure 4 - Arrivées des touristes internationaux dans les pays méditerranéens par mode de transport



Source : OMT ; Plan Bleu 2008

Un levier d'action très efficace résiderait dans le niveau des prix (Fotiou, 2007). Le tourisme est à l'origine d'externalités négatives : il produit des émissions de gaz à effet de serre pouvant avoir un effet sur le climat, l'écosystème, la santé de la population et engendrer des dégradations sur l'environnement et la société. Si ces externalités étaient prises en compte par les prix du marché, les prises de décisions de la part des investisseurs et les comportements des consommateurs pourraient devenir plus compatibles avec des objectifs de développement durable. C'est pourquoi il est

important que les touristes payent pour les dégâts dont ils sont responsables. Cela permettrait d'une part de financer des réparations et d'autre part, constituerait un système incitatif pour limiter les émissions et les dégradations. On peut penser par exemple à la mise en place de taxes aériennes élevées et dissuasives.

Un autre point essentiel, pour que les pays prennent conscience des problèmes causés par le tourisme et adoptent des mesures préventives et d'adaptation, est la réduction des asymétries d'information (Fotiou, 2007). En effet, les coûts anticipés doivent être connus par tous les agents, dans tous les pays pour leur permettre d'orienter leurs décisions de manière optimale.

En outre, des informations plus précises sont nécessaires : il faut pouvoir passer du climat au « temps qu'il fait », c'est à dire traduire les paramètres de sortie des modèles (précipitations, températures moyennes et maximales) en indicateurs plus proches de ce qui est ressenti par les touristes pour pouvoir infléchir les décisions aussi bien des touristes que des opérateurs. Ceci suppose un renforcement de la recherche et un effort de vulgarisation scientifique (Céron, 2007).

Enfin, rendre ce scénario possible suppose nécessairement une modification des mentalités, de la culture du voyage au niveau des futures générations. Les touristes pourraient préférer des activités proches de leur domicile pouvant être favorisées par une amélioration du cadre de vie (Ceron, 2007). Les départs pourraient être moins fréquents, les séjours plus longs et il serait possible de compenser cette diminution de mobilité par une augmentation des sorties de proximité.

II. ESPACES URBAINS, ENERGIE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

La question du changement climatique requiert de comprendre les impacts locaux de modifications globales avec d'importantes différenciations régionales et des rétroactions complexes.

Les villes et espaces urbains sont à juste titre considérés comme des lieux de forte émission de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (habitat et bâtiments, transports, industrie). Dans le même temps, le changement climatique apporte une dimension de risque « naturel » sur les villes. Leur devenir constitue donc un enjeu important.

1. LES LIENS ENTRE DEVELOPPEMENT URBAIN ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

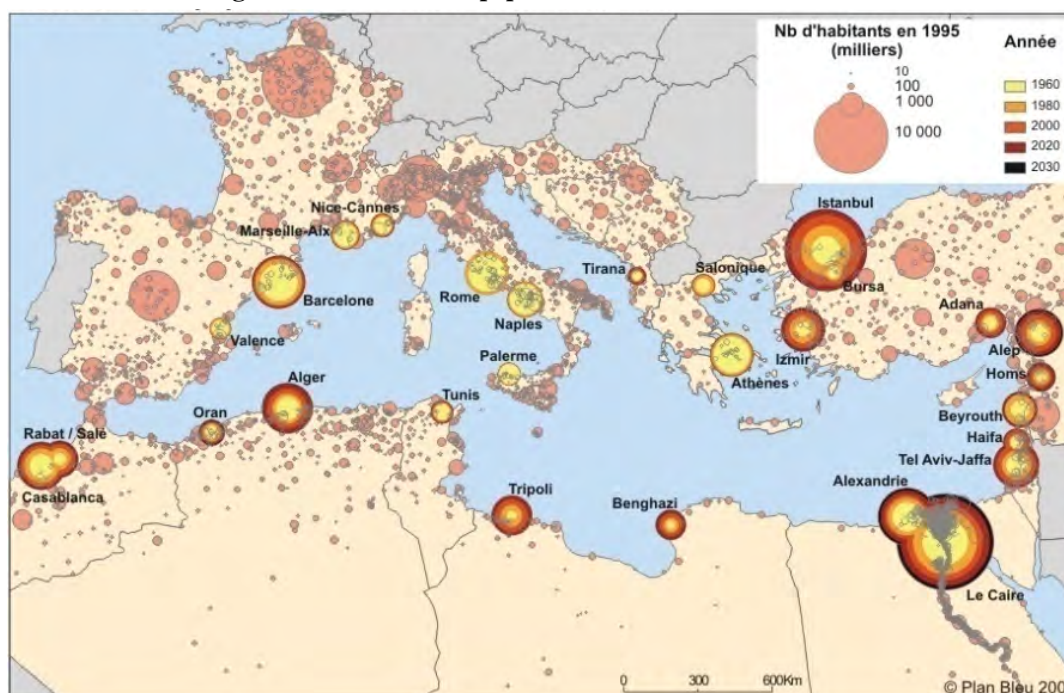
1.1. Une population de plus en plus urbaine

Dans l'ensemble des vingt-et-un pays du pourtour méditerranéen, la population urbaine – résidant dans des agglomérations de plus de 10 000 habitants – est passée de 94 millions en 1950 (44 % de la population) à 274 millions en 2000 (64 %). Les pays du nord de la Méditerranée enregistrent aujourd'hui des régimes de croissance très modérés (0,7 % pour 1970-2000) qui devraient se maintenir à l'avenir, alors que les pays méditerranéens du sud et de l'est connaissent une urbanisation accélérée (3,6 % pour 1970-2000) qui pose des défis immenses en termes de développement durable.

Vers 2025, la population citadine pourra atteindre plus de 243 millions dans les pays Est et Sud (145 millions en 2000) et près de 135 millions dans les pays de la rive européenne (129 millions en 2000). Un gros tiers de cette croissance aura lieu dans les régions côtières méditerranéennes (Plan Bleu, 2005).

Avec l'urbanisation et la baisse de fécondité enregistrée au sud et est de la Méditerranée, le modèle familial se transforme, la taille des ménages se réduit, le nombre de ménages augmente à un rythme supérieur à celui de la croissance démographique et la demande de logements devient plus massive. Par exemple, le déficit de logements est aujourd'hui de 1 million au Maroc et les besoins additionnels estimés entre 100 000 et 125 000 logements par an (Guerida, 2007).

Figure 5 – Evolution de la population des villes méditerranéennes



Source : Plan Bleu d'après *Géopolis* 1998 et UN Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2005 Révision*

Dans les régions côtières, la population pourrait atteindre 174 millions d'habitants en 2025 (143 millions en 2000), dont 90 millions dans les villes littorales. S'y ajoutent les flux saisonniers de touristes, qui peuvent doubler le nombre d'habitants sur le littoral pendant les périodes de pointe. Ces évolutions démographiques et touristiques induisent une forte croissance des infrastructures et des équipements sur le littoral, se traduisant in fine par une artificialisation grandissante des côtes et une fragilisation accrue des écosystèmes et des paysages littoraux (Plan Bleu, 2005).

1.2. Vulnérabilité des espaces urbains au changement climatique

Les impacts du changement climatique sur les espaces urbains et le cadre bâti concernent notamment l'augmentation des températures, les événements hydrométéorologiques extrêmes et la montée du niveau de la mer.

Du fait même de la structure urbaine, le **réchauffement** local est plus accentué en ville que dans les campagnes environnantes. Les canicules y sont plus marquées, intensifiées par la quantité réduite d'espaces verts et la faible évapotranspiration de la végétation, avec des effets redoutables sur la santé, l'économie et l'environnement : mortalité accrue des catégories vulnérables de population (personnes âgées), diminution du confort et de la productivité des citadins comme de l'économie urbaine, pics de demande d'installations de climatisation et pics de consommation d'électricité, avec une augmentation du réchauffement global. En 2003, la vague de chaleur en Europe avait entraîné plus de 30 000 décès ; à l'avenir, les impacts des étés très chauds et des vagues de chaleur plus fréquents seront lourds dans les villes méditerranéennes.

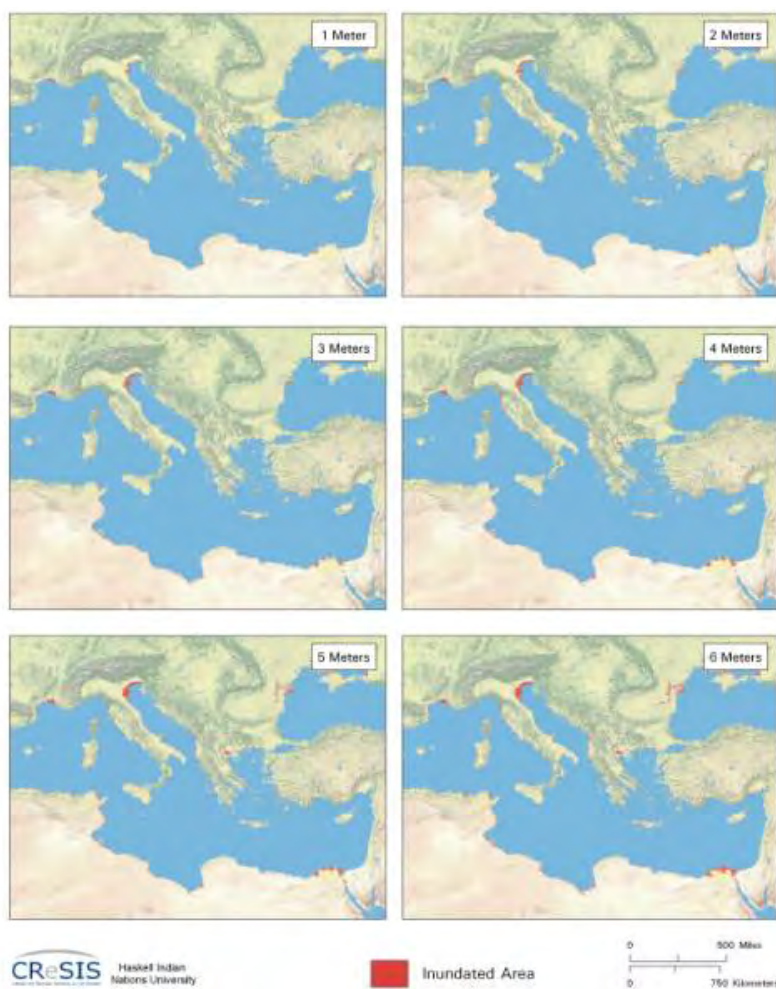
Les modèles climatiques prévoient une augmentation sensible de la vulnérabilité urbaine aux catastrophes hydrométéorologiques. En Méditerranée, les zones d'habitat spontané, très densément peuplées, sont particulièrement exposées aux événements extrêmes (inondations, glissements de terrain) dont la fréquence et l'intensité pourront s'accroître à l'avenir. De 1975 à 2001, sur 480 événements extrêmes survenus en Méditerranée, les pays les plus affectés en nombre de victimes ont

été la Turquie, l'Italie, l'Algérie, la Grèce et l'Égypte. Les inondations catastrophiques liées aux précipitations violentes, et aggravées par le déboisement et les constructions sur les pentes, constituent un risque majeur pour un grand nombre de villes méditerranéennes en Espagne, France, Italie, Algérie, etc. Les inondations à Alger en 2001 (920 morts, 50 000 personnes sinistrées) et d'autres catastrophes très meurtrières du même type, mettent régulièrement en évidence l'application défailante des règles d'urbanisme et de construction, accentuant la vulnérabilité des villes (Plan Bleu, 2005).

Les villes situées sur les zones côtières très basses et dans les zones de deltas devront affronter la montée du niveau de la mer (Figure 6). Une élévation du niveau de la mer de 1 mètre¹ affecterait 6% et 10% de la population totale en Tunisie et en Egypte respectivement (Figure 7). Des expositions plus importantes des infrastructures à l'action des vagues (érosion) et tempêtes côtières comptent parmi les impacts les plus sérieux.

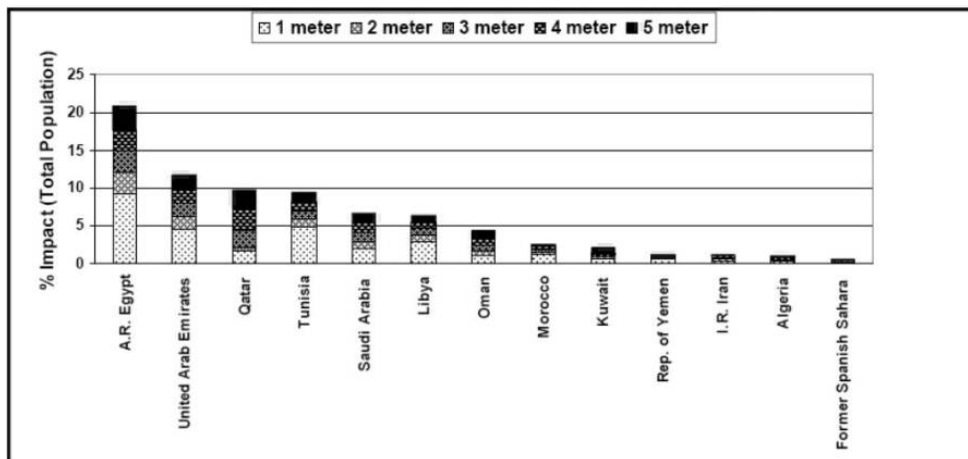
En Egypte, l'impact financier pourrait atteindre 7% du PIB – perte de 13% des terres agricoles, perte d'habitat, de biodiversité, de ressources d'eau et impacts négatifs sur la santé (Figure 8). La ville d'Alexandrie, mais aussi Rosetta et Port Saïd, sont particulièrement vulnérables : une élévation du niveau de la mer de 50 cm pourrait entraîner la perte de 200 000 emplois et 30 milliards de dollars de pertes de terres agricoles et d'infrastructures d'habitations (scenario *business as usual*) (El Raey, 2007).

Figure 6 - L'impact d'une élévation du niveau de la mer Méditerranée



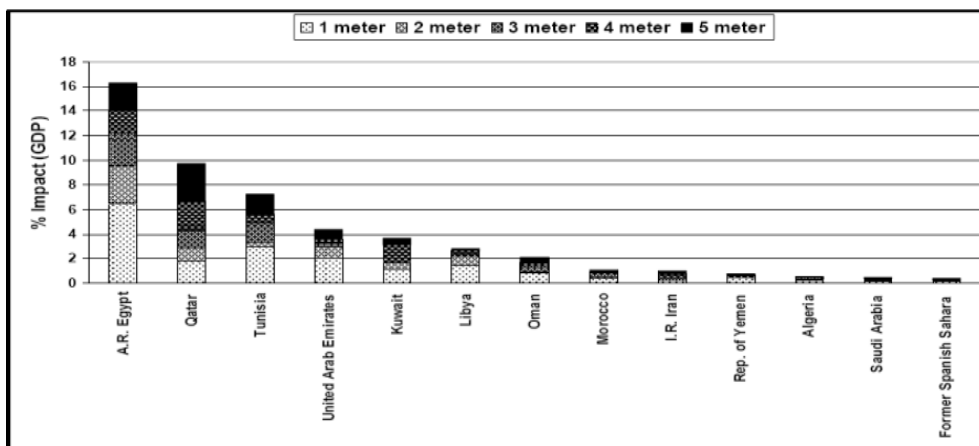
¹ Il est cependant à noter que les modèles climatiques prévoient une élévation du niveau de la mer, sur certaines rives, comprise entre 30 et 60 cm à l'horizon 2100 et que les connaissances en la matière pour la Méditerranée sont encore très incomplètes. Pour plus de détails, se référer au chapitre 1 de la partie 1.

Figure 7 - Impact d'une élévation du niveau de la mer sur la population des pays MENA



Source: El Raey, 2007

Figure 8 - Coût d'une élévation du niveau de la mer dans les pays MENA (en % du PIB)



Source: El Rey, 2007

2. PISTES D' ACTIONS POUR L' ADAPTATION

2.1. Des stratégies d' adaptation qui s' inscrivent dans une logique de mitigation sur le plus long terme

En matière d' adaptation, le déplacement de populations des zones côtières basses vers des zones plus hautes est envisagé, mais la mise en œuvre serait très difficile. Une autre possibilité est la mise en place des protections côtières efficaces, ce qui pourrait prendre 20 à 30 ans. En somme, il faudrait que l' adaptation devienne une priorité des pouvoirs publics dès maintenant pour qu' elle puisse faire une différence demain.

Par ailleurs, l' énergie est consommée principalement dans les villes. Les données manquent pour chiffrer cette consommation mais on sait que dans les pays du nord de la Méditerranée, la croissance de la consommation finale d' énergie provient d' abord du secteur des transports, qui représentait environ un tiers du total en 2005, contre environ 20 % en 1970. Dans les pays du sud et de l' est, c' est le secteur résidentiel/ tertiaire qui représente le premier poste de consommation (près de 40 %)

et qui connaît des progressions spectaculaires (croissance annuelle d'environ 5 % entre 1971 et 2005).

Au niveau mondial, les villes génèrent environ 75% des émissions de gaz à effet de serre. Les consommations les plus importantes en ville proviennent des bâtiments et du transport, deux des secteurs les plus émetteurs de gaz à effets de serre.

Les transports constituent le secteur clef en matière de réduction de consommation d'énergies fossiles et des émissions de GES. Néanmoins, leur mutation à moyen terme est jugée plus difficile que celle des bâtiments. Le bâtiment présente un potentiel d'économies d'énergie jugé aussi très important, c'est le secteur où ces économies deviennent les plus accessibles à moyen terme².

2.2. Le bâtiment, secteur à fort potentiel d'économies d'énergie

Le secteur du bâtiment pèse lourd dans la consommation d'énergie. En Europe, il représente le premier secteur consommateur d'électricité et le second pour les énergies fossiles (après les transports).

Les consommations énergétiques des bâtiments, résidentiels, administratifs et commerciaux, dépendent en grande partie des caractéristiques de l'environnement naturel. Le besoin en énergie des bâtiments peut être réduit par un bâti bien isolé et conçu en respectant les règles de l'architecture bioclimatique. Les centres historiques de Rome, Venise, Florence, Athènes, Barcelone, Marseille, Istanbul ou les médinas des villes arabes, sont autant d'exemples de villes « bioclimatiques », dont la construction avait été guidée par le souci de préservation de l'énergie et par des principes d'architecture aujourd'hui revalorisés, tels que :

- orientation choisie pour capter le soleil en hiver et réduire les apports de chaleur en été ;
- isolation des murs et toitures, réduction des pertes de chaleur ;
- réduction des besoins de rafraîchissement (ventilation, ombrages extérieurs, couleurs, protection solaire des vitres, murs et toitures) ;
- éclairage intérieur en tenant compte de la luminosité spécifique en Méditerranée.

Avec l'usage massif d'énergies fossiles, c'est l'architecture internationale des gratte-ciel de verre et d'acier, non viables sans air conditionné ou chauffage, qui s'est développée partout, y compris sur les rives de la Méditerranée. Les inquiétudes écologiques planétaires toutes récentes suscitent un retour vers les principes de l'architecture bioclimatique, dont le potentiel peut être démultiplié grâce à l'utilisation des technologies actuelles.

En matière d'isolation thermique et d'éclairage, des solutions techniques adaptées existent pour réduire les consommations d'énergie des bâtiments : étude d'ensevelissement initiale, utilisation de l'énergie solaire disponible (sous forme de lumière ou de chaleur) en évitant la surchauffe estivale, isolation thermique, ventilation nocturne..., pour le parc des logements neufs. La difficulté est de construire ces logements à un coût (ou avec un financement) accessible et à un rythme suffisamment important pour que les résultats soient énergétiquement significatifs.

En Méditerranée, si l'on tient compte du fait que 30 et 60 % du parc logements dans les villes du sud et de l'est (mais aussi dans les villes de l'Adriatique est) relève de l'habitat non réglementaire, le problème est celui de comment favoriser la pénétration ou la réintroduction des techniques de

² Par ailleurs, le développement de nouvelles énergies et de l'efficacité énergétique peut être considéré comme une opportunité économique et générer de nombreux emplois nouveaux, en particulier dans le bâtiment.

l'architecture bioclimatique dans le marché du bâtiment, ce qui nécessite aussi d'une bonne compréhension des processus socio-économiques qui organisent ces marchés, formels et informels. Au Maroc par exemple, 80 % de la construction de logements se fait par le biais de l'autoconstruction ; d'importants programmes d'efficacité énergétique et de dynamisation du bâtiment ont été récemment mis en place (Encadré 1).

Encadré 1 - Bâtiment, efficacité énergétique et requalification urbaine au Maroc

Le Maroc met en place un programme d'efficacité énergétique dans les bâtiments (programme du ministère de l'Habitat, du ministère du Tourisme, du ministère de la Santé et de l'Éducation nationale) à travers une réglementation thermique visant la conception architecturale, les matériaux de construction et les systèmes électromécaniques (ex : climatisation ou chauffage, approche de labellisation). Cette initiative s'inscrit dans le cadre d'un programme national visant un objectif de 10 % d'énergies renouvelables à l'horizon 2012.

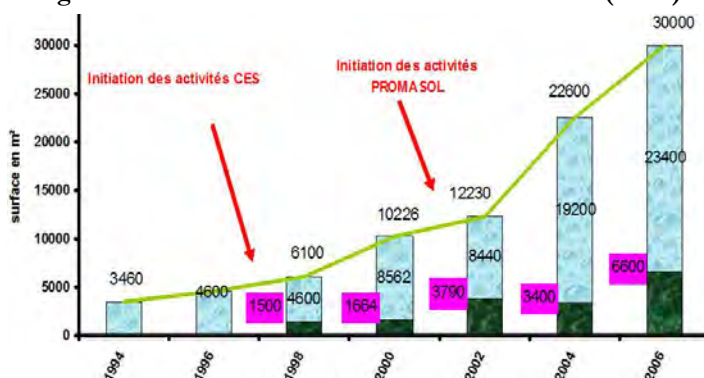
Pour répondre aux enjeux du développement urbain et des besoins de logements, un programme de dynamisation du secteur du bâtiment a aussi été mis en place : 100 000 logements nouveaux ont été mis sur le marché en 2005, contre 30 à 40 000 en moyenne jusqu'en 2002. Pour les cinq prochaines années, le programme prévoit d'atteindre 150 000 à 200 000 logements nouveaux par an, objectif nécessaire pour faire face à la demande.

Par ailleurs, un programme de requalification urbaine pour la résorption de bidonvilles concerne environ 750 000 ménages, et autant de logements en état dégradé, généralement dans les grandes villes. Enfin, le pays doit se doter d'un nouveau code de l'urbanisme, afin de définir les zones à ouvrir à l'urbanisation

Pour les logements existants et les bâtiments anciens (leur part est difficile à chiffrer³) en revanche, la rénovation et le renouvellement vont requérir des efforts considérables pour mettre à disposition des produits spécifiques au marché de la rénovation. Compte-tenu de l'importance du parc de bâtiments existants en Méditerranée et de la faiblesse de leurs performances énergétiques, le projet d'Institut du bâtiment méditerranéen - IB Med (cf. liste des réseaux à la fin), ciblé sur l'amélioration des pratiques en réhabilitation, constitue une initiative prometteuse.

« L'eau chaude solaire » présente aussi un potentiel significatif de réduction des consommations d'énergie en région méditerranéenne. Bien que d'énormes progrès restent à accomplir, plusieurs pays riverains font déjà appel à ces solutions énergétiques. Des programmes ont été lancés au Maroc⁴ (Figure 9) et en Tunisie pour faire évoluer le marché du chauffe eau solaire. En Turquie, en Grèce et à Chypre les toits des bâtiments en ville sont souvent utilisés pour ce type d'installations.

Figure 9 - Installation de chauffe-eau solaires au Maroc (en m²)



Source. Berdaï, 2007

Les actions mises en œuvre restent cependant très limitées au regard des opportunités qu'offre l'ensoleillement exceptionnel de la région. Par ailleurs, au sud et à l'est de la Méditerranée, les initiatives relèvent généralement des pouvoirs publics à l'échelon national et pas des villes elles-mêmes, en raison de leurs faibles capacités administratives et surtout techniques et financières.

³ A l'échelle française, 2/3 des logements existants ont été construits avant 1974, c'est à dire avant toute obligation de performance énergétique.

⁴ Le Maroc possède également une expérience réussie en matière d'énergie solaire photovoltaïque en milieu rural et en préservation de la ressource en bois de feu. Le programme d'efficacité énergétique dans les bâtiments devrait dynamiser la pénétration des énergies renouvelables décentralisée en ville.

Sur la rive nord, l'agglomération de Montpellier fournit un exemple de recherche d'efficacité énergétique (Encadré 2) et d'urbanisation mieux réfléchie, avec la création d'un « éco-quartier » caractérisé par une gestion efficace de l'énergie, de l'eau, des déchets et le développement des transports en commun.

Encadré 2 - L'expérience de l'agglomération de Montpellier (Hérault), 470 000 habitants

En 1985, la création d'un service énergie, comptant à présent 21 employés, a permis d'entamer un programme d'efficacité énergétique.

- Bureau d'études pour la conception des installations énergétiques (3 personnes),
- Service entretien pour la conduite et le pilotage des 311 chaufferies (16 personnes),
- Service gestion de l'énergie pour le suivi des consommations et factures et l'optimisation tarifaire (2 personnes).

Montpellier "urbaniste "

Une volonté politique forte de rééquilibrer l'urbanisme à Montpellier s'est illustrée par :

- La création des quartiers Antigone et Port-Marianne, proches du centre ville, afin de rapprocher les lieux d'habitation des lieux de travail.
- La mise en place d'un grand secteur piétonnier en centre ville, afin de limiter fortement la circulation automobile.
- La création de 54 km de pistes cyclables.
- La mise en place, en 2000, d'une première ligne de tramway de 15 km.
- D'autre part, une convention d'aménagement avec EDF-GDF sur le secteur de Port-Marianne favorise l'usage du gaz naturel sur cette zone en remplacement du chauffage électrique.
- Création d'un « éco-quartier »

Montpellier "productrice et distributrice"

- Distribution de chaleur (50 000 MWh) et de froid (18 000 MWh) par le réseau montpelliérain de chauffage et de climatisation (RMCC), qui est contrôlé par une société d'économie mixte de la ville de Montpellier (SERM).
- Utilisation du charbon des Cévennes et du gaz naturel dans le RMCC.
- Mise en place à l'automne 1996 d'une unité de cogénération au gaz naturel sur le RMCC.
- Equipement des bâtiments publics en photovoltaïque et solaire thermique (en 2005, installation de 1600 m² de capteurs produisant 129 000 kw)
- Extraction de biogaz issu des anciennes décharges pendant 25 ans, valorisé sur place.

Montpellier "consommatrice"

Bâtiments communaux :

- Cohérence entre la conception des bâtiments, l'exploitation des installations énergétiques et la gestion des dépenses d'énergie, afin d'assurer le meilleur coût global.
- Actions de maîtrise de la demande d'électricité.
- Télégestion des chaufferies.

Éclairage public :

- Modernisation des 17 000 points lumineux par des appareils à haut rendement.

Gestion énergétique :

- Optimisation tarifaire chaque année.
- En interne : notes de service pour sensibiliser les agents municipaux aux économies de chauffage et d'électricité dans les bâtiments et pour mieux concevoir les installations énergétiques lors de la réhabilitation ou de la construction des équipements municipaux.
- En externe : informations sur les actions de la ville de Montpellier en matière d'économies d'énergie, sur les enjeux de la maîtrise de l'énergie, sur l'optimisation tarifaire des abonnements EDF.

Résultats et projets :

Globalement, entre 1985 (date de la création du service énergie) et 1999, les actions de maîtrise de l'énergie ont permis de réduire de 53,5 % la facture énergétique des bâtiments communaux. Depuis 2005, le gain associé aux investissements réalisés dans ce domaine est de 64 000 euros par an. S'y ajoutent les recettes issues de la valorisation des déchets (35 000 euros par an). Un programme d'un montant de 2 millions d'euros est engagé en vue d'équiper les bâtiments anciens et nouveaux de 3200m² de capteurs thermiques ou photovoltaïques permettant de produire 590 000kw de chaleur ou d'électricité en évitant le rejet de 100 tonnes de gaz carbonique.

Objectif : réduction de 20% de la consommation d'énergie sur les équipements actuels ou en devenir.

Source : JP Mourre, 2007 et informations issues de <http://www.sortirdunucleaire.org/>

2.3. Transports et usage des sols

L'avenir des consommations énergétiques des transports est plus inquiétant, leur croissance apparaît la plus rapide dans les scénarios tendanciels. Les facteurs déterminants sont plus difficiles à influencer par les politiques publiques.

Au niveau mondial, entre 1990 et 2004, les émissions de CO₂ du secteur transport ont augmenté de 36,5 % ; la croissance des émissions dues au transport routier ont été de 29 % dans les pays industrialisés et de 61 % dans les pays en développement et économies en transition. Trois quarts des émissions (76 %) proviennent du transport routier, notamment voitures, véhicules utilitaires, fourgonnettes (GTZ 2007 d'après AIE 2006), mais les chiffres manquent encore pour montrer la part relative des transports urbains dans cet ensemble.

Trois voies sont aujourd'hui explorées pour réduire les émissions de CO₂ dues au transport. Les deux premières visent à rendre l'offre de transports urbains plus respectueuse de l'environnement ; leur impact sur la réduction des émissions dépend des facteurs suivants : nombre de véhicules, niveau de congestion, comportement des conducteurs (vitesses), état du parc de véhicules, type de carburant.

L'amélioration du rendement énergétique des véhicules et le passage à des carburants moins carbonés ont des effets de réduction de la pollution atmosphérique locale (cf. la politique égyptienne de conversion du parc de véhicules au gaz naturel). En dépit de leur intérêt, il s'agit de politiques dites « end of the pipe » ; toutes les études montrent qu'elles ne suffiront pas à atteindre des objectifs de stabilisation des émissions GES.

La deuxième voie, celle du transfert modal vers des modes moins polluants nécessite des politiques vigoureuses de développement des transports en commun (infrastructures de transport de masse, subventions au fonctionnement...), avec en parallèle des mesures de limitation de l'usage de la voiture individuelle (stationnement payant en ville, péage urbain...).

En Méditerranée, les réalisations et projets de tramways par exemple, se sont multipliés ces dernières années (Alicante, Valencia, Barcelone, Montpellier, Marseille, Nice, Rome, Naples, Palerme, Athènes, Le Caire, Tunis, Alger, Constantine, Oran, Rabat...), avec quelques exemples de diminution de la congestion, de la consommation énergétique et des émissions polluantes dans les zones centrales des villes. Cependant, les problèmes de circulation à l'extérieur des centres-villes se sont aggravés.

Enfin, parce que le développement des transports de masse peut provoquer l'étalement urbain et amplifier l'usage de la voiture dans les périphéries, le troisième type de mesures vise à faire diminuer la demande de déplacements motorisés, en agissant sur la structure urbaine, sur l'organisation spatiale des villes, qui exerce une forte influence sur la demande de déplacements et la consommation énergétique des transports. Il s'agit notamment de la maîtrise de l'étalement urbain et de la demande de transport via la planification croisée de la ville et des transports, en préservant les structures urbaines compactes et en organisant la ville de façon à qu'elle génère moins de déplacements, surtout motorisés⁵. C'est la recherche d'une « ville aux courtes distances ».

Les actions dans ce domaine engagent l'avenir pour un très long terme ; elles revêtent de ce fait une certaine urgence. C'est pourtant très difficile à réaliser, car la structure urbaine est largement régie par le fonctionnement des puissants marchés fonciers et immobiliers. Néanmoins, il est possible d'infléchir quelque peu les tendances avec les plans d'aménagement et d'urbanisme (périmètre

⁵ La planification croisée de la ville et des transports a été récemment introduite dans des pays industrialisés (Pays-Bas, Grande-Bretagne, Norvège...) et en développement (Brésil, Singapour...) afin de contenir l'usage excessif de l'automobile. L'accent est mis sur une densification des tissus urbains, notamment autour des stations et points de correspondance des transports collectifs.

d'urbanisation, mixité fonctionnelle, densité d'occupation du sol), en parallèle à des actions de dynamisation des logements intramuros.

2.4. Des pistes de réflexion à approfondir

Les pays du sud de la Méditerranée connaissent une urbanisation accélérée (74% de la population des PSEM serait urbaine en 2025). Cette première section s'est penchée sur les impacts anticipés du changement climatique sur les espaces urbains et a mis en évidence leur vulnérabilité croissante au réchauffement, aux événements hydrométéorologiques extrêmes et à la montée de la mer.

Les stratégies d'adaptation au changement climatique et celles visant l'atténuation ont été évoquées au regard de leur plus ou moins grande difficulté de mise en œuvre.

Avec la demande massive de logements au sud de la Méditerranée, le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) présente un très fort potentiel d'économies d'énergie. Les solutions techniques sont connues pour pouvoir espérer des progrès à moyen terme. Les difficultés majeures sont de deux ordres :

- d'une part, comment favoriser la pénétration ou la réintroduction des solutions techniques dans le marché du bâtiment neuf alors qu'entre 30 et 60 % du parc logements des villes du sud et de l'est (mais aussi dans les villes de l'Adriatique est) relève de l'habitat non réglementaire et de l'autoconstruction ;
- d'autre part, compte-tenu de l'importance du parc de bâtiments existants et anciens en Méditerranée, comment améliorer et multiplier les pratiques de rénovation et réhabilitation pour atteindre des objectifs énergétiquement significatifs.
- Dans le secteur des transports urbains, deux voies principales de progrès ont été évoquées :
- les actions sur l'offre de transports urbains afin de réduire les impacts sur l'environnement, local et global, notamment via des politiques de développement de transports collectifs et de transfert modal ;
- les politiques visant à infléchir la demande de déplacements à la source, à travers une organisation spatiale de la ville qui génère moins de déplacements ; ce sont des solutions en termes de politiques urbaines, conjuguant mixité fonctionnelle et densités afin de contenir l'étalement urbain.

La deuxième voie est certainement la plus difficile, les facteurs déterminant la demande sont plus complexes à influencer par les politiques publiques, cette voie est néanmoins incontournable si les tendances à l'œuvre doivent être infléchies. La réflexion et l'action dans ce domaine n'en sont que plus urgentes.

REFERENCES

- Billé R., 2007, Tourisme et changement climatique en Méditerranée, Communication lors de la 12ème réunion de la Commission Méditerranéenne de Développement Durable.
- British Council, 2004, A Briefing on Climate Change and Cities, Briefing Sheet 30, Prepared by the Tyndall Centre for Climate Change Research. London
- Coudert, E., 2007, « Protéger et valoriser le littoral méditerranéen, bien commun menacé », Les notes du Plan Bleu, 6.
- Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale, 2008, « Déplacements touristiques des Français : hyper concentration des comportements les plus émetteurs de gaz à effet de serre », Evaluation du Ministère de l'Ecologie et du Développement et de l'Aménagement Durables, hors série, février.
- Energaia, communications de (disponibles sur www.planbleu.org) :
- M. Mohamed BERDAÏ - CDER - Directeur de la Coopération Internationale (Maroc)
- M. Ali GUEDIRA - Ministère de l'Habitat et de l'Aménagement de l'Espace - Directeur Technique - (Maroc)
- M. Hans Günter BRAUCH - Professeur à Berlin (Allemagne)
- M. Mohamed El REY, Professeur, Université d'Alexandrie (Egypte)
- M. Jean-Pierre MOURE - Premier Vice Président de la Communauté d'Agglomération de Montpellier Conseiller Général du Département de l'Hérault Maire de la commune de Cournonsec (France)
- M. Jean-Paul CERON - Chercheur - Centre de Recherches Interdisciplinaires en Droit de l'Environnement, de l'Aménagement et de l'Urbanisme (CRIDEAU) Université de Limoges (France)
- M. Stefanos FOTIOU - UNEP - Programme Officer
- M. Cevat TOSUN - School of Tourism & Hospitality Management - Associate Professor (Turquie)
- GTZ, 2007. Transport and Climate Change. In "Sustainable Transport Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities"
- IIED, Reid H., Satterthwaite D.; 2007 "Climate change and cities: why urban agendas are central to adaptation and mitigation". Sustainable Development Opinion
- Laria S., 2007, « L'avenir en Méditerranée se jouera dans les villes », Les notes du Plan Bleu, 7.
- Plan Bleu, 2005, *MEDITERRANEE – Les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement*, Benoit, G, Comeau, A., éditions de l'Aube.
- PNUE/PAM/Plan Bleu, 2005, Dossier sur le tourisme et le développement durable, MAP Technical Report n°159.
- UNEP, 2007. Buildings and Climate Change. Status, Challenges and Opportunities

Quelques réseaux professionnels et projets

Energie Cités. Forte de plus de 150 membres de 24 pays, représentant plus de 500 villes, Energie-Cités est l'association des autorités locales européennes pour une politique énergétique locale durable.

MEDENER. Association des agences nationales d'efficacité énergétique des pays méditerranéens

UMAR (Union méditerranéenne des architectes). Fondée en 1994 à Rabat, l'UMAR rassemble les organisations nationales représentatives des architectes des pays riverains du bassin méditerranéen, 18 pays du pourtour y sont représentés. L'UMAR a signé une convention de partenariat avec l'association internationale SD-MED (Association pour la coopération en développement et en construction durable en méditerranée).

IB Med. La Région Provence Alpes Cote d'Azur (France) a lancé, fin 2006, une étude de pré-faisabilité en vue de créer un Institut du Bâtiment Méditerranéen. Le projet est soutenu par sept organisations (PUCA, ANAH, ADEME, Caisse des Dépôts et Consignations, UMAR). Un appel à projets IB Med a été lancé afin de compléter le champ des connaissances existantes dans le domaine de l'habitat et de l'urbanisme dans les zones méditerranéennes, et faciliter la prise en compte des objectifs de développement durable dans les bâtiments et projets d'aménagement urbains. Compte-tenu de l'importance du parc de bâtiments existant et de la faiblesse de leurs performances énergétiques, le choix a été fait de viser l'amélioration des pratiques en réhabilitation.

EnviroBAT. L'association EnviroBAT - Méditerranée a pour vocation de promouvoir et de développer la qualité environnementale des opérations de bâtiment et d'aménagement du territoire, en région méditerranéenne.

Soutenue par la Région PACA et l'ADEME, elle regroupe des acteurs de l'ensemble de la filière aménagement - bâtiment : maîtres d'ouvrage, collectivités locales, architectes, bureaux d'études, artisans, entreprises, paysagistes, urbanistes ...

MED-ENEC. Projet euroméditerranéen d'efficacité énergétique et d'utilisation de l'énergie solaire dans le domaine du bâtiment en Méditerranée.