



Des stratégies de gestion intégrée des ressources en eau et en énergie pour faire face au changement climatique

"Hot spot" du changement climatique, la Méditerranée sera, au cours du XXI^{ème} siècle, le siège de changements particulièrement marqués en termes d'élévation des températures et de diminution des précipitations moyennes, de variabilité interannuelle et d'événements météorologiques extrêmes.

Ces évolutions climatiques accentueront les fortes pressions déjà existantes sur les ressources en eau et en énergie des pays riverains. La diminution des ressources en eau devrait conduire à une baisse de la production d'électricité d'origine hydraulique notamment. Les besoins en énergie pour l'eau, qui représentent, d'ores et déjà, près de 10 % de la demande totale en électricité dans les pays du Sud et de l'Est, devraient dans le même temps augmenter.

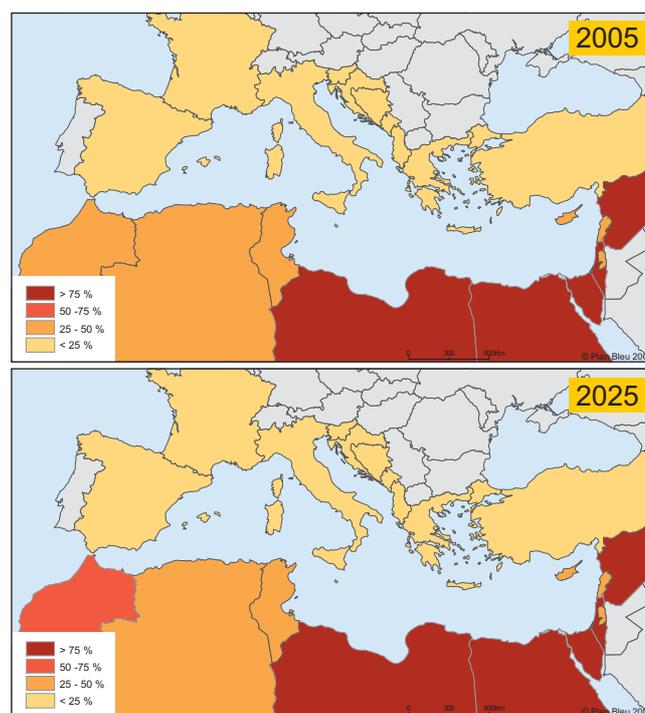
Dans ce contexte, les systèmes "eau énergie" des pays méditerranéens devront s'adapter.

Des pressions croissantes sur les ressources en eau et en énergie

Dans les pays du pourtour méditerranéen, les ressources en eau sont limitées et inégalement réparties dans l'espace et dans le temps. Les pays du Sud reçoivent seulement 10% du total des précipitations moyennes annuelles. Alors que les ressources sont déjà surexploitées en maints endroits (figure 1), l'augmentation des besoins en eau restera très forte du fait de la croissance démographique au Sud et à l'Est, du développement des terres irriguées, de l'industrie et du tourisme. La demande en eau des pays méditerranéens, qui a déjà doublé au cours de la 2^{ème} moitié du XX^{ème} siècle, devrait ainsi augmenter d'environ 50 km³ d'ici à 2025 pour atteindre près de 330 km³/an, soit un niveau difficilement compatible avec les ressources renouvelables.

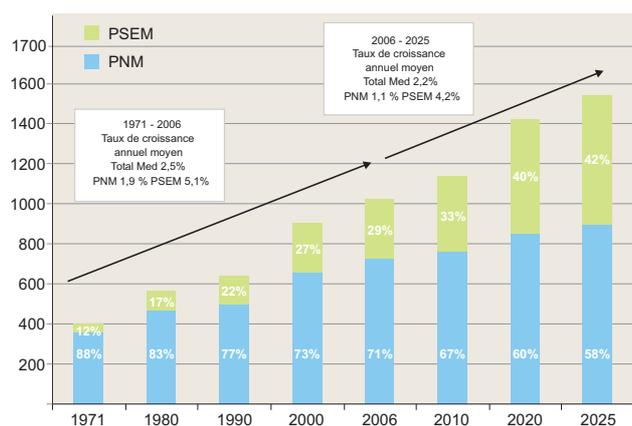
La demande totale en énergie primaire commerciale de l'ensemble des pays riverains est, de même, en très forte croissance. Elle devrait augmenter de 65% d'ici à 2025. Les pays du Sud et de l'Est (PSEM), en plein développement, pourraient connaître des taux de croissance de leur demande énergétique 4 fois plus élevés que ceux des pays du Nord (PNM). Déjà multipliée par quinze entre 1970 et 2005, leur consommation finale d'électricité pourrait encore doubler d'ici à 2020 (figure 2).

Figure 1 : Indices d'exploitation des ressources en eau naturelles renouvelables, pays entiers, 2005 et 2025



Source : Plan Bleu, 2008
Note : 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.

Figure 2 : Demande d'énergie primaire en Méditerranée : évolutions tendancielles (en MTep)



Source : OME (observatoire méditerranéen de l'énergie), 2006

De plus, les pressions sur les ressources en eau et la hausse de la demande énergétique seront exacerbées par les effets du changement climatique. Les modèles climatiques décrivent une hausse des températures qui pourrait se situer entre 2,2 et 5,1°C à l'horizon 2100 et une diminution des précipitations moyennes qui pourrait être comprise entre 4 et 27%, avec un recul particulièrement marqué en été.

Ces évolutions devraient conduire à une diminution des ressources en eau mobilisables sur les trois rives et à une augmentation de la demande en eau, notamment dans le secteur agricole. Les mesures d'adaptation au changement climatique pourraient, quant à elles, entraîner une augmentation de la demande d'énergie, très sensible aux évolutions de la température de l'air. 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, relativement à la moyenne mondiale, dans la mesure où les énergies fossiles constituent l'essentiel de l'approvisionnement énergétique, notamment dans les PSEM.

Eau et changement climatique, vers une baisse du potentiel électrique mobilisable

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 à flamme ou nucléaires. En 2005, 13% de l'électricité produite dans les PSEM est d'origine hydraulique, le reste provenant de centrales thermiques à gaz, pétrole et charbon. Au Nord, l'hydroélectricité représente 12% de la production électrique et les centrales nucléaires assurent 40% de cette production (figure 3).

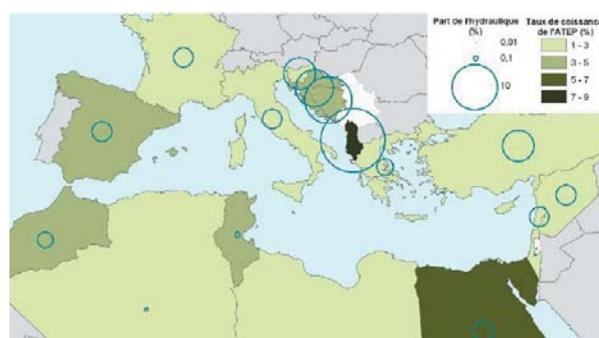
La production d'électricité est ainsi fortement dépendante de la disponibilité quantitative et

qualitative de la ressource en eau. La sécurité du réseau de transport et de distribution peut, par ailleurs, être durablement affectée par des événements climatiques majeurs (tempêtes, épisodes de neige collante...) dont la fréquence et l'intensité risquent d'augmenter. L'évaluation et la prise en compte des impacts du changement climatique constituent, en ce sens, des enjeux prioritaires pour les énergéticiens.

Certains pays ont déjà enregistré une baisse significative de leur production hydroélectrique liée à la diminution des apports en eaux de surface dans les barrages. Ainsi, au Maroc, la moyenne nationale de ces apports a chuté d'environ 20% au cours des 30 dernières années en raison de la modification du régime des précipitations. La production hydroélectrique a connu de grandes variations et n'a atteint, en moyenne, que près de la moitié de la production escomptée. Pour compenser ce déficit, le pays a dû s'orienter vers la production énergétique d'origine thermique, émettrice de gaz à effet de serre.

L'augmentation de la température des cours d'eau peut, par ailleurs, engendrer une diminution importante de la production électrique du fait des valeurs limites à respecter pour la température des rejets en aval des centrales thermiques. Durant l'été 2006, la puissance de certaines centrales françaises a ainsi été rendue momentanément indisponible. Le maximum d'effacement de puissance a atteint 5 000 MW sur le Rhône (EDF, 2007), ce qui est considérable au regard des conditions de sécurité et de stabilité du réseau.

Figure 3 : 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

Outre l'analyse des données observées, il s'avère nécessaire d'évaluer les incidences futures du changement climatique sur les ressources en eau. Des simulations réalisées à l'échelle européenne montrent que les pays du Sud de l'Europe pourraient connaître une baisse des débits de leurs cours d'eau de l'ordre de 10 à 30% d'ici 2070 (Lehner & al., 2001). S'agissant de l'enneigement, les simulations réalisées dans les Alpes françaises montrent une altération très sensible à

Tableau 1 : Les demandes en eau et en électricité en 2005 et 2025 dans les pays méditerranéens

	PNM		PSEM		Total Méditerranée	
	2005	2025	2005	2025	2005	2025
Demande en eau (km ³ /an)	128	132	152	200	280	332
Demande en électricité (TWh)	1209	1665	392	1130	1601	2795
<i>dont pour l'eau (TWh)</i>	51	92	30 à 45	200	81 à 96	292
<i>% électricité pour l'eau</i>	4,5	5,5	7,5 à 11,5	18	5 à 6	10,5

Sources : Plan Bleu, OME, 2007

l'horizon 2050 avec 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 fréquents et plus difficiles à soutenir.

Ces évolutions devraient impacter sensiblement la gestion saisonnière des grandes réserves hydroélectriques et entraîner une diminution du potentiel hydroélectrique mobilisable qu'il faudra prendre en compte pour caler des objectifs réalistes en matière d'énergies renouvelables à long terme. Pour certains pays, comme l'Egypte où 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 débits des cours d'eau rendent très difficile l'estimation du potentiel hydroélectrique futur.

20% de la demande en électricité pour la gestion de l'eau au Sud et à l'Est en 2025

La consommation moyenne d'électricité pour l'eau varie fortement en région méditerranéenne, en particulier entre les pays où l'eau est produite de façon conventionnelle et ceux pour lesquels la production d'eau non conventionnelle est importante (dessalement d'eau de mer, transferts...). Elle a été évaluée, en 2005, à 0,4 kWh/m³ en France et à 1,5 kWh/m³ en Israël. Pour estimer les quantités d'énergie moyennes requises à l'échelle méditerranéenne, les valeurs suivantes ont été retenues : entre 0,2 et 0,3 kWh/m³ d'eau produite et traitée dans les PSEM, 0,4 kWh/m³ pour les PNM (Rouyer, 2007).

Les besoins actuels en électricité pour la production et la mobilisation de l'eau, incluant le pompage, le traitement de l'eau potable, le transport et la distribution, l'épuration des eaux usées, le dessalement et les transferts, représenteraient ainsi de 5% (Nord de la Méditerranée) à environ 10% (Sud et Est) de la demande totale en électricité (tableau 1 et figure 4). Une grande partie de cette demande en électricité pour l'eau concerne l'agriculture irriguée qui

représente près de 65% de la demande totale en eau en Méditerranée (et de plus de 80% dans les PSEM).

Les besoins en énergie pour l'eau sont appelés à croître fortement du fait :

- de l'augmentation de la demande en eau, accentuée par le changement climatique,
- de l'exploitation de nappes souterraines de plus en plus profondes,
- des transferts d'eau sur des distances de plus en plus grandes,
- du développement des productions d'eau non conventionnelles (dessalement, traitement d'eaux usées pour leur réutilisation), notamment comme option d'adaptation au changement climatique et pour faire face aux situations de crises (encadré).

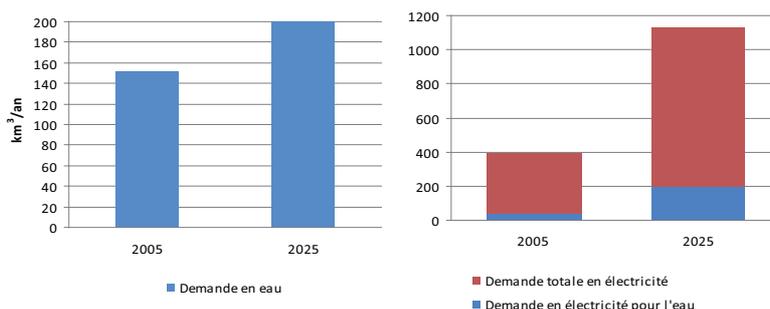
Ainsi, en 2025, la consommation d'électricité par m³ d'eau mobilisé pourrait être de l'ordre de 1 kWh dans les PSEM et de 0,7 kWh dans les PNM (Rouyer, 2007). A cet horizon, les besoins en électricité pour la gestion de l'eau en Méditerranée représenteraient de l'ordre de 5% (Nord) à 20% (Sud et Est) de la demande totale en électricité.

Ces estimations globales par grandes régions géographiques n'indiquent cependant pas si certains pays seront plus contraints que d'autres par de fortes augmentations de leurs besoins en électricité pour l'eau et ne prennent en compte que l'énergie électrique.

Une nécessaire adaptation du système "eau énergie" au changement climatique

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 et à garantir la satisfaction des différents usages. Dans le même esprit, la première réponse à l'augmentation de la demande d'énergie

Figure 4 : Les demandes en eau et en électricité en 2005 et 2025 dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée



Sources : Plan Bleu, OME, 2007

consiste en une amélioration de l'efficacité énergétique qui offre un potentiel très important dans les PSEM en particulier.

En outre, dans certains pays, une augmentation de l'offre d'eau, à organiser via une meilleure gestion de la ressource ou via des formes non conventionnelles d'approvisionnement, s'avère également nécessaire. Si le dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre constitue ainsi l'une des réponses possibles à la pénurie croissante des ressources en eau (encadré), la réutilisation des eaux usées épurées se révèle une solution moins coûteuse en énergie (1 kWh/m³ au lieu de 4 kWh/m³ pour le dessalement d'eau de mer) et plus "vertueuse" pour la préservation de la ressource.

Le dessalement, une solution coûteuse pour s'adapter à la pénurie croissante des ressources en eau

D'abord développée dans des situations d'isolement insulaire et en zone littorale, notamment pour faire face aux besoins du tourisme, la production d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre s'étend aujourd'hui tout autour de la Méditerranée. Elle constitue jusqu'à 60% de l'alimentation en eau potable à Malte. 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. A Chypre, le dessalement contribue à faire face aux situations de sécheresses répétées en minimisant les mesures de rationnement de l'eau potable. La capacité totale installée en Méditerranée pourrait être multipliée par 6 d'ici à 2030 pour atteindre 30 millions de m³/j.

Le dessalement à grande échelle reste à ce stade une option consommatrice d'importantes quantités d'énergie, émettrice 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 pour de grandes unités, soit environ 2 fois plus élevé que celui de l'eau "conventionnelle", ce sans tenir compte de l'investissement initial. Le dessalement a, par ailleurs, des impacts sur l'environnement, liés au développement d'infrastructures mais également au rejet de saumures.

Pour minimiser les émissions de gaz à effet de serre, les énergies renouvelables peuvent être utilisées pour l'alimentation de petites unités de dessalement sur des sites isolés ou être couplées à des procédés de dessalement conventionnel à haut rendement comme la distillation à multiples effets associée à des capteurs solaires et l'osmose inverse associée à des photopiles ou à des aérogénérateurs. Le recours à l'énergie nucléaire, envisagé pour de grandes unités, se heurte quant à lui au coût élevé de l'investissement initial ainsi qu'au problème d'acceptation du public.

Sources : Plan Bleu, Boyé, 2008

L'augmentation de l'offre d'énergie est et restera nécessaire, tout en diversifiant le mix énergétique au travers de l'exploitation de ressources renouvelables. Une bonne analyse de l'impact du changement climatique, à long terme, sur les débits et températures des cours d'eau est en ce sens primordiale pour la conception et la gestion future du parc de production d'électricité.

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.

Ainsi, en Méditerranée, les interactions entre eau et énergie seront de plus en plus fortes et sensibles au changement climatique, d'où la nécessité de mettre en place, dans chaque pays et au niveau régional, des stratégies de gestion intégrée des ressources en eau et en énergie, avec une vision prospective. La coopération régionale, favorisant l'échange d'expériences entre pays méditerranéens sur les liens entre l'eau, l'énergie et l'environnement, a un rôle essentiel à jouer pour contribuer à l'adaptation du système "eau énergie" au changement climatique.

Sources :

Blinda, M., Thivet, G., Plan Bleu (2006). *Faire face aux crises et pénuries d'eau en Méditerranée*. Les Notes du Plan Bleu n°4. www.planbleu.org

Plan Bleu, Benoît, G., Comeau, A. (2005). *Méditerranée, les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement*. Editions de l'Aube. Chapitre " L'eau ".

Quéfelec, S., Plan Bleu (2006). *Economies d'énergie et énergies renouvelables en Méditerranée : un potentiel sous-exploité*. Les Notes du Plan Bleu n°3. www.planbleu.org

Rouyer, J.-L. (2007). De l'énergie pour l'eau et de l'eau pour l'énergie en Méditerranée. *MEDÉnergie* n°25. pp. 29 à 34.

Thivet, G. (2008). Eau/énergie, Energie/eau et changement climatique en Méditerranée. In Plan Bleu, BEI. *Changement climatique et énergie en Méditerranée*. pp. 10-1 à 10-22.

Les Notes du Plan Bleu



Programme des Nations Unies pour l'Environnement
Plan d'Action pour la Méditerranée
Centre d'Activités Régionales du Plan Bleu
15 rue Beethoven - Sophia Antipolis - 06560 Valbonne - FRANCE
Tél. : +33 4 92 38 71 30 - Fax : +33 4 92 38 71 31
e-mail : planbleu@planbleu.org
www.planbleu.org

Directeur de la publication : Henri-Luc Thibault
Rédacteur en chef : Henri-Luc Thibault
Auteur : Gaëlle Thivet
Comité de lecture : Pierre Icard, Stéphane Quéfelec, Brigitte Ulmann
Conception graphique et réalisation : Pascal Bellec
Impression : Fac Copies
Dépôt légal et ISSN : 1954-9164