



# Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée

Henri Boyé  
Conseil général de l'Environnement et du Développement Durable  
Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du  
Territoire, France



---

**Plan Bleu**  
Centre d'Activités Régionales

Sophia Antipolis  
Août 2008

Face à l'augmentation tendancielle de la demande en eau, les pays riverains de la Méditerranée sont confrontés à plusieurs défis : gérer durablement des ressources hydriques limitées, assurer l'accès à l'eau potable aux populations non encore desservies et inciter les usagers à des comportements économes en eau. Ces défis sont d'autant plus cruciaux que les tensions sur les ressources en eau risquent d'être exacerbées sous les effets du changement climatique. L'augmentation de température et la baisse des précipitations prévues conduiraient, en effet, à la fois à une réduction des ressources et à une augmentation de la demande.

La première réponse à ces évolutions consiste en la mise en place de politiques de gestion de la demande en eau aptes à réduire les pertes et les mauvaises utilisations, à gérer la ressource avec équité tout en veillant à satisfaire les différents usages. Cependant, dans certains pays, une augmentation de l'offre, organisée via une meilleure gestion de la ressource (augmentation du potentiel exploitable, lutte contre la pollution...) ou via des formes non conventionnelles d'approvisionnement, s'avère également nécessaire.

Le dessalement des eaux de mer ou des eaux saumâtres constitue ainsi une des réponses possibles pour s'adapter à la pénurie croissante des ressources en eau. Cependant, si les techniques de dessalement sont aujourd'hui bien maîtrisées, leur mise en œuvre requiert de grandes quantités d'énergie, sous forme de chaleur ou d'électricité, coûteuses et sources potentielles d'émissions de gaz à effet de serre.

## TABLE DES MATIERES

<b>I. MESSAGES CLES.....</b>	<b>1</b>
<b>II. INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>2</b>
<b>III. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, LE DESSALEMENT, L'EAU ET L'ENERGIE. PERSPECTIVE MONDIALE ET PLACE DE LA MEDITERRANEE .....</b>	<b>4</b>
1. SITUATION DU DESSALEMENT DANS LE MONDE ET PLACE DE LA MEDITERRANEE .....	4
2. DE L'ENERGIE POUR L'EAU EN MEDITERRANEE : QUELLE PART POUR LE DESSALEMENT ?.....	5
3. LE DESSALEMENT : PROCEDES, CONTRAINTES, EVOLUTION .....	6
4. LE COUT DU DESSALEMENT .....	10
5. LES IMPACTS ET LES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX .....	10
<b>IV. APERÇU DE LA SITUATION ET DES PROJETS DE DESSALEMENT D'EAU EN MEDITERRANEE : REALISATIONS ET PROJETS EN COURS .....</b>	<b>11</b>
1. RIVE NORD : ESPAGNE, CHYPRE ET MALTE.....	12
1.1. L'ESPAGNE : DESSALEMENT POUR LE TOURISME ET L'AGRICULTURE .....	12
1.2. CHYPRE : SECHERESSE, RATIONNEMENT DE L'EAU ET DESSALEMENT .....	14
1.3. MALTE : UNE ILE TOURISTIQUE PIONNIERE DU DESSALEMENT EN MEDITERRANEE.....	15
2. RIVE SUD : LES PAYS PRODUCTEURS D'ENERGIE : ALGERIE, LIBYE, EGYPTE.....	16
2.1. ALGERIE : DESSALEMENT URBAIN MASSIF .....	16
2.2. LIBYE : DU PETROLE, MAIS TROP PEU D'EAU .....	17
2.3. EGYPTE : PROJETS DE DESSALEMENT PAR EOLIEN EN MER ROUGE.....	18
3. L'ACTIVITE DE DESSALEMENT DANS LES PSEM IMPORTATEURS D'ENERGIE.....	18
3.1. ISRAËL : VERS LA MAITRISE DE L'EAU .....	18
3.2. MAROC : UN DESSALEMENT RAISONNE .....	19
3.3. TUNISIE : EAU SAUMATRE ET ENERGIES RENOUVELABLES.....	21
3.4. JORDANIE : EOLIEN A L'ETUDE POUR LE DESSALEMENT .....	22
<b>V. UN DESSALEMENT SANS EMISSIONS DE CO<sub>2</sub> EST-IL POSSIBLE ? .....</b>	<b>22</b>
1. DESSALEMENT PAR ENERGIES RENOUVELABLES : UNE VRAIE POSSIBILITE, A METTRE EN ŒUVRE ET GENERALISER.....	23
1.1. LES ATOUTS ET CONTRAINTES .....	23
1.2. DEUX EXEMPLES D'EOLIEN ASSOCIE AU DESSALEMENT .....	23
1.3. LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ET THERMIQUE, UNE RESSOURCE A EXPLOITER DAVANTAGE .....	24
2. DESSALEMENT ET ENERGIE NUCLEAIRE, QUELLE PERSPECTIVE A MOYEN TERME ?.....	25
2.1. COOPERATION MEDITERRANEENNE .....	25
2.2. TECHNIQUE ET COUTS .....	25
2.3. COMPETITIVITE DU DESSALEMENT NUCLEAIRE .....	26
3. RECUPERATION ET RETRAITEMENT DES EAUX USEES EN MEDITERRANEE : UN POTENTIEL SOUS-EXPLOITE ET DES TECHNOLOGIES VOISINES DU DESSALEMENT.....	27
<b>VI. PERSPECTIVES EN MATIERE DE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL ET ECONOMIQUE LIEES AU DESSALEMENT.....</b>	<b>28</b>

1. CO-BENEFICES ECONOMIQUES ET INDUSTRIELS .....	28
2. EMPLOI, FORMATION ET RESSOURCES HUMAINES POUR LES METIERS DE L'EAU .....	29

**VII. DESSALEMENT ET ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS .....** 30

1. UN SCENARIO CATASTROPHE ? .....	30
2. QUELS CRITERES DE REFERENCE POUR NE PAS SOMBRER DANS UN SCENARIO CATASTROPHE VIA LE DESSALEMENT D'EAU DE MER ? .....	31

**VIII. ANNEXE .....** 34

**IX. TABLE DES ILLUSTRATIONS .....** 35

# I. MESSAGES CLES

L'abaissement significatif des coûts rend le dessalement de plus en plus compétitif. La capacité installée dans le monde augmente chaque année en moyenne de plus de 10%. Dans le bassin méditerranéen, la capacité installée pourrait être multipliée par cinq ou six d'ici 2030 (de 5 millions de m<sup>3</sup>/j en 2007 à environ 30 millions m<sup>3</sup>/j à l'horizon 2030). Une dizaine de pays (Pays insulaires, un pays du Nord l'Espagne, trois pays du Sud producteurs d'énergie), sont ou seront très actifs dans ce domaine.

Le dessalement, en soi, n'est pas une option de développement durable ; c'est une alternative d'adaptation au changement climatique qui ne devrait être adoptée que lorsque toutes les autres possibilités « durables » ont déjà été exploitées (en particulier l'utilisation rationnelle de l'eau) et qui devrait se limiter à la production d'eau potable pour la consommation humaine.

Toute approche visant à généraliser le dessalement s'apparenterait à une solution de facilité et pourrait déboucher sur un « scénario catastrophe ». En effet, le dessalement à grande échelle est une option consommatrice d'importantes quantités d'énergie électrique, énergie déjà utilisée pour le pompage et le transfert de l'eau. Pratiquement toute l'électricité additionnelle produite étant d'origine thermique, le risque d'une forte augmentation des émissions de gaz à effet de serre est donc grand.

Toutefois, des options à faible émissions de CO<sub>2</sub> sont possibles. D'une part, les filières de dessalement les plus économes en énergie doivent être valorisées : osmose inverse, avec optimisation en combinaison à des centrales thermiques, récupération d'énergies performantes et amélioration des installations existantes. D'autre part, les énergies renouvelables, éolien, solaire photovoltaïque et thermique, CSP solaire à concentration appliquée au dessalement, sont des pistes d'avenir, même si elles rencontrent les obstacles connus à tout développement des énergies renouvelables (financement, compétitivité). Le recours à l'énergie nucléaire est une option probable à moyen terme (horizon 2020), en particulier dans le cadre d'actions de coopération avec la Libye, l'Algérie et le Maroc.

Plus globalement, compte tenu de l'ampleur du marché en Méditerranée, le développement d'une filière industrielle pour la bonne utilisation de l'eau, en particulier par la technologie des membranes, fait partie des options stratégiques pour les pays riverains. Cette technique s'applique au dessalement et présente également l'avantage de pouvoir s'appliquer à des techniques de récupération et de retraitement des eaux usées pour l'agriculture, la repotabilisation et le soutien des nappes aquifères.

Les technologies membranaires (filtration, dépollution) et de traitement de l'eau sont complémentaires de celle du dessalement et moins coûteuses en énergie. Ainsi, une offre industrielle suffisamment diversifiée en la matière doit pouvoir répondre à la fois aux besoins urgents de court terme (augmentation de l'offre par le dessalement) et à la mise en place d'options de long terme (réutilisation/retraitement).

Pour les pays des rives Sud et Est de la Méditerranée, le succès de cette stratégie nécessite des transferts de technologies et des formations qui pourraient être au cœur d'une coopération régionale dans le secteur de l'eau. En outre, sa réussite sera aussi conditionnée par des programmes d'information, de sensibilisation des décideurs et du grand public pour la gestion et l'économie de l'eau et la prise de « bonnes décisions » durables.

## II. INTRODUCTION GENERALE

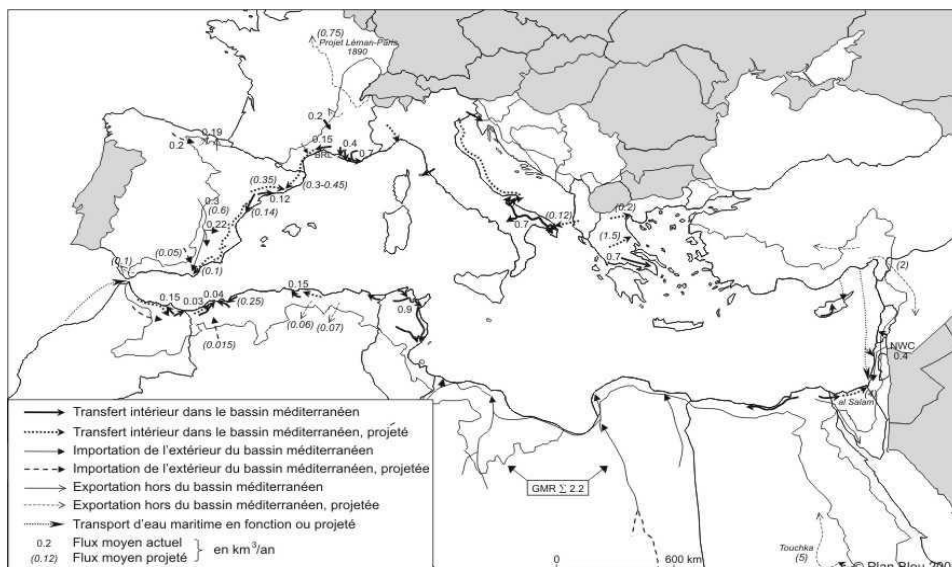
### Contexte et problématique

Les pays du pourtour méditerranéen doivent faire face à des pressions croissantes sur leurs ressources en eau. D'ores et déjà, dans certains d'entre eux (Egypte, Israël, Libye, Malte, Syrie, Gaza...), les prélèvements en eau approchent voire dépassent le niveau limite des ressources renouvelables. Les pénuries d'eau, conjoncturelles ou structurelles, sont appelées à s'aggraver. La baisse des précipitations, déjà constatée, réduit les ressources en eau mobilisables et les tensions sur ces ressources vont être exacerbées par les effets du changement climatique.

Les besoins en eau douce, notamment en eau potable, vont en augmentant. Les pays arides se trouvent déjà dans une situation de rareté, avec risque d'aggravation vers la pénurie. L'augmentation des besoins est liée à la croissance démographique, mais aussi au développement économique (industrie), et très largement dominée par le domaine agricole (irrigation, développement). La consommation domestique est d'ailleurs relativement minime (14% à l'échelle de l'ensemble des pays méditerranéens en 2005) par rapport à la consommation globale d'eau. Dans les PSEM, compte tenu de l'épuisement relatif des ressources traditionnelles, il est nécessaire que les politiques publiques de gestion de l'eau, d'une part intègrent un volet de gestion de la demande et d'autre part un volet de développement de nouvelles ressources alternatives dites « non conventionnelles » comme la réutilisation des eaux usées et le dessalement des eaux de mer ou des eaux saumâtres.

En effet, le dessalement des eaux de mer ou des eaux saumâtres constitue l'une des réponses possibles pour faire face aux crises et pénuries d'eau.

En Méditerranée, la production artificielle d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre souterraine a débuté principalement dans des situations d'isolement insulaire (Malte, Baléares, Chypre...), littorales (Libye) et désertiques (Algérie). Ces productions industrielles d'eau ont progressé régulièrement en volume et en performance. Les techniques sont aujourd'hui bien maîtrisées et en progrès, mais leur mise en œuvre requiert d'importantes quantités d'énergie, sous forme de chaleur ou d'électricité, coûteuses et sources d'émissions de gaz à effet de serre.



## Objectif

Ce chapitre a pour objectifs de :

- faire un état des lieux des activités actuelles (pratiques, volumes d'eau produits...) en matière de dessalement en Méditerranée <sup>1</sup>
- présenter les perspectives de développement du dessalement dans les pays méditerranéens ;
- analyser la place actuelle et le devenir des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique dans l'approvisionnement énergétique global pour le dessalement ;
- aborder les questions économiques, environnementales et sociales liées aux diverses options possibles de dessalement en tant que mesure d'adaptation au changement climatique ;
- tirer les leçons des expériences passées et en cours et suggérer les principaux critères à prendre en compte lors des réflexions sur les investissements en matière de dessalement.

## Sources d'information/méthodologie

Ce chapitre s'appuie sur un ensemble d'informations collectées à partir de la littérature existante sur le sujet ainsi que sur des entretiens menés avec plusieurs acteurs du dessalement. Des représentants de plusieurs industriels du secteur ont été consultés (Sidem Entropie, Veolia, Suez Environnement Degrémont, CEA Cadarache, Société 3MW) ainsi que des acteurs de l'énergie au Maroc (ONEP) et en Tunisie. Par ailleurs, des informations issues de la presse quotidienne ont été utilisées dans la partie analysant la situation des pays.

Ces informations ont été complétées par celles collectées par le Plan Bleu en 2007 dans le cadre de la réalisation de rapports nationaux sur la « gestion de la demande en eau » et « l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables » pour le suivi de la Stratégie Méditerranéenne pour le Développement Durable.

## Contenu

La première partie de ce rapport présente la situation du dessalement dans le monde et la place de la Méditerranée dans un contexte de changement climatique. L'accent sera mis notamment sur la consommation croissante d'énergie pour l'eau et la part requise pour le dessalement à l'horizon 2020-2030. En outre, les technologies de dessalement et l'évolution du marché sont analysées. Les coûts, les impacts et les risques environnementaux liés au dessalement sont ensuite présentés.

Dans un deuxième temps, un aperçu de la situation et des projets de dessalement en cours ou prévus dans une dizaine de pays représentatifs ou importants en Méditerranée sera proposé.

Dans un troisième temps, nous verrons comment serait possible un dessalement sans émissions de CO<sub>2</sub> par le biais d'énergies renouvelables ou nucléaire. Le retraitement des eaux usées, sous-exploité et utilisant des technologies voisines du dessalement, est une autre piste d'avenir importante.

Une dernière partie esquisse des perspectives en matière de développement industriel et économique liées au dessalement, pour l'emploi, la formation et les ressources humaines, et les métiers de l'eau dans les pays de la Méditerranée.

---

<sup>1</sup> On entend par « Méditerranée » l'ensemble des pays suivants : Maroc, Algérie, Tunisie, Libye, Egypte, Israël, Territoires palestiniens, Liban, Syrie, Jordanie, Turquie, Chypre, Malte, Grèce, Albanie, Monténégro, Bosnie-Herzégovine, Croatie, Slovénie, Italie, Monaco, France, Espagne. L'étude portera plus particulièrement sur les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée : Maroc, Algérie, Tunisie, Libye, Egypte, Israël, Territoires palestiniens, Liban, Jordanie, Syrie (et Turquie).

En conclusion, le rapport propose un scénario « à éviter », présente des indicateurs de performance et de suivi et cinq critères de décision et d'appréciation des projets pour les investisseurs, et évoque enfin la coopération euro-méditerranéenne.

### **III. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, LE DESSALEMENT, L'EAU ET L'ENERGIE. PERSPECTIVE MONDIALE ET PLACE DE LA MEDITERRANEE**

#### **1. SITUATION DU DESSALEMENT DANS LE MONDE ET PLACE DE LA MEDITERRANEE**

Le dessalement de l'eau est en très forte croissance dans le monde. La capacité installée augmente chaque année en moyenne de plus de 10%. Cela s'explique en partie par l'abaissement significatif des coûts qui le rend de plus en plus compétitif.

Sur 70 villes de plus d'un million d'habitants sans accès direct à des ressources supplémentaires en eau douce, 42 sont situées sur la côte. De plus, 39% de la population mondiale, soit 2,4 milliards d'habitants, vit à moins de 100 km de la mer. Ces deux facteurs font du dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres une vraie ressource alternative. Il peut constituer une solution contre la surexploitation des aquifères dans les zones côtières, une réponse à certains risques stratégiques, comme des épisodes de forte sécheresse ou des ruptures de l'alimentation en eau. Il existe même des études en cours dans des zones non arides visant à sécuriser l'alimentation de grandes villes comme Londres ou New York, grâce à des installations de dessalement auxquelles il serait fait appel pour faire face aux épisodes de sécheresse.

Aujourd'hui, plus de 15 000 unités de dessalement dans 120 pays produisent environ 40 millions de m<sup>3</sup>/j, dont les trois quarts issus de l'eau de mer et un quart des eaux saumâtres. Sur ces 40 millions, 75% sont destinés à la consommation humaine, 25% à un usage industriel ou agricole. Rappelons que la capacité mondiale de production en eau potable est de l'ordre de 500 millions de m<sup>3</sup>/j<sup>2</sup>.

Alors qu'en 2004, les experts estimaient que la capacité de dessalement d'eau de mer mondiale augmenterait de 100% d'ici à 2015, ces prévisions semblent aujourd'hui sous-estimées. La Chine et l'Inde pour lesquelles on prévoyait une activité de dessalement d'environ 650 000 m<sup>3</sup>/j d'ici 2015 ont déjà dépassé ces prévisions. La Chine a récemment annoncé 1 million de m<sup>3</sup>/j d'eau de mer traitée d'ici 2010 et jusqu'à 3 millions de m<sup>3</sup>/j en 2020. Au rythme actuel d'un doublement de la production tous les 10 ans, les spécialistes estiment que cette production grimpera à 50 ou 60 millions de m<sup>3</sup>/j avant 2015, et pourrait à nouveau doubler d'ici à 2025. 60% des besoins en eau douce des pays du Golfe Persique sont satisfaits par le dessalement d'eau de mer. L'Arabie Saoudite génère à elle seule 20% de la production mondiale. Mais, le dessalement ne concerne plus seulement les riches et désertiques États du Golfe, où fonctionnent les plus importantes installations. En Australie, un tiers de l'eau douce consommée par la ville de Perth provient de cette technique.

---

<sup>2</sup> Ces chiffres sont des ordres de grandeurs donnés à titre indicatif. Pour la plupart des pays, des statistiques officielles sur le sujet ne sont pas disponibles.



En Méditerranée, la production artificielle d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre souterraine a débuté d'abord dans des situations d'isolement insulaire (Malte, Baléares, Dalmatie, Chypre, Cyclades...), littorales (Libye) et désertiques (Algérie), et essaime aujourd'hui très rapidement tout autour de la Méditerranée. L'Algérie et l'Espagne ont clairement opté pour cette option pour résoudre leur problème de pénurie. L'Espagne est au 4<sup>ème</sup> rang mondial.

Dans la plupart des pays méditerranéens, on anticipe que la quantité d'eau dessalée croîtra fortement. En effet, les ressources en eau renouvelable sont limitées, mais il y a abondance d'eau salée, et d'énergie à court terme dans les pays pétroliers riches.

A ce jour, **la Méditerranée représente environ un quart du dessalement mondial**. Vers 2030, la région pourrait approcher le chiffre du dessalement mondial actuel (soit environ de 30 à 40 millions de m<sup>3</sup>/j).

## **2. DE L'ENERGIE POUR L'EAU EN MEDITERRANEE : QUELLE PART POUR LE DESSALEMENT ?**

**Energie et eau sont liées, les besoins en énergie pour l'eau** augmentent fortement, pour le pompage, les transferts, les traitements et le dessalement. Ils sont sur une pente de doublement en 10 ans et dépasseront en 2025, 20% de la demande globale d'électricité pour les PSEM (10% pour l'ensemble des pays riverains de la Méditerranée). Cette tendance spécifique amplifie la tendance générale à la croissance de la demande d'énergie dans les PSEM alors même que les tensions du côté de l'offre sont croissantes.

La détérioration climatique est déjà sensible. Au Maroc, on constate dans les 20 dernières années une baisse de 20% des précipitations et des apports d'eau dans les barrages hydroélectriques. Cela engendre un déficit supplémentaire allant jusqu'à 45% de la production d'électricité. Ce déficit doit être compensé par de l'électricité d'origine thermique, ce qui aura pour conséquence négative l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre amplifiant ainsi le « cercle vicieux » climatique.

**Les besoins en eau sont fortement croissants**, pour les sous-régions du Sud (Maghreb et Egypte), et de l'Est de la Méditerranée (Proche-Orient avec Turquie, et Israël). Entre 1998 et 2030, les superficies irriguées augmenteraient de 38% au Sud et de 58% à l'Est, et les demandes en eau - tous secteurs confondus - croîtraient de plus de 15% d'ici à 2025 pour l'ensemble des pays méditerranéens, avec un net contraste entre le Nord à croissance nulle et le Sud et l'Est à croissance significative (+ 32% d'ici à 2025). Les besoins actuels ont déjà nécessité de grands ouvrages, barrages et pompes (77 m<sup>3</sup>/s dans l'aquifère du Delta du Nil, 60 m<sup>3</sup>/s dans les environs de Milan, au cœur de la plaine du Pô, plus de 10 m<sup>3</sup>/s dans la plaine de Mitidja pour l'alimentation d'Alger,) et nécessiteront à l'avenir encore plus d'investissements et de consommation d'énergie.

Ainsi, **la dépendance en énergie pour la mobilisation de l'eau** est particulièrement forte dans les pays arides. Le niveau des prélèvements d'eau y est très important, d'abord pour les besoins d'irrigation. Pompage et transfert génèrent une dépendance extrêmement forte à l'énergie électrique, qui croît à mesure que les besoins s'amplifient et se reportent de plus en plus sur des ressources plus coûteuses en énergie (ressources souterraines, transfert de ressources lointaines, traitement, dessalement).

La consommation d'électricité pour la mobilisation et le traitement de l'eau varie selon les pays et les régions. Elle se situe à environ 5% de la consommation d'électricité dans les pays du Nord de la Méditerranée et entre 8,5 et 13% (soit environ 10%) dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (elle avoisine 15% en Israël). Ces ratios croîtront dans les pays en développement qui

auront, pour faire face à la croissance de leur population, à recourir à des forages plus profonds, barrages et transferts plus complexes et à un appel grandissant au dessalement de l'eau de mer.

Pour le dessalement seul, si l'on raisonne en termes de puissance électrique, un volume d'eau dessalée de 30 millions de m<sup>3</sup>/j en Méditerranée à l'horizon 2030, avec un ratio de 3,3 kWh/m<sup>3</sup>, équivaut à une puissance électrique dédiée au dessalement de 5000 MWe, soit 8 à 10 centrales à cycle combiné gaz, ou 4 à 5 tranches nucléaires.

Les pompes et transferts d'eau consomment beaucoup d'énergie comme le prouvent quelques grandes réalisations comme le projet « Great Man-Made River » en Libye ; en Tunisie, la Sonede a comptabilisé environ 200 GWh en 2004 pour la gestion de l'eau, en Espagne, l'élévation initiale du "Trasvase Tago-Segura" (66 m<sup>3</sup>/s, prélevés au barrage d'Altomira) consomme une puissance de 202 MWe. Le coût énergétique de transport de l'eau en Israël a été chiffré à 1,3 GWh annuels. En France, la consommation d'électricité pour la mobilisation et le traitement de l'eau était de 15 TWh en 2003, soit 3,4% de la consommation nationale d'électricité.

En 2000, pour l'ensemble des pays méditerranéens, la consommation d'électricité pour l'eau peut être estimée entre 5,6% et 6,7% de la demande d'électricité. En 2030, pour les PSEM, il y aurait 48 km<sup>3</sup> d'eau supplémentaire à gérer, soit au total 200 km<sup>3</sup>. La consommation électrique pourrait atteindre (en prenant un ratio de 1 kWh/m<sup>3</sup>) 250 TWh pour la gestion de l'eau, soit environ 20% de la consommation d'électricité.

Pour les PNM, la consommation d'électricité pour l'eau pourrait se situer, en adoptant un ratio de 0,7 kWh/m<sup>3</sup>, pour 133 km<sup>3</sup>/an, à 93 TWh, ce qui représente environ 5% de la consommation électrique totale. Pour l'ensemble des pays méditerranéens, la consommation d'électricité pour l'eau pourrait donc être de 250 + 93 = 343 TWh, ce qui représenterait environ 10% de la consommation électrique totale vers 2030.

Remarquons que les transferts d'eau se font aujourd'hui de l'intérieur des pays, des zones montagneuses et des barrages vers les zones littorales plus arides ou urbanisées. A l'avenir, il pourra y avoir également des transferts d'eau dessalée depuis les zones côtières vers l'intérieur des pays. Le dessalement par grandes unités implantées en zone littorale avec transfert d'eau dessalée à longue distance peut augmenter les consommations d'énergie pour les transferts. Il faut donc une optimisation énergétique et économique au cas par cas, en fonction des besoins des utilisateurs et des transferts.

### **3. LE DESSALEMENT : PROCÉDES, CONTRAINTES, ÉVOLUTION**

Les procédés de dessalement de l'eau peuvent être classés en deux grandes familles : (i) les procédés thermiques, par évaporation ou par distillation et (ii) la séparation par membranes ou osmose inverse. L'encadré 1 présente ces procédés. Les contraintes techniques rencontrées par les opérateurs sont exposées dans l'encadré 2.

*La distillation* dispose de certains atouts : modularité de l'investissement pouvant atteindre des capacités élevées, robustesse du procédé, compatibilité avec les savoir-faire disponibles dans le secteur énergétique au Moyen Orient, disponibilité importante (99%), plus faible empreinte au sol et coût d'infrastructure réduit, relative indépendance de la qualité d'eau entrante et meilleure empreinte environnementale des rejets (absence de rejets chimiques). Les techniques thermiques représentaient il y a encore quelques années la principale technologie employée dans le monde. Ces techniques, intéressantes lorsque l'énergie thermique pour chauffer l'eau est peu chère, se sont davantage développées dans les pays producteurs de pétrole et de gaz du Golfe arabo-persique.

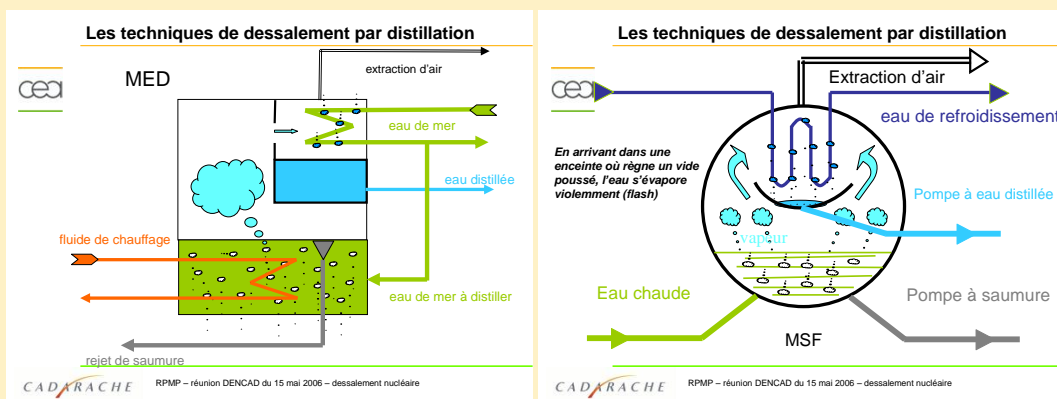
La technique de l'osmose inverse a énormément progressé depuis son apparition vers 1960 : conception modernisée, nouveaux matériaux, membranes composites et dynamiques. De même, les performances, la durée de vie et le coût se sont améliorés. 4 types de modules de membranes sont commercialisés, *tubulaires, fibres creuses, plans, spirales*. Les constructeurs d'unités de dessalement (en France : Degremont Suez, Sidem Entropie Veolia ; en Espagne : Acciona Agua ; en Italie : Fisia Italimpianti, groupe Impregilo) rivalisent en performance et en taille et les records sont régulièrement battus (l'usine de dessalement de Marafiq en Arabie Saoudite a une capacité de 1 000 000 m<sup>3</sup>/j en technique distillation MED).

Ainsi, l'osmose inverse (OI) gagne des parts de marché et deviendra dominante à l'avenir. En 1990, l'OI représentait 40% des installations dans le monde. Aujourd'hui, ce procédé représente environ 55% des installations. En 2020, les projections donnent la répartition suivante : OI 70 %, Distillation 20 %, Autres techniques 10 % (source des données AIEA-CEA).

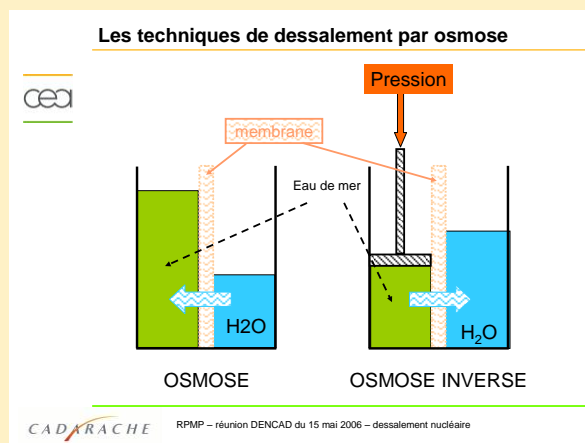
### Encadré 1 Les procédés du dessalement de l'eau

Les procédés de dessalement de l'eau peuvent être classés en deux grandes familles : les procédés thermiques et la séparation par membranes ou osmose inverse.

- Les procédés « thermiques » par évaporation ou distillation avec changement de phase, MED (Multi Effect Distillation) et MSF (Multi Stage Flash), nécessitent de l'énergie sous forme de chaleur. Ils fonctionnent sur le principe de l'évaporation de l'eau de mer, la condensation de la vapeur permettant ensuite de récupérer de l'eau quasiment pure.



- Le procédé d'osmose inverse (OI) nécessite de l'énergie sous forme d'électricité pour alimenter des pompes hautes pressions qui compriment l'eau de mer pour la faire passer à travers une membrane filtrante.



Les **membranes**, filtres très fins, retiennent toutes les impuretés et le sel. L'eau salée pénètre à une extrémité sous une pression de 80 bars et, après passage au travers de la membrane, ressort de l'autre côté débarrassée de plus de 99% de son sel.

**Électrodialyse** : un courant électrique fait migrer les ions vers les électrodes. Système très rentable pour les faibles salinités, l'énergie à mettre en jeu dépend de la concentration en sel (1kWh/kg de sel extrait), mais prohibitive pour l'eau de mer.

**Températures** des principaux procédés :

Distillation MSF : 110-130 °C ; MED : 60 à 100 °C, Osmose Inverse : 15- 44 °C

Cette évolution récente du marché du dessalement est due à deux facteurs principaux. La consommation d'énergie, principale composante du coût du dessalement, a été considérablement réduite depuis quelques années dans le cas de l'OI. Par ailleurs, le coût des membranes a très fortement baissé (20\$/m<sup>2</sup> de module) et leurs performances ont été améliorées. En Israël, l'usine d'Ashkelon, de 320 000 m<sup>3</sup>/j, consomme 3,7kWh/m<sup>3</sup> tout compris ; pour les unités les plus performantes avec récupération d'énergie poussée la consommation est aujourd'hui de l'ordre de 3kWh/m<sup>3</sup>.

La pénétration de l'OI reflète ainsi son avantage en termes de prix du m<sup>3</sup> d'eau dessalée et de consommation d'énergie nettement moindre que pour les procédés thermiques.

## Recherche et innovation

La concurrence entre filières et constructeurs s'est avérée facteur de progrès. La percée de l'osmose inverse a aiguillonné les techniques thermiques, qui ont réalisé de nouveaux progrès se traduisant par la baisse des coûts et l'amélioration des performances. La technologie thermique est mature, les spécialistes connaissent bien son fonctionnement et ses coûts sont stabilisés. La technologie membranaire est encore en progrès sensible, la recherche se concentre aujourd'hui en priorité sur les choix des matériaux et l'optimisation de l'énergie. Deux champs de recherche apparaissent prometteurs pour l'avenir : les centrales hybrides d'une part et la récupération de l'énergie de la saumure rejetée par les usines de dessalement d'autre part.

Les centrales hybrides, associant production d'électricité et dessalement, et les nouvelles récupérations d'énergie, sont un grand champ de progrès pour l'avenir. En effet, l'association performante d'une centrale thermo-électrique et d'une unité de dessalement par osmose inverse installées sur un même site en bord de mer, permet d'économiser beaucoup d'énergie. Pour cela, on utilise le flux de l'eau de mer de réfrigération du condenseur comme matière première d'eau réchauffée à dessaler, ce qui constitue une source de pression et de chaleur pour le dessalement, avec

partage des infrastructures de prise d'eau et de rejet en mer et réduction des coûts globaux et des dépenses en énergie. Préchauffer l'eau salée jusqu'à 44 °C permet de gagner en viscosité et d'augmenter la pression osmotique, ce qui représente deux facteurs de réduction des consommations d'énergie. Par ailleurs, le couplage « hybride » des deux techniques de dessalement, filière thermique et osmose inverse, optimisé selon la période et la charge, permet une économie globale (c'est le cas de l'usine de dessalement à Fujairah, aux Emirats Arabes Unis).

Trois solutions sont aujourd'hui disponibles pour recupérer l'énergie de la saumure :

- **les turbopompes intégrées**, récupérant l'énergie de la saumure dans une turbine hydraulique,
- **les turbines Pelton**,
- **les systèmes dits « échangeurs de pression »**, de troisième génération avec rendement plus élevé supérieur à 95% (dont le système ERI energy recovery)<sup>3</sup>.

#### Encadré 2 Contraintes techniques

Les opérateurs rencontrent dans le dessalement de l'eau des problèmes techniques divers : entartrage, colmatage des surfaces d'échange (fouling), dépôts et encrassements, corrosion, empoisonnement des membranes par certains corps chimiques.

La température, le degré de salinité diffèrent selon les cas (cf. ci-dessous), le degré de pollution (hydrocarbures, fibres, substances incomplètement biodégradées) ainsi que la proportion de plancton peuvent interférer sérieusement avec les membranes, augmentant ainsi leur coût de fonctionnement et réduisant leur vie utile.

L'efficacité et la rentabilité d'une installation d'osmose inverse dépendent des **prétraitements**, appliqués à l'eau de mer. Les constructeurs soulignent l'importance de moduler, selon la «difficulté» de l'eau puisée (élimination des matières en suspension et des matières organiques, filtration sur monocouche ou bicouche, flottation à grande vitesse, membranes d'ultrafiltration).

Le choix des conditions de fonctionnement, pression, température, vitesse d'eau, type de pompes et dimensionnement, nettoyage, filtration, traitements chimiques, détartrage, est complexe. Tout cela nécessite une main d'œuvre qualifiée pour l'exploitation, l'entretien et le remplacement des membranes\*.

#### Salinité des eaux de mer et eaux saumâtres

La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques (Atlantique, Manche, Mer du Nord, Pacifique) est de l'ordre de 35 g/l, valeur considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Mais elle peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques.

Mer Méditerranée	36 à 39 g/l
Mer Rouge	≈ 40 g/l
Mer Morte	270 g/l
Golfe arabo-persique	40 à 70 g/l

Salinité des eaux saumâtres : généralement, on appelle *eau saumâtre* une eau saline non potable, de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. En fait, la plupart des eaux saumâtres ont une salinité comprise entre 1 et 10 g/l.

*\*Il existe des complémentarités importantes entre les techniques de dessalement et celles du traitement d'eau, Voir le paragraphe 3-3 .*

La décision d'utiliser un système de récupération d'énergie élaboré, améliorant les performances et la consommation spécifique d'énergie par m<sup>3</sup> d'eau douce produit, dépend des conditions

<sup>3</sup> Dans le système ERI un cylindre tournant en céramique percé de trous récupère l'énergie du courant haute pression d'osmose inverse, avec un rendement très élevé atteignant jusqu'à 97%. Il en résulte des performances obtenues en progrès, atteignant 2,5KWh/m<sup>3</sup> d'eau en osmose inverse seule (hors prétraitement et annexes). Bien sur, l'investissement ainsi que la surface au sol sont un peu plus élevés, mais les performances énergétiques obtenues sont très intéressantes et contribuent donc beaucoup aux progrès de cette technologie de dessalement. (ENERGY RECOVERY INC 1908 Doolittle Drive, San Leandro, CA 94577, USA Tel: 0015104837370, Fax: 0015104837371 sales@energy-recovery.com, www.energyrecovery.com)

économiques et particulièrement du coût de l'énergie. Ces systèmes performants mais coûteux en investissements, *sont à recommander particulièrement quand l'énergie se renchérit et si l'on veut encourager la réduction des émissions de gaz à effet de serre.*

## 4. LE COUT DU DESSALEMENT

Le coût du dessalement a baissé de moitié au cours des dix dernières années, avec cependant une remontée de prix récente, conséquence de la hausse de coût des matières premières, dont l'acier inox. Au plan économique, les coûts d'investissement sont de 1000 à 1200 €/m<sup>3</sup>/j pour la distillation en thermique MED, et de 900 à 1000 €/m<sup>3</sup>/j pour l'Osmose Inverse.

Le coût de l'eau dessalée est estimé en faisant la somme des trois postes suivants : charges financières, coût de l'énergie, coûts de conduite exploitation et entretien.

Le coût de l'eau saumâtre dessalée est nettement inférieur à celui de l'eau de mer dessalée. Il ressort, pour de grandes unités, à 0,2 à 0,3€/m<sup>3</sup> en eau saumâtre contre 0,4 à 0,6€/m<sup>3</sup> en eau de mer (Source Constructeurs, coûts vérifiés).

Ces chiffres sont plus élevés pour des unités plus petites, moins performantes ou anciennes, et bien sûr **très sensibles au coût de l'énergie électrique** qui diffère selon les pays, et qui est moins élevée dans les pays pétroliers et gaziers comme l'Algérie et les pays du Golfe.

**L'effet de taille** fait baisser le coût de l'eau douce obtenue, d'où l'intérêt de construire des installations de capacité importante, si la demande le justifie et en veillant aux impacts environnementaux.

Il est également important de rappeler que le coût de mobilisation d'un mètre cube d'eau conventionnelle est compris entre 0,1 et 0,3 €/m<sup>3</sup> et celui de la réutilisation des eaux usées entre 0,3 et 0,5 €/m<sup>3</sup> <sup>4</sup>. L'eau dessalée pour de grandes unités coûte donc environ 2 fois plus que l'eau conventionnelle et 1,5 fois plus que l'eau réutilisée, mais avec des grandes différences selon les situations de terrain. A capacité identique, **le recyclage des eaux usées est nettement moins cher que le dessalement d'eau de mer** (l'énergie dépensée est réduite au moins de moitié).

## 5. LES IMPACTS ET LES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX

L'impact environnemental d'un projet de dessalement concerne les phases de construction de l'ouvrage et son fonctionnement, avec les rejets et l'impact sur le milieu naturel.

Pour la construction, les impacts habituels des infrastructures sur le littoral (emprise au sol, bétonnage...) et sur les habitats sont rencontrés. Il faut aussi prendre en compte la vulnérabilité de ces infrastructures au changement climatique, eu égard aux événements extrêmes et à la montée possible du niveau de la mer.

L'emplacement et la situation géographique doivent être étudiés. Il est intéressant de regrouper sur un même site une centrale électrique et une unité de dessalement par osmose inverse, ce qui permet d'optimiser les prises d'eau, de limiter l'emprise et les surfaces de même que l'impact

---

<sup>4</sup> Source : Colloque SHF, Gestion sociale et économique de l'eau, Paris, 17 et 18 octobre 2007

environnemental, et de gagner en rendement. La qualité des prises d'eau est très importante. Les puits sur la plage, « beach well », constituent un pré filtrage très utile.

**Les impacts environnementaux dus au fonctionnement des unités de dessalement** sont notamment liés aux rejets des saumures dans le milieu naturel. Les conséquences des rejets de la "saumure" dans la mer sur l'équilibre écologique du littoral sont encore relativement mal connues. En particulier, des rejets de saumure à forte concentration et dilution insuffisante peuvent appauvrir ou détruire les écosystèmes aquatiques et dégrader la qualité de l'eau.

Ainsi, une évaluation de l'effet des rejets, prenant en compte les courants marins et l'effet des marées est nécessaire. Un bilan et un suivi des rejets de saumure et produits chimiques (volumes, température, profondeur, l'étendue et la superficie de la zone d'impact des prises d'eau et des rejets d'eau après dessalement) doivent, en outre, être accompagnés d'un suivi de la faune et la flore, terrestre et surtout marine.

Enfin, les **émissions de gaz à effet de serre** sont plus fortes si l'énergie électrique du dessalement est produite par combustibles fossiles. L'osmose inverse, à plus faible consommation d'énergie, est meilleure sur ce point que le thermique. L'osmose inverse rejette par contre davantage de produits chimiques dans l'eau (détartrage, prétraitements).

## **IV. APERÇU DE LA SITUATION ET DES PROJETS DE DESSALEMENT D'EAU EN MEDITERRANEE : REALISATIONS ET PROJETS EN COURS**

Cette partie offre un aperçu du dessalement en Méditerranée en se basant sur une dizaine de pays actifs dans le domaine (le tableau 1 offre un résumé de la situation). Ce groupe de pays est considéré comme représentatif de la situation régionale. Trois pays du Nord sont passés en revue : l'Espagne, premier pays méditerranéen en dessalement et en forte croissance, Chypre et Malte, deux îles en situation de pénurie d'eau. Sept pays de la rive Sud et Est sont analysés : Quatre pays importateurs d'énergie - Maroc, Jordanie, Israël, Tunisie - et quatre pays exportateurs d'énergie - Algérie, Libye, Egypte et Syrie-.

Pour chaque pays, la situation et l'activité de dessalement en cours et en projet sont présentées ainsi que les principales motivations qui ont concouru au développement du dessalement.

**Tableau 1 Situation du dessalement en Méditerranée**

PAYS	Usages	Capacité de dessalement installée en m <sup>3</sup> par jour	Informations complémentaires	Commentaires / faits marquants
Espagne	eau potable, tourisme, irrigation	2 500 000	Iles Baléares Canaries plus de 2 500 000 m <sup>3</sup> /j nombreux projets	Seul pays méditerranéen, à ce jour, à utiliser de l'eau dessalée pour valoriser des cultures agricoles à contre saison
Chypre	eau potable	9 400	94000 m <sup>3</sup> /j pour la partie grecque, extension en cours	Grave pénurie d'eau potable (malgré le dessalement) due aux sécheresses récurrentes.
Malte	eau potable, tourisme	93 000	3 usines, 93 000 m <sup>3</sup> /j. Le dessalement fournit 60% de l'eau potable.	Des améliorations des performances énergétiques des usines de dessalement anciennes mises en oeuvre
Algérie	eau potable	200 000	Programme de 33 nouvelles unités, 2, 5 millions m <sup>3</sup> /j A Alger El Hamma 200000 m <sup>3</sup> /j	Pays producteur d'énergie fossile, pertes en eau importantes, dessalement massif planifié
Libye	eau potable	1 000 000	1 000 000 m <sup>3</sup> /j installés, distillation	Pays producteur d'énergie, grand transfert d'eau fossile, projet de dessalement nucléaire
Egypte	eau potable		Zone isolée dans la région de la Mer rouge, projets éoliens	
Israël	eau potable	800 000	Parmi les 800 000 m <sup>3</sup> /j de capacité installés, 320 000 m <sup>3</sup> /j proviennent de l'usine Ashkelon, la plus grande Usine de dessalement par osmose inverse du monde.	Compétences technologiques une filière industrielle dans Le domaine
Tunisie	eau potable, tourisme,	100 000	projet de 250000 m <sup>3</sup> /j nouvelles unités	Projet de dessalement par énergie renouvelable en Zone aride (petites unités)
Maroc	eau potable	20 000	Le dessalement se fait en zone Saharienne (20 000 m <sup>3</sup> /j), un projet d'une capacité de 90 000 m <sup>3</sup> /j est en cours à Agadir	Gestion raisonnée de l'eau Et du dessalement
Jordanie	eau potable		Etude éolien et dessalement	
	<b>TOTAL</b>	<b>4 722 400</b>		

Note : les informations contenues dans ce tableau sont issues des diverses publications et informations disponibles sur le dessalement, ainsi que de la presse nationale des pays étudiés ; Ce tableau ne vise pas à être exhaustif (certains usages ou projets peuvent ne pas apparaître). Pour autant, il donne une image globale de la situation actuelle, ce qui est son objectif premier.

## 1. RIVE NORD : ESPAGNE, CHYPRE ET MALTE

### 1.1. L'Espagne : dessalement pour le tourisme et l'agriculture

L'Espagne, avec plus de 2 500 000 m<sup>3</sup>/j de capacité installée, est en 4ème position mondiale derrière l'Arabie Saoudite, les pays du Golfe et les USA, avec près de 1500 unités en fonctionnement (dont l'essentiel de petite capacité). Les premières unités ont été installées dès les années 80 aux Canaries, puis aux Baléares, en particulier pour répondre aux besoins liés au tourisme (cf encadré 3).



### Encadré 3 - Les îles Baléares : de l'eau pour le tourisme.

A Majorque, l'eau contenue dans les nappes phréatiques a un taux de salinité trop élevé pour être utilisée en l'état. Un problème d'autant plus important que les besoins en eau sont amplifiés par le tourisme, activité vitale pour l'île. En effet, le tourisme représente 80% du produit intérieur brut de la Communauté. « Aux Baléares, le dessalement est devenu le seul moyen pour abreuver la horde touristique » (*presse espagnole* et <http://www.combat.infosplus.net>) Palma de Majorque s'est dotée de 3 usines, dont la plus importante fournit 68 000 m<sup>3</sup>/j, permettant d'alimenter une dizaine de millions de touristes et une vingtaine de golfs. En outre, 2 autres usines sont construites à Palma et à Ibiza. Dans les années cinquante ou soixante, les îles s'auto-alimentaient, et n'avaient quasiment aucune capacité de régulation des eaux de surface. Tout reposait sur des sources et l'exploitation des nappes phréatiques. La décision de construire une usine de dessalement sur l'île d'Ibiza a été prise en 1989. Cette usine est entrée en service à l'été 1994, ouvrant la voie à la gestion du dessalement de l'eau de mer par le gouvernement des Baléares. L'accueil de la population a été favorable en dépit d'une légère augmentation des tarifs. L'eau fournie était parfaitement potable.

L'Espagne a amendé en 2004 son Plan Hydrologique National. Le gouvernement socialiste arrivant au pouvoir a décidé d'abandonner le plan hydrologique de son prédécesseur qui, pour remédier au manque structurel d'eau du bassin versant méditerranéen de l'Espagne, accentué par l'urbanisation et l'intensification des cultures, avait prévu de détourner une partie de l'eau de l'Ebre vers les régions arides du Sud-Est, de Valence et de Murcie. Ce plan avait déclenché une vaste bataille politique au début des années 2000, la gauche et les écologistes dénonçant à la fois le coût et les répercussions écologiques de tels projets, qui auraient servi à l'irrigation de golfs et l'approvisionnement de complexes touristiques construits sans souci de l'existence, ou non, de ressources hydriques dans des régions parfois semi-désertiques. Le nouveau gouvernement a promis de ne jamais autoriser le transfert d'eau d'un bassin hydrologique vers un autre (transfert d'eau aussi envisagé depuis le Rhône, jusqu'à Barcelone). A la place, il est projeté de construire jusqu'à quinze nouvelles usines de dessalement (1,7 million m<sup>3</sup>/j) dans le programme AGUA basé sur des projets de dessalement de l'eau de mer, de développer la réutilisation d'eaux usées épurées (200 Mm<sup>3</sup>/an) et de favoriser les économies d'eau, pour alimenter en eau potable les grandes villes côtières et atténuer également les déficits en eau observés au niveau de certaines zones irriguées. Le secteur privé joue également un rôle important dans le développement et l'exploitation des projets de dessalement de l'eau de mer.

Barcelone, menacée de restrictions d'eau, voit grandir le chantier de la plus grande usine de dessalement d'Europe; 200 000 m<sup>3</sup>/j, ce qui permettra d'alimenter 1,3 millions d'habitants, le projet aboutira mi 2009.

L'Espagne a la particularité d'affecter une part importante de l'eau dessalée aux besoins de l'agriculture, en particulier pour la production de légumes sous serre destinés à être exportés « à contre-saison » sur le marché européen afin de concurrencer des produits cultivés sous serres chauffées au gaz aux Pays Bas (ce qui apparaît comme un exemple de non durabilité). L'usine de Carboneras, 121 000 m<sup>3</sup>/j dans la province aride d'Almeria, alimente à la fois l'agriculture et le tourisme, mais ne fonctionne qu'à 15% de sa capacité, faute de clients. Destinée à l'origine à approvisionner la région de Mojacar, elle devait aussi fournir les immenses cultures sous serre de la région. Mais le coût plus élevé de l'eau dessalée incite les agriculteurs à continuer de puiser, souvent illégalement, dans la nappe phréatique. C'est pourquoi est envisagé le transfert d'eau dessalée de cette usine de Carboneras, vers Barcelone.

(cf. article du Monde paru dans l'édition du 25.04.08 - Cécile Chambrud)

## 1.2. Chypre : sécheresse, rationnement de l'eau et dessalement

Ile au climat semi-aride en pénurie croissante d'eau, Chypre a toujours été confrontée au problème de l'inadéquation de ses ressources en eau pour répondre à la fois aux besoins domestiques et d'irrigation. La situation tend à empirer : en mars 2008, l'île connaît déjà une grave crise (du fait de sécheresses répétées) nécessitant le rationnement d'eau. Les autorités de la partie grecque ont décidé l'importation d'eau depuis la Grèce. Pour la partie nord de l'île, les besoins sont déjà couverts à 60 % par la Turquie (transport par d'énormes ballons de 30000 et 35000 m<sup>3</sup>) et la construction d'un pipeline de 110 km, dont 78 km immergés, entre la Turquie et Chypre Nord est étudiée.

Deux usines de dessalement sont opérationnelles et produisent 94 000 m<sup>3</sup>/j. L'usine de Larnaca, inaugurée en avril 2001, a une capacité de production théorique de 54 000 m<sup>3</sup>/j. Elle a été construite sur la base d'un contrat de type BOOT (Build, Own, Operate and Transfer) de 10 ans par le consortium israélien Israeli Desalination Engineering (IDE)/Oceania qui, avec ses partenaires locaux (Epiphaniou), a constitué la société de droit local "Larnaca Water Partners". L'eau est destinée surtout à alimenter les agglomérations de Larnaca et de Nicosie, dont les besoins s'accroissent au rythme de 4% par an.

Celle de Dhekalia a une capacité de 40 000 m<sup>3</sup>/j. Réalisée par le consortium hispano-chypriote Catagua - Caramondani en BOOT, elle a été mise en service en avril 1997 avec une capacité de 20.000 m<sup>3</sup>/j portée à 40.000 en 1998, et modernisée et rendue beaucoup plus efficace avec une réduction de la consommation d'énergie. Une troisième usine est prévue dans la région de Limassol pour rentrer en service en 2008.

Des efforts importants ont été faits pour améliorer les ressources et la gestion de l'eau :

- par l'augmentation des capacités de stockage car Chypre dispose actuellement de 106 barrages et retenues d'eau, offrant une capacité de stockage de 307,5 millions de m<sup>3</sup>, et figure au premier rang des pays européens en termes de stockage d'eau avec un ratio de 50 grands barrages pour 10.000 km<sup>2</sup>. D'ici 2010, la capacité totale de stockage d'eau atteindra près de 400 millions de m<sup>3</sup>.

- grâce au « Southern Conveyor Project » qui assure un transfert interrégional de ressources en eau, avec plusieurs barrages, une conduite principale sur 110 km, le tunnel de diversion de Dhiarizos (14,5 km), ainsi que les stations de traitement de Limassol et de Tersephanou. Il permet l'irrigation de près de 14 000 ha.

Des projets d'assainissement urbain et de traitement des eaux usées à des fins d'irrigation ont été réalisés ou sont en cours dans les principales agglomérations chypriotes. Il est aujourd'hui prévu de développer l'assainissement de communes en milieu rural. Chypre compte dans ce domaine sur l'aide financière de la BEI et de la Banque de Développement du Conseil de l'Europe. Les évolutions politiques récentes, après les élections de début 2008 et la reprise du dialogue entre les communautés grecques et turques, pourraient ouvrir la voie à une politique globale de l'eau à Chypre plus efficace.

### 1.3. Malte : une île touristique pionnière du dessalement en Méditerranée

La république de Malte, État insulaire situé au centre de la Méditerranée, à 80 km au sud de la Sicile, comprend les îles de Malte, Gozo, Comino et Filfola, environ 96 km au Sud de la Sicile italienne, et 290 km au Nord de la Tunisie. La surface totale est de 316 km<sup>2</sup>. Malte est constituée par un plateau karstique de faible altitude (son point culminant s'élève à 239 m) et très aride. Le climat, de type méditerranéen, présente des étés chauds et secs et des hivers froids et humides. Les précipitations annuelles sont d'environ 560 mm. La population de l'archipel maltais est estimée à 400 000 habitants, soit une densité moyenne de 1 250 habitants au km<sup>2</sup>, l'une des plus élevées au monde, et en croissance vers 425 000 habitants d'ici les 15 prochaines années. Les ressources en eau de l'île étant très limitées, cette densité de population est une donnée fondamentale qui pèse sur le développement du pays. La population est citadine à 90%.

Pour faire face aux besoins de la population, l'eau est obtenue de deux façons : les eaux souterraines et le dessalement. Les installations de dessalement ont été introduites dans les années 80 en réponse à un manque d'eau provenant d'une demande croissante et d'une insuffisance d'eau naturelle. Aujourd'hui, le dessalement contribue jusqu'à 60% à la fourniture en eau potable de Malte, avec 150 000 m<sup>3</sup>/j installés. Il y a trois usines de dessalement, et beaucoup de petites installations, notamment dans les hôtels.

Malte a une des plus anciennes expériences en dessalement d'eau de mer de toute la région méditerranéenne.

Les 3 plus anciennes unités d'osmose inverse, datant de 1982, 1989 et 1994, sont :

**Tableau 2 Unités de dessalement à Malte**

Ghar Lapsi	1982	20,000 m <sup>3</sup> /j	10 × 2,000 m <sup>3</sup> /j
Cirkewwa	1988/89	18,600 m <sup>3</sup> /j	2 × 3,000 m <sup>3</sup> /j    3 × 4,200 m <sup>3</sup> /j
Pembroke	1991/94	54,000 m <sup>3</sup> /j	6 × 4,400 m <sup>3</sup> /j    6 × 4,600 m <sup>3</sup> /j

Des améliorations sensibles de l'efficacité énergétique des unités de dessalement ont été réalisées. Une technologie moderne de récupération de l'énergie a été incorporée aux usines existantes par le Water Service Corporation:

- des roues Pelton installées sur 6 trains utilisant des pompes pour osmose inverse à Phase Pembroke II, remplaçant un équipement plus ancien. Ce projet a contribué à une réduction de la consommation d'énergie de 4,5 KWh/m<sup>3</sup> à 3,6 KWh/m<sup>3</sup>.
- des échangeurs de pression incorporés à Lapsi, avec un changement complet de l'équipement ainsi qu'un remplacement de la pompe à haute pression. La consommation énergétique spécifique a été réduite de 4,8 KWh/m<sup>3</sup> à 3,2 KWh/m<sup>3</sup>. Cela a participé à une économie annuelle en électricité d'environ 13 millions de KWh.

Aujourd'hui, près de 10 % des eaux usées de Malte sont traitées, et rendues disponibles pour une réutilisation dans les secteurs agricoles et industriels, soit un volume annuel total de près de 1,5 hm<sup>3</sup>. A partir de 2008, la construction programmée de trois nouvelles stations de traitement permettra la production de près de 14 hm<sup>3</sup> d'effluents retraités par an.

25% des lits hôteliers de Malte dépendent d'eau dessalée en autoproduction, ce chiffre devrait croître dans le futur du fait qu'un nombre croissant d'hôtels 4 et 5 étoiles situés sur la côte installent leur propre installation d'osmose inverse (50% des hôtels 5 étoiles, et 20% des hôtels 4 étoiles consomment de l'eau dessalée autoproduite).

Cependant très peu d'hôtels s'intéressent au traitement et la réutilisation des eaux usées (Cf Paragraphe 3).

## **2. RIVE SUD : LES PAYS PRODUCTEURS D'ENERGIE : ALGERIE, LIBYE, EGYPTE**

### **2.1. Algérie : dessalement urbain massif**

A Alger et pour l'ouest du pays, la sécheresse oblige à ramener la plage horaire de distribution dont bénéficie 70% de la population, de 16h/par jour à 8h/jour.

Un grand programme de forages est lancé à l'Ouest du pays et concerne Tiaret, Chlef, Mascara, Aïn Temouchent, Sidi Bel Abbès. Le grand projet d'acheminement de l'eau de Aïn-Salah vers Tamanrasset sur plus de 70 km, assurera à l'horizon 2010 une alimentation en eau potable de l'ordre de 100 000 m<sup>3</sup>/j participant au plan du développement du Grand-Sud.

En outre, pour pallier le manque d'eau potable dans le pays et ne plus dépendre des aléas climatiques, l'Algérie a décidé de miser sur des usines de dessalement. 43 unités seront opérationnelles d'ici 2019, pour approvisionner les grands centres urbains, en réservant les eaux traitées et les eaux de barrage à l'agriculture et l'usage industriel (1 000 000 m<sup>3</sup>/j installés, 2 000 000 m<sup>3</sup>/j programmés). Le dessalement est ainsi appelé à répondre aux besoins de plus d'un cinquième de la population. « L'eau dessalée, du fait de son coût relativement élevé, ne peut être utilisée que pour la consommation domestique. L'idée est d'approvisionner les grands centres urbains, comme Alger, Oran ou Skikda, en eau dessalée et de réserver les eaux traitées et les eaux de barrage à l'irrigation, l'agriculture et l'usage industriel » (le Ministre de l'Eau, Journal El Watan, Les agriculteurs sont appelés à utiliser le goutte-à-goutte pour l'irrigation, plusieurs unités d'épuration des eaux usées sont en cours de réalisation pour couvrir les besoins de l'agriculture. Les citoyens sont sensibilisés à rationaliser la consommation de l'eau et à mettre un terme aux déperditions d'eau qui avoisinent à Alger le taux de 40%. Cependant, le gouvernement a annoncé que malgré le développement des usines de dessalement, le prix de l'eau restera inchangé pour les consommateurs algériens (grâce aux subventions).

Dix usines sont déjà en service dans le pays, et 33 nouvelles sont prévues d'ici 2019, les 12 principales étant réalisées suivant la formule BOO (Build, Own, Operate), où conception, réalisation et exploitation de l'usine sont à la charge de l'investisseur privé étranger pendant le temps de la concession accordée par l'Etat. C'est le cas d'El Hamma, 200 000 m<sup>3</sup>/j soit le tiers de l'eau potable d'Alger, inaugurée le 24 février 2008 par le Président Bouteflika. Ce projet de 245 millions de dollars a pour partenaires l'AEC et l'ADE (30%) et le groupe américain IONICS (70%). A la fin de 2009, 13 nouvelles unités de dessalement fourniront 2,3 millions m<sup>3</sup>/j à Tipasa, Skikda, Mostaganem, Beni-Saf (Tlemcen), Arzew.

L'usine d'Oran (à Magtaa, commune de Mers El Hadjadj) produira, en 2011, 500 000 m<sup>3</sup>/j d'eau potable [Source El Watan avril 2008].

C'est le groupe Hyflux de Singapour qui a remporté ce projet, en BOO après appel d'offres, pour un prix de cession du m<sup>3</sup> d'eau de 0,5577 dollar/m<sup>3</sup> devant cinq compagnies et consortiums concurrents, pour un coût total d'investissement d'environ 468 millions de dollars. Hyflux a devancé deux consortiums espagnols Befesa-Sadyt Somague (0,62 dollar/m<sup>3</sup> et 587 millions de dollars), Inima-Aqualia (0,64 dollar/m<sup>3</sup> et 498 millions de dollars), un consortium anglo-algéro-japonais

Biwater-Toray-Arcofina (0,797 dollar/m<sup>3</sup> et 619 millions de dollars), un autre groupe espagnol Acciona-Agua (0,798 dollar/m<sup>3</sup> et 709 millions de dollars) ainsi qu'un groupement américano-égyptien GE Water-Orascom (0,85 dollar/m<sup>3</sup> et 870 millions de dollars). Le délai de réalisation est de 36 mois.

Hyflux a déjà remporté en consortium avec le groupe Malakoff de Malaisie le projet de dessalement de l'eau de mer de Souk Tlata, situé à Tlemcen, avec une capacité de 200 000 m<sup>3</sup>/j.

D'autres unités seront localisées à Mostaganem, Zéralda (Alger-Ouest), à Cap Djinet à l'Est d'Alger), à Sidna Ouchaa, Honâïne et Aïn Tourk dans la wilaya d'Oran, Jijel et El Kala. Et 20 autres petites stations seront réalisées, d'ici 2016, sur le budget de l'Etat et seront confiées à la charge de l'ADE (Algérienne des Eaux).<sup>5</sup>

Par ailleurs, un accord de coopération avec la France pour le dessalement nucléaire a été signé en décembre 2007.

## 2.2. Libye : du pétrole, mais trop peu d'eau

La Libye, pays aride, manque d'eau, mais est très riche en pétrole et gaz. Les besoins en eau sont en forte croissance avec une ressource en eau totalement « non durable » (eaux fossiles, dessalement). Une capacité de dessalement de 900 000 m<sup>3</sup>/j est installée. Le dessalement se fait essentiellement par distillation bien qu'une trentaine de petites unités utilisent l'osmose inverse.

Le principal concurrent du dessalement en Libye est le projet de rivière artificielle, the Great Man-Made River (GMMR), considéré comme le plus grand projet de transfert d'eau dans le monde, sur une distance de 1600 km, en 3 phases, pour un débit de plus de 5 millions de m<sup>3</sup>/j. Ce grand transfert d'eau n'est pas « durable », car il s'agit d'eau d'une grande nappe aquifère fossile dans le Sud de la Libye, profonde de 3000 à 6000 m, dont l'origine remonte à 3000 ans et qui ne se renouvelle pas. Il est probable, qu'à partir de 2050, ces ressources aquifères fossiles non renouvelables vont décroître puis disparaître. La Libye se trouvera alors en situation de pénurie d'eau très aigue et devra donc recourir au dessalement à très grande échelle. Dans le court terme, il est prévu la mise en place d'usines de dessalement pour un volume supplémentaire de 1 million de m<sup>3</sup>/j dans les 5 prochaines années.

Pour les prochaines années, un accroissement très rapide de la demande en énergie électrique est attendu. Les usines de dessalement de l'eau constitueront les principaux moteurs de la demande. Pour y répondre, différentes sources d'électricité non émettrices de CO<sub>2</sub> sont analysées : énergies renouvelables et énergie nucléaire.

La compagnie d'électricité GECOL (General Electricity Company of Libya) étudie l'installation d'une unité pilote de dessalement d'eau de mer, avec des sources d'énergie renouvelable. L'énergie éolienne et photovoltaïque sera utilisée pour le fonctionnement d'une unité utilisant la technologie de l'osmose inverse avec récupération d'énergie. La production nominale sera de 300 m<sup>3</sup>/j pour l'alimentation d'un village en eau potable.

En outre, un accord de coopération franco-libyenne a été signé le 10 décembre 2007, pour le développement des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire et le dessalement d'eau de mer. Ce texte comporte des dispositions relatives à l'aide à la formation, à la mise en place d'un arsenal législatif, réglementaire et administratif, à la fourniture "d'un ou plusieurs réacteurs pour le dessalement de l'eau de mer", et au soutien à l'exploration et l'exploitation de l'uranium. Des actions

---

<sup>5</sup> Voir en annexe un Tableau général des stations de dessalement en Algérie.

de formation d'ingénieurs libyens sur les questions d'énergie nucléaire au service du dessalement sont en cours (Accord de coopération CEA<sup>6</sup> Libye signé pour 3 ans en novembre 2006).

### 2.3. Egypte : projets de dessalement par éolien en mer rouge

Les ressources en eau de l'Egypte viennent principalement du Nil. Face aux besoins d'une population croissante et de l'irrigation, le dessalement de l'eau de mer et saumâtre est de plus en plus envisagé.

Les projets semblent pour l'instant limités à des zones isolées, éloignées du Nil et des adductions d'eau qui souffrent d'une grande pénurie d'eau. Des études ont déjà été menées pour les gouvernorats du Nord Sinaï, Sud Sinaï et de Matrouh. Le problème se pose aussi pour le gouvernorat de la Mer Rouge (20% de la superficie du pays pour seulement 0,2% de la population) qui est particulièrement isolé et enclavé et qui n'est pas raccordé au réseau électrique. Heureusement certains sites sont dotés d'un potentiel éolien local intéressant, stable toute l'année, à valoriser. Ils seraient adaptés à des systèmes de dessalement à compression mécanique de vapeur (MVC) ( en cours d'étude).

## 3. L'ACTIVITE DE DESSALEMENT DANS LES PSEM IMPORTATEURS D'ENERGIE

### 3.1. Israël : vers la maîtrise de l'eau

En Israël, une capacité de dessalement de plus de 800 000 m<sup>3</sup>/j est installée.

La pluviométrie moyenne est de **250 mm/an** (700 mm/an dans le Nord contre 20 mm/an dans le Sud), avec de courtes périodes de pluie et des années de grande sécheresse. D'autres facteurs tels que le faible relief et la rareté des réservoirs naturels contribuent à accentuer la complexité de l'approvisionnement en eau. Les 2/3 du potentiel annuel en eau potable proviennent de 3 principaux réservoirs : le lac de Tibériade, seule réserve en surface (1/4 des ressources), et les deux principales nappes phréatiques (la nappe côtière qui s'étend sur 120 kilomètres du Carmel jusqu'à la bande de Gaza et la nappe montagneuse à l'est de la plaine côtière qui s'étend des Monts Carmel au sud de Beersheva (1/5 des ressources chacune). Les sources naturelles, spécialement dans le nord du pays, sont la troisième ressource principale d'eau potable. Outre son problème crucial de manque d'eau, Israël est confronté à une détérioration de la qualité des ressources en eau.

**Une consommation croissante** d'eau globale annuelle est d'environ 2000 Mm<sup>3</sup> La répartition par secteur est de 56% pour l'agriculture, 38% pour l'usage domestique et 6% pour l'industrie. L'alimentation en eau par Israël de la Jordanie et des Territoires palestiniens est prévue dans le cadre des accords de paix. La consommation devrait continuer d'augmenter en raison de l'arrivée massive de nouveaux immigrants, de la croissance naturelle de la population et de l'accroissement du niveau de vie.

---

<sup>6</sup> CEA : Commissariat à l'Energie Atomique français

Le programme national initialement prévu pour surmonter en 10 ans l'insuffisance à venir des ressources, ainsi que pour renflouer les aquifères surexploités, a été repensé pour privilégier dans l'immédiat de grandes usines de dessalement - à Ashkelon et à Hadera - en faisant appel notamment à l'investissement privé. Par ailleurs, les autorités israéliennes poursuivent leur politique d'encouragement au développement des nouvelles ressources telles que la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation, l'utilisation d'eaux saumâtres et salines dessalées en agriculture et la collecte des eaux de pluies.

L'entreprise publique Mekorot est le principal producteur des ressources en eau. Les grands projets sont le transfert d'eau Red Sea - Dead Sea et le dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre. L'usine de dessalement d'Ashkelon, plus grande unité en osmose inverse au monde, produit 320 000 m<sup>3</sup>/j, soit un sixième de la consommation domestique de l'état hébreu. Pour Veolia, l'entreprise française qui prend part au projet, c'est une vitrine technologique : l'usine produit une eau non seulement de très haute qualité mais en plus à un prix très compétitif puisque le coût du mètre cube à la sortie n'est que de 0,5 €/m<sup>3</sup>. Pour Israël, l'usine répond à un double objectif. Il s'agit d'abord de diminuer la dépendance en eau du pays : la consommation d'Israël provient de ressources naturelles limitées, peu sûres (fortes variations annuelles) et disputées (comme le Jourdain). L'acheminement d'eau douce depuis l'étranger (Turquie) est également à l'étude. Au-delà de sa propre consommation, Israël compte également sur ce projet pour développer son savoir-faire dans le marché d'avenir des technologies liées à l'eau.

### **3.2. Maroc : un dessalement raisonné**

Au Maroc, les ressources en eau sont limitées et en grande partie déjà mobilisées grâce aux ouvrages de stockage et de transfert actuels. Les écoulements superficiels sont faibles. Ils sont l'effet de quelques crues, souvent brèves et intenses. Les précipitations connaissent une grande disparité régionale.

Les bassins du Bou Reg Reg, de l'Oum Er Bia, du Tensift, du Souss-Massa et de la Moulouya qui concentrent l'essentiel des demandes en eau du pays, accusent un déficit en eau important. Sur l'ensemble des ressources en eau disponibles, résultant de la pluie efficace, seulement 16 milliards de m<sup>3</sup> sont mobilisables dans des conditions techniques et économiques acceptables. En effet, les précipitations atteignent près de 2000 mm/an dans les zones les plus arrosées au Nord et descendent en deçà de 100 mm dans les zones arides du Sud du pays.

Au total, le Maroc dispose d'un potentiel naturel de ressources en eau, estimé en année moyenne à près de 20,7 milliards de m<sup>3</sup>, soit une dotation moyenne par habitant de près de 691 m<sup>3</sup>/an.

Outre ces caractéristiques naturelles, le potentiel hydrique est fortement sollicité avec une surexploitation de la quasi-totalité des nappes du pays. Ce potentiel est également menacé par la pollution des rejets urbains et industriels et par l'usage des engrais chimiques et des pesticides en agriculture. Il en résulte la baisse des niveaux piézométriques, la diminution des débits voire le tarissement des sources, la perturbation et la régression de l'irrigation traditionnelle et des oasis.

L'augmentation de ce potentiel est mobilisé dans le développement de l'agriculture irriguée à grande échelle sur près de 1,6 millions d'hectares qui consomme beaucoup et est encore loin d'être performante. On a évalué la perte de volumes d'eau en irrigation et distribution d'eau potable à près de 4790 millions de m<sup>3</sup> par an, dont 2300 millions de m<sup>3</sup> sont considérés récupérables dans des conditions techniques et économiques acceptables.

**Pour pallier ses problèmes de pénurie d'eau, la mobilisation des ressources en eau non conventionnelles au Maroc, notamment le dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre est une option à ajouter aux actions de gestion de la demande.**

Plus de la moitié la population urbaine vivant au bord ou à proximité de la mer, le dessalement de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre peut en effet constituer une solution appropriée non seulement pour les villes du Sud mais également pour des grandes villes. Des projets sont d'ailleurs lancés à Agadir (44 000 m<sup>3</sup>/j en première phase, suivi d'une deuxième phase dans les 5 ans), Layoune (13 000 m<sup>3</sup>/j) et Tan Tan (90 000 m<sup>3</sup>/j).

Le Maroc a accumulé une expérience de 30 années dans le domaine du dessalement de l'eau de mer et de l'eau salée, ce qui lui permet de disposer d'une capacité installée de 20 000 m<sup>3</sup>/j, soit 2% de la capacité nationale de production d'eau potable. Les principales stations sont installées dans les provinces du Sud (Laâyoune, Boujdour, Tarfaya et Tan Tan) en raison de la quasi-absence des ressources en eau conventionnelles dans ces régions.

Le dessalement est ainsi appelé à jouer un grand rôle à l'avenir dans ce pays, il pourrait s'accélérer avec la baisse progressive des coûts, qui le rend compétitif par rapport à l'eau conventionnelle. Il peut représenter la seule issue pour résorber les déficits observés dans beaucoup de bassins et pour résoudre les conflits entre les différents usages qui sont apparus dans des bassins où le dessalement n'a jamais été envisagé auparavant (Tensift, Oum Erbia et Bou Regreg).

**Tableau 3 Installations de dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre existantes ou en construction au Maroc**

Centre	Process	Eau brute et Capacité (m <sup>3</sup> /j)	Date de Mise en service	Observations
Tarfaya	Electrodialyse	Eau saumâtre 75 m <sup>3</sup> /j	1976	Hors Service
Boujdour	Distillation MED-MCV	Eau de mer 250 m <sup>3</sup> /j	1977	Réhabilitée en 1997 et en 1998
Tarfaya	OI	Eau saumâtre 120 m <sup>3</sup> /j	1983	réhabilitée 1988 Hors Service
Smara	OI	Eau saumâtre 330 m <sup>3</sup> /j	1986	Hors Service depuis 1994
Boujdour	OI	Eau de mer 800 m <sup>3</sup> /j		1 <sup>ère</sup> phase
Boujdour	OI	Eau de mer 2400 m <sup>3</sup> /j		2 <sup>ème</sup> phase
Laayoune	OI	Eau de mer 7000 m <sup>3</sup> /j 6000 m <sup>3</sup> /j	1995 2005	1 <sup>ère</sup> phase 2 <sup>ème</sup> phase
Tarfaya	OI	Eau saumâtre 800 m <sup>3</sup> /j	2001	
Tan Tan	OI	Eau saumâtre 1700 m <sup>3</sup> /j	2003	
<b>Total production en service</b>		<b>20 000 m<sup>3</sup>/j</b>		
<b>Projets</b>				
Agadir	OI	Eau de mer 44000 m <sup>3</sup> /j 2 <sup>ème</sup> phase 44000 m <sup>3</sup> /j	1 <sup>ère</sup> phase pour 2010	En appel d'offres
Laayoune	OI	Eau de mer 13000 m <sup>3</sup> /j	Extension 2009	Consultation en cours
Tan Tan	OI	Eau de mer 90000 m <sup>3</sup> /j		En projet



#### Encadré 4 - Projet de dessalement à Agadir

Agadir est une grande ville d'une population actuelle d'environ 800 000 habitants. La région connaît une grande évolution socio-économique liée principalement au tourisme. Plusieurs complexes touristiques sont en cours de construction ou programmés. Les ressources en eau souterraines sont en baisse continue (estimée à environ 5%/an), le débit actuel est maintenu chaque année grâce à de nouveaux forages. Le volume annuel régularisé par les barrages risque de connaître une baisse durant les années de sécheresse. Il est donc proposé de recourir au dessalement de l'eau de mer, avec une Concession de type BTO (Construction-Transfert-Exploitation). Le concessionnaire sera responsable du design, de la construction, l'exploitation et la maintenance des ouvrages. Il doit garantir une production d'eau prédéfinie conforme aux normes de qualité et un coût de production du m<sup>3</sup> d'eau produite. L'ONEP garantit l'achat de la production d'eau contractuelle.

Source : Rencontre avec l'ONEP (Office National de l'Eau Potable)

### 3.3. Tunisie : eau saumâtre et énergies renouvelables

La Tunisie est en situation de pénurie d'eau, avec des tensions croissantes. Plusieurs grands transferts d'eau potable sont en service. Une part croissante de la ressource en eau est saumâtre, avec détérioration des réserves aquifères du pays, puisque 50% des ressources en eau mobilisables ont un taux de salinité dépassant 1,5 g/l. Le gouvernement tunisien a donc envisagé, à partir des années 1980, l'option du dessalement des eaux saumâtres. Quatre principales stations ont été installées dans les régions de Kerkennah, de Gabès, de Djerba et de Zarzis et assurent le dessalement de 60 000 m<sup>3</sup>/j, sur une capacité totale, de l'ordre de 100 000 m<sup>3</sup>/j.

Pour continuer à améliorer la qualité -et la quantité- de l'eau potable, un programme national de dessalement a été arrêté. En première étape, l'objectif fixé est de réduire la salinité de l'eau distribuée sur tout le territoire à 1,5 g/l dans les régions où celle-ci dépasse les 2 g/l. A cet effet, dix stations de dessalement d'eaux saumâtres seront installées, avec une capacité cumulée de 40 000 m<sup>3</sup>/j, dans les zones de Kébili, Douz, Souk El Ahad, Tozeur, Nafta, Matmata et Béni Khedache. Dans un second temps, un programme de cinq usines dessalera de l'eau de mer dans les régions où les réserves hydriques sont limitées. Ainsi, sur l'île de Djerba est prévue une station de dessalement de 50 000 m<sup>3</sup>/j.

*« Pour sécuriser l'alimentation en eau potable des régions du Sud, la Sonede (Société nationale d'exploitation et de distribution des eaux) projette de réaliser cinq unités de dessalement d'eau de mer pour une capacité totale de 250000 m<sup>3</sup>/j et un investissement de l'ordre de 300 millions de dinars aux prix actuels (180 millions d'euros). Selon M. Mohamed Zaara, directeur du dessalement et de l'environnement, les ressources mobilisées pour l'île de Djerba ne seront plus suffisantes pour couvrir les besoins des consommateurs en 2010. Les travaux de construction de la première unité de Djerba (50000 m<sup>3</sup>/j) devraient démarrer à la fin de 2008 (la procédure de sélection des entreprises par appel d'offres est en cours). Suivront les usines de Zaarat (pour Médenine et Gabès en 2011-2012) et celles de Sfax (trois unités en 2015, 2020 et 2025). « Le dessalement de l'eau de mer représente l'alternative la plus économique pour répondre aux besoins additionnels en eau de la région » (Sonede)*

Source journal « La Presse » (9 septembre 2007)

Pour réduire le coût du dessalement et économiser l'énergie, l'Etat envisage le recours aux **énergies renouvelables** pour le dessalement des eaux saumâtres et de l'eau de mer, pour trois projets déjà identifiés :

- le solaire photovoltaïque pour la station de Ksar Ghilane (2 m<sup>3</sup>/j),

- le recours à l'énergie solaire dans 45 nouvelles stations de dessalement, mises en service en 2011 dans des régions du Sud, dont Médenine, Tataouine et Kébili,
- à titre d'expérience pilote, l'énergie éolienne dans l'une des stations de dessalement des eaux saumâtres du gouvernorat de Kébili.

La Tunisie a déjà sur son territoire plusieurs projets pilotes et des plateformes de démonstration comme celle de Borj-Cédria (Cf. Paragraphe formation).

Par ailleurs, la France et la Tunisie ont paraphé le 28 avril 2008 un accord-cadre de partenariat dans le nucléaire civil pour une durée de 20 ans, à l'occasion de la visite d'Etat du président Nicolas Sarkozy à Tunis. Sont cités, parmi les domaines concernés par ce partenariat, l'énergie et le dessalement d'eau de mer.

### **3.4. Jordanie : éolien à l'étude pour le dessalement**

Un système de dessalement en osmose inverse à énergie éolienne est proposé, avec une étude de simulation pour huit différents sites en Jordanie, en fonction des données de vitesse de vent et de la salinité de l'eau à dessaler. Il en ressort que les sites de Hofa et RasMuneef sont les plus adéquats pour le dessalement en osmose inverse à énergie éolienne (ils fournissent 57% du volume d'eau de l'ensemble des huit sites). Le second groupe de sites est "prometteur" mais moyen (sites de Safawy, Twaneh et Tafila, fournissant 30% du total de l'eau dessalée des 8 sites). Le troisième groupe est médiocre (sites de Jurf AlDaraweesh, Aqaba, et Shoubak, fournissant seulement 13% du volume total d'eau).

Le chapitre qui suit a pour objectif d'analyser dans quelle mesure l'utilisation des énergies sans émissions de CO<sub>2</sub> est possible dans ce domaine.

## **V. UN DESSALEMENT SANS EMISSIONS DE CO<sub>2</sub> EST-IL POSSIBLE ?**

L'état des lieux dans les pays méditerranéens effectué précédemment, montre la forte croissance du dessalement actuel et futur et, par conséquent, de la consommation d'énergie à laquelle on peut s'attendre. Le dessalement est d'ores et déjà perçu comme une mesure d'adaptation possible à la raréfaction des ressources en eau sous les effets du changement climatique dans les pays méditerranéens.

Cependant, le défi pour ces pays sera à l'avenir d'une part de ne pas favoriser les émissions de CO<sub>2</sub> à travers cette option d'adaptation fortement consommatrice d'énergie et, d'autre part, de ne pas encourager des modes de production et de consommation (d'énergie et d'eau) non durables.

Une réponse possible passe par l'efficacité énergétique dans ce secteur et par le recours aux énergies non émettrices de CO<sub>2</sub> (énergies renouvelables et nucléaire). Ce dernier point est analysé dans cette partie. Le solaire a déjà fait l'objet de réalisations en thermique et photovoltaïque. L'éolien est intéressant dans les zones côtières ventées (Gibraltar, Mer Rouge...) et le nucléaire est à l'étude dans quelques pays.

# 1. DESSALEMENT PAR ENERGIES RENOUVELABLES : UNE VRAIE POSSIBILITE, A METTRE EN ŒUVRE ET GENERALISER

## 1.1. Les atouts et contraintes

Le grand potentiel des pays méditerranéens en énergie solaire et éolienne peut servir au dessalement sans émission de carbone.

Cependant, l'utilisation des énergies renouvelables pour le dessalement conventionnel souffre de deux contraintes : leur coût élevé et la discontinuité de la production (alternance jour/nuit pour le solaire et aléas climatiques pour l'éolien) :

- Pour pallier la première, l'utilisation de procédés de dessalement à très hautes performances énergétiques est impérative. Le procédé d'osmose inverse, utilisant uniquement de l'énergie électrique ou mécanique, est le plus performant du point de vue énergétique (2,5 à 3 kWh/m<sup>3</sup> dans le cas de l'eau de mer).
- Pour pallier la seconde, il y a une nécessité d'un stockage d'énergie ou de connexion au réseau.

Au niveau mondial, environ une centaine d'unités de dessalement associées aux énergies renouvelables ont été construites ces 20 dernières années. La plupart sont des petites installations expérimentales ou de démonstration (0,5 à 200 m<sup>3</sup>/j). Plusieurs sont localisées en Méditerranée (Egypte, Algérie, Tunisie). Elles fonctionnent avec un stockage d'énergie par batteries, entraînant des coûts élevés (durée de vie limitée, pertes d'énergie) et pâtissent du manque de compétence locale en particulier pour la maintenance.

Cependant, l'expérience montre que les unités de dessalement solaire et éolien de petite capacité, bien conçues et exploitées, peuvent permettre d'alimenter en eau de bonne qualité des sites isolés, à des coûts dès aujourd'hui intéressants. Mais si l'on veut éviter des difficultés de fonctionnement dans la durée et assurer bonne maintenance et durabilité, les installations doivent être les plus simples et les plus fiables possibles.

## 1.2. Deux exemples d'éolien associé au dessalement

En Australie, à Kwinana (près de Perth), une nouvelle grande usine de dessalement de 200 000 m<sup>3</sup>/j, mise en service en 2007, est combinée avec une centrale éolienne qui produit en « énergie verte » l'équivalent annuel de l'énergie électrique consommée. L'unité de dessalement consomme 20 MW électriques en base, et 50 MW d'éolien ont été installés (48 éoliennes, au parc éolien d'Emu Downs au nord de Perth). Il n'y a donc, en équivalent énergie, aucune émission de carbone additionnelle du fait du dessalement de l'eau de mer de l'usine de Perth.

En Espagne Grande Canarià Montana Pelada : à Gáldar-Gran Canaria, l'unité de dessalement (Aragua S.A) mise en service en 1990 et agrandie en 1998 a une capacité de 15 000 m<sup>3</sup>/j et une consommation annuelle estimée de 25 000 MWh. Le parc éolien, étudié et financé par l'IDAE, mis en service en mars 2001, a une capacité de 4,62 MW, comportant 7 aérogénérateurs de 660 kW d'un fonctionnement équivalent à 2900 heures annuelles. L'énergie produite est principalement « autoconsommée » pour les besoins du dessalement, avec équilibre par le réseau électrique.

Divers projets éoliens sont étudiés pour le dessalement, en Mer Rouge, en Jordanie, en Tunisie dans le gouvernorat de Kébili.

### 1.3. Le solaire photovoltaïque et thermique, une ressource à exploiter davantage

#### Association de l'énergie solaire à l'osmose inverse

Le **solaire photovoltaïque** est utilisé très largement et depuis longtemps pour le pompage de l'eau. Par exemple, sur le site d'El Hamrawin en Egypte, a été mise en service en 1981 une réalisation utilisant l'énergie mécanique d'une pompe solaire thermodynamique Sofretes, remplacée aujourd'hui par un générateur photovoltaïque.

En revanche, pour le dessalement il existe assez peu de réalisation en photovoltaïque, sans doute du fait des coûts élevés. On peut toutefois citer en Algérie, l'unité d'Hassi-Khebi, en osmose inverse, qui est associée à un générateur photovoltaïque.

Le **solaire thermique** est économiquement plus compétitif, et il y a déjà un nombre significatif de réalisations.

Le dessalement par distillation solaire thermique produit de quelques litres d'eau, jusqu'à plus de 30 m<sup>3</sup>/j (quantité qui permet de fournir 60 l/j et par habitant à un village de 500 habitants). En Méditerranée, il existe des distillateurs solaires, notamment du type serre, en Grèce, en Espagne et en Tunisie. Cette dernière prévoit le recours à l'énergie solaire dans 45 nouvelles stations de dessalement dans des régions du Sud, dont Médenine, Tataouine et Kébili. Dans le Sud tunisien à la station de Ksar Ghilane dont la capacité atteint 20 m<sup>3</sup>/j, une technique de distillation d'eau sans ébullition paraît bien adaptée au solaire ou à l'utilisation d'une source de chaleur à basse température.

Le **pôle technologique et scientifique** de dessalement par solaire et éolien de **Borj-Cédria** (Tunisie) est une plate-forme d'actions de démonstration, R&D et formation, avec diverses technologies : distillateurs à effet de serre par rayonnement solaire direct, osmose inverse, électrolyse, un aérogénérateur éolien de 4 kW pour une vitesse de vent de 7 m/s, un générateur photovoltaïque de 4 kWc avec batteries de stockage. Les objectifs visés sont multiples : formation de spécialistes tunisiens en dessalement, actions de démonstration sur le terrain, conduite d'activités de R&D pour résoudre des problèmes spécifiques (entartrage par la silice, problèmes posés par les eaux chaudes à plus de 70°C), études socio-économiques du dessalement comme solution alternative au problème de l'eau potable, contribution à la promotion d'une activité industrielle tunisienne en dessalement, avec transfert de technologie.

#### Encadré 5 Alambic Société 3MW

Un intéressant Alambic à fort coefficient de performance, pour la distillation d'eau de mer à partir d'énergies basse température (solaire, cogénération...) a été développé par la Société 3MW (Prototype de 2 m<sup>3</sup>/j en construction, environ 20 m<sup>2</sup> de surfaces de plaque dans un volume de 250 litres, optimum de performance à 85°C). Il s'agit d'un alambic permettant de distiller de l'eau de mer en utilisant uniquement de la chaleur à basse température (inférieure à 100°C).

#### Dessalement et CSP, un potentiel prometteur

Le solaire à concentration (CSP, Concentrated Solar Power) permettrait l'utilisation d'énergie solaire à grande échelle pour la production d'électricité. Le dessalement solaire à concentration se situe dans ce cadre (Concentrated Solar Power Desalination, projet MED-CSD, BMU, German Aerospace Center, NERC Jordanie, CNRST Maroc, NREA Egypte). Un projet solaire est envisagé pour Gaza, pour la production combinée d'électricité et d'eau douce par dessalement d'eau de mer qui pourrait être établi dans la région côtière coté Egypte de la péninsule du Sinaï.

L'étude MED-CSP prévoit une revue des technologies et une sélection des configurations de CSP et de dessalement les mieux adaptées techniquement aux régions Sud et Est de la Méditerranée, et qui

restent économiques, en vue du transfert de savoir faire des partenaires européens vers les partenaires méditerranéens. Des études de faisabilité vont être menées pour dessalement de l'eau en hybride combiné au CSP selon deux technologies : en Egypte à Aqaba, CSP-distillation MED, et en Algérie, CSP Osmose Inverse, comme centrales de référence pour la conception et les études de faisabilité dans les pays participants.

## **2. DESSALEMENT ET ENERGIE NUCLEAIRE, QUELLE PERSPECTIVE A MOYEN TERME ?**

A moyen terme, nombre d'experts considèrent que le nucléaire aura sa place en Méditerranée, en fournissant sans émissions de carbone des kWh nécessaires à une production très compétitive et en grand volume à la fois d'eau et d'électricité. Il y a une demande répétée et un intérêt politique certain de plusieurs pays du Sud de la Méditerranée. En particulier, Algérie, Libye et Maroc souhaitent de l'énergie nucléaire pour le dessalement.

### **2.1. Coopération méditerranéenne**

Trois accords de coopération nucléaire ont été signés, en fin 2007, entre la France et i) l'Algérie et ii) la Libye, et en avril 2008 avec iii) la Tunisie.

Le CEA<sup>7</sup> s'intéresse au couplage électricité dessalement, et voudrait explorer les possibilités d'amélioration de rendement de l'osmose inverse par réchauffement de la température de l'eau d'admission, ainsi que les possibilités de dilution des concentrats dans des eaux de rejet des centrales en bord de mer. Des collaborations sont menées avec l'Afrique du Nord (Libye, Maroc, Tunisie), avec un accueil d'ingénieurs stagiaires à Cadarache et des études de projet.

### **2.2. Technique et coûts**

Les procédés de distillation (MED et MSF) utilisent essentiellement de l'énergie thermique, un couplage est nécessaire entre le réacteur nucléaire et l'usine de dessalement qui a besoin de chaleur. L'osmose inverse ne nécessite que de l'électricité, sans couplage particulier<sup>8</sup>.

Au Kazakhstan, une unité de dessalement implantée à Chvetchenko (actuellement Aktau) sur la mer Caspienne, a fonctionné ainsi depuis 1973 (réacteur rapide BN 350 refroidi au sodium liquide, 125 MW électrique, 700 MW thermique). Il existe des installations pilotes en Inde, au Pakistan et au Japon (11 réacteurs) produisant de petites quantités d'eau en dessalement nucléaire, 110 000 m<sup>3</sup>/j par distillation.

Les concepteurs de centrales, pensant aux pays en développement, ont étudié des réacteurs polyvalents capables de produire de l'électricité et dessaler économiquement l'eau de mer. Des

---

<sup>7</sup> CEA : Commissariat à l'Energie Atomique français

<sup>8</sup> A noter que le préchauffage de l'eau de mer avant filtration en osmose inverse entraîne des gains significatifs en énergie.

études et séminaires ont été menés, par l'AIEA, sur « les progrès du dessalement nucléaire », en évoquant la conception, le couplage, l'économie et la sûreté des usines de dessalement nucléaire<sup>9</sup>.

Besoins énergétiques : à titre indicatif, pour produire 300 000 m<sup>3</sup>/j d'eau dessalée, la technique MED aura besoin de 520 MWth et 13 MWe, et l'OI aura besoin de 40 à 50 MWe. Il est donc difficile d'imaginer un réacteur EPR dédié uniquement au dessalement d'eau de mer. L'hypothèse la plus couramment envisagée est d'utiliser 5 à 10% de la puissance du réacteur pour dessaler, le reste alimentant le réseau électrique du pays et l'interconnexion électrique Méditerranée.

## 2.3. Compétitivité du dessalement nucléaire

Tableau 4 Coût en dollars du m<sup>3</sup> d'eau dessalée : comparaison entre turbine à gaz à cycle combiné de 600 MWe et tranche nucléaire PWR 900 (évalué avec le logiciel DEEP pour la Tunisie en 2005)

Installation de puissance	Distillation MED	Osiose inverse OI
CC-600	1,64 \$/m <sup>3</sup>	0,89 \$/m <sup>3</sup>
PWR 900	0,89 \$/m <sup>3</sup>	0,61 \$/m <sup>3</sup>

(Source des données IAEA-CEA)

L'eau dessalée en osiose inverse est la plus compétitive dans tous les cas, et clairement moins chère à partir d'énergie nucléaire, à 0,61 \$/m<sup>3</sup>, soit environ 0,4 €/m<sup>3</sup> (l'écart est bien sûr nettement accru en faveur du nucléaire PWR avec un prix du pétrole passé aujourd'hui à 100 \$ le baril ou plus).<sup>10</sup>

Tableau 5 Avantages et obstacles de l'énergie nucléaire

Avantages du nucléaire	Obstacles au nucléaire
Compétitivité économique	Investissement élevé
Protection de l'environnement, pas d'émission de émissions SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> Pas de CO <sub>2</sub> et de gaz à effet de serre	Acceptation du public : déchets nucléaires, sécurité, aspects psychologiques...
Stabilité des prix du kWh dans la durée	Nécessité de mettre en place un système administratif et réglementaire
Indépendance énergétique accrue	Problème de taille, nécessité d'un réseau d'une capacité suffisante et bien interconnecté
Forte valeur ajoutée dans le pays qui l'utilise	Délais longs pour le choix des sites, la formation des personnels, les questions de sûreté, la construction

<sup>9</sup> Le programme DEEP (Logiciel d'évaluation économique du dessalement) de l'AIEA analyse le dessalement nucléaire et fournit une estimation initiale du coût du dessalement nucléaire par rapport au dessalement traditionnel. Programme DEEP : <http://www.iaea.org/programmes/ne/nenp/npts/ndesal/index.htm>

<sup>10</sup> Il faut garder à l'esprit que toutes les simulations de prix du m<sup>3</sup> d'eau dessalé sont très sensibles au coût de l'électricité, qui n'est pas homogène selon les pays, et moins cher dans certains pays pétroliers.

### 3. RECUPERATION ET RETRAITEMENT DES EAUX USEES EN MEDITERRANEE : UN POTENTIEL SOUS-EXPLOITE ET DES TECHNOLOGIES VOISINES DU DESSALEMENT

En complément au dessalement des eaux de mer et saumâtres, il est apparu important, parmi les pistes d'avenir pour améliorer la gestion des ressources en eau, d'évoquer la réutilisation des eaux usées épurées, encore peu développée en Méditerranée. Ainsi, à Malte, seulement deux des grands hôtels qui se sont équipés en dessalement ont pris cette option du réutilisation. Cette question nous paraît à approfondir, la récupération et retraitement couteront moins en énergie que dessaler de nouvelles quantités d'eau de mer. Or, les technologies membranaires, d'osmose inverse et de traitement, sont voisines et les compétences nécessaires, emplois, besoins en formation, sont complémentaires.

La formation et le transfert technologique sont essentiels pour tous les aspects de la réutilisation des eaux usées épurées, pour laquelle les technologies membranaires sont très appropriées.

#### Encadré 6 : Eaux usées et production directe ou indirecte d'eau potable

Citons comme exemple une installation de réutilisation des eaux usées en irrigation agricole de grande taille à Koweit City, 375 000 m<sup>3</sup>/j.

Doivent être développés le recyclage des « eaux grises » en immeubles (traitées par un « bioréacteur » à membrane) et le recyclage des eaux usées dans l'industrie (en développement, exemple des papeteries). Dans certains cas, l'eau recyclée peut atteindre 85% de la consommation globale.

La production indirecte d'eau potable à partir d'eaux usées épurées suppose un stockage intermédiaire dans les nappes phréatiques, lacs ou autres réservoirs naturels. C'est une réalité opérationnelle à grande échelle aux USA, en particulier en Californie, où la recharge des nappes phréatiques permet d'éviter leur pollution par des entrées d'eau de mer. Elle devrait être d'avantage étudiée en Méditerranée, pour protéger les nappes phréatiques surexploitées, qui deviennent saumâtres dans les zones littorales (Maroc, Tunisie, Libye).

Un exemple de production directe d'eau potable : l'usine de Windhoek, en Namibie, production de 20 000 m<sup>3</sup>/j, mise en service en 2002. Avec pré ozonation, coagulation-floculation, filtration sur sable et par charbon actif, et ultrafiltration sur membrane (Veolia Water Systems).

Cette filière de potabilisation est moins couteuse en énergie et moins émettrice de gaz à effets de serre que le simple dessalement de l'eau de mer ou saumâtre. Elle devrait donc être encouragée.

Cependant, il existe des obstacles à l'introduction de la réutilisation des eaux usées épurées pour la production directe d'eau potable, qui sont de trois ordres :

- techniques : le traitement physicochimique d'épuration des eaux usées et d'hygiène (pollution bactérienne ou virale) pour garantir l'obtention des critères de qualité désirés et la sécurité, aujourd'hui faciles à surmonter sans difficulté majeure,
- économiques : la superposition de traitements de l'eau et de procédés physicochimiques entraîne des coûts d'investissement et des frais de fonctionnement, et exige l'emploi d'une main d'œuvre qualifiée,
- psychologiques et culturels : souvent les plus importants ! Car les populations ne sont pas prêtes d'emblée à utiliser leurs eaux usées, même parfaitement régénérées, pour les besoins de leur propre consommation. Ce point important nécessite sensibilisation et information, d'autant que trop souvent les sources ou les puits traditionnels auxquels les populations s'approvisionnent sont contaminés par des rejets incontrôlés.

Ceci nécessitera donc beaucoup d'actions d'information et de formation.

## **VI. PERSPECTIVES EN MATIERE DE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL ET ECONOMIQUE LIEES AU DESSALEMENT**

Dans le domaine du dessalement et du traitement de l'eau, qui sont liés, nous pensons qu'un développement industriel important est possible dans les PSEM, sous réserve de transfert de technologie, de formation et de coopération. L'accent pourrait être mis sur le décentralisé en énergies renouvelables.

A ce jour, ce n'est pas le cas, les investissements qui se réalisent sont de simples achats « clé en main » de technologies importées et utilisant une énergie d'origine fossile.

### **1. CO-BENEFICES ECONOMIQUES ET INDUSTRIELS**

Le développement du dessalement en Méditerranée peut apporter des co-bénéfices significatifs pour la région, en termes d'emplois, de développement de filières industrielles, de création d'entreprises de services. Ces co-bénéfices peuvent varier sensiblement selon les options retenues pour le dessalement (taille des infrastructures, type d'énergie).

Les grandes unités de dessalement à osmose inverse sont aujourd'hui construites « Clé en main », avec peu de fabrication locale. La technologie vient des pays développés du Nord, il y a donc encore assez peu de transfert de technologie et de savoir faire des partenaires européens vers les partenaires méditerranéens. Les récupérateurs d'énergie (Energy recovery) sont protégés par des brevets élaborés. Les membranes ne sont pas fabriquées dans les pays méditerranéens du Sud et de l'Est (sauf Israël, qui développe beaucoup les technologies liées à l'eau, et les entreprises israéliennes sont aujourd'hui compétitives pour de nouveaux marchés d'exportation). Mais la coopération méditerranéenne reste limitée, souvent pour des raisons politiques.

A noter le modèle institutionnel de la concession de dessalement à un opérateur privé, comme investisseur constructeur opérateur en BOO, choisi après appel d'offres international et souvent étranger (Alger El Hamma, Oran Magtaa, Ashkelon en Israël, Fujairah aux Emirats, Agadir dans l'appel d'offres ONEP au Maroc) est basé sur le seul critère du plus bas coût du m<sup>3</sup> et ne privilégie pas le transfert de technologie et le développement d'une filière industrielle dans les PSEM.

Pour tous les investissements futurs en dessalement et en traitement de l'eau dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée, les orientations proposées devraient être d'encourager le développement dans les PSEM, et en particulier les pays arides pour lesquels la bonne gestion de l'eau est cruciale, d'un vrai tissu industriel et de services liés à l'eau.

Les politiques de développement industriel des principaux opérateurs pratiquant le dessalement devraient être orientées en ce sens (utilisation des techniques de l'eau au niveau national avec acquisition du savoir-faire, voire exportation vers l'étranger).

Il y a un intérêt économique et stratégique à soutenir le développement, dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée, d'une filière technologique reposant sur des modes de production durables, en particulier pour des installations de dessalement de petite taille en zone aride n'utilisant pas une technologie de pointe. Il s'agit en particulier de projets décentralisés, avec ENR, utilisant l'énergie solaire thermique (par exemple le distillateur thermique à basse température de la société 3MW, qui



pourrait être fabriqué dans les pays de la Méditerranée avec des matériaux rustiques et adaptés (films en plastique, montage local) (Cf. ci-dessus le paragraphe 1.3, Solaire thermique).

Les besoins des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée en termes de recherche-développement, d'investissements et de formation relatifs au dessalement, sont considérables, notamment dans le domaine de la gestion de l'eau, de la formation en membranes et de retraitement d'eau. Il faut utiliser les écoles d'ingénieurs, universités, centres de formation. La Tunisie, le Maroc et Israël sont motivés dans ce sens.

Une véritable stratégie industrielle est donc à mettre en place dans le domaine du traitement de l'eau (par exemple : technologies membranaires, efficacité énergétique, distillateurs solaires thermiques...).

Il s'agit d'un enjeu très important et d'un travail de longue haleine qui devrait être entrepris en partenariat avec les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée, en favorisant le transfert de technologie et la formation pour la création d'emplois.

Une des suites qui pourraient être apportées à la présente étude pourrait être de poursuivre le travail sur le dessalement et la réutilisation des eaux usées, dans un esprit de développement industriel dans le domaine de l'eau en Méditerranée.

Un recensement des savoir-faire et des besoins dans les PSEM, en équipements et en services de maintenance pour les technologies et les métiers du traitement de l'eau, du pompage, des prélèvements et de l'irrigation, est à établir dans cette perspective de développement d'un vrai projet industriel, pour lequel il y aura complémentarité entre les deux rives de la Méditerranée.

(Cf. ci-après le Chapitre 7 critère N°5)

## **2. EMPLOI, FORMATION ET RESSOURCES HUMAINES POUR LES METIERS DE L'EAU**

La gestion de l'eau douce est un secteur très important en Méditerranée, mais les techniciens, gestionnaires et exploitants sont encore souvent trop peu nombreux. La formation initiale des techniciens et administratifs est souvent plus théorique que réellement pratique, et celle des agriculteurs et des irrigants est à développer. La formation professionnelle continue reste à organiser. Il faut donc former du personnel qualifié dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée, pour la bonne utilisation de l'eau, les techniques membranaires, les prétraitements et les traitements physico-chimiques pour les problèmes d'entartrage, de colmatage des surfaces d'échange, de dépôts et d'encrassement, de corrosion, de conditions de fonctionnement, de pression, de température, de vitesse d'eau, de type de pompes et de dimensionnement, de nettoyage, de filtration...

Des plateformes de démonstration comme celle de Borj-Cédria, pôle technologique en Tunisie, sont à utiliser pour ces actions de formation et de sensibilisation, en particulier dans les zones rurales dispersées et semi-arides pour des solutions décentralisées par énergies renouvelables.

Formation et information peuvent répondre aux aspects psychologiques et culturels de l'eau qui constituent souvent des obstacles à l'utilisation durable de l'eau recyclée. Il faudrait introduire ces questions dans la formation (y compris pour sensibiliser le grand public) ou dans les programmes scolaires.

## VII. DESSALEMENT ET ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

En conclusion, il apparaît important de mettre en évidence que des choix en matière de dessalement peuvent mener à des scénarios de cercle vicieux. En guise de recommandations, nous avons choisi de proposer un certain nombre de critères sur lesquels il nous apparaît important de réfléchir lors de la prise de décision d'investissement dans le domaine.

### 1. UN SCENARIO CATASTROPHE ?

Face à la pénurie qui menace les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée, le dessalement est-il une solution de facilité, coûteuse et de court terme, pour fournir de l'eau douce pour les plus riches mais au risque d'un scénario potentiellement « catastrophe » ? Ou une solution pouvant ponctuellement être qualifiée de « durable » ?

Un scénario énergie eau en Méditerranée à éviter absolument serait du type suivant : un pays investit massivement (à l'aide des bailleurs de fonds internationaux) dans des unités de dessalement ; la consommation d'énergie qui en suit explose, les émissions de CO<sub>2</sub> aussi. L'eau dessalée pour être valorisée sur le marché international est utilisée massivement pour des cultures à contre saison d'une part et pour des cultures réservées aux biocarburants d'autre part. Le pays, n'ayant pas développé de stratégie industrielle liée au dessalement, se voit contraint d'importer toujours plus d'équipements et de services de maintenance. En outre, il est dépendant des variations du prix international de ces équipements (eux-mêmes dépendants en partie du prix des matières premières et de la demande). Du fait des besoins en énergie des unités de dessalement (qui ne sont pas à énergie sans CO<sub>2</sub>), sa facture énergétique s'alourdit. Le pays, s'il est importateur, augmente son déficit commercial et, s'il est exportateur, augmente son manque à gagner. L'ensemble n'étant pas compensé pleinement par le développement des biocarburants, les terrains pour l'agriculture traditionnelle se raréfient et les importations de produits alimentaires explosent. Les tensions internes entre usagers s'accroissent...

On est ici dans un scénario perdant-perdant, mais qui n'est nullement invraisemblable si l'on accumule la mise en œuvre de solutions de facilité à court terme. Les conséquences pour le changement climatique sont très mauvaises : augmentation des émissions de gaz à effet de serre, épuisement des ressources en hydrocarbures, en sol, etc.

Ainsi, le dessalement n'est pas en soi une option compatible avec des objectifs de développement durable ; c'est une alternative d'adaptation à la raréfaction des ressources en eau, exacerbée par le changement climatique, dans le cas où toutes les autres possibilités « durables » ont déjà été exploitées.

Il devrait être limité à la production d'eau potable pour la consommation humaine, et pourrait utiliser des technologies à faible consommation, alimentées par des énergies renouvelables non émettrices de CO<sub>2</sub>. Soulignons, en contre exemple non souhaitable, la construction de deux usines de dessalement en Espagne, de plus de 100 000 m<sup>3</sup>/j pour l'irrigation de cultures sous serres à contre saison.

Il apparaît souvent plus facile pour les décideurs d'agir sur l'offre d'eau, en augmentant la production, que d'agir sur la demande. La mise en place de politiques d'utilisation rationnelle de l'eau (y compris une tarification incitative), aptes à réduire les pertes et les mauvaises utilisations, constitue

la première réponse face à l'augmentation tendancielle des demandes en eau et l'aggravation des pénuries.

Les progrès de l'osmose inverse sont une réelle promesse pour les pays en manque d'eau, en dessalement mais aussi pour tous les traitements des eaux usées utilisant les technologies membranaires. Cependant elle ne doit pas être considérée comme une solution de « facilité » car, quelle que soit la technique retenue, elle est coûteuse en investissement, en maintenance et génératrice d'impacts environnementaux.

Ainsi, le recours au dessalement d'eau de mer devrait être envisagée au cas par cas comme un élément dans un mix diversifié des ressources d'eau, en fonction de chaque situation et selon une approche globale des besoins combinés d'eau et d'électricité, afin de minimiser les coûts, les dépenses d'énergie et les impacts environnementaux et climatiques. Pour cela, il existe un besoin fort en formation sur la « bonne gestion des ressources en eau » et en transfert de technologie dans tous les pays du sud de la Méditerranée.

**La coopération euro-méditerranéenne** pourrait jouer un rôle important dans ce contexte, en information, en promotion et en transfert des meilleures technologies de dessalement et des critères d'excellence en énergie et environnement, en formation et en préparation du futur pour l'emploi et les métiers de l'eau, en aide à la mise en place de partenariats pour le développement d'un vrai projet industriel, pour lequel il y a complémentarité entre les deux rives de la Méditerranée.

Elle pourrait aussi participer à la diffusion et à la discussion des propositions de critères pour les décisions d'investissement qui sont présentées ci-après.

## 2. QUELS CRITERES DE REFERENCE POUR NE PAS SOMBRER DANS UN SCENARIO CATASTROPHE VIA LE DESSALEMENT D'EAU DE MER ?

Cette partie vise à proposer les critères qui semblent les plus importants pour ne pas sombrer dans un scénario de spirale infernale tel que décrit précédemment.

**Les lignes directrices environnementales proposées** visent à expliciter, pour le secteur de l'eau, des critères d'analyse environnementale des grands projets que les investisseurs sont amenés à financer. De façon analogue à ce qui existe déjà pour les barrages (Banque Mondiale, COFACE), elles identifient les principaux facteurs d'impacts sur l'environnement d'un projet et définissent des critères répartis en plusieurs catégories : Critères de référence, Critères recommandés et de bonne pratique.

Lorsque ces critères sont pleinement respectés, le projet est considéré comme acceptable sur le plan environnemental. A défaut, son acceptabilité est appréciée au cas par cas, en fonction des spécificités du projet. Le cas échéant, l'opération considérée peut être subordonnée à la mise en œuvre de mesures d'atténuation et/ou de compensation.

**Les critères de bonne pratique** indiquent l'usage, dans un projet, des meilleures technologies disponibles - ou de pratiques particulièrement intéressantes à encourager.

Les impacts sur l'environnement sont entendus au sens large, y compris les émissions de gaz à effet de serre liés à l'utilisation d'énergie électrique ou thermique, avec ses effets potentiels sur le climat.

Ils sont complétés par **des indicateurs** qui permettent de comparer les projets en performance technique et énergétique, et leurs impacts potentiels sur l'environnement (la pertinence de ces indicateurs peut varier toutefois d'un projet à un autre).

### **Critère n°1 : Justifier la nécessité et l'opportunité d'un projet de dessalement.**

Justification et appréciation des besoins en eau, dans chaque cas. Démontrer qu'un projet de nouvelle unité de dessalement est bien la meilleure solution.

Les usines de dessalement doivent être construites seulement lorsqu'elles sont avérées être la solution la plus efficace et la moins préjudiciable pour compléter l'approvisionnement en eau douce, à la suite d'un processus d'évaluation approfondi et transparent de toutes les solutions de recharge et leurs impacts environnementaux, économiques et sociaux.

Il faut justifier, pour chaque projet dans son contexte local et régional, qu'il n'existe pas des moyens moins coûteux de fournir de l'eau, meilleurs ou complémentaires et moins risqués pour l'environnement. Chaque projet devra être validé par une étude technico-économique et environnementale, intégrant les usages de l'eau pour l'agriculture, l'irrigation, l'industrie, les besoins domestiques et l'eau potable, la récupération et le retraitement des eaux usées, la réduction des fuites et des gaspillages, la tarification de l'eau appropriée et incitative aux économies d'eau. Ainsi, les impacts négatifs d'une usine de dessalement d'eau peuvent s'avérer moindres que ceux qui seraient générés par un autre mode d'alimentation en eau non durable (épuisement irréversible de nappes souterraines fossiles).

Le bilan coût/bénéfice doit être étudié dans chaque cas spécifique. Il est recommandé l'analyse d'alternatives, d'autres ressources en eau, et l'usage d'énergies renouvelables.

### **Critère n°2 : Choix d'un mode d'exploitation permettant d'éviter autant que possible les impacts négatifs.**

Ce critère vise à garantir que le projet satisfait un optimum en énergie et en environnement et se situe bien dans les meilleures pratiques.

A cette fin, il est utile de développer des indicateurs pour comparer les différentes options, notamment :

- la consommation d'énergie primaire et d'énergie électrique par m<sup>3</sup> d'eau produit. L'indicateur peut présenter aussi la quantité de carbone émis par m<sup>3</sup> d'eau dessalée, en équivalent en CO<sub>2</sub> et gaz à effet de serre.
- la promotion de l'excellence dans l'utilisation de l'énergie et les technologies les plus économes (osmose inverse avec récupération d'énergie ou production combinée avec cogénération optimisée). Des ratios de 3kWh/m<sup>3</sup> d'eau dessalée en eau de mer, et nettement mieux en eau saumâtre, sont couramment obtenus aujourd'hui dans les installations les plus performantes. Des améliorations importantes ont déjà eu lieu dans des installations de dessalement anciennes<sup>11</sup>.
- L'encouragement et la valorisation des énergies sans empreinte carbone : énergies renouvelables, (éolien, solaire thermique) voire nucléaire, et la récupération d'énergie à basse température.

### **Critère n°3 : Mise en œuvre d'un plan de gestion environnementale des rejets, permettant de prévoir au mieux et de minimiser à un niveau acceptable les impacts.**

Une analyse préalable de la situation existante et de la sensibilité de l'écosystème en aval des rejets est requise pour les projets de grande ampleur, dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement. Pour les projets ayant potentiellement des impacts importants, la mise en œuvre d'un plan de gestion environnementale est requise : surveillance de la qualité de l'eau en aval

---

<sup>11</sup> à Malte notamment, à donner en exemple de bonnes pratiques

(température, teneur en oxygène et en polluants toxiques) et mise en œuvre des mesures appropriées pour minimiser l'impact direct sur les écosystèmes du fait du rejet de saumures.

**Critère n°4 : Compensation adéquate des impacts qui ne peuvent être ni évités, ni minimisés.**

Pour les très grands ouvrages, une attention particulière sera portée à la plus ou moins grande réversibilité des impacts négatifs majeurs. Dans la mesure où le choix du site et du mode d'exploitation sont susceptibles de générer des impacts importants qui ne peuvent être ni évités, ni minimisés, il est requis que soit prévue une compensation adéquate de ces impacts. Une attention particulière sera apportée aux milieux et zones naturelles sensibles susceptibles d'être détruites ou dégradées par le projet.

**Critère n°5 : Aspect humain et social, création d'emplois, formation et ressources humaines, transfert de technologie, sensibilisation et information des populations**

Les projets de dessalement devront, autant que possible, intégrer des co-bénéfices significatifs pour la région en termes d'emplois, de développement de filières industrielles, de création d'entreprises de services, de nouveaux marchés d'exportation.

Il est important de préparer le futur, par des actions de formation, de transfert de compétence et de technologies (membranes, traitement de l'eau, technologie performantes en énergie) pour former dans les pays de la Méditerranée une main d'œuvre qualifiée. C'est aussi un facteur d'intégration et d'acceptation des projets, pour la bonne gestion et maintenance dans la durée.

Sensibiliser, renforcer la prise de conscience que le dessalement, mais aussi le pompage, les prélèvements et le traitement de l'eau sont de plus en plus coûteux en énergie d'origine fossile avec émissions de gaz à effet de serre, à optimiser et à réduire. Il faut pousser à l'amélioration des installations existantes, y compris sous la prise de conscience environnementale des populations et de l'opinion publique.

## VIII. ANNEXE

**Tableau 6 Les grandes stations de dessalement en Algérie**

N°	Localisation	Capacité m³/j	Population à servir	Echéancier prévisionnel
01	Kahrama (Arzew)	90 000	540 000	En Exploitation
02	Hamma (Alger)	200 000	1 333 320	En Exploitation
03	Skikda	100 000	666 660	2009
04	BeniSaf ) A.Temouchent	200 000	1 333 320	2007
05	Mostaganem	200 000	1 333 320	2007
06	Douaouda (Alger Ouest)	120 000	666 660	2008
07	Cap Djenet (Alger Est)	100 000	666 660	2008
08	Souk Tleta (Tlemcen)	200 000	1 333 320	2008
09	Honaine (Tlemcen)	200 000	1 333 320	2008
10	Mactaa (Oran)	500 000	1 333 320	2011
11	El Tarf	50 000	333 330	2009
12	Tenes	200 000	999 990	2009
13	Oued Sebt (Tipaza)	100 000	666 660	-

<b>Total Stations : 13</b>
<b>Capacité m³/j : 2 260 000</b>
<b>Population : 11 873 220 h</b>

**Tableau 7 Les petites stations monoblocs de dessalement en Algérie**

Wilaya	Site	Commune	Capacité m³/j	Population à servir
Alger	Champ de tir	Zéralda	5 000	33 330
Alger	Palm Beach	Staoueli	2 500	16 660
Alger	La Fontaine	Ain Benian	5 000	33 330
Tlemcen	Ghazaouet	Ghazaouet	5 000	33 330
Tipasa	Bou Ismail	Bou Ismail	5 000	33 330
Skikda	L.BenMhidi	L.BenMhidi	7 000	47 000
Tizi Ouzou	Tigzirt	Tigzirt	2 500	16 660
Oran	Bou Sfer	Bou Sfer	5 500	33 330
OranOran	Les Dunes	Ain Turk	2X2 500	33 330
A.Temouchent	Bou Zdjer	Bou Zdjer	5 000	33 330
A.Temouchent	Chatt el Ward	Bou Zdjer	5 000	33 330

## IX. TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 Situation du dessalement en Méditerranée .....	12
Tableau 2 Unités de dessalement à Malte.....	15
Tableau 3 Installations de dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre existantes ou en construction au Maroc .....	20
Tableau 4 Coût en dollars du m <sup>3</sup> d'eau dessalée : comparaison entre turbine à gaz à cycle combiné de 600 MWe et tranche nucléaire PWR 900 (évalué avec le logiciel DEEP pour la Tunisie en 2005).....	26
Tableau 5 Avantages et obstacles de l'énergie nucléaire .....	26
Tableau 6 Les grandes stations de dessalement en Algérie .....	34
Tableau 7 Les petites stations monoblocs de dessalement en Algérie .....	34