

Salomon, J.

*Université de Bordeaux*

[jnsalomon@yahoo.com](mailto:jnsalomon@yahoo.com)

## **Le dessalement de l'eau de mer est-il une voie d'avenir?**

**Referência:** Salomon, J. (2012). Le dessalement de l'eau de mer est-il une voie d'avenir?. Revista de Geografia e Ordenamento do Território, n.º 1 (Junho). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território. Pág. 237 a 262

### **Résumé**

La pénurie en eau semble devenir une perspective inquiétante pour l'humanité. Aujourd'hui les pays en situation de stress hydrique sont de plus en plus nombreux tandis que les besoins ne cessent de grandir. Face à ce constat, nombre de solutions techniques ont été apportées dont celle du dessalement de l'eau de mer. Cette activité est en pleine expansion du fait d'une amélioration constante des techniques et d'un coût de plus en plus réduit. Déjà le dessalement représente la principale source d'eau potable pour un grand nombre de pays (îles, pays à climat désertique ou subdésertique, etc.). Mais, ce coût restant encore bien supérieur à celui des autres modes d'alimentation, cette technique reste réservée à des États ayant des ressources financières et énergétiques consistantes (Moyen Orient, pays développés), ce qui

limite les possibilités. L'avenir du dessalement doit également prendre en compte ses effets sur l'environnement car de plus en plus d'études en montrent les effets pervers et ...coûteux. Cet article entend faire le point et attirer l'attention sur l'ensemble de cette technique qui offre une alternative intéressante au spectre de la pénurie d'eau annoncée par bien des médias dans le contexte du réchauffement climatique..

**Mots clés:** ressource en eau, dessalement, osmose inverse, distillation thermique, saumures, Golfe persique, Méditerranée, Amérique - développement durable.

### **Abstract**

The shortage of water seems to be a prospective that is increasingly worrying for humanity. The number of countries in situations of hydrological stress is increasing while at the same time the needs are also growing. To combat this constant, numerous technical solutions have been actioned including the desalination of sea water. This activity is expanding rapidly due to constant technical improvements and decreasing operational costs. Already desalination represents the principle source of drinking water for numerous countries (island states, countries with desert or semi-desert climates, etc.). But the costs still remain greatly superior to other forms of water provision, reserving this technique to states with considerable financial and energy resources (Middle East, developed countries), limiting the possibilities. The future of desalination must also take into account the effects on the environment because more and more studies show perverse and costly effects. This article intends to make a point and bring attention to this technique which offers an interesting alternative to the water shortages predicted by the media in the context of climate change.

**Keywords:** Water resources, desalination, inverse osmosis, thermal distillation, brines, Persian Gulf, Mediterranean, America, sustainable development.

## Introduction

De plus en plus de pays sont confrontés à une pénurie d'eau, en raison d'une aridité climatique, d'une pression démographique importante (notamment sur les littoraux où 40% de la population mondiale vit à moins de 100 km d'un littoral), de techniques agricoles gourmandes en eau, mais aussi de l'élévation du niveau de vie qui se traduit par une consommation par habitant en hausse. Ainsi le réchauffement climatique conduit-il à une situation de stress hydrique jusque-là inhabituelle pour de nombreux pays qui se tournent vers le dessalement de l'eau de mer car les solutions ne sont pas légion : soit il conviendra de limiter la consommation, ce qui paraît difficile pour beaucoup alors que de nombreux besoins minimaux ne sont pas couverts, soit il faudra trouver de nouvelles ressources (barrages, aquifères, etc.), ou encore mieux utiliser celles qui existent (recyclage). Pourtant, l'eau est abondante sur la planète ; mais la plupart du temps elle est salée (océans, mers). Cependant, si le dessalement ouvre de très belles perspectives, certains freins peuvent compromettre cette solution : d'abord son coût économique, puis son coût environnemental. Cet article entend examiner ces différents aspects.

### **1. Les données du problème: état des lieux et évolution de la demande**

Les besoins en eau potable sont à l'origine de l'idée, ancienne, du dessalement de l'eau de mer. Mais ce n'est que récemment que cette technique a atteint un stade résolument industriel et ce pour répondre à une demande exponentielle, notamment en raison de l'évolution de la consommation humaine par habitant.

Le raisonnement est connu, même si les chiffres exacts sont contestés : 72% de la surface totale de la Terre est recouverte d'eau, mais 97,5% de cette eau est salée. Les 2,5% qui restent représentent l'eau douce des glaciers et de la neige, des rivières, des lacs et des nappes souterraines. Cela laisse encore 12 500 km<sup>3</sup> de disponibles mais ce chiffre est constant dans le temps si bien que la ressource théorique en eau par habitant ne cesse de baisser. En 1950 elle représentait 16 800 m<sup>3</sup>/habitant, puis 12 290

m<sup>3</sup>/habitant en 1970. En 1995, avec 6 milliards d'habitants cela est tombé à 7 600 m<sup>3</sup>, soit une baisse de 37 %. En 2009 on en était à 6,8 milliards d'habitants et 6 500 m<sup>3</sup> et l'on prévoit seulement 4 800 m<sup>3</sup> pour 2025.

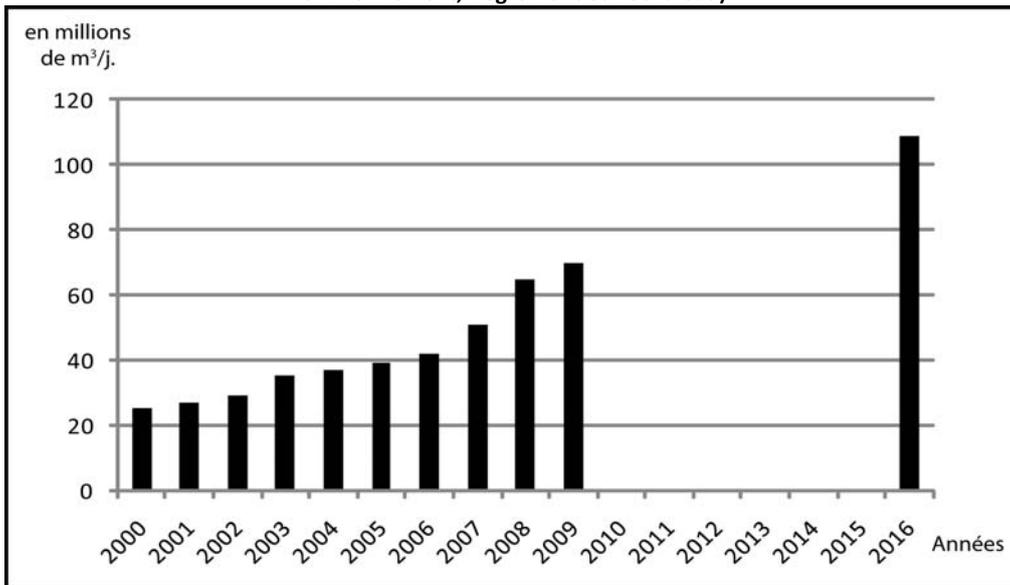
L'ONU considère qu'un pays doit disposer d'au moins 1 700 m<sup>3</sup>/h/an et le seuil de pénurie a été fixé à 1000 m<sup>3</sup>/h/an. Si l'Islande dispose de 576 000 m<sup>3</sup>/h/an, un État comme Djibouti ne dispose que de 7 m<sup>3</sup>, la bande de Gaza 59, la Jordanie 260, et l'Égypte un peu moins du seuil critique tout comme les 3 pays du Maghreb (PNUD : [www.undp.org/french/](http://www.undp.org/french/)).

La pénurie d'eau touche tous les continents et plus de 40 % de la population de la planète. Actuellement, un milliard de personnes n'ont pas accès à l'eau potable. D'ici 2025, ce sont 1,8 milliard de personnes qui vivront dans des régions victimes de pénuries d'eau absolues ([www.unesco.org/water/wwap/index\\_fr.shtml](http://www.unesco.org/water/wwap/index_fr.shtml)). Si l'on considère que le niveau de confort domestique correspond à une consommation moyenne d'eau par foyer de 150 m<sup>3</sup>/an, cela signifie que les besoins domestiques de cette population en situation de stress hydrique (< 1 700 m<sup>3</sup>/h/an) seront en forte augmentation.

Les tensions pour l'eau ne peuvent que s'accroître en raison d'une part d'une croissance démographique mondiale absolue qui reste forte, et d'autre part du réchauffement climatique (qui multiplie les épisodes de sécheresse et affecte les réserves d'eau douce de surface). Face à cette situation, le dessalement de l'eau de mer est devenu une nécessité au niveau mondial.

Le savoir-faire est ancien : déjà, au IV<sup>e</sup> siècle avant J.C, les marins grecs dessalaient l'eau de mer, mais le premier procédé important date du milieu du XIX<sup>e</sup> siècle : à Aden, sur la mer Rouge, en 1869, une unité de distillation de l'eau de mer pour alimenter la flotte coloniale britannique était opérationnelle ; et en 1928 l'île de Curaçao, aux Antilles, y avait recours.

Fig.1 : Production mondiale d'eau dessalée en 2009 et projection pour 2016 (sources : GWI Desal Data, Suez environnement, Dégremont et Veolia eau)



Aujourd'hui, les usines de traitement concernent à 90% l'eau de mer et à 10% les eaux saumâtres (nappes souterraines salines). Près de 60 millions de m<sup>3</sup> d'eau douce sont produits chaque jour par 17 000 installations réparties dans 120 pays, à partir des mers. Cela correspond à moins de 1% de l'eau consommée sur la planète (Fig.1 et 2) mais au rythme actuel (doublement tous les 10 ans) elle pourrait atteindre plus de 120 millions de m<sup>3</sup>/j en 2025, soit 44 km<sup>3</sup>/an (contre 18 km<sup>3</sup>/an en 2008). Cela correspond aux 2/3 des besoins domestiques en eau des 450 millions de foyers qui seront sous le seuil minimum d'accès à l'eau en 2025.

Fig. 2 : Les principaux pays producteurs d'eau dessalée (en millions de m<sup>3</sup>/j. ; en 2008). On notera que les lieux d'implantation des usines de traitements correspondent à la fois aux zones plus ou moins arides et à des pays disposant de bonnes ressources énergétiques ou financières.



## II. Les principales techniques de dessalement

Il existe aujourd'hui de nombreux systèmes de dessalement de l'eau de mer, dont beaucoup ont atteint le stade industriel ([www.degremont.fr/fr/notre-offre/produits/dessalement/le-dessalement/](http://www.degremont.fr/fr/notre-offre/produits/dessalement/le-dessalement/); [www.lyonnaise-des-eaux.fr/](http://www.lyonnaise-des-eaux.fr/); [www.suez-environnement.fr](http://www.suez-environnement.fr) ; [www.veoliaeau.com/r-et-d/axes/dessalement/](http://www.veoliaeau.com/r-et-d/axes/dessalement/)).

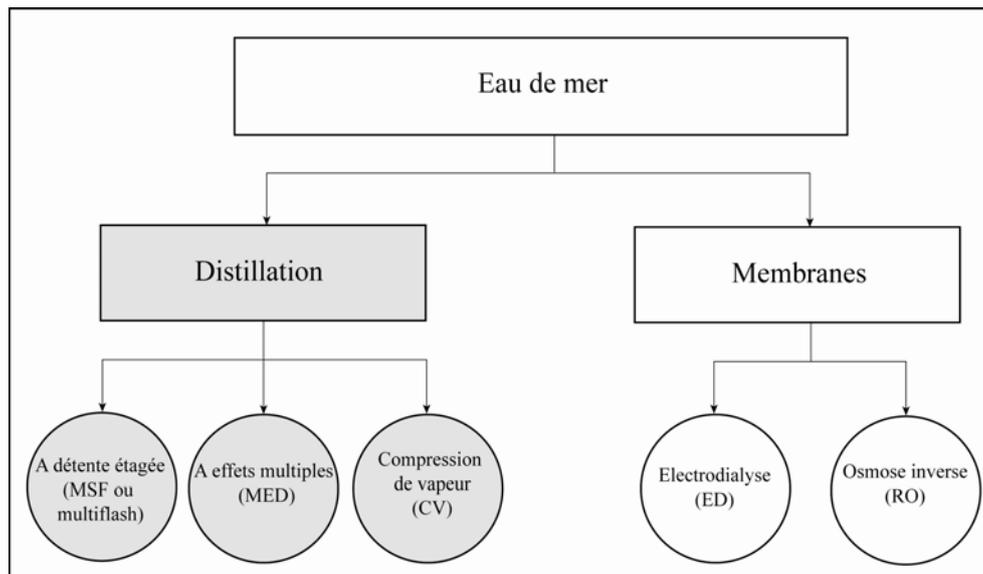
Les techniques les plus performantes, disponibles sur le marché, sont l'osmose inverse et les procédés de distillation, à détente étagée ou à multiples effets (Tableau 1).

Tableau 1 : Les principales techniques pour obtenir de l'eau de dessalement.

Séparation	Energie	Processus	Méthode
Eau des sels	Thermique	Evaporation	Distillation subite (flash)
			Distillation multi-effet
			Thermo-compression à vapeur
			Distillation solaire
	Cristallisation	Congélation	
		Formation d'hydrates	
	Filtration et évaporation	Distillation par membranes	
Mécanique	Evaporation	Compression mécanique vapeur	
	Filtration	Osmose inverse	
Sels de l'eau	Electrique	Filtration sélective	Electrodialyse
	Chimique	Echange	Echange ionique

Les deux procédés les plus courants, car les plus efficaces, sont la distillation thermique et l'osmose inverse (Fig. 3).

Fig. 3 : Les deux procédés les plus utilisés pour obtenir de l'eau douce.



**A – L’osmose inverse** nécessite un traitement préalable de l’eau de mer pour la filtrer et la désinfecter ([fr.wikipedia.org/wiki/Osmose\\_inverse](http://fr.wikipedia.org/wiki/Osmose_inverse)). C’est un procédé de dessalement qui utilise la technologie membranaire, consistant à forcer l’eau sous pression à travers une membrane : comme seules les molécules d’eau traversent la membrane (les sels en dilution sont retenus) on obtient de l’eau douce. Cette technique est en plein essor et a montré, depuis plusieurs années, sa fiabilité. La consommation énergétique est de l’ordre de  $\approx 4\text{-}5 \text{ kWh/m}^3$ . Le coût est de 0,4 à 0,8 euro/m<sup>3</sup>.

**B - La distillation thermique** consiste simplement à congeler ou à évaporer l’eau de mer. Dans le second cas, le plus fréquent, on utilise la chaleur du soleil ou bien on chauffe l’eau dans une chaudière. Seules les molécules d’eau s’évaporent, laissant en dépôt le sel et les autres substances contenues dans l’eau de mer. Il suffit de condenser la vapeur d’eau ainsi obtenue pour récupérer de l’eau douce. Ce système exige beaucoup d’énergie : la consommation est d’environ trois fois supérieure à celle du procédé précédent : environ  $15 \text{ kWh/m}^3$ . Mais il donne une eau très pure. Le coût est de 0,65 à 1,8 euro/m<sup>3</sup>. Cette technique est en plein essor depuis les années 2000 car on a amélioré le rendement mais, encore trop gourmande en énergie, elle reste l’apanage des pays riches en pétrole ([www.actuenvironnement.com/.../developpement\\_dessalement\\_eau\\_6101.php4](http://www.actuenvironnement.com/.../developpement_dessalement_eau_6101.php4)).

**C – Les autres procédés** sont moins utilisés. Ce sont :

- le flash multi-étages, ou « système flash », utilisé dans les pays du Golfe avec un taux de sel résiduel non négligeable et un coût énergétique important, de l'ordre de 10 kWh/m<sup>3</sup> ;
- la compression de vapeur (coût ≈ 5 kWh/m<sup>3</sup>) ;
- la distillation par dépression où la température d'évaporation dépend de la pression. Ce système est assez économique et donne une eau très pure (coût ≈ 2 à 3 kWh/m<sup>3</sup>). Il convient bien aux petites unités ;
- l'électrolyse : on applique un courant électrique qui fait migrer les ions vers les électrodes. Ce système est très rentable pour les faibles concentrations. L'énergie à mettre en jeu dépend de la concentration en sel.

Ces différentes techniques de dessalement de l'eau de mer nécessitent des quantités d'énergie très élevées (chauffage ou compression de l'eau) par rapport aux volumes d'eau produits. Le principal inconvénient de ces systèmes est donc leur coût, ce qui génère un problème de rentabilité. Pour extraire le sel, il faut, d'un point de vue purement théorique, environ 563 Wh par m<sup>3</sup>, ce qui fait que ce coût énergétique est un blocage pour les pays pauvres : ils ne peuvent accéder au dessalement car il est trop cher. Le prix de l'eau sortie d'usine varie en fonction de la capacité de l'usine et du procédé <sup>(2)</sup>. En 2008, il était de 0,4 à 0,8 euro/m<sup>3</sup> par osmose inverse, et de 0,6 à 1,8 euros/m<sup>3</sup> par distillation thermique, ce qui reste deux à trois fois plus cher que la production à partir d'eau de surface. Cependant, les coûts de production ne cessent de baisser : ils ont été divisés par 2 en 10 ans car la consommation d'énergie pour produire 1 m<sup>3</sup> d'eau dessalée ne cesse de diminuer. Du coup, le dessalement de l'eau de mer est une activité en très forte croissance : elle augmente en moyenne de plus de 10% par an.

Alors qu'en 1995 la capacité globale de ce type de production d'eau était de 20 millions de m<sup>3</sup>/j., aujourd'hui, on compte plus de 17 000 installations dans 120 pays (GWI, 2005) et la production mondiale d'eau douce à partir d'eaux saumâtres ou salées dépasse 60 millions de m<sup>3</sup>/j. (alimentant 1,5% de la population mondiale). La capacité des usines de dessalement ne cesse d'augmenter - actuellement certaines sont

capables de produire plus d'un million de m<sup>3</sup>/j. - et la production devrait doubler à l'horizon 2020 (G .W. I., 2009).

### III. La répartition géographique et les principales régions concernées

La répartition des usines de dessalement dépend de trois facteurs : une forte pénurie d'eau liée à l'aridité climatique, la proximité de la mer et une altitude pas trop élevée <sup>(1)</sup>, enfin la possibilité d'assumer financièrement un fort coût énergétique ce qui exclut pratiquement les régions pauvres (Fig. 4).

Fig. 4 : Le dessalement par pays.

Face à la pénurie en eau potable, de plus en plus de pays se tournent vers cette solution.

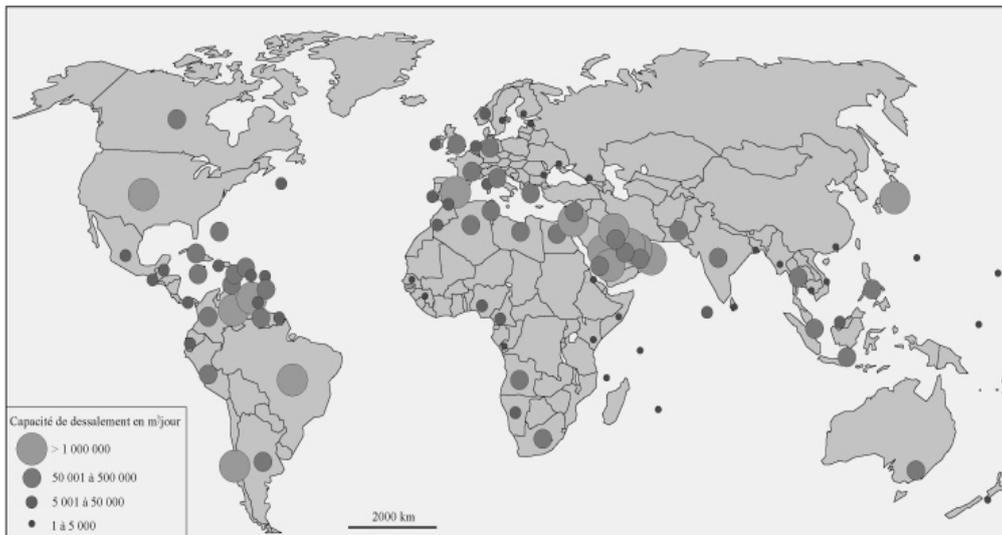
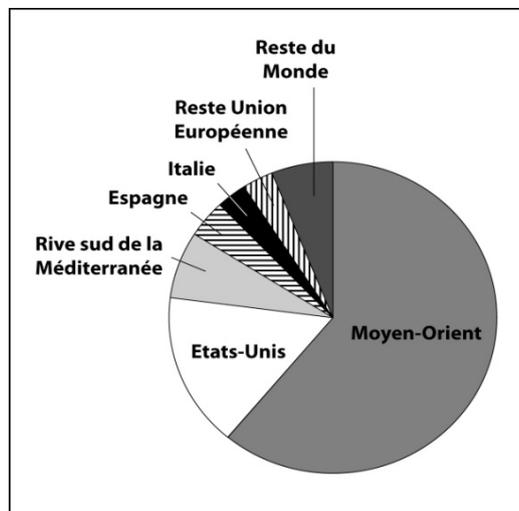


Fig. 5 : Répartition mondiale de la production d'eau de dessalement (en millions de m<sup>3</sup>/jour ; 2008)



Les principaux pays producteurs (Fig. 5 et 6) sont l'Arabie Saoudite (25 %), les États-Unis (15 %), les Émirats Arabes Unis (10 %) et le Koweït (5 %). L'Europe représente 12,9 % dont 3,4 millions en Espagne et 0,8 en Italie et l'Asie 15,1% dont 1,5 million au Japon, 1 en Corée du Sud, 1,1 en Chine, 0,8 en Inde , 0,6 à Taiwan et 0,5 à Singapour.

Fig. 6 : Principaux pays producteurs d'eau dessalée (en millions de m<sup>3</sup>/j ; en 2008)



## A. Le Moyen Orient

Les premières usines produisant de l'eau douce en distillant de l'eau de mer sont apparues en 1960 et aujourd'hui 60% des besoins en eau douce des pays du Golfe Persique sont satisfaits par cette technique. Avec une production de 7,7 millions de m<sup>3</sup>/j., l'Arabie saoudite est le champion mondial du dessalement. C'est là que se trouvent les plus grandes stations de dessalement, parfois anciennes comme le grand complexe d'Al-Jubail (910.000 m<sup>3</sup>/j.) qui est en exploitation depuis 1982, ou futures: Veolia vient d'y remporter le contrat de la plus grande usine thermique au monde qui fournira pas moins de 800 000 m<sup>3</sup>/j. d'eau douce en 2010 (<http://www.veoliaeau.com/r-et-d/axes/dessalement/>).

Les équipements sont loin d'être achevés dans cette région du monde. Au Qatar le projet de Ras Laffan C prévoit une usine de 286 000 m<sup>3</sup>/j de capacité pour 2011. Aux Emirats Arabes Unis, Suez a installé en 2003 à Fajaraih une usine de dessalement de 455 000 m<sup>3</sup>/j. La société participe aux appels d'offres en cours pour la distribution

d'eau à Abou Dhabi (500 000habitants). Pour le Sultanat d'Oman, le port de Sohar possède une usine de dessalement couplée à une centrale de 150 000 m<sup>3</sup>/j. de capacité, et une autre à Sûr, avec 80 000 m<sup>3</sup>/j. Degrémont y a remporté un contrat pour la construction de l'unité de dessalement de la centrale de co-génération de Barka II. Au total, Suez fournit 50% des besoins du sultanat.

Finalement, les Etats du Golfe ont collectivement dépensé plus de 33 milliards d'euros pour la construction de 550 stations de dessalement au cours des 25 dernières années. Cinq usines de plus de 500 000 m<sup>3</sup>/j sont en construction et l'Arabie saoudite doit mettre en service avant la fin de l'année une usine de 1 million de m<sup>3</sup>/j. Au total, le Moyen-Orient **produit la moitié de l'eau douce** issue du dessalement produite dans le monde.

## **B. L'Amérique**

Le continent américain a développé un certain nombre d'unités, essentiellement pour les îles caraïbes et pour les États-Unis. Le Canada est bien doté en eau douce et le Mexique, faute de moyens financiers, n'a mis en place que quelques petites usines.

Les États-Unis sont placés en deuxième position derrière le Moyen-Orient pour le filtrage d'eaux salées (environ 120 usines, pour un total cumulé de 7,5 millions de m<sup>3</sup> en 2008). Les États régulièrement frappés par la sécheresse ont opté pour cette technologie afin d'éviter toute pénurie à l'avenir, en tablant sur une réduction des coûts de l'ordre de 30% en 2008 et de 50% en 2020. Trois États littoraux (Californie, Texas et Floride) utilisent 25% de l'eau des États-Unis ([www.awwa.org](http://www.awwa.org) ; [www.desline.com](http://www.desline.com)).

Le Texas vient en tête avec près d'une quarantaine d'usines de dessalement, les plus importantes étant celles de Fort Stockton (180 000 m<sup>3</sup>/j), Brownville (150 000 m<sup>3</sup>/j), Abilène (110 000 m<sup>3</sup>/j) et Shernan (110 000 m<sup>3</sup>/j). La raison en est l'aridité de son climat et la rareté des ressources de surface comme souterraines (Texas Water Development Board, 2006).

Puis c'est la Californie qui est logiquement concernée avec un peu plus d'une trentaine de réalisations (Fig. 7). Son agriculture est florissante mais pâtit d'un grave problème d'eau (irrigation) car les précipitations sont trop rares. Surtout le mode de vie

américain est un très gros consommateur (pelouses, golfs, piscines, douches, etc.) au point que désormais des lois sévères sont progressivement mises en place pour limiter la consommation (lavage des voitures, chasses d'eau « écologiques », etc.). Mais tout cela est loin de suffire car la demande augmente beaucoup plus vite que la ressource. La solution du dessalement a donc été envisagée relativement tôt dans l'histoire de l'État, mais ce n'est que ces dernières années que les réalisations et les projets se sont multipliés ([www.coastal.ca.gov/mtgcurr.html](http://www.coastal.ca.gov/mtgcurr.html) ; [www.coastal.ca.gov/sc/5-2005-W6a.pdf](http://www.coastal.ca.gov/sc/5-2005-W6a.pdf)).

Fig. 7 : L'équipement californien en unités de dessalements



Cette région apparaît comme la plus prometteuse car elle connaît des problèmes de stress hydrique croissants mais les projets sont fortement freinés par les critiques des environnementalistes. Les principales unités actuelles sont les suivantes :

- *Californie du Nord* : Crockett (20 000 m<sup>3</sup>/j) ; San Rafaël (de 35 000 à 60 000 m<sup>3</sup>/j) ; San Francisco Bay Regional Plant (75 000 m<sup>3</sup>/j) et Montara (20 000 m<sup>3</sup>/j) ;
- *Californie centrale* : Santa Cruz (20 000 m<sup>3</sup>/j) pour 2010 ; Moss Landing 1 et 2 (75 000 m<sup>3</sup>/j) ; Sand City 1 et 2 (de 20 000 à 75 000 m<sup>3</sup>/j) ; Marina (20 000 m<sup>3</sup>/j)

*Cannery Rov (20 000 m<sup>3</sup>/j), Monterey (20 000 m<sup>3</sup>/j) ; Cambria (20 000 m<sup>3</sup>/j) et Oceano (20 000 m<sup>3</sup>/j) ;*

- *Californie du Sud* : Playa del Rey (20 000 à 75 000 m<sup>3</sup>/j) ; El Segundo (75 000 m<sup>3</sup>/j) ; Long Beach (20 000 à 75 000 m<sup>3</sup>/j) Dana Point (75 000 m<sup>3</sup>/j) ; Camp Pendelton (75 000 m<sup>3</sup>/j), enfin Carlsbad 1 et 2 et Huntington (190 000 m<sup>3</sup>/j chaque), toutes deux au nord de San Diego.

La Floride suit la même voie d'autant que la volonté, récente, de protéger les Everglades, oblige à préserver l'aquifère karstique de cette région. La plus grande unité, Tampa Bay (107 900 m<sup>3</sup>/j), a longtemps été la plus importante des États-Unis. La côte Est n'est pas en reste, en dépit de meilleures conditions de pluviosité, car la demande ne cesse de croître ; par exemple un Etat comme la Caroline du Nord envisage la construction de 5 nouvelles centrales. Mais la crise actuelle a reporté les réalisations à plus tard.

Dans le reste du pays, il s'agit plutôt de petites unités édifiées pour répondre à des besoins locaux bien identifiés.

### **C. L'est et le sud méditerranéens**

En temps normal 150 millions de personnes vivent sur le pourtour méditerranéen. Première destination touristique du monde avec 250 millions de visiteurs estivaux, le littoral méditerranéen est confronté à une pénurie croissante en eau (MARGAT J., 2004 ; Plan Bleu, 2005). Chaque touriste consomme en moyenne 300 l/j et la demande pourrait doubler d'ici 20 ans, entraînant des conflits d'usages notamment avec les agriculteurs. Plusieurs pays se sont donc tournés vers le dessalement pour y remédier, du moins en partie. La production industrielle d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre est en plein essor à Malte, en Algérie, en Libye et en Israël, pays qui ont fait des investissements importants dans ce domaine.

#### **1) Israël, Chypre et Malte**

En Israël, l'eau, élément essentiel à la vie et au développement, est une ressource critique. La prise de conscience du gouvernement israélien s'est accrue depuis 1999, année au cours de laquelle le pays a connu une très forte sécheresse laquelle n'a pas

vraiment cessé depuis, au point que le lac de Tibériade (qui fournit un tiers de la consommation nationale) a atteint sa ligne rouge (au-delà, le réservoir est en péril). Israël évolue dans un contexte difficile où la gestion de l'eau doit tenir compte de déséquilibres importants liés à une consommation croissante et une répartition géographique inégale des ressources. Par ailleurs, la pollution tend à devenir un facteur compromettant la qualité de l'eau tandis que les réservoirs naturels d'eau sont en constante diminution. Aujourd'hui, le pays possède une trentaine de stations de dessalement dont celle d'Ashkelon (320 000 m<sup>3</sup>/jour, depuis 2005) pouvant couvrir les besoins en eau potable de plus d'un million de personnes. S'y ajoutent les usines de Nahal Soreq (100 Mm<sup>3</sup>/an) et de Palmachin au sud de Tel-Aviv (30 Mm<sup>3</sup>/an) et celles en construction de Hadera et d'Ashdod (100 Mm<sup>3</sup>/an chacune). L'objectif était d'atteindre une production supérieure à 400 Mm<sup>3</sup> en 2008. Au total, le pays prévoit de produire 750 Mm<sup>3</sup>/an, sans compter le projet d'une usine géante à Caesaria sur la côte méditerranéenne.

Quant à Chypre, elle s'est dotée de deux unités avec Larnaca (62 000 m<sup>3</sup>/j) et Dhekelia (46 000 m<sup>3</sup>/j). Malte, petit rocher de 400 000 habitants et État le plus densément peuplé d'Europe, fait partie des dix premiers pays du monde concernés par la pénurie en eau potable. La nappe phréatique diminue, les puits clandestins se multiplient et avec la baisse des précipitations et la montée du niveau de la mer prévues par les scientifiques, les réserves d'eau douce sont menacées. L'île recourt donc de plus en plus au dessalement d'eau de mer. Il y a trente ans, toute l'eau potable provenait des nappes phréatiques or aujourd'hui environ 60 % vient des usines de dessalement comme celle de Pembroke, et l'on envisage d'augmenter la capacité encore de 38%.

## **2) L'Afrique méditerranéenne : Egypte, Libye et Maghreb**

En Egypte, les besoins du pays sont estimés à 65,6 km<sup>3</sup>/an or les précipitations sont très indigentes (200 mm à Alexandrie, 75 mm à Port Saïd). Si 95% de l'eau consommée provient du Nil, le pays dispose également d'installations de dessalement de l'eau de mer en Méditerranée qui produisent plus de 30 millions de m<sup>3</sup> par an mais cela ne représente que 0,03% des approvisionnements. Aussi ses 80 millions d'habitants

attendent-ils beaucoup plus de cette technique dont le développement futur dépend du coût, notamment pour alimenter la demande touristique du long de la mer Rouge.

La maîtrise de l'eau en Libye, pays désertique à 95%, est un objectif essentiel. Les ressources naturelles (pluies, eaux souterraines, retenues) ne couvrent que 2,3% des besoins évalués à près de 5 Gm<sup>3</sup> par an (dont 80% pour l'agriculture), la majeure partie étant satisfaite par les eaux souterraines. Plusieurs villes ont été équipées en usines de dessalement comme Zaouia (80 000 m<sup>3</sup>/j) et Soussa (40 000 m<sup>3</sup>/j) mais surtout Zuilna (100 000 m<sup>3</sup>/j), Tobrouk (100 000 m<sup>3</sup>/j), Benghazi (300 000 m<sup>3</sup>/j) et Tripoli (500 000 m<sup>3</sup>/j). Un projet de dessalement d'eau de mer pour approvisionner les villes de Zuara (Est) et Aboutara (Ouest), a été lancé. Enfin, un accord a été signé le 25 juillet 2008 entre la France et la Libye pour construire une centrale nucléaire devant servir au dessalement de l'eau de mer.

Cet engouement de la Libye pour le dessalement laisse perplexe dans la mesure où ce pays dispose d'abondantes ressources d'eau fossile mais, il est vrai, littéralement gaspillées (SALOMON, 2006) pour des cultures irriguées destinées à fournir le pays en céréales et autres produits alimentaires. La Libye pourrait acheter ces derniers sur le marché international à un coût infiniment plus bas que celui nécessaire à leur production.

L'Algérie vient de subir plus d'une décennie de sécheresse et ses ressources conventionnelles en eau se sont montrées insuffisantes pour subvenir aux besoins de la population. Pour répondre aux nécessités nationales (le pays dispose de moins de 500 m<sup>3</sup>/habitant), il a été décidé de miser sur le dessalement de l'eau de mer. Un programme ambitieux a été lancé via les sociétés d'investissement Algerian Energy Company et l'Algérienne des Eaux. Dix stations sont déjà en service et 43 autres sont prévues à l'horizon 2019. Cela doublera les capacités actuelles qui s'élèvent à 1,04 million de m<sup>3</sup>/j. 13 stations sont déjà en cours de réalisation qui devaient fournir 2,26 millions de m<sup>3</sup>/j. Déjà l'usine du Hamma (coût 250 millions de \$) d'une capacité de 200 000 m<sup>3</sup>/j. est entrée en service pour couvrir les besoins de 1,7 millions d'habitants et elle sera suivie par les usines de Beni Sal, et Cap Djinet (également 200 000 m<sup>3</sup>/j. chacune). Enfin, une des plus grandes usines du monde sera à Magtaâ (Mostaganem) avec une capacité de 500 000 m<sup>3</sup>/j. L'eau dessalée, du fait de son coût relativement

élevé, ne peut être utilisée que pour la consommation domestique (facture < à 1 \$ /m<sup>3</sup> en moyenne).

La Tunisie a également opté pour le dessalement de l'eau de mer. Aujourd'hui, le pays dispose de 4,6 milliards de m<sup>3</sup> d'eau dont 58% d'eaux de surface et 42% d'eaux souterraines (Louati *et al.*, 1998). Mais ce capital ne représente qu'environ 450 m<sup>3</sup>/an et par habitant, ce qui fait de la Tunisie un pays « pauvre en eau ». Or d'une part, l'agriculture, grosse consommatrice d'eau, consomme en moyenne 80% de ce potentiel (pour 13% du PIB), et d'autre part, le secteur touristique est stratégique car si ses besoins en eau représentent moins de 1% (17,4 Mm<sup>3</sup> en 2004) il contribue à hauteur d'environ 10% du PIB. Ceci illustre la nécessité d'apporter de nouvelles ressources que seul le dessalement peut procurer. C'est pourquoi on envisage la mise en service de 71 stations supplémentaires (utilisant l'énergie solaire) dont 63 dans les 4 gouvernorats du Sud du pays lequel ne comptait jusqu'ici qu'une station pilote (installée depuis 2006 dans le gouvernorat de Kébili). Enfin, la première station de dessalement d'eau de mer pour alimenter l'île de Djerba aura une capacité 51 000 m<sup>3</sup>/jour à l'horizon 2030.

Au Maroc, la disponibilité de la ressource est théoriquement de 21 Mds de m<sup>3</sup>, (techniquement et économiquement mobilisables) mais en 2008 seuls 13,45 Mds de m<sup>3</sup> l'ont été dont 80% pour l'irrigation. La consommation moyenne est très différente selon le milieu : environ 120 l/j/h en milieu urbain, mais 20 l/j/h pour le milieu rural. Les besoins étant en augmentation rapide, un risque de stress hydrique est à craindre à court terme, de là la volonté d'implanter des unités de dessalement dans les provinces du sud (Tarfaya, Smara, Boujdour et Laâyoune, la plus importante avec 7 000 m<sup>3</sup>/j.). Le recours au dessalement représente une alternative intéressante pour pallier le déficit en eau douce dans les régions côtières, vu l'état de la nappe phréatique (baisse de près de 20 m à Agadir !). Mais le secteur agricole ne peut supporter un coût à plus de 0,3 euro le m<sup>3</sup> car selon l'Office national de l'eau potable marocain, le coût du mètre cube produit par dessalement revient de 3 à 10 fois plus cher. C'est inconcevable économiquement car l'eau ordinaire est déjà facturée environ 0,6 euro/m<sup>3</sup> : aucune culture ne peut donc valoriser ce prix. Si on ne peut se permettre d'irriguer des zones céréalières à faible valeur ajoutée, par contre les activités

industrielles peuvent le faire : à Agadir, Ciments du Maroc a installé une petite unité de dessalement d'eau de mer avec succès. De même le tourisme peut supporter cette charge c'est pourquoi Agadir se prépare au dessalement : il s'agit de sécuriser l'alimentation en eau potable à l'horizon 2020. Les investissements réalisés ces toutes dernières années permettent de couvrir les besoins de la zone jusqu'en 2015 et une nouvelle station de dessalement générant 44.000 l/j. est prévue.

#### **D) L'Asie orientale et l'Australie**

La Chine et l'Inde pour lesquels 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 que ses installations de dessalement traiteraient 1 million de m<sup>3</sup> d'eau de mer par jour d'ici 2010 et jusqu'à 3 millions de m<sup>3</sup>/j en 2020. Des projets de taille analogue ont été lancés : ceux de Tianjin (mer Jaune) et de Zhejiang (mer de Chine orientale) devraient ainsi fournir respectivement 100 000 et 200 000 m<sup>3</sup>/j jour.

L'Inde, bien que très arrosée par les pluies de moussons, ne parvient plus à satisfaire les besoins en eau potable. Le pays est passé d'une disponibilité de 5,2 m<sup>3</sup>/par personne/an en 1951 à 1,2 aujourd'hui et le déficit risque de s'accroître de 33% d'ici 2025 ! La politique menée s'est donc tournée vers des unités de dessalement, la plupart du temps petites et destinées à faire face à l'urgence. Il en existe des centaines ([www.indaindia.org/about.htm](http://www.indaindia.org/about.htm)). Les plus importantes sont celles de Minjur Chennai 450 000 m<sup>3</sup>/j, puis de Narippaigur et de Rameshwaran, toutes dans le Sud (Tamil Nadu), avec une production de l'ordre de 300 000 l/j. Le dessalement par l'énergie nucléaire est fortement envisagé.

Singapour s'est dotée, depuis 2005, d'une unité située à SingSpring fournissant 136 000 m<sup>3</sup>/j. Enfin l'Indonésie a inauguré, à Banda Aceh, sa première unité de dessalement : un premier pas ? Les autres pays disposent également de quelques unités et les projets sont nombreux.

En Australie, les sécheresses sont récurrentes (celle de 2003 a fait baisser la production agricole de 20%) et les besoins sont immenses. Aussi un tiers de l'eau douce

consommée par la ville de Perth provient-il du dessalement, avec une usine (Kwinana) dont l'énergie est fournie par des éoliennes. Avec une capacité de 140 000 m<sup>3</sup>/j c'est la plus grande de l'hémisphère Sud. Dans l'Etat du Queensland, une autre a été ouverte à Tugun en 2008, pour la grande région touristique de la Gold Coast (25 000 m<sup>3</sup>/jour). Sydney aura en 2010 l'usine la plus importante de l'hémisphère sud avec une capacité de 250 000 m<sup>3</sup>/j.

Le potentiel de développement du dessalement en Asie du Sud-Est, comme en l'Australie, apparaît comme fortement prometteur, du moins pour satisfaire les besoins en eau potable.

## **E) L'Union européenne**

Bien dotée en ressources hydriques, l'Europe n'a guère développé d'usines de dessalement exception faite des pays méditerranéens que sont l'Italie et surtout l'Espagne. Pour les autres États cela reste marginal.

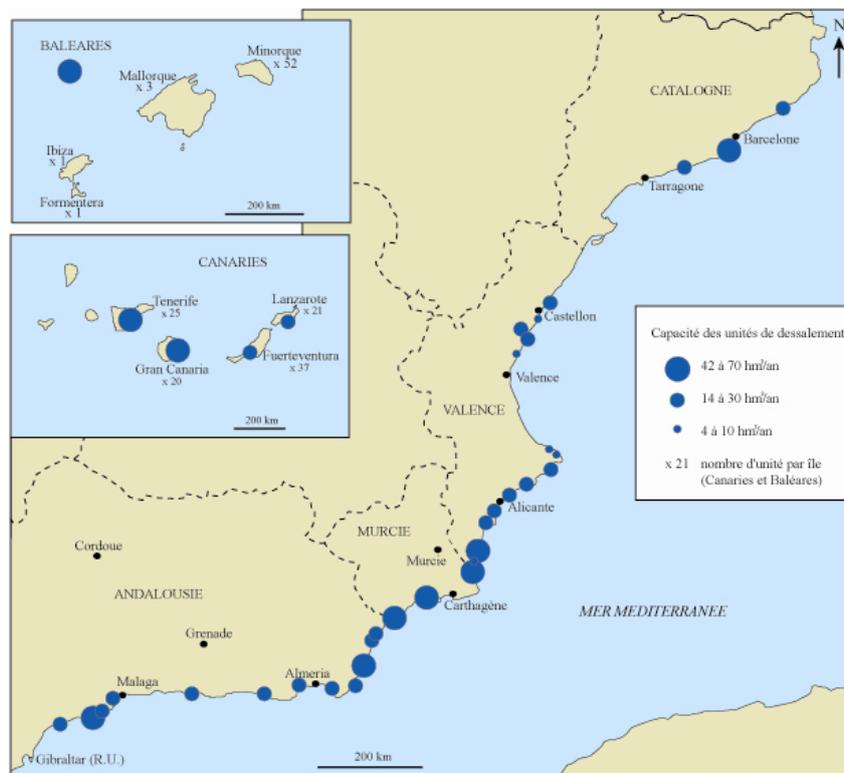
### **1 - L'Espagne et ses îles.**

Saragosse a accueilli en septembre 2008 l'exposition internationale « *Eau et développement durable* » où furent présentés les enjeux et les dernières techniques permettant de recueillir, traiter et distribuer l'eau, et surtout la restituer la plus propre possible à la nature. En Espagne, le partage de l'eau est sujet de discorde car l'eau y est rare : la géographie du pays est telle que 40% des ressources hydrauliques sont disponibles sur moins de 15% du territoire. Les premières unités de dessalement ont été installées dès les années 80 aux Canaries (Las Palmas, 40 000 m<sup>3</sup>/j). Palma de Majorque s'est dotée de 3 usines, dont la plus importante fournit 75 000 m<sup>3</sup>/j. De quoi alimenter une dizaine de millions de touristes et une vingtaine de golfs. Et 2 autres usines vont être construites à Palma et à Ibiza. Il est vrai que les îles, qui ont de faibles bassins versants sont sujettes aux pénuries.

Les côtes levantine et andalouse sont particulièrement affectées par la maigreur des ressources tandis que Barcelone se fait livrer de l'eau par bateaux venus de Marseille au prix de 10 à 15 euros/m<sup>3</sup>. Après avoir envisagé de détourner une partie des eaux de l'Ebre (projet abandonné) le gouvernement a lancé un grand programme de

dessalement pour répondre aux problèmes de sécheresse qu'a connue le pays ces dernières années. 22 usines sont en fonctionnement ou en cours de construction ([www.aedyr.com](http://www.aedyr.com)) (Fig.8). Le pays a donc choisi cette technique au lieu de remettre en cause ses besoins en eau (à noter que 22% de l'eau dessalée est destinée à l'agriculture en dépit du coût très élevé de la production. Sur la côte sud-est, l'usine de Carboneras, près d'Almeria (120 000 m<sup>3</sup>/j) alimente à la fois l'agriculture et le tourisme. Cette unité ultramoderne (osmose inverse) est destinée à alimenter les serres de plastique qui font la fortune de la région. Il est vrai qu'ici 1 m<sup>3</sup> d'eau rapporte (via les serres) jusqu'à 12 euros. Elle a été dépassée en 2009 par celle de Barcelone (200 000 m<sup>3</sup>/j.) qui d'alimente en eau potable près de 1.3 millions d'habitants. Une autre est prévue à Campo de Dalías, au sud de l'Espagne (province d'Almeria). La production d'eau est destinée à un usage mixte (eau potable et irrigation). L'usine aura une capacité de production d'eau potable de 80.000 m<sup>3</sup>/j. Celle de Mutxamel près d'Alicante aura une capacité de 50 000 m<sup>3</sup>/j. Cartagena aura une unité de 160 000 m<sup>3</sup>/j., etc.

Fig. 8 : L'équipement de l'Espagne en unités de dessalement en 2009



Au total, d'ici 5 ans, l'Espagne pourrait produire au moins 1,7 million de m<sup>3</sup>/j, sur une quinzaine d'installations. L'Espagne est déjà au 5<sup>ème</sup> rang mondial pour le recours au dessalement, avec plus de 900 unités en fonctionnement (la plupart de petite capacité), derrière les Etats-Unis et le Koweït. La tendance est la même en Italie (11<sup>ème</sup> rang mondial) et en Grèce.

## **2 – Le reste de l'Europe occidentale.**

Et la France dans tout cela ? Elle fait déjà partie des majors dans le domaine de la construction des usines, les leaders étant les Américains et les Britanniques ([www.edsoc.com](http://www.edsoc.com)). La France qui rencontre pourtant d'importants et récurrents problèmes de sécheresse en été, n'a pas encore vraiment sauté le pas en matière de dessalement et de réutilisation des eaux usées. Même si quelques projets pourraient se concrétiser en Normandie, en Provence-Alpes-Côte d'Azur et en Languedoc-Roussillon, le dessalement demeure marginal. Il est surtout utile là où le transport de l'eau est compliqué. La première installation au monde utilisant l'osmose inverse fut ouverte sur l'île de Houat en Bretagne. Une autre unité est installée sur l'île de Sein, dans le phare. Elle est petite (environ 50 m<sup>3</sup>/j) et subvient en été, aux besoins d'eau supplémentaires liés à l'afflux de touristes. Montée en 1975, elle fonctionne depuis 2003 par osmose inverse. Par ailleurs, une unité de 500 m<sup>3</sup> d'eau potable par jour est installée sur le port de Rogliano sur le Cap Corse. Belle-Île va se doter de deux installations de dessalement d'eau de mer. Une première unité mobile, en cours d'installation à proximité de la plage des Grands-Sables, sera opérationnelle à compter d'avril prochain. D'une capacité de 25 m<sup>3</sup>/h, cette unité va augmenter la quantité d'eau disponible sur l'île de 100.000 m<sup>3</sup> supplémentaires. Une seconde station d'une capacité identique viendra compléter ce dispositif, portant la capacité d'approvisionnement en eau potable à 1.000 m<sup>3</sup>/j. évitant ainsi la situation critique de fin 2005.

En Grande-Bretagne, la compagnie des eaux Thames Water a construit (en 2008) la première usine de dessalement du pays pour répondre aux besoins de Londres car ces derniers augmentent plus vite que la ressource : plus de 15% par personne en 20 ans et la population augmente. Implantée à Newham, à l'est de Londres, l'usine est alimentée par pompage des eaux saumâtres de la Tamise et a une capacité maximale de 150 000 m<sup>3</sup>/j.

Mais force est de constater qu'aujourd'hui, le dessalement n'est pas envisagé à grande échelle car l'Europe est relativement bien alimentée en eau de pluie par son climat. Cependant le réchauffement climatique qui se profile risque de changer la donne.

#### **IV – Les problèmes et les solutions alternatives**

Alors qu'en 2004, les experts estimaient que la capacité de dessalement d'eau de mer mondiale augmenterait de 101% d'ici à 2015, ces prévisions semblent aujourd'hui sous-estimées (IWA, [www.waterdesalination.com](http://www.waterdesalination.com)). Face à ce développement rapide on peut s'inquiéter des impacts potentiellement négatifs que peut provoquer cette technique sur l'environnement et le climat, directement ou indirectement (WWF rapport 2007).

##### **A) Les gaz à effet de serre et les rejets de saumures dans l'environnement**

Les usines de dessalement consomment beaucoup d'énergie et par conséquent émettent des gaz à effet de serre. Par ailleurs, on peut craindre que les nouvelles usines de dessalement d'eau de mer entraînent le déploiement d'installations de production d'énergie issue de combustibles fossiles. Une solution convenable serait le recours à l'énergie solaire, non polluante, voire la géothermie, ou encore l'énergie nucléaire.

Dans la région d'Almeria (Espagne) l'agriculture sous serres a exigé une irrigation telle que les nappes phréatiques ont été progressivement épuisées. Certes les autorités ont, dès 1986, interdit de puiser au-delà du raisonnable (?) mais les puits clandestins ont continué à fonctionner au point que le niveau piézométrique s'est retrouvé bien en-dessous du niveau de la mer ce qui a provoqué des intrusions d'eau marines donc salées... Mais le pire a été la construction de petites unités de dessalement dont les saumures et eaux résiduelles (acides et corrosives) sont rejetées dans les anciens puits reportant à très long terme toute possibilité de reconstitution des nappes. Désormais seul le dessalement par de grosses unités contrôlées apparaît comme seul recours ; mais il n'existe aucune législation spécifique concernant la potabilité de l'eau issue de ces traitements.

Quel est l'impact sur l'écosystème marin de l'aspiration d'eau contenant des micro-organismes à la base de la chaîne alimentaire ? Surtout, quel est le devenir des sels

rejetés en mer en sortie d'usine, ou pire des saumures injectées dans les sols au risque de contaminer durablement les aquifères ? En effet celles-ci sont concentrées, acides, et chaudes dans le cas de la distillation. De plus, les traitements de l'eau impliquée par le dessalement altèrent la qualité de l'eau (deminéralisation, additifs chimiques pour nettoyer les membranes, ou lutter contre la pollution) favorisant la corrosion du réseau de distribution et donc la mise en suspension ou la dissolution de métaux lourds. Quels en sont les effets sur la flore et la faune ? Ces questions n'ont pas été approfondies. Or il faut savoir que, en règle générale, pour un litre d'eau douce produit il est rejeté un litre de saumure. Si cette saumure n'est pas fortement diluée avant rejet en mer, elle y provoque la croissance de dangereuses colonies d'algues. En Méditerranée, ces rejets détruisent les herbiers à Posidonies lesquels sont le point de départ de la chaîne alimentaire de l'écosystème marin. Or la salinité de cette mer fermée ne cesse d'augmenter du fait des prélèvements excessifs des eaux douces des fleuves ou des barrages (les cas du Nil ou de l'Ebre sont particulièrement spectaculaires), des apports polluants (nitrates, phosphates, sulfates, etc., sont des sels !) et surtout du réchauffement climatique global qui force l'évaporation. Cette mer, bien malade, est en passe de devenir une mer vide de vie à l'image de la Baltique actuelle. Le même problème se retrouve pour les littoraux des pays du Golfe où, de plus, la salinité est particulièrement élevée (42 g/l) : pour y extraire le sel il faut théoriquement environ 563 Wh/m<sup>3</sup>. En Californie de nombreuses voix s'élèvent contre un dessalement non maîtrisé.

Pour le moment les usines de traitement sont restées relativement rares, isolées et modestes ; mais face à la littoralisation, la montée du tourisme de masse, voire de l'agriculture irriguée, les projets sont de plus en plus nombreux ([www.idadesal.org](http://www.idadesal.org)) et tournés vers des installations de plus en plus grandes, lesquelles posent de plus en plus de problèmes.

## **B) Les alternatives**

Il est donc nécessaire que le dessalement d'eau de mer, comme toute nouvelle technologie, fasse l'objet d'une étude d'impact poussée sur les aspects environnementaux, énergétiques, économiques et sociaux, avant d'être développée à grande échelle.

Pour les pays pauvres, comme pour les riches, il est probable que l'économie de la ressource en eau est encore le meilleur gisement car les pertes dans les canalisations dépassent plus de 50% dans certains réseaux (5 à 10 % en France, 25% en Grande-Bretagne). L'état de délabrement de certaines conduites est largement mis en cause pour expliquer ces pertes. La mise en place de capteurs pour déceler les fuites est certainement souhaitable et beaucoup moins coûteuse. De plus, il s'agit d'une solution de rechange moins agressive pour l'environnement, tout comme l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau ou encore le recyclage des eaux usées par filtration et désinfection. Économiser l'eau commence à rentrer dans les mœurs : lorsque Barcelone a instauré un tarif progressif pénalisant les gros consommateurs, la consommation a baissé de 6%, s'établissant à 120 l/j/habitant, contre une moyenne de 171 dans l'ensemble de l'Espagne. Le retraitement des eaux usées offre aussi de bonnes perspectives, comme en Egypte ou en Israël où 90% des effluents sont rejetés non traités. L'irrigation raisonnée au « goutte à goutte » avec une distribution de l'eau à proximité immédiate des racines, déjà pratiquée en Israël, aux Etats-Unis, en Afrique du Sud, etc., permet d'économiser jusqu'à 50% de la ressource.

Enfin, préserver la ressource souterraine est une autre alternative soit en ne l'utilisant pas pour l'agriculture en plein désert (Libye, Jordanie), soit en la préservant des pollutions consécutives au lessivage des phytosanitaires ou engrais chimiques épandus sur les cultures, ou autres produits toxiques (arsenic, ammonium, etc.).

## **Conclusion**

Face à la raréfaction de la ressource en eau, la principale application du dessalement de l'eau consiste en la fourniture d'eau potable. Cet accroissement des disponibilités en eau a un effet positif direct, mais aussi lorsque l'eau est utilisée pour l'irrigation (désalinisation du sol). Cependant, en règle générale, l'application de la technologie du dessalement de l'eau à l'agriculture n'est pas rentable. Si elle est promise à un bel avenir (sa croissance le prouve), elle risque de buter sur le prix de l'énergie. La recherche de la diminution du coût de celle-ci est donc l'aspect primordial, même s'il a été divisé par 4 en 20 ans. Le dessalement reste très coûteux et les usines que l'on

construit sont déployées dans des pays riches et non dans des zones paupérisées. Le dessalement s'adresse aujourd'hui essentiellement à la consommation domestique des pays riches ayant des carences dans leur approvisionnement. Il y a peu de chance que l'industrie du dessalement prête beaucoup d'attention aux besoins en eau des populations des pays émergents vivant dans des secteurs arides et dont les approvisionnements en eau souterrains sont saumâtres ou pollués.

Moins économique que la réutilisation des eaux résiduelles traitées à des fins agricoles, le dessalement se heurte à la rareté des financements, aussi la solution est-elle d'amener les usagers et le privé à mettre la main à la poche. En outre, le prix de l'eau à la consommation est rarement au prix qu'elle a coûté car c'est aussi un problème technique qui fait appel à des considérations politiques, économiques, sociales et...environnementales (souvent sous estimées).

Cependant cette technologie présente un grand potentiel pour la réutilisation de l'eau, son recyclage et pourquoi pas la recharge des nappes aquifères. En effet, les coûts de traitement sont liés au niveau de contamination de l'eau et il revient moins cher de traiter de l'eau saumâtre ou légèrement polluée que de traiter de l'eau de mer. Pour les populations pauvres, la technique de l'osmose inverse utilisée pour le dessalement pourrait être une solution intéressante. Elle a d'ailleurs été employée avec succès en Inde pour enlever certains contaminants dangereux présents dans l'eau potable.

Finalement, dans tous les cas, le dessalement d'eau de mer doit être envisagé au cas par cas, en cohérence avec la gestion de l'offre et de la demande en eau, en fonction de la situation économique sociale et environnementale locale. Et non comme une solution de facilité immédiate pour pays nantis.

### **Notes infra paginales**

<sup>1)</sup> Cela pose problème pour Mexico (2 200 m) ou New Delhi ; c'est plus adapté pour Pékin, Bangkok, Barcelone ou Tripoli. Notons que Riyad est alimenté à partir de Jubail par 320 km de canalisations.

<sup>2)</sup> En 2008, le coût du m<sup>3</sup> était 0,53 \$ US en Israël, de 0,49 \$ US à Singapour et de 0,46 \$ US en Californie. L'eau embouteillée revient de 2 à 4 fois plus cher.

• Remerciements à Antonio Pulido-Bosch, professeur d'hydrogéologie à l'Université d'Almeria, pour la communication d'informations inédites, et à Craig Watson pour la traduction en anglais.

## Bibliographie et références

Faute d'ouvrages de synthèse traitant de la question, l'auteur s'est documenté essentiellement sur les sites internet (opérateurs, commissions d'enquêtes, rapports, professionnels de l'eau, administrations locales, etc.) et quelques rares ouvrages (cités ci-dessous).

Californie : <http://www.coastal.ca.gov/mtgcurr.html>

California Coastal Commission (CCC). Staff Report and Recommendation on Ocean View Plaza. 2005 : <http://www.coastal.ca.gov/sc/5-2005-W6a.pdf>.

DEGREMONT : <http://www.degremont.fr/fr/notre-offre/produits/dessalement/le-dessalement/>

Distillation thermique:  
[www.actuenvironnement.com/.../developpement\\_dessalement\\_eau\\_6101.php4](http://www.actuenvironnement.com/.../developpement_dessalement_eau_6101.php4) - FAO (2000)

FAO – ONU -WWAP : [www.unesco.org/water/wwap/index\\_fr.shtml](http://www.unesco.org/water/wwap/index_fr.shtml) (ressources en eau)

Global Water Intelligence - 2009 -. (GWI/IDA Worldwide Desalting Plant Inventory et GWI Desal Data/IDA) <http://www.globalwaterintel.com/advertise/ida-desalination-yearbook/> Fondamental : publication annuelle sur la désalinisation.

LOUATI M.H. *et al.*, - 1998 - « Eau 21- Stratégie du secteur de l'eau en Tunisie à long terme 2030 », Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques.

Lyonnaise des Eaux : [www.lyonnaise-des-eaux.fr/](http://www.lyonnaise-des-eaux.fr/)

MARGAT J. – 2004 - *L'eau des Méditerranéens: situation et perspectives*. Athènes. MAP Technical Report Series no 158. [www.unepmap.gr](http://www.unepmap.gr)

Osmose inverse : [fr.wikipedia.org/wiki/Osmose\\_inverse](http://fr.wikipedia.org/wiki/Osmose_inverse)

Plan Bleu (2005). *Méditerranée, les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement*, dirigé par Guillaume Benoît et Aline Comeau. Editions de l'Aube. Chapitre « L'eau », pp. 71-107. [www.planbleu.org](http://www.planbleu.org)

PNUD : <http://www.undp.org/french/> (ressource en eau)

SALOMON J.-N. - 2006 – « Les dangers de l'irrigation », in "Responsabilité et Environnement", Revue Annales des Mines, n° 42, pp.20-32.

Suez Environnement : <http://www.suez-environnement.fr>

Texas Water Development Board, *A Desalination Database for Texas*, prepared by the Bureau of Economic Geology (Austin, Texas, October 2005; revised October 2006), p. 6.

VEOLIA: <http://www.veoliaeau.com/r-et-d/axes/dessalement/>

GWI.-2005/Wangnick. 2004 *Worldwide desalting plants inventory*. Global Water Intelligence. Oxford, England. (Data provided to the Pacific Institute and used with permission.)

WWF rapport 2007: *Desalinisation : option or distraction for a thirsty world*.

### **Associations**

AEDYR : [www.aedyr.com](http://www.aedyr.com) (Association espagnole s'intéressant à la désalinisation)

American Water Works Association : <http://www.awwa.org>

Desalination Directory Online : <http://www.desline.com>

European Desalination Society (EDS) <http://www.edsoc.com>

Indian Desalination Association (InDA) : <http://www.indaindia.org/about.htm>

International Desalination Association : <http://www.idadesal.org>

International Water Association (IWA) : [http:// www.waterdesalination.com](http://www.waterdesalination.com)