



**Programme des  
Nations Unies  
pour l'environnement**



UNEP(DEC)/MED WG.183/Inf.6  
7 mai 2001

FRANÇAIS  
Original: ANGLAIS

---

---

**PLAN D'ACTION POUR LA MÉDITERRANÉE**

Réunion des coordonnateurs nationaux pour le MED POL

Venise, Italie, 28-31 mai 2001

**DESSALEMENT DE L'EAU DE MER DANS LES PAYS MÉDITERRANÉENS:  
ÉVALUATION DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT ET  
LIGNES DIRECTRICES PROPOSÉES POUR LA GESTION DE LA SAUMURE**



## TABLE DES MATIÈRES

	Page
<b>INTRODUCTION</b>	1
<b>CHAPITRE 1. DESSALEMENT DE L'EAU DE MER</b>	2
1.1 La nécessité du dessalement de l'eau de mer	2
1.2 Technique de base et exposé succinct des méthodes de dessalement actuelles	6
<b>CHAPITRE 2. SITUATION ET TENDANCES DU DESSALEMENT DE L'EAU DE MER DANS LA RÉGION MÉDITERRANÉENNE</b>	20
2.1 Les usines de dessalement de l'eau de mer en Méditerranée	20
2.2 Évolution du dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens au cours des trente dernières années (1970-1999)	28
<b>CHAPITRE 3. LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT DU DESSALEMENT DE L'EAU DE MER, EU ÉGARD NOTAMMENT AU MILIEU MARIN</b>	42
3.1 Origine et type des émissions et rejets	42
3.2 Impacts sur l'environnement	49
<b>CHAPITRE 4. LES ASPECTS JURIDIQUES DE L'ÉLIMINATION DU CONCENTRÉ (SAUMURE) AU REGARD DES PROTOCOLES «TELLURIQUE» ET «IMMERSIONS»</b>	59
4.1 Les rejets de substance et d'énergie au regard du Protocole «tellurique»	59
4.2 L'immersion de matériaux de dragage au regard du Protocole «immersions»	62
<b>CHAPITRE 5. CONCLUSIONS</b>	63
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	65
<b>ANNEXE I:</b> Usines de dessalement d'une capacité de plus de 500m <sup>3</sup> /jour en service dans les pays méditerranéens	
<b>ANNEXE II:</b> Table des abréviations - Glossaire	
<b>APPENDICE:</b> Lignes directrices préliminaires pour l'évaluation et la gestion des rejets provenant d'usines de dessalement	



## INTRODUCTION

La nécessité de dessaler l'eau de mer se fait de plus en plus pressante dans de nombreuses parties du monde. Au cours des années 1950 – 1990, la consommation mondiale d'eau a triplé, tandis que la population de la planète augmentait de 2,3 milliards d'habitants.

En Méditerranée, les besoins en eau présents et futurs accusent une croissance effective. On estime que, d'ici à 2010, les demandes en eau augmenteront de 32% au moins pour les pays du sud et de l'est. Il va de soi que des besoins d'une telle ampleur ne peuvent être uniquement couverts et satisfaits que si l'on a recours à des ressources en eau non conventionnelles, comme le recyclage et le dessalement de l'eau.

Le dessalement est depuis longtemps une source d'eau importante dans certaines parties de la Méditerranée. Les usines de dessalement se trouvent dans les régions ayant un climat chaud, une pluviométrie relativement faible et imprévisible et où les ressources en eau ne peuvent répondre aux demandes de pointe de la période touristique.

Le dessalement de l'eau de mer est, dans les pays méditerranéens, une industrie en essor constant. Cette forme de ressource en eau pratiquement illimitée consomme de l'énergie et elle a des impacts sur l'environnement. Ces impacts proviennent principalement du concentré (saumure) produit au cours du dessalement, mais aussi des rejets de produits chimiques utilisés dans les procédés de dessalement.

Bien que le nombre de publications scientifiques consacrées à la question soient restreint, le rejet de concentré dans la mer appelle une vigilance particulière et une évaluation scientifique des impacts possibles sur le milieu marin.

Il ne fait aucun doute que les pays méditerranéens qui utilisent le dessalement pour couvrir leurs besoins en eau douce devraient appliquer des lignes directrices ou des procédés appropriés pour l'élimination de la saumure, conformément aux dispositions des Protocoles «tellurique» et «immersions». Par conséquent, ce document a été préparé dans le but de servir de base à des discussions visant à identifier une approche de gestion commune en ligne avec la Convention de Barcelone et ses protocoles.

## CHAPITRE 1. - DESSALEMENT DE L'EAU DE MER

### 1.1 La nécessité du dessalement de l'eau de mer

L'Agenda 21, notamment dans son chapitre consacré aux ressources en eau douce, spécifie bien le caractère vital de l'eau pour le développement durable.

Une quantité équivalant à 97,5% du stock d'eau de la planète est salée et seule une fraction correspondant à 2,5 % se compose d'eau douce. Environ 70% de cette eau douce de la planète est fixée dans les calottes glaciaires des pôles et une partie importante des 30% restants est constituée par des nappes aquifères souterraines de régions reculées. En effet, seule une fraction minuscule de l'eau douce (moins de 1% de l'eau douce totale, soit 0,007 % du stock d'eau mondial) est disponible dans les cours d'eau, les lacs et les réservoirs et est facilement accessible à l'homme pour son utilisation directe. En outre, la répartition spatiale et temporelle du stock et du débit d'eau douce est très inégale (Bennet *et al.*, 1999) (8).

Par suite de l'extension des régions arides et aussi de l'utilisation intensive d'eau dans les zones urbaines du monde entier, il est fréquent que l'eau douce ne soit pas disponible dans les quantités souhaitées. Selon une estimation de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), 1000 m<sup>3</sup> par personne et par an sont le niveau repère au-dessous duquel on considère que la pénurie chronique d'eau entrave le développement et est préjudiciable à la santé humaine.

Nous sommes présentement témoins d'une tendance prononcée à la création de zones arides et dénudées au peuplement très dense. Cette tendance résulte de l'accroissement de la population mondiale (qui a déjà franchi la barre des 6 milliards d'habitants et devrait atteindre les 8,3 milliards en 2025 et les 10-12 milliards en 2050), de la possibilité d'un conditionnement de l'air à l'intérieur des habitations et de divers facteurs militaires, économiques et politiques.

Au cours de la période 1950 -1990, la consommation mondiale d'eau a triplé. Chaque jour, à chaque seconde, la population de la planète augmente de 2,3 habitants, ce qui signifie que les consommateurs d'eau augmentent de 150 par minute, de 9 000 par heure, de 216 000 par jour ou de 28,8 millions par an. Où pourra-t-on trouver les deux trillions de mètres cubes d'eau nécessaires pour répondre aux besoins des 2,6 milliards de consommateurs qui vont venir s'ajouter à une population mondiale dépassant les 5 milliards? (Linsky, 1999) (27).

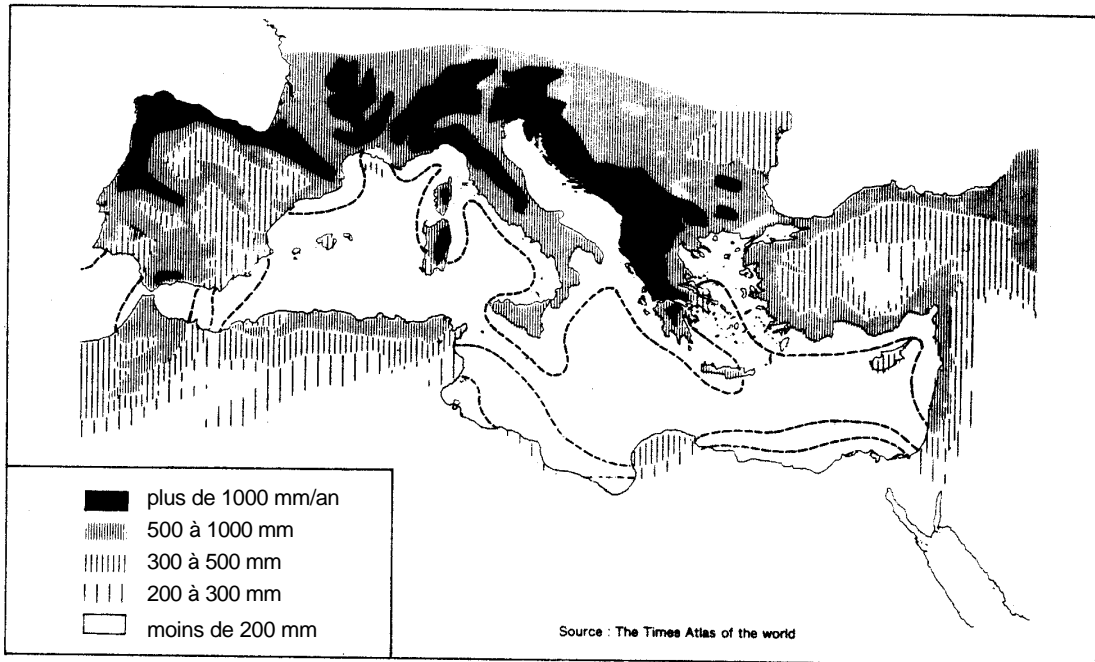
Les ressources en eau de la région méditerranéenne sont limitées, fragiles et menacées. Elles font déjà l'objet d'une exploitation intensive, notamment dans le sud et à l'Est où la saison sèche se caractérise par sa longueur, avec une pluviométrie annuelle faible (fig. 1)(Plan Bleu, 1992) (10).

Dans la région méditerranéenne, des sécheresses temporaires qui peuvent être définies comme une pluviométrie inférieure à la moyenne d'une gravité variable par sa durée et son ampleur, ont occasionné un préjudice particulièrement important pour les ressources en eau. Au cours des dernières décennies, la plupart des pays méditerranéens ont connu des périodes de sécheresse prolongées notoires, comme par exemple: 1980-85 au Maroc, 1982-83 en Grèce, Espagne. Italie du Sud et Tunisie, 1985-89 en Tunisie, 1988-90 en Grèce, 1988-92 dans le Midi de la France, 1989-91 à Chypre, 1990-95 en Espagne et au Maroc, 1993-95 en Tunisie, 1995-2000 à Chypre et en Israël, cette liste étant loin d'être exhaustive.

Selon des estimations des Nations Unies (ONU), la population totale de la région passera de 420 millions d'habitants en 1995 à 446 millions en 2000, à 508-579 en 2025 (Fig. 2), (Plan Bleu , 1992) (10). En une génération, la population totale des pays du Sud et de l'Est a triplé et a dépassé les 223 millions.

FIGURE 1

**PLUVIOMÉTRIE MOYENNE ANNUELLE**



**DURÉE DE LA SAISON SÈCHE**

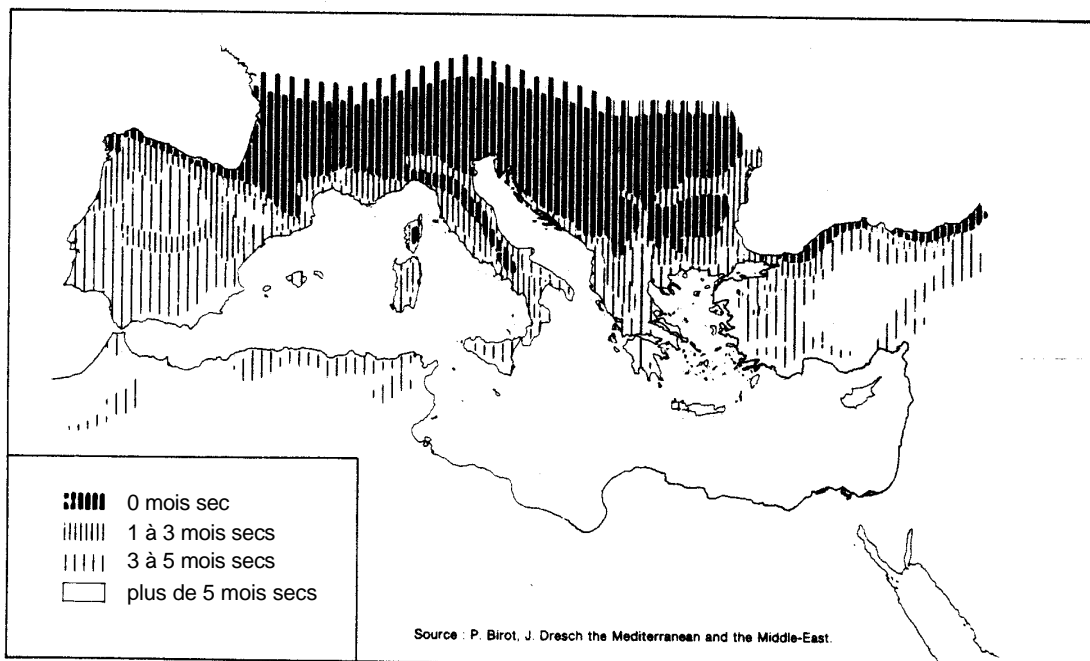
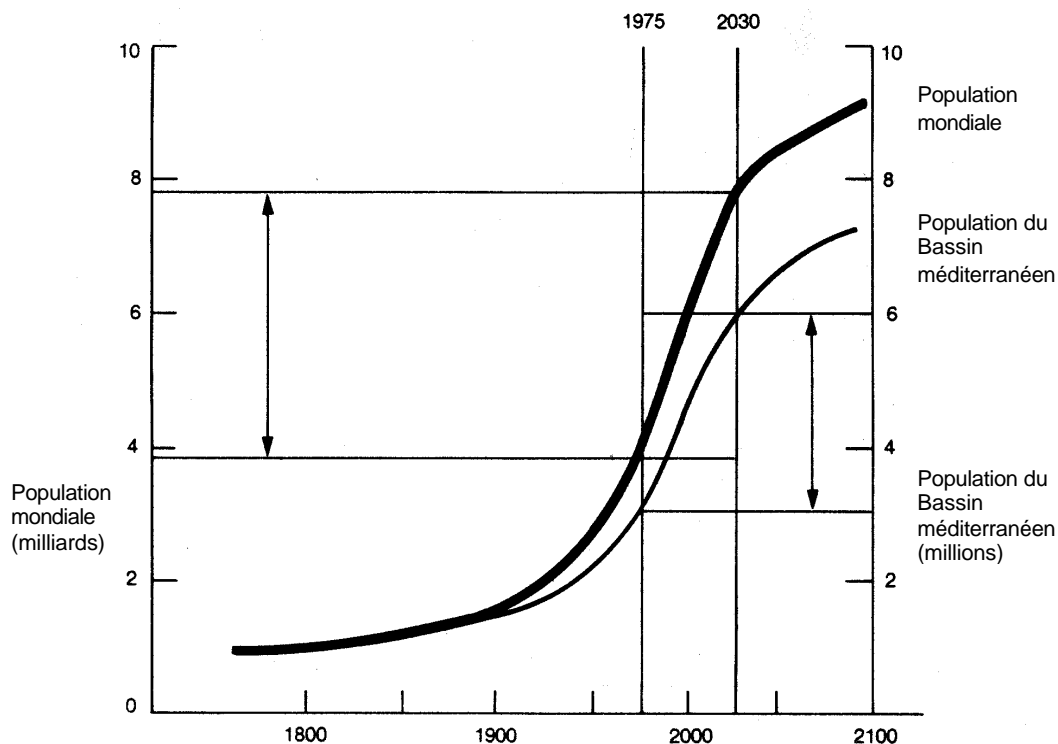


FIGURE 2

**POPULATION MONDIALE ET POPULATION DU BASSIN MÉDITERRANÉEN  
CROISSANCE PASSÉE ET FUTURE**



Sources: I.I.A.S.A et Plan Bleu

Le tourisme est en essor constant, le Bassin méditerranéen étant la première destination touristique du monde, et les 15 dernières années le nombre de visiteurs s'est accru pour atteindre environ 350 millions, ce qui se traduit par une demande accrue d'eau potable, notamment en été (et spécialement dans les îles). L'Espagne en est un exemple éloquent: la population de 27 municipalités de la Costa Brava explose de 150 000 habitants en hiver à 1,1 million à la mi-août (Plan Bleu, 2000) (9).

Sur la base, avant tout, des données disponibles dans les documents de planification nationale, les prévisions de la demande en eau dans les pays et territoires méditerranéens aux horizons 2010 et 2025 sont présentées sur le tableau 1, (Plan Bleu, 2000) (9). Les chiffres sont récapitulés par sous-régions (km<sup>3</sup>/an) sur le tableau 1 ci-dessous.



Tableau 1

Projections tendanciennes modérées de la demande en eau des pays et territoires méditerranéens aux horizons 2010 et 2025.

Pays et territoires	<i>Demandes sectorielles en km<sup>3</sup>/an</i>								Demandes totales km <sup>3</sup> /an	
	Collectivités		Agriculture		Industrie		Énergie		2010	2025
	2010	2025	2010	2025	2010	2025	2010	2025	2010	2025
PO	0,72	0,9	5,64	5,3	0,5	1,0	3,5	4,0	10,37	11,2
ES	6,28	7,0	27,6	25,7	2,43	3,0	4,0	5,0	40,35	40,7
FR	7,90	9,6	6,0	5,8	5,0	5,9	27,0	28,7	45,9	50,0
IT	7,60	5,2	30,7	31,7	13,3	7,0	0,5	0,5	52,1	44,37
MT	0,04	0,04	0,005	0,006	0	0	0	0	9,044	0,046
SI,HR,BA, YU,MC	2,8	3,7	1,1	1,4	6,0	8,0	10,0	12,0	19,9	25,1
AL	0,83	0,8	1,9	1,9	0,2	0,3	0	0	2,93	3,0
GR	1,50	1,8	7,7	9,0	0,18	0,2	0,12	0,2	9,50	11,2
TR	17,8	23,6	28,1	30,7	5,0	7,0	5,0	10,0	55,9	71,3
CY	0,1	0,1	0,5	0,8	0	0	0	0	0,593	0,9
SY	2,1	3	17,6	25,2	0,3	0,37	0,1	0,1	20,1	28,67
LB	0,40	0,52	0,52	1,10	0,10	0,14	0	0	1,42	1,76
IL	0,77	1,4	1,25	1,24	0,22	0,20	0	0	2,24	2,84
GZ,WE	0,32	0,53	0,30	0,42	0,04	0,06	0	0	0,66	1
JG	0,43	0,57	1,75	2,40	0,13	0,20	0	0	3,31	3,17
EG	5	6,0	75,0	95	10	14	0	0	90	115,0
LY	1,0	1,76	9	11,9	0,24	0,57	0	0	10,24	14,2
TN	0,42	0,53	3,37	4,23	0,16	0,26	0	0	3,95	5,02
DZ	4,1	6,05	3,6	4,64	0,35	1,4	0,2	0,2	8,85	12,29
MA	1,6	1,57	15,3	17,19	1,4	1,51	0	0	18,3	20,27
<b>Total</b>	<b>61,71</b>	<b>74,67</b>	<b>237,335</b>	<b>275,626</b>	<b>46,15</b>	<b>51,11</b>	<b>50,42</b>	<b>60,7</b>	<b>395,657</b>	<b>462,036</b>

D'après Plan Bleu MEDTAC

Sous-région	Année de référence	Projections	
	1990	2010	2025
* Nord	155.5	171	186
** Est	55	81	51
*** Sud	88.5	131	167
TOTAL	299	383	463

\* Espagne, France et Monaco, Italie, Malte, Bosnie-Herzégovine, Croatie, Slovénie, RF de Yougoslavie, Albanie, Grèce. (Portugal)

\*\* Turquie, Chypre, Syrie, Liban, Israël, Autorité palestinienne (Jordanie).

\*\*\* Égypte, Libye, Tunisie, Algérie, Maroc.

Les demandes présentent une augmentation de 32% en 2010 et de 55% en 2025. L'augmentation dans le Nord est moindre que dans le sud et l'est.

La production d'eau requise devrait s'accroître de 96 milliards de mètres cubes par an d'ici à 2010.

La figure 3 présente les croissances projetées des rapports demandes/ressources en eau dans les pays du sud et de l'est de la Méditerranée. À partir de 2010, onze pays utiliseraient plus de 50% de leurs ressources renouvelables (Plan Bleu, 2000) (9). En 2025, cet indice dépassera 100% dans 8 pays, et plus de 50% de ces ressources dans 3 autres.

***En résumé, les besoins en eau présents et futurs ne peuvent être couverts et satisfaits que si des ressources non conventionnelles (recyclage et dessalement de l'eau) sont utilisées.***

## 1.2 Technique de base et exposé succinct des méthodes de dessalement actuelles

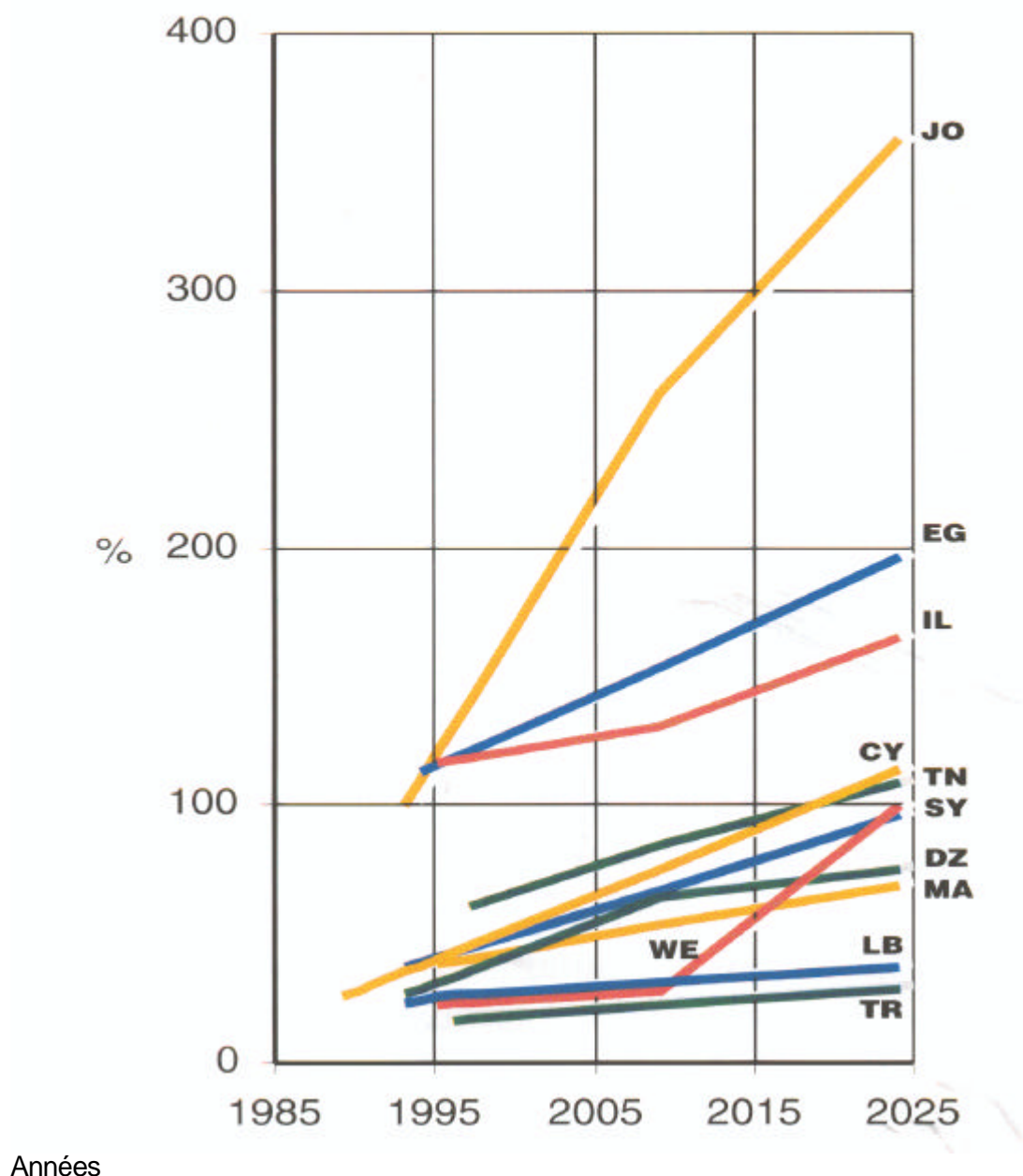
Le plus important processus de dessalement naturel se produit sur la Terre: il s'agit du cycle hydrologique - une machine naturelle, un système continuellement en action de distillation et de pompage. Le soleil fournit de l'énergie calorifique, et cela, s'ajoutant à la force de la gravité, empêche l'eau d'aller de la Terre vers l'atmosphère par évaporation et transpiration, et de l'atmosphère à la Terre par condensation et précipitation.

Dans le présent document, on entend seulement par dessalement le dessalement de l'eau de mer, permettant de produire de l'eau douce quand une partie de l'eau de mer d'alimentation d'une usine se transforme en débit d'eau douce. Il en résulte, inévitablement, qu'un courant d'eau relativement concentré en sels dissous (saumure) est rejeté de l'usine, comme il est illustré ci-dessous.

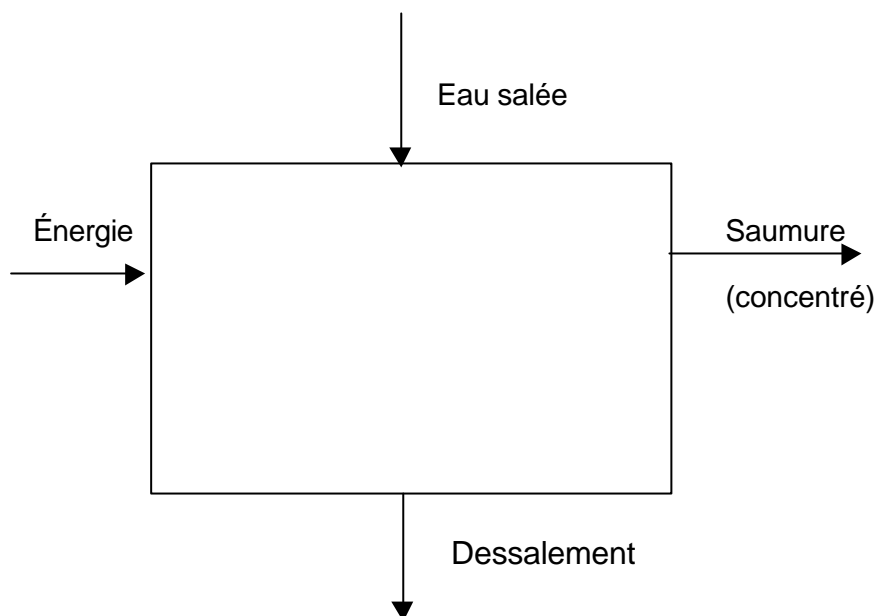
**FIGURE 3**

Croissances projetées des rapports demandes/ressources en eau des pays méditerranéens du Sud (scénario tendanciel modéré).

(La Bande de Gaza et la Libye ne figurent pas car leurs indices, très supérieurs à 100, sont hors échelle).



D'après le rapport du Plan Bleu 2000 "Vision méditerranéenne de l'eau, population et environnement pour le 21e siècle".



Les procédés de dessalement disponibles sur le marché se divisent en deux grandes catégories: thermiques et à membranes.

a) Procédés thermiques

Environ la moitié de l'eau dessalée dans le monde est produite au moyen de chaleur servant à distiller de l'eau douce à partir de l'eau de mer. Le procédé par distillation reproduit le cycle naturel de l'eau puisqu'il consiste à chauffer de l'eau salée est chauffée, avec production de vapeur d'eau qui est à son tour condensée pour former de l'eau douce.

Dans l'usine, l'eau est chauffée jusqu'à ébullition pour produire la quantité maximale de vapeur. Pour que le procédé soit économiquement rentable, la pression appliquée sur l'eau à bouillir est ajustée pour maîtriser le point d'ébullition.

i) *Distillation par détente à étages multiples (Distillation «Multistages Flash » ou MSF)*

Dans le procédé MSF, l'eau de mer est chauffée dans une chaudière. Cela est généralement fait en condensant la vapeur sur un faisceau de tuyaux véhiculant de l'eau de mer qui passe à travers la chaudière. Cette eau de mer chauffée coule alors dans une autre cuve correspondant à un autre étage où la pression ambiante est plus basse, si bien que l'eau commence aussitôt à bouillir. L'introduction soudaine de l'eau chauffée à chaque étage déclenche une détente et son évaporation instantanée («flash»). En général, seule une petite fraction de cette eau est convertie en vapeur, en fonction de la pression maintenue à l'étage, étant donné que l'ébullition continuera jusqu'à ce que l'eau retombe au point d'ébullition.

Le concept de distillation de l'eau dans des étages successifs dont chacun est maintenu à la pression inférieure à la pression saturante correspondant à la température de l'eau dans l'étage n'est pas nouveau et est appliqué depuis plus d'un siècle. Dans les années 1950, une unité MSF qui comportait des étages en série maintenus à des pressions de plus en plus basses a été mise en place. Dans cette unité, l'eau d'alimentation circule d'un étage à l'autre et est portée à ébullition à plusieurs reprises sans que l'on augmente la chaleur. Habituellement, une usine MSF comporte 15 à 25 étages. La figure 4 illustre le schéma d'une usine de type MSF (Bouros, 1992) (12).

ii) *Distillation à effets multiples (Distillation «Multi-Effect» ou ME)*

Dans des évaporateurs à effets multiples (ME), la vapeur provenant du premier évaporateur se condense dans le second, et la chaleur de sa condensation sert à faire bouillir l'eau salée dans celui-ci. Par conséquent, le second évaporateur agit comme un condenseur de la vapeur provenant du premier, et l'action de cette vapeur dans le second évaporateur est identique à celle de la vapeur de chauffage dans le premier. De même, le troisième évaporateur agit comme condenseur pour le second, et ainsi de suite. Ce principe est illustré sur la figure 5. Chaque évaporateur d'une telle série correspond à un «effet».

Certaines des premières usines de distillation d'eau utilisaient le procédé ME, mais les unités MSF, en raison de leur meilleure résistance à l'entartrage, ont remplacé ce procédé. Cependant, à partir des années 1980, le procédé ME a connu un regain de faveur et il a été mis en place des installations de conception nouvelle introduisant une exploitation à des températures plus basses, ce qui a permis de réduire au minimum la corrosion et l'entartrage.

iii) *La distillation par compression de vapeur («Vapor Compression» ou VC)*

Le procédé de distillation par compression de vapeur (VC) est utilisé pour des installations de dessalement de petite ou moyenne capacité. Le procédé par compression de vapeur diffère des autres procédés de distillation en ce qu'il n'utilise pas de source de chaleur extérieure mais la compression de la vapeur d'eau (au moyen, par exemple, d'un compresseur pour accroître la pression de la vapeur et la température de condensation).

La figure 6 (Bouros, 1992) (12) illustre une méthode simplifiée dans laquelle un compresseur mécanique sert à produire de la chaleur pour l'évaporation. Toute la vapeur est entraînée par un compresseur mécanique et introduite comme vapeur de chauffage dans le premier effet après compression où elle condense sur le côté froid de la surface caloporteuse et est distribuée sur l'autre côté où elle bout et s'évapore en partie, produisant davantage de vapeur.

Les unités VC sont souvent utilisées pour les stations de villégiature, les zones industrielles et de forage ne pouvant avoir un accès facile à de l'eau douce. Leur simplicité et facilité d'exploitation se prêtent bien à de petites installations.

Les unités mécaniques VC ont une capacité variable de quelques litres à 3 000m<sup>3</sup>/jour.

b) *Procédés à membranes*

Dans la nature, les membranes jouent un rôle important pour séparer les sels et des processus de dialyse et d'osmose se produisent dans les organismes vivants.

Les membranes sont utilisées sur le marché dans deux procédés importants: l'électrodialyse (ED) et l'osmose inverse (OI).

i) *Électrodialyse (ED)*

L'ED est un procédé qui utilise la mobilité des ions d'un électrolyte soumis à un champ électrique, le dessalement étant assuré par des membranes qui éliminent sélectivement les sels, ce qui permet d'obtenir de l'eau douce.

L'ED a été introduite sur le marché au début des années 1960. L'unité ED de base se compose de plusieurs centaines de cellules reliées entre elles par des électrodes à un bloc 'extérieur qui constitue la pile. L'eau d'alimentation passe simultanément à travers toutes les cellules en fournissant un courant continu d'eau dessalée et de saumure concentrée qui dépend de la conception du système. Des produits chimiques peuvent être ajoutés au circuit pour réduire le pouvoir d'entartrage.

Les composants d'une unité d'électrodialyse sont présentés sur le schéma de la figure 7 (Bouros, 1992) (12).

FIGURE 4

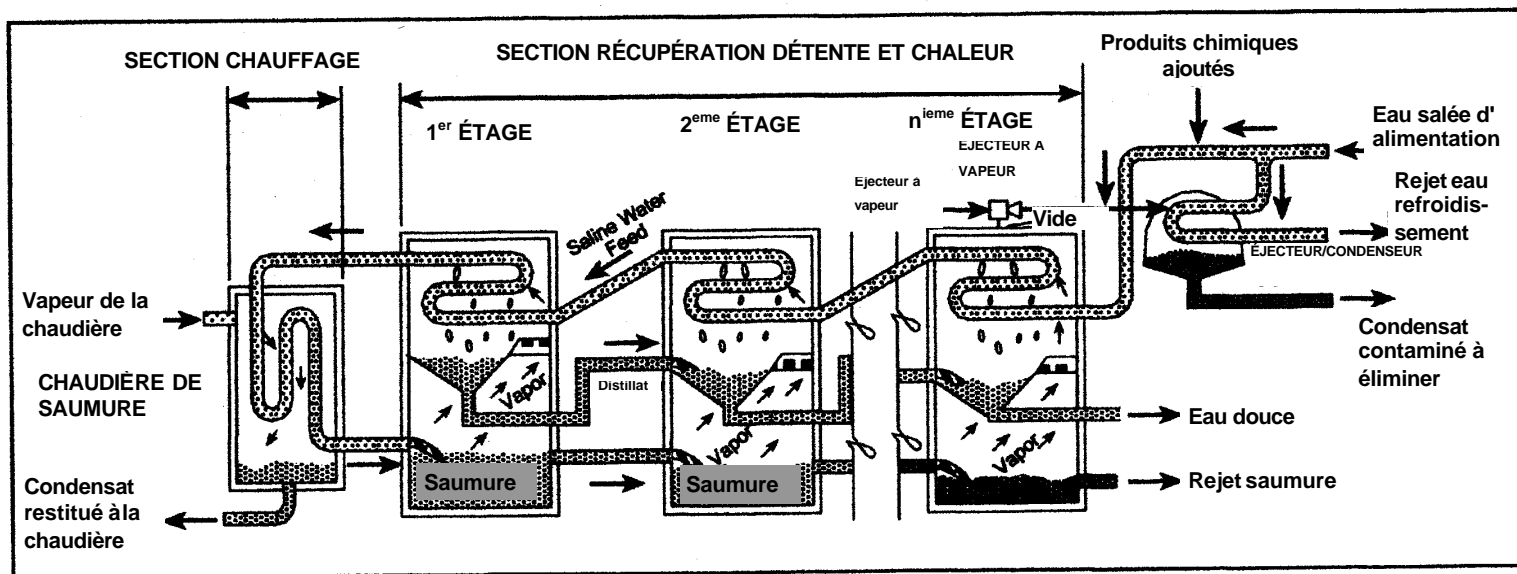


Schéma d'une usine multi-flash

USAID

FIGURE 5

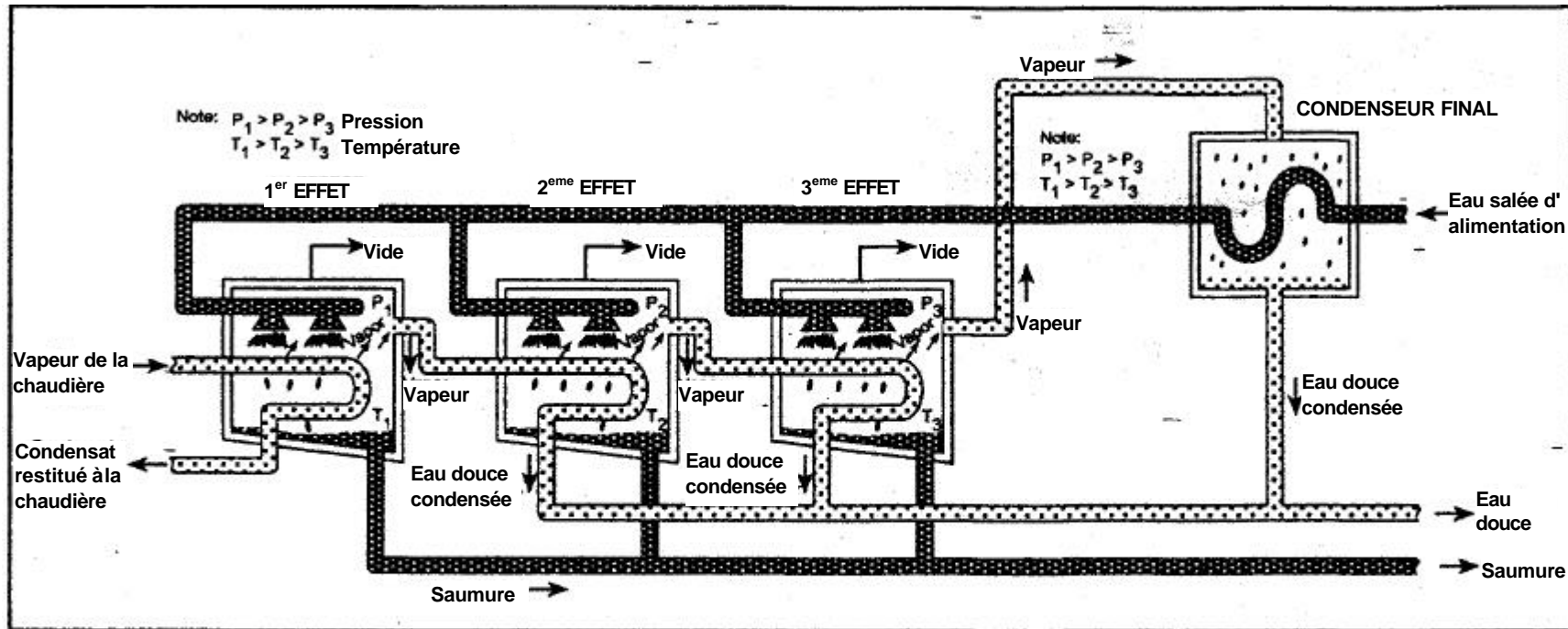


Schéma d'une usine multi-effets à tuyaux horizontaux

USAID



FIGURE 6

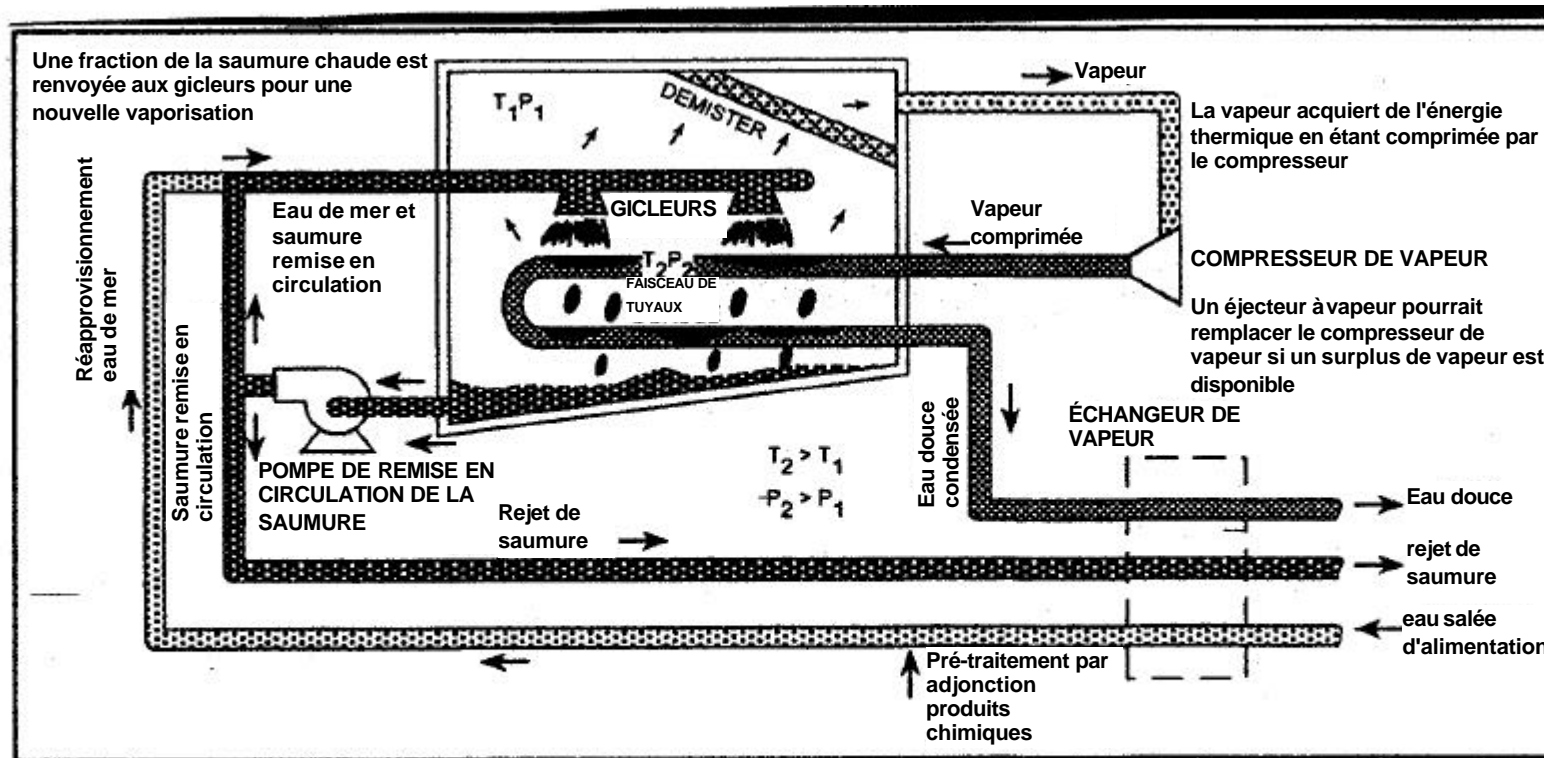


Schéma d'une unité de compression de vapeur mécanique

USAID

ii) *Osmose inverse (OI)*

Le procédé OI consiste à séparer les substances dissoutes d'une solution salée pressurisée en la faisant diffuser à travers une membrane. En pratique, l'eau d'alimentation est pompée dans une cuve étanche où elle est pressurisée contre la membrane. À mesure qu'une fraction de l'eau diffuse à travers la membrane, la teneur en sels de la fraction restante augmente. Dans le même temps, une partie de cette eau d'alimentation est rejetée, sans diffuser à travers la membrane.

Sans ce rejet régulateur, l'eau d'alimentation pressurisée continuerait à accroître sa concentration en sels, ce qui engendrerait des problèmes tels que la précipitation des sels sursaturés et une pression osmotique accrue à travers la membrane.

La fonction de la membrane OI est illustrée à la figure 8.  
Un système OI se compose des éléments de base suivants :

- Pré-traitement
- Pompes à haute pression
- Bloc membrane et
- Post-traitement

Les éléments ci-dessus sont illustrés en détail avec le schéma de fonctionnement d'une unité OI (fig. 9), (Morton *et al.*, 1996) (30).

Les dix dernières années ont été marquées par l'essor du procédé OI. Bien que le concept de ce dernier n'ait pas fondamentalement changé, il a donné lieu à des améliorations constantes en ce qui concerne l'efficacité des membranes, la récupération d'énergie, le contrôle des opérations sur membrane et les enseignements tirés de l'exploitation, ce qui a permis une réduction globale du coût de l'eau produite par ce procédé.

c) *Autres procédés*

Un certain nombre d'autres procédés ont été utilisés pour dessaler les eaux saumâtres ou marines. Ces procédés n'ont pas permis d'obtenir le rendement de la distillation ou de l'osmose inverse, mais ils se sont avérés valables dans certaines circonstances ou appellent encore des perfectionnements.

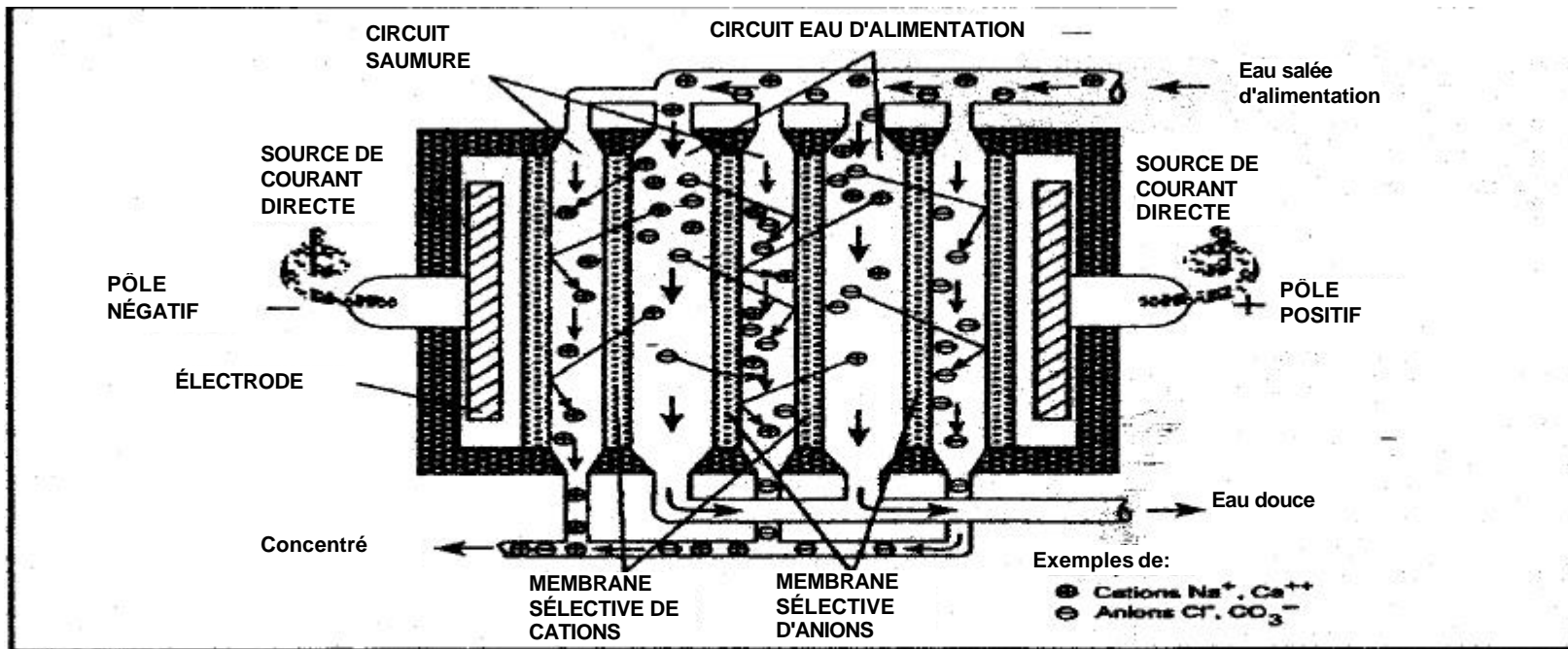
i) *Congélation*

Lors du processus de congélation, les sels dissous sont naturellement éliminés lors de la formation initiale de cristaux de glace. Le refroidissement de l'eau salée pour former des cristaux de glace sous des conditions bien définies est un moyen de dessaler l'eau de mer. Il existe plusieurs procédés de congélation pour dessaler l'eau de mer, et un petit nombre d'usines ont été installées à cet effet au cours des 50 dernières années.

ii) *Distillation sur membrane*

Comme son nom l'indique, le procédé consiste en l'association de distillation et de membranes. Au cours du processus, l'eau salée est chauffée pour augmenter la production de vapeur et cette vapeur est exposée à une membrane qui laisse passer la vapeur d'eau mais non l'eau sous forme liquide. Une fois que la vapeur a traversé la membrane, elle est condensée sur une paroi froide pour produire de l'eau douce.

FIGURE 7



*Mouvement des ions dans le processus d'électrodialyse*

USAID

FIGURE 8

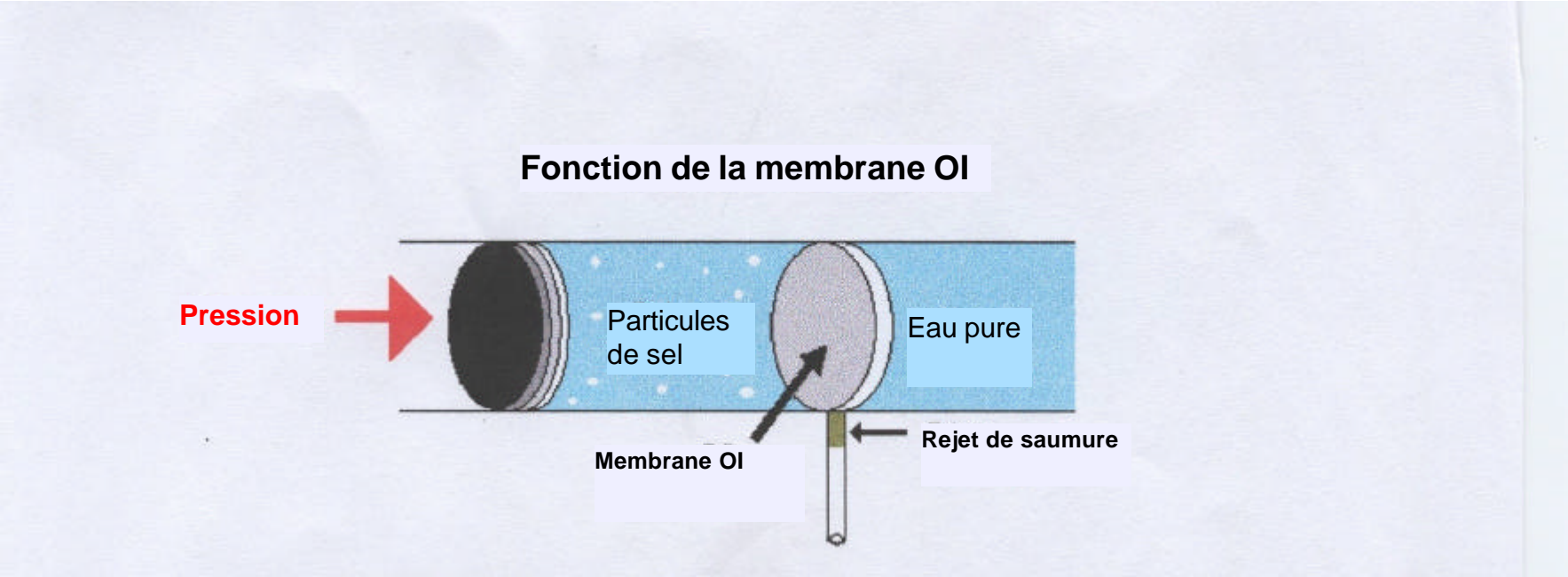
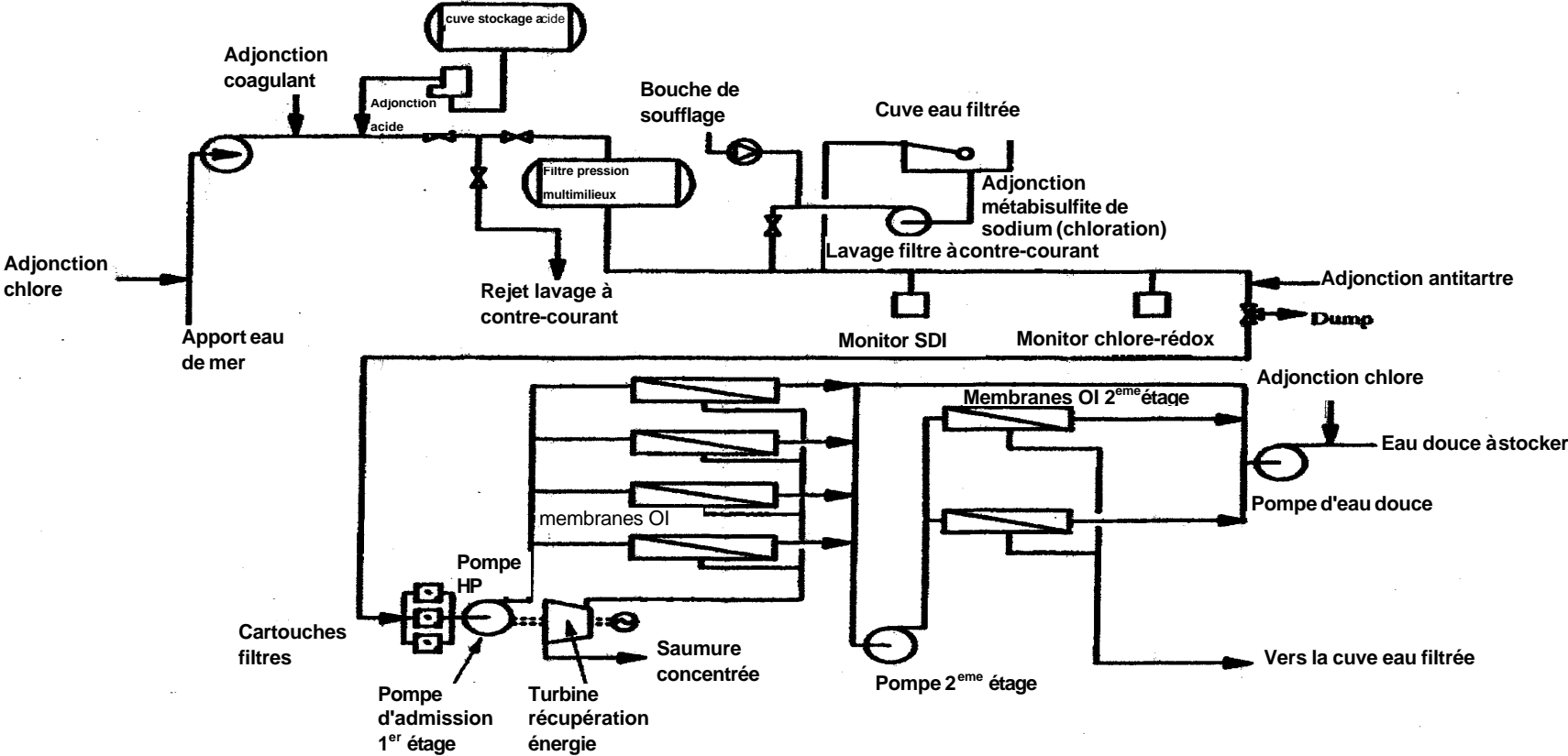


FIGURE 9

Schéma de fonctionnement type – Usine de dessalement OI



d'après Morton *et al.*, 1996 (30)

iii) *Humidification solaire*

L'utilisation de l'énergie solaire directe pour dessaler l'eau salée a été envisagée, et divers dispositifs ont été mis au point; ils reproduisent généralement une partie du cycle hydrologique naturel puisque les rayons du soleil chauffent l'eau salée avec production de vapeur d'eau (humidification) . La vapeur d'eau est alors condensée sur une paroi froide et le condensat recueilli sous forme d'eau douce.

Un exemple de ce type de procédé est la maison-alambic solaire dans lequel l'eau salée est chauffée dans un bassin au niveau du sol et la vapeur d'eau condensée sur le toit en verre qui recouvre le bassin. Une application de ce type d'unités d'humidification solaire a servi à dessaler de l'eau salée dans de petits villages où l'énergie solaire est abondante et la main-d'œuvre bon marché, mais où l'électricité est rare et d'un coût élevé.

d) Usines de production couplée eau + d'énergie

Dans certaines circonstances, il y a intérêt à utiliser l'énergie à plusieurs fins: c'est le cas de la production couplée eau douce + énergie.

Certains types de procédés de dessalement, notamment par distillation, peuvent être agencés pour tirer parti d'une situation de production couplée. La plupart des usines de distillation installées au Moyen-Orient et en Afrique du Nord sont exploitées selon ce schéma depuis les années 1960, et sont bien connues dans le domaine des usines à production couplée (eau + électricité)

Les usines à production couplée utilisent la vapeur pour actionner à la fois une génératrice au moyen d'une turbine à vapeur et fournir l'énergie thermique nécessaire à l'évaporation d'eau de mer dans le cadre du procédé de dessalement. Du point de vue de la prospective énergétique, une usine à production couplée est une excellente combinaison. Une partie de l'électricité produite peut servir à actionner une unité à membranes et le courant restant est vendu à une compagnie d'électricité locale, ou bien l'inverse. La chaleur dégagée par la turbine à gaz, ou la vapeur provenant de la turbine à vapeur sert à fournir de la chaleur pour actionner une unité de dessalement thermique.

Le mérite des usines à production couplée tient au fait que, dans des situations où la demande en eau est maximale, l'unité à membranes peut être exploitée au plein de sa capacité. Mais quand la demande en eau retombe, la production de l'unité à membranes sera réduite et davantage de courant électrique sera vendu à la compagnie d'électricité, tandis que l'usine à dessalement thermique continuera à être exploitée à une capacité donnée. Une telle combinaison offre une souplesse optimale pour répondre aux fluctuations des demandes.

Selon des estimations, pour une usine OI produisant  $75 \times 10^6$  m<sup>3</sup> /an d'eau en utilisant la vapeur dégagée par une centrale thermique pour chauffer l'eau d'alimentation, la demande d'électricité pourrait être abaissée de 10 à 15% (California Coastal Commission, 1991) (14).

Il est difficile de généraliser en affirmant qu'un procédé thermique ou à membranes est meilleur qu'un autre sans mener une étude approfondie d'application concrète qui permette d'évaluer à fois les facteurs techniques et économiques.

Même si une telle étude est menée spécifiquement pour une très grande usine, les experts considèrent souvent que le procédé thermique est un choix plus prudent que celui reposant uniquement sur des membranes du fait que les méthodes MSF et ME sont éprouvées et présentent une plus grande tolérance à diverses conditions de l'eau

d'alimentation et moins de difficultés d'exploitation, car le coût et la fréquence du remplacement des membranes peuvent avoir de fortes incidences sur le rendement et la sécurité de l'eau d'alimentation au cours de la durée de vie d'une usine.

Une option qui sera à envisager de plus en plus fréquemment est celle de l'usine mixte utilisant à la fois les procédés thermique et à membranes. Cette méthode améliore le rendement global du procédé en utilisant le courant de l'eau de refroidissement du procédé MSF/ME comme eau d'alimentation OI.

Les systèmes mixtes offrent des avantages en utilisant différentes formes d'énergie - électricité pour OI et vapeur pour MSF/ME - et ils évitent ainsi de dépendre d'une seule technique.

- e) Autres options visant à économiser de l'énergie - utilisation de ressources énergétiques non conventionnelles

Une méthode permettant de réduire la consommation d'énergie pour tous les types d'usine de dessalement consiste à recourir à la récupération d'énergie. Dans le cas de la distillation, la chaleur de la saumure et de l'effluent d'eau douce à la sortie de l'usine sert à préchauffer l'eau d'alimentation. Dans l'OI, l'énergie est récupérée en convertissant la pression hydraulique dans la saumure en électricité ou en transférant cette énergie à l'eau d'alimentation.

Les énergies solaire et éolienne pourraient aussi servir à chauffer de l'eau dans de petites usines de distillation. L'énergie solaire est toutefois d'un prix élevé par comparaison avec d'autres techniques de dessalement et elle exige habituellement de grandes superficies pour les systèmes d'absorption et de conversion de cette énergie. Cependant, cette technique offre l'intérêt de ne pas causer d'émissions toxiques dans l'atmosphère et de ne pas exploiter de ressources épuisables.

À l'heure actuelle, il n'existe dans les pays méditerranéens qu'un nombre très restreint d'usines de dessalement utilisant l'énergie solaire ou éolienne. Cette technologie semble en être encore au stade de la démonstration plutôt que de l'application commerciale.

## CHAPITRE 2. - SITUATION ET TENDANCES DU DESSALEMENT DE L'EAU DE MER DANS LA RÉGION MÉDITERRANÉENNE

La distillation de l'eau de mer est pratiquée depuis plus d'un siècle à bord des navires long-courriers et les usines de dessalement se multiplient en de nombreuses parties du monde, en particulier dans les pays riverains du golfe Arabo-Persique où la demande en eau douce est élevée et les ressources en combustibles aisément disponibles.

S'il est vrai que la plupart des très grandes usines de dessalement sont situées dans la péninsule Arabique, il existe un nombre impressionnant d'usines à travers le monde, et certaines en des pays ou des sites que l'on pourrait juger peu enclins à se tourner vers une ressource en eau d'un coût relativement élevé. Au 31 décembre 1999, dans le monde entier, 13 600 usines de dessalement représentant une capacité totale de 25 909 m<sup>3</sup>/jour avaient été installées ou étaient en cours de construction (Wangnick, 2000).

En Méditerranée, le dessalement est depuis longtemps une importante source d'eau, la première usine ayant été installée à Marsa Alam (Égypte) avec une capacité de 500 m<sup>3</sup>/jour. En 1983, Malte est devenue l'un des premiers pays à utiliser les procédés OI pour le dessalement de l'eau de mer à grande échelle. En Espagne, et notamment dans les îles Canaries, les premières usines de dessalement d'eau de mer ont utilisé la distillation MSF, suivies de plusieurs usines OI. Aujourd'hui, l'Espagne est le pays qui possède la plus grande capacité d'usines de dessalement de l'eau de mer dans la région méditerranéenne.

### 2.1 Les usines de dessalement de l'eau de mer en Méditerranée: leur répartition géographique

Les usines de dessalement de l'eau de mer (d'une capacité de plus de 500 m<sup>3</sup>/jour) existant dans la région méditerranéenne sont recensées à l'annexe I, d'après le «2000 IDA Worldwide Desalting Plants Inventory» («Répertoire mondial IDA 2000 des usines de dessalement», (Wangnick, 2000) (39). Les usines sont présentées par pays, emplacement, capacité, type d'usine (procédé), utilisateur et année de mise en service.

La capacité totale des usines de dessalement de l'eau de mer dans chaque pays méditerranéen figure sur le tableau 2 et la figure 10. L'Espagne a la plus forte capacité totale, soit 648 980 m<sup>3</sup>/jour représentant 33,18% de la capacité totale de la région méditerranéenne qui s'établissait, à la fin 1999, à 1 955 686 m<sup>3</sup>/jour.

Le dessalement de l'eau de mer a démarré en Espagne au début des années 1970 dans des zones proches du littoral où il y avait un déficit en eau et où c'était le seul moyen de compléter les ressources naturelles pour répondre à la demande domestique de territoires fortement peuplés et isolés.

Les techniques de distillation, la MSF au tout début et la VC plus tard, étaient les seules disponibles à l'époque, mais, ces dernières années, les usines de dessalement mises en service en Espagne se sont accrues en nombre et en capacité. Les îles Canaries sont la région où la plus grande partie de l'eau potable provient du dessalement.

La principale technique (procédé) de dessalement appliquée en Espagne est l'OI. Environ 82% de l'eau dessalée totale sont produits dans des usines OI, et le reste est également réparti entre les procédés MSF, VC, ED and ME (tableau 3 et fig. 11, 12 et 13). Les principaux utilisateurs de l'eau dessalée produite sont les municipalités et les complexes touristiques, lesquels consomment 580 060 m<sup>3</sup>/jour, soit 89,38% du total (tableau 4). Environ 7,5% servent à d'autres fins comme l'irrigation et les installations militaires, et seuls environ 3% servent aux centrales électriques et à l'industrie.



Tableau 2

Capacité de production totale (m<sup>3</sup>/jour) des usines de dessalement d'eau de mer  
(avec le pourcentage du total) en service dans chaque pays à la fin 1999

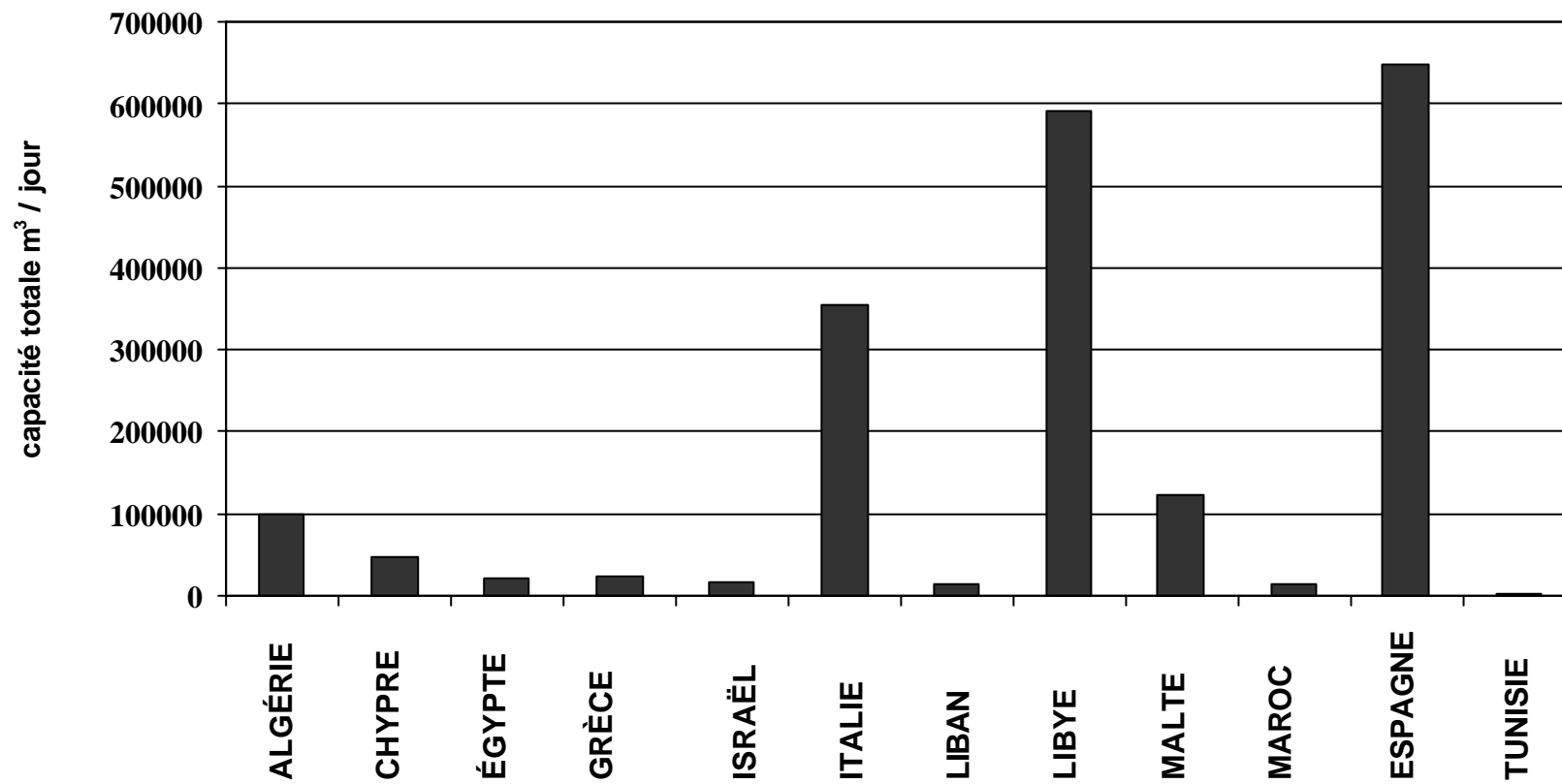
Pays	TOTAL	<i>% du total</i>
ALGÉRIE	100739	<i>5,15</i>
CHYPRE	46561	<i>2,38</i>
ÉGYPTE	20860	<i>1,07</i>
GRÈCE	21840	<i>1,12</i>
ISRAËL	17032	<i>0,87</i>
ITALIE	353990	<i>18,10</i>
LIBAN	15190	<i>0,78</i>
LIBYE	589604	<i>30,15</i>
MALTE	123868	<i>6,33</i>
MAROC	14802	<i>0,76</i>
ESPAGNE	648980	<i>33,18</i>
TUNISIE	2220	<i>0,11</i>
TOTAL	1955686	<i>100,00</i>

La Libye occupe le deuxième rang en Méditerranée en termes de capacité d'usines de dessalement de l'eau de mer, avec 30% de la capacité totale. La première usine de dessalement libyenne a été installée à Port Brega en 1965 avec une capacité d'environ 750m<sup>3</sup>/jour. Au début des années 1970, la Libye a commencé à mettre en service des usines d'une capacité supérieure à 10 000 m<sup>3</sup>/jour et, à la fin 1999, la capacité totale des usines de dessalement se situait dans un intervalle supérieur à 1 million de m<sup>3</sup>/jour.

En ce qui concerne les techniques adoptées, la Libye présente des singularités. La plupart de l'eau dessalée produite provient d'usines à distillation MSF (qui sont les plus importantes parmi tous les pays de la région), dont 72% servent principalement aux municipalités. Dans les autres pays méditerranéens, la technique MSF est habituellement utilisée pour approvisionner les centrales électriques et l'industrie. Le deuxième utilisateur en Libye est l'industrie avec 24,57%.

L'Italie est le pays où la majeure partie de l'eau produite par dessalement (environ 60%) est utilisée par l'industrie. Bien que les techniques de dessalement aient commencé à être largement appliquées dans ce pays au cours des années 1970, c'est seulement au début des années 1990 qu'elles ont commencé (principalement le procédé VC) à être utilisées par les municipalités, principalement dans le sud du pays – notamment en Sicile. À l'origine, le procédé adopté le MSF pour l'industrie et les centrales. La capacité totale des usines de dessalement de l'eau de mer en Italie représente 18,1% de la capacité totale de la région méditerranéenne (tableau 2).

Fig. 10. Capacité de production totale des usines de dessalement d'eau de mer dans chaque pays à la fin 1999.



Malte a été le premier pays méditerranéen où, en 1983, la plus grande usine OI a été installée pour produire de l'eau potable avec une capacité de 20 000 m<sup>3</sup>/jour.

Tableau 3

Capacité de production (m<sup>3</sup>/jour) des usines de dessalement en service avec le pourcentage de la capacité totale par type de procédé dans chaque pays à la fin 1999.

Pays	OI	MSF	VC	ME, ED	TOTAL
	<i>% du total</i>	<i>% du total</i>	<i>% du total</i>	<i>% du total</i>	<i>% du total</i>
ALGÉRIE		72222	27556	961	100739
		<i>71.69</i>	<i>27.35</i>	<i>0.95</i>	<i>100.00</i>
CHYPRE	40000	4761	1800		46561
	<i>85.91</i>	<i>10.23</i>	<i>3.87</i>	<i>0.00</i>	<i>100.00</i>
ÉGYPTE	4160	12500	0	4200	20860
	<i>19.94</i>	<i>59.92</i>	<i>0.00</i>	<i>20.13</i>	<i>100.00</i>
GRÈCE	6320	5800	9720		21840
	<i>28.94</i>	<i>26.56</i>	<i>44.51</i>	<i>0.00</i>	<i>100.00</i>
ISRAËL	0	0	0	17032	17032
	<i>0.00</i>	<i>0.00</i>	<i>0.00</i>	<i>100.00</i>	<i>100.00</i>
ITALIE	31771	216580	91480	14159	353990
	<i>8.98</i>	<i>61.18</i>	<i>25.84</i>	<i>4.00</i>	<i>100.00</i>
LIBAN	0	520	14670	0	15190
	<i>0.00</i>	<i>3.42</i>	<i>96.58</i>	<i>0.00</i>	<i>100.00</i>
LIBYE	59850	454716	69092	5946	589604
	<i>10.15</i>	<i>77.12</i>	<i>11.72</i>	<i>1.01</i>	<i>100.00</i>
MALTE	116668	3000	4200	0	123868
	<i>94.19</i>	<i>2.42</i>	<i>3.39</i>	<i>0.00</i>	<i>100.00</i>
MAROC	7800	7002	0	0	14802
	<i>52.70</i>	<i>47.30</i>	<i>0.00</i>	<i>0.00</i>	<i>100.00</i>
ESPAGNE	534160	49200	36620	29000	648980
	<i>82.31</i>	<i>5.64</i>	<i>5.64</i>	<i>4.47</i>	<i>100.00</i>
TUNISIE	600		1620		2220
	<i>27.03</i>	<i>0.00</i>	<i>72.97</i>	<i>0.00</i>	<i>100.00</i>
TOTAL	801329	826301	256758	71298	1955686
	<i>40.97</i>	<i>42.25</i>	<i>13.13</i>	<i>3.65</i>	<i>100.00</i>

Fig. 11. Capacité de production (m<sup>3</sup>/jour ) des usines OI de dessalement d'eau de mer avec le pourcentage correspondant de la capacité totale dans chaque pays à la fin 1999.

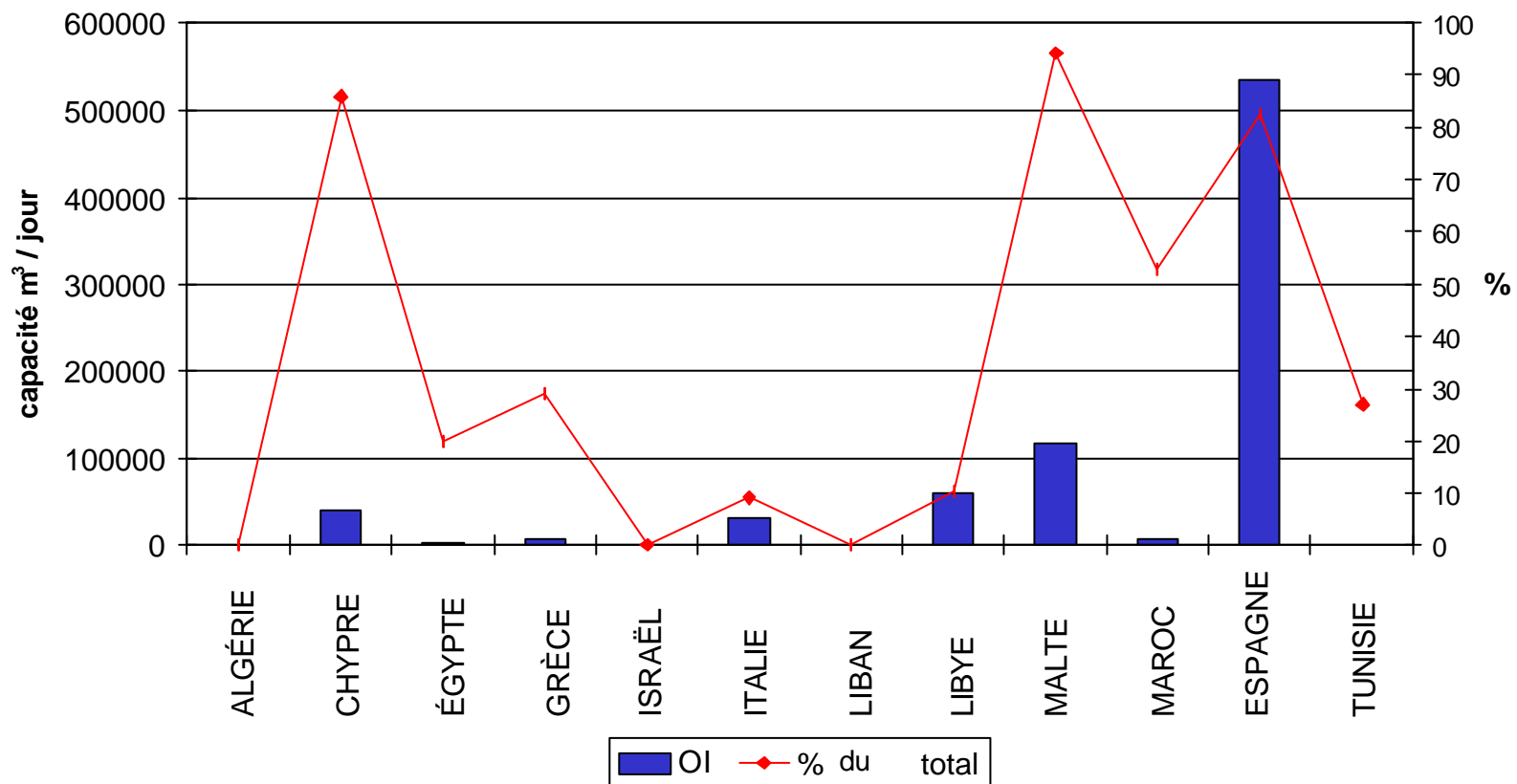


Fig. 12. Capacité de production (m<sup>3</sup>/jour) des usines MSF de dessalement d'eau de mer avec le pourcentage de la capacité totale dans chaque pays à la fin 1999.

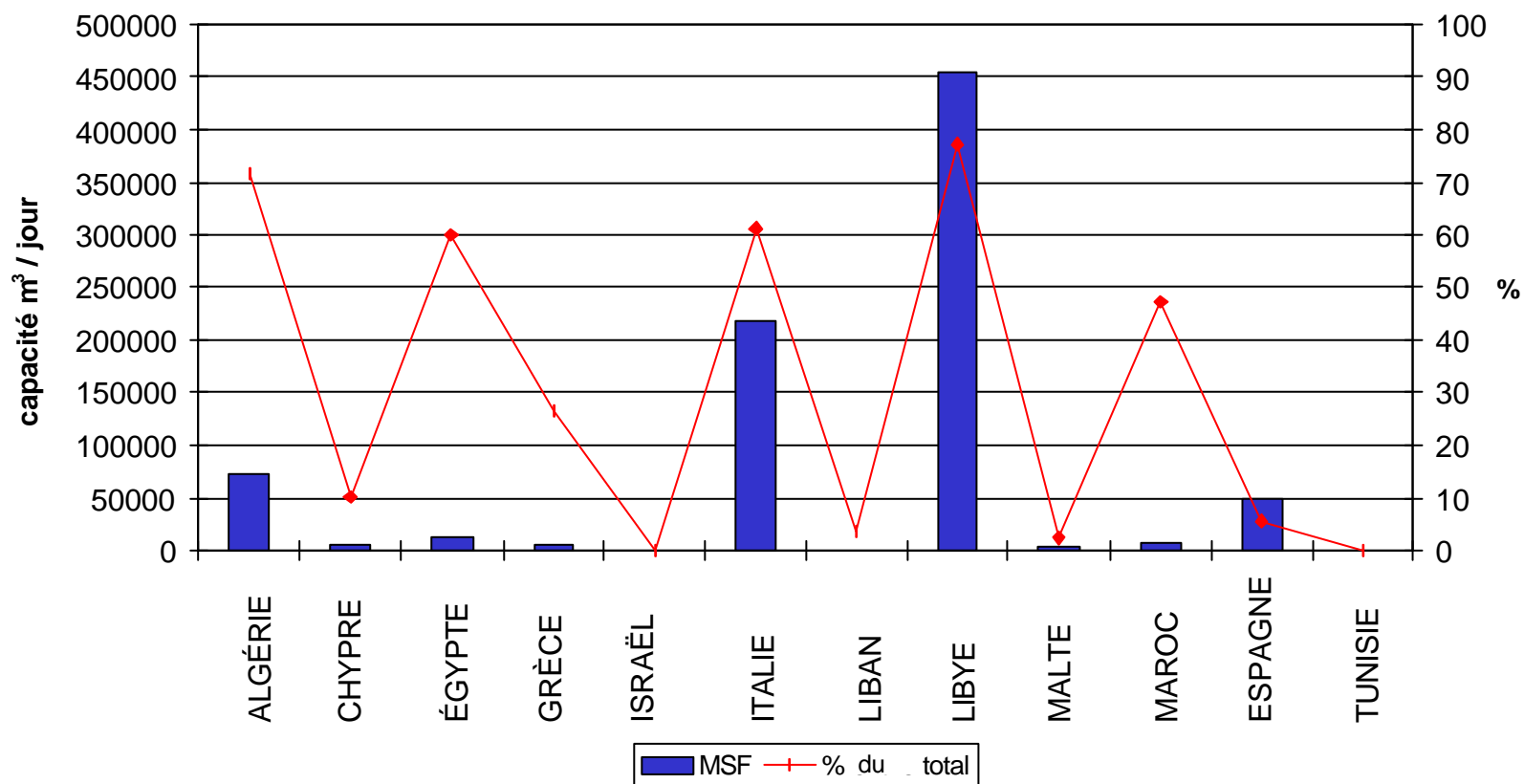


Fig. 13. Capacité de production (m<sup>3</sup>/jour) des usines VC de dessalement d'eau de mer avec le pourcentage correspondant de la capacité totale dans chaque pays à la fin 1999.

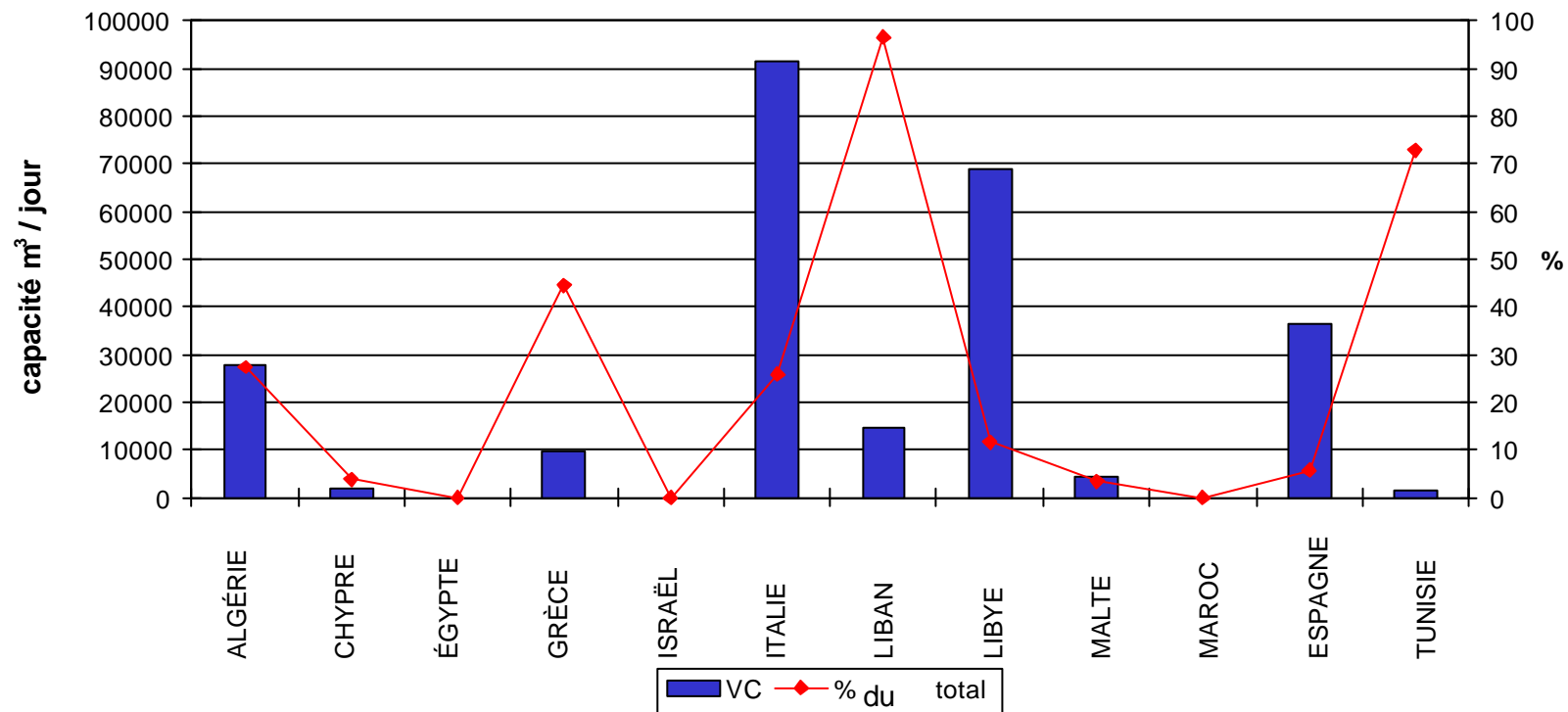


Tableau 4

Capacité de production(m<sup>3</sup>/jour) des usines de dessalement en service avec le pourcentage de la capacité totale par utilisateur dans chaque pays à la fin 1999.

Pays	MUNI & TOUR	CENTRALES	INDUSTRIE	IRR, DEMO, MIL	TOTAL
	m <sup>3</sup> /jour	m <sup>3</sup> /jour	m <sup>3</sup> /jour	m <sup>3</sup> /jour	m <sup>3</sup> /jour
	% du total	% du total	% du total	% du total	% du total
ALGÉRIE		5461	95278		100739
		5.42	94.58	0.00	100.00
CHYPRE	40000	5880		681	46561
	85.91	12.63	0.00	1.46	100.00
ÉGYPTE	2500	14200		4160	20860
	11.98	68.07	0.00	19.94	100.00
GRÈCE	5400	2400	14040		21840
	24.73	10.99	64.29	0.00	100.00
ISRAËL	17032				17032
	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00
ITALIE	102229	32499	213663	5599	353990
	28.88	9.18	60.36	1.58	100.00
LIBAN		15190			15190
	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
LIBYE	423509	8700	144895	12500	589604
	71.83	1.48	24.57	2.12	100.00
MALTE	119100	4200	568		123868
	96.15	3.39	0.46	0.00	100.00
MAROC	7800		7002		14802
	52.70	0.00	47.30	0.00	100.00
ESPAGNE	580060	9120	10800	49000	648980
	89.38	1.66	1.66	7.55	100.00
TUNISIE	600		1620		2220
	27.03	0.00	72.97	0.00	100.00
TOTAL	1298230	97650	487866	71940	1955686
	66.38	4.99	24.95	3.68	100.00

La production totale d'eau par dessalement à Malte est de 123 868 m<sup>3</sup>/jour qui représentent 6,3% du total pour la région méditerranéenne. La technique de base adoptée est l'OI qui représente 94,1% du total de sa production d'eau dessalée. Cette eau sert uniquement à la consommation humaine. La capacité des usines MSF est seulement de 4200m<sup>3</sup>/jour et elle est utilisée par les centrales.

À Chypre, les seules unités de dessalement en service à Chypre étaient celles utilisées pour les centrales électriques et elles appliquaient le procédé MSF. C'est en 1997 que la première grande usine de dessalement de type OI a été mise en service avec une capacité de 20 000m<sup>3</sup>/jour. La capacité de cette usine a été doublée en 1998 alors qu'une

autre usine OI de 40 000m<sup>3</sup>/jour devait commencer à être exploitée au début 2001. La capacité totale des usines de dessalement d'eau de mer à Chypre est aujourd'hui de 46 561, soit 2,38% du total de la capacité totale de la région méditerranéenne.

L'Algérie est le pays où le dessalement de l'eau de mer sert avant tout aux besoins de l'industrie; sur la capacité totale de dessalement de 100 739 m<sup>3</sup>/jour, 94,58% sont utilisés par l'industrie. Le procédé le plus souvent appliqué en Algérie est le MSF (environ 72%) ou le VC (environ 27%). Il n'existe pas dans le pays d'usines de dessalement OI pour produire de l'eau destinée à la consommation humaine.

Au Liban, 100% du total de l'eau dessalée sert aux besoins des centrales électriques. Il n'y a pas dans le pays d'usines OI et le procédé de base est le VC. L'unique usine de dessalement d'Ashod, sur le littoral méditerranéen d'Israël, est de type ME, avec une capacité de 17 032m<sup>3</sup>/jour.

En Tunisie, le dessalement est une pratique récente et se limite à deux petites usines – une OI et une VC – avec une capacité très réduite de 500 m<sup>3</sup>/jour.

Sur la façade méditerranéenne du Maroc, il n'y a que deux usines MSF d'une capacité totale de 6 000m<sup>3</sup>/jour servant aux besoins de l'industrie et récemment (1995) une usine OI d'une capacité de 7800 m<sup>3</sup>/jour est utilisée pour les besoins de la population.

En Grèce, le dessalement de l'eau de mer se limite à quelques usines et centrales, alors que de très petites unités, principalement à procédé VC, sont en service dans les îles de l'Égée. Il n'y a qu'un nombre très réduit d'usines de dessalement de l'eau de mer sur le littoral méditerranéen de l'Égypte avec une capacité de production totale de 20 860 m<sup>3</sup>/jour, soit environ 1% de la capacité totale de la Méditerranée. Le principal procédé utilisé est le MSF (environ 59%) et il est appliqué dans des centrales électriques.

## 2.2 Évolution du dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens au cours des trente dernières années, 1970-1999

Au cours des trente dernières années, le dessalement de l'eau de mer s'est développé avec des changements intervenus dans le type de procédé utilisé et la catégorie d'utilisateurs.

Le dessalement de l'eau de mer est une activité en essor constant en Méditerranée. La figure 14 illustre la capacité totale des usines de dessalement mises en service chaque année par les pays méditerranéens depuis 1970.

Le tableau 5 présente les capacités de production des différents types d'usines mises en service chaque année. Alors que le tableau 6 et la figure 15 recensent les capacités totales calculées pour les différents types d'usines mises en service par les pays méditerranéens depuis 1970.

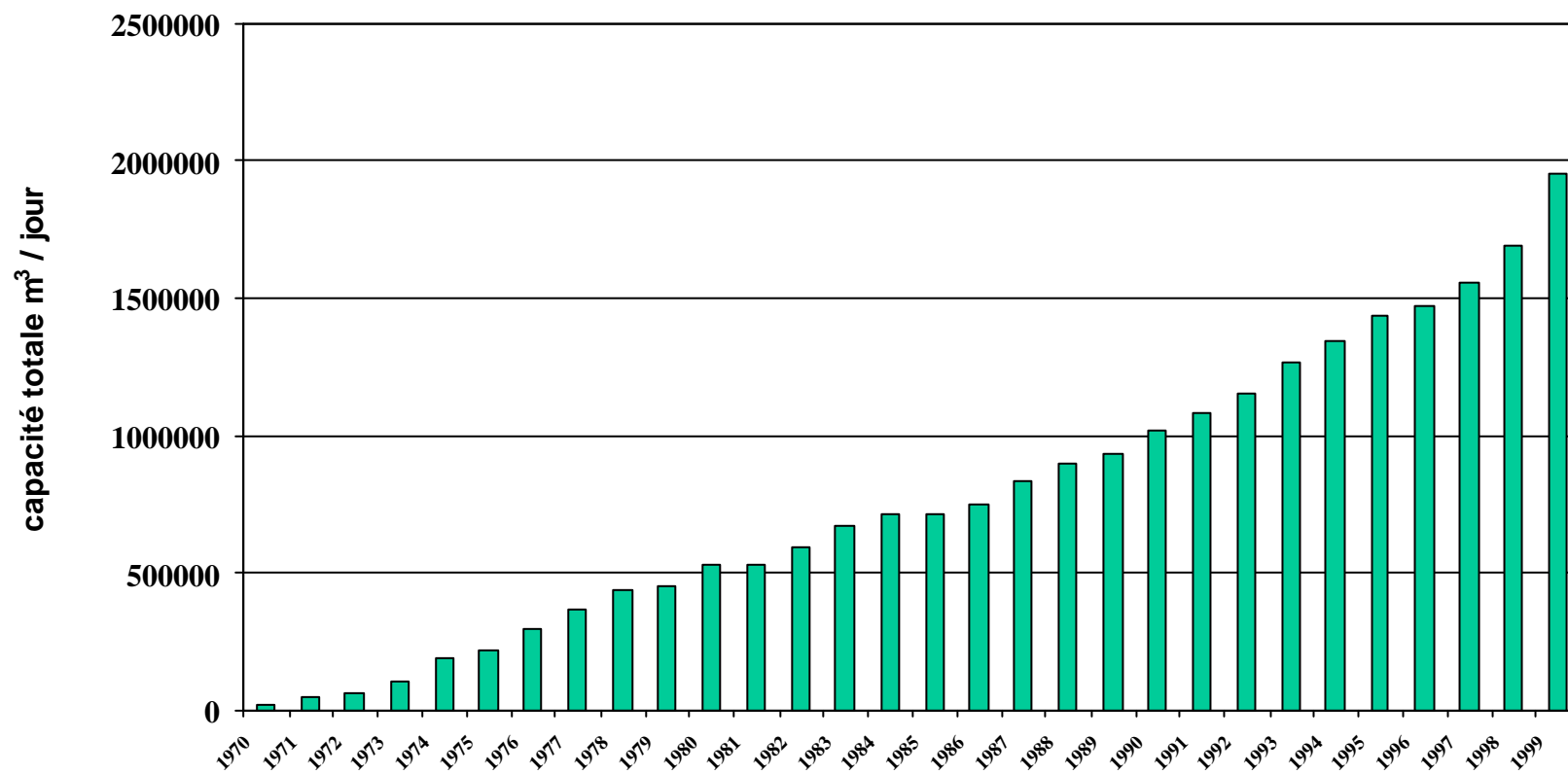
La capacité totale de tous les types d'usines qui, en 1970, s'établissait à 25 160m<sup>3</sup>/jour, est passée à 455 000m<sup>3</sup>/jour in 1979, a doublé en 1989 et plus que doublé en 1999 avec une capacité totale atteignant 1 955 686m<sup>3</sup>/jour.

Les procédés de dessalement appliqués ont changé au cours de la période 1970-1999. Dans les années 1970, le seul procédé appliqué était le MSF; en 1980 les procédés VC et ME ont été mis en œuvre dans un très petit nombre d'usines avec le procédé OI commençant à être exploité en 1983. En 1999, les usines OI partagent avec les usines MSF 80% de la capacité totale des usines mises en service dans les pays méditerranéens.



Ce changement des types de procédé au fil du temps ressort clairement de la figure 16. Comme on peut le constater, pour la période 1970-1979, le procédé MSF était le seul effectivement appliqué (99,54%). Au cours des dix années 1980-1989, le procédé MSF a régressé à environ 75% au profit des procédés OI qui sont passés à près de 14%, VC et autres (comme ED et ME) à 10%. Au cours des dix dernières années, le procédé MSF a chuté à 42%, le procédé OI est monté à 41% et le VC a doublé.

Fig. 14. Capacité totale de production (m<sup>3</sup>/jour) des usines de dessalement d'eau de mer mises en service chaque année dans les pays méditerranéens depuis 1970.



L'utilisation de l'eau produite par dessalement de l'eau de mer en Méditerranée a également évolué depuis 1970. Le tableau 7 et la figure 17 illustrent le volume (capacité en m<sup>3</sup>/jour) consommé par différents utilisateurs, à savoir: municipalités, industrie, centrales, installations militaires et irrigation, chaque année depuis 1970.

Tableau 5

Capacités de production (m<sup>3</sup>/jour) de différents types d'usines mises en service chaque année depuis 1970.

Type	OI	MSF	VC	ME & ED	Total
Année	m <sup>3</sup> /jour	m <sup>3</sup> /jour	m <sup>3</sup> /jour	m <sup>3</sup> /jour	m <sup>3</sup> /jour
1970		25160			25160
	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
1971		22116			22116
	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
1972		11059	1000	598	12657
	0,00%	87,37%	7,90%	4,72%	100,00%
1973		48819			48819
	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
1974		78484			78484
	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
1975		36600			36600
	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
1976		70484			70484
	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
1977		76010			76010
	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
1978		68780			68780
	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
1979		16140	500		16640
	0,00%	97,00%	3,00%	0,00%	100,00%
1980		66964	5120	4307	76391
	0,00%	87,66%	6,70%	5,64%	100,00%
1981		954	500		1454
	0,00%	65,61%	34,39%	0,00%	100,00%
1982		27489	8860	22493	58842
	0,00%	46,72%	15,06%	38,23%	100,00%
1983	25000	55200	500		80700
	30,98%	68,40%	0,62%	0,00%	100,00%
1984	22000	15801	2392		40193
	54,74%	39,31%	5,95%	0,00%	100,00%
1985		2500	1200		3700
	0,00%	67,57%	32,43%	0,0%	100,0%
1986	19211	12500	1800		33511
	57,3%	37,0%	5,7%	0,0%	100,00%
1987	28788	39900	14000		82688
	34,82%	48,25%	16,93%	0,00%	100,00%
1988	4800	32393	6600	23000	66793
	7,19%	48,50%	9,88%	34,43%	100,00%
1989	29600		8116		37716

Type	OI	MSF	VC	ME & ED	Total
Année	m³/jour	m³/jour	m³/jour	m³/jour	m³/jour
	<b>78,48%</b>	<b>0,00%</b>	<b>21,52%</b>	<b>0,00%</b>	<b>100,00%</b>
1990	58000	14400	12500		<b>84900</b>
	<b>68,32%</b>	<b>16,96%</b>	<b>14,72%</b>	<b>0,00%</b>	<b>100,00%</b>
1991	56000		1900		<b>57900</b>
	<b>96,72%</b>	<b>0,00%</b>	<b>3,28%</b>	<b>0,00%</b>	<b>100,00%</b>
1992	58760	5000	9400	1100	<b>74260</b>
	<b>79,13%</b>	<b>6,73%</b>	<b>12,66%</b>	<b>1,48%</b>	<b>100,00%</b>
1993	38600	1440	68860		<b>108900</b>
	<b>35,45%</b>	<b>1,32%</b>	<b>63,23%</b>	<b>0,00%</b>	<b>100,00%</b>
1994	31600	39708	6200	4200	<b>81708</b>
	<b>38,67%</b>	<b>48,60%</b>	<b>7,59%</b>	<b>5,14%</b>	<b>100,00%</b>
1995	33420	48400	5750	1000	<b>88570</b>
	<b>37,73%</b>	<b>54,65%</b>	<b>6,49%</b>	<b>1,13%</b>	<b>100,00%</b>
1996	22750		15260	800	<b>38810</b>
	<b>58,62%</b>	<b>0,00%</b>	<b>39,32%</b>	<b>2,06%</b>	<b>100,00%</b>
1997	84600		2300	1800	<b>88700</b>
	<b>95,38%</b>	<b>0,00%</b>	<b>2,59%</b>	<b>2,03%</b>	<b>100,00%</b>
1998	101600		20280	12000	<b>133880</b>
	<b>75,89%</b>	<b>0,00%</b>	<b>15,15%</b>	<b>8,96%</b>	<b>100,00%</b>
1999	186600	10000	63720		<b>260320</b>
	<b>71,68%</b>	<b>3,84%</b>	<b>24,48%</b>	<b>0,00%</b>	<b>100,00%</b>
<b>Total</b>	<b>801327</b>	<b>826301</b>	<b>256758</b>	<b>71298</b>	<b>1955686</b>
<b>% du Total</b>	<b>40,97</b>	<b>42,25</b>	<b>13,13</b>	<b>3,65</b>	<b>100,00</b>

Tableau 6

Capacités annuelles des différents types d'usines mises en service dans la région méditerranéenne depuis 1970.

Type	OI	MSF	VC	ME & ED	Total
Année	m³/jour	m³/jour	m³/jour	m³/jour	m³/jour
1970		25160			<b>25160</b>
	<b>0,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>100,00%</b>
1971		47276			<b>47276</b>
	<b>0,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>100,00%</b>
1972		58335	1000	598	<b>59933</b>
	<b>0,00%</b>	<b>97,33%</b>	<b>1,67%</b>	<b>1,00%</b>	<b>100,00%</b>
1973		107154	1000	598	<b>108752</b>
	<b>0,00%</b>	<b>98,53%</b>	<b>0,92%</b>	<b>0,55%</b>	<b>100,00%</b>
1974		185638	1000	598	<b>187236</b>
	<b>0,00%</b>	<b>99,15%</b>	<b>0,53%</b>	<b>0,32%</b>	<b>100,00%</b>
1975		222238	1000	598	<b>223836</b>
	<b>0,00%</b>	<b>99,29%</b>	<b>0,45%</b>	<b>0,27%</b>	<b>100,00%</b>
1976		292722	1000	598	<b>294320</b>
	<b>0,00%</b>	<b>99,46%</b>	<b>0,34%</b>	<b>0,20%</b>	<b>100,00%</b>
1977		368732	1000	598	<b>370330</b>
	<b>0,00%</b>	<b>99,57%</b>	<b>0,27%</b>	<b>0,16%</b>	<b>100,00%</b>

Type	OI	MSF	VC	ME & ED	Total
Année	m³/jour	m³/jour	m³/jour	m³/jour	m³/jour
1978		437512	1000	598	439110
	0,00%	99,64%	0,23%	0,14%	100,00%
1979		453652	1500	598	455750
	0,00%	99,54%	0,33%	0,13%	100,00%
1980		520616	6620	4905	532141
	0,00%	97,83%	1,24%	0,92%	100,00%
1981		521570	7120	4905	533595
	0,00%	97,75%	1,33%	0,92%	100,00%
1982		549059	15980	27398	592437
	0,00%	92,68%	2,70%	4,62%	100,00%
1983	25000	604259	16480	27398	673137
	3,71%	89,77%	2,45%	4,07%	100,00%
1984	47000	620060	18872	27398	713330
	6,59%	86,92%	2,65%	3,84%	100,00%
1985	47000	622560	20072	27398	717030
	6,55%	86,82%	2,80%	3,82%	100,00%
1986	66211	635060	21872	27398	750541
	8,82%	84,61%	2,91%	3,65%	100,00%
1987	94999	674960	35872	27398	833229
	11,40%	81,01%	4,31%	3,29%	100,00%
1988	99799	707353	42472	50398	900022
	11,09%	78,59%	4,72%	5,60%	100,00%
1989	129399	707353	50588	50398	937738
	13,80%	75,43%	5,39%	5,37%	100,00%
1990	187399	721753	63088	50398	1022638
	18,33%	70,58%	6,17%	4,93%	100,00%
1991	243399	721753	64988	50398	1080538
	22,53%	66,80%	6,01%	4,66%	100,00%
1992	302159	726753	74388	51498	1154798
	26,17%	62,93%	6,44%	4,46%	100,00%
1993	340759	728193	143248	51498	1263698
	26,97%	57,62%	11,34%	4,08%	100,00%
1994	372359	767901	149448	55698	1345406
	27,68%	57,08%	11,11%	4,14%	100,00%
1995	405779	816301	155198	56698	1433976
	28,30%	56,93%	10,82%	3,95%	100,00%
1996	428529	816301	170458	57498	1472786
	29,10%	55,43%	11,57%	3,90%	100,00%
1997	513129	816301	172758	59298	1561486
	32,86%	52,28%	11,06%	3,80%	100,00%
1998	614729	816301	193038	71298	1695366
	36,26%	48,15%	11,39%	4,21%	100,00%
1999	801329	826301	256758	71298	1955686
	40,97%	42,25%	13,13%	3,65%	100,00%

Fig. 15. Capacité de production (m<sup>3</sup>/jour) de différents types d'usine de dessalement d'eau de mer mis en service dans les pays méditerranéens pour la période 1970 - 1999.

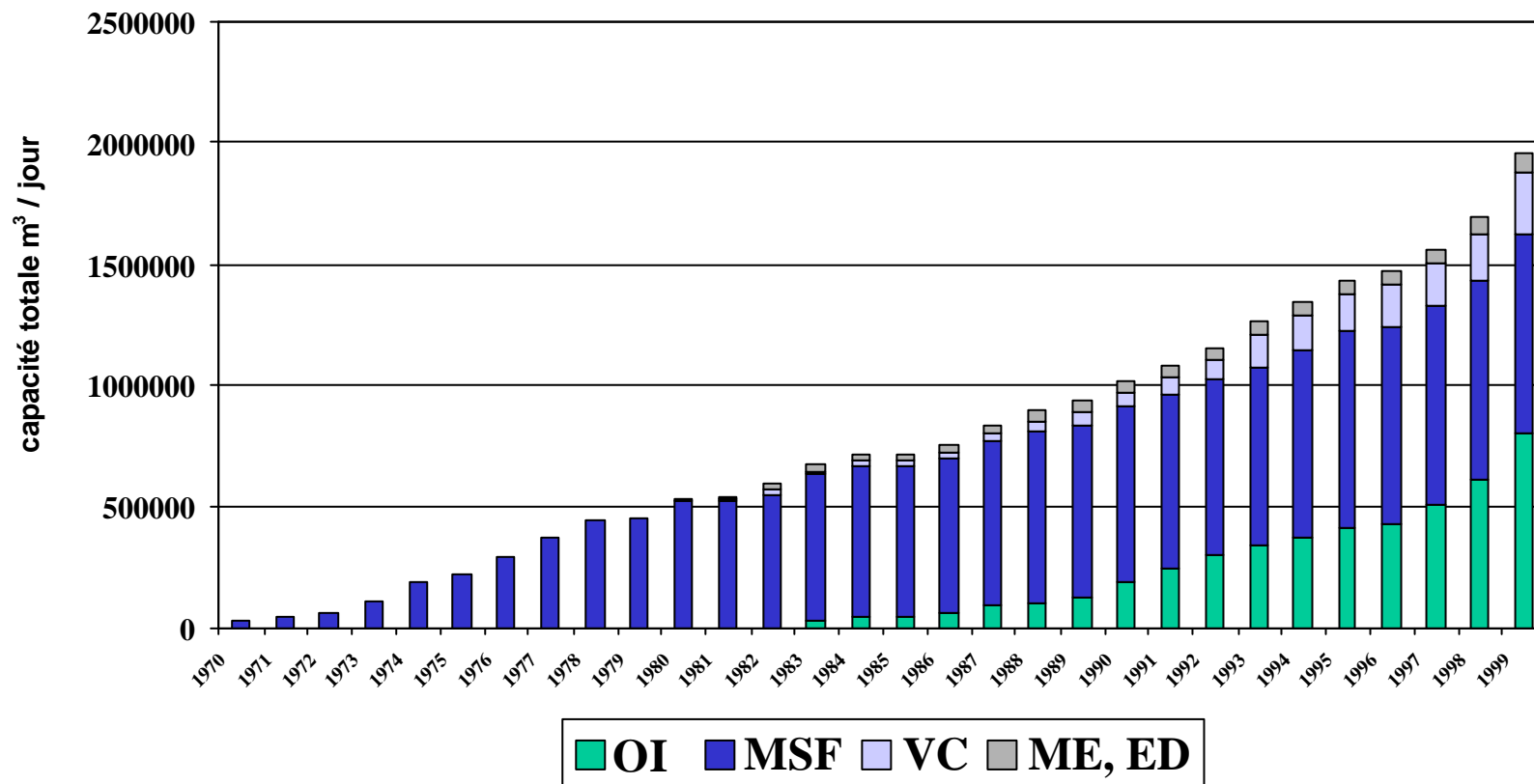
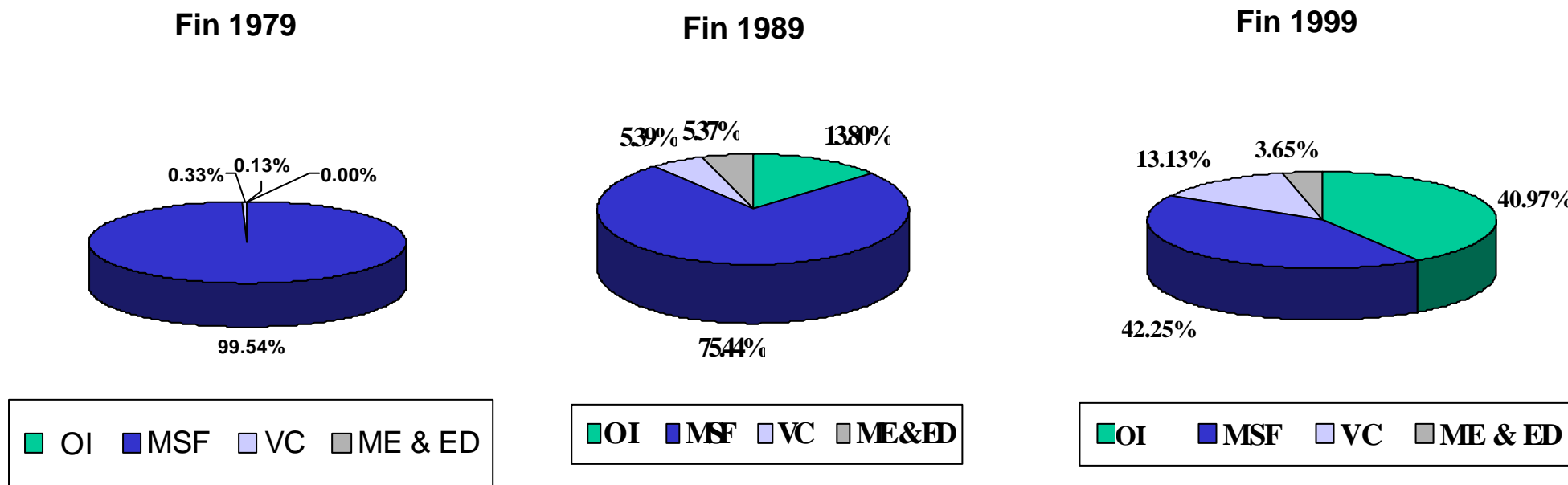


Fig. 16. L'évolution du type de procédé de dessalement adopté dans les pays méditerranéens au cours des trente dernières années (1970 - 1999).



Comme il ressort de la figure 18, de 1970 à 1979 les principaux utilisateurs ont été l'industrie et les centrales, et les municipalités dans une moindre mesure. Au cours des dix années 1980-1989, on relève une augmentation constante du recours à l'eau de mer dessalée par les municipalités qui deviennent les principaux utilisateurs, à raison d'environ 58%, alors que l'industrie et les centrales régressent à 40%. Les dix dernières années 1990-1999 enregistrent un nouvel essor de l'utilisation de l'eau dessalée par les municipalités, à raison d'un taux atteignant 75%, alors que l'utilisation par les industries et les centrales continue à régresser pour atteindre 20%, l'eau dessalée consommée par les installations militaires et l'irrigation s'établissant au niveau d'environ 5%.

Un autre point important concerne le changement de la capacité et de la taille des usines avec le temps. La figure 19 récapitule la capacité et le nombre d'usines mises en service chaque année depuis 1970. Au cours de la période 1970-1979, avec le plein essor du procédé MSF qui est pratiquement le seul à être appliqué, les usines possèdent des capacités élevées. Avec l'introduction du procédé OI qui n'est pas encore pleinement développé au début des années 1980, et ce jusqu'à la fin 1989, les unités mises en service sont de faible capacité mais le nombre d'usines est plus élevé.

Tableau 7

Volume d'eau dessalée en m<sup>3</sup>/jour consommé par différents utilisateurs chaque année depuis 1970

ANNÉE	MUNI	INDU & CENTRALES	DEMO, IRR & MIL	m <sup>3</sup> /jour
1970	23000	2160	0	25160
	<i>91,41</i>	<i>8,59</i>	<i>0,00</i>	<i>100,00</i>
1971	23000	24276	0	47276
	<i>48,65</i>	<i>51,35</i>	<i>0,00</i>	<i>100,00</i>
1972	31558	28375	0	59933
	<i>52,66</i>	<i>47,34</i>	<i>0,00</i>	<i>100,00</i>
1973	34058	73975	719	108752
	<i>31,32</i>	<i>68,02</i>	<i>0,66</i>	<i>100,00</i>
1974	48058	138459	719	187236
	<i>25,67</i>	<i>73,95</i>	<i>0,38</i>	<i>100,00</i>
1975	76458	145659	1719	223836
	<i>34,16</i>	<i>65,07</i>	<i>0,77</i>	<i>100,00</i>
1976	109458	183143	1719	294320
	<i>37,19</i>	<i>62,23</i>	<i>0,58</i>	<i>100,00</i>
1977	152408	216203	1719	370330
	<i>41,15</i>	<i>58,38</i>	<i>0,46</i>	<i>100,00</i>
1978	204908	232483	1719	439110
	<i>46,66</i>	<i>52,94</i>	<i>0,39</i>	<i>100,00</i>
1979	209448	244083	2219	455750
	<i>45,96</i>	<i>53,56</i>	<i>0,49</i>	<i>100,00</i>
1980	263248	265954	2939	532141
	<i>49,47</i>	<i>49,98</i>	<i>0,55</i>	<i>100,00</i>
1981	263248	267408	2939	533595
	<i>49,33</i>	<i>50,11</i>	<i>0,55</i>	<i>100,00</i>
1982	295149	292849	4439	592437
	<i>49,82</i>	<i>49,43</i>	<i>0,75</i>	<i>100,00</i>



ANNÉE	MUNI	INDU & CENTRALES	DEMO, IRR & MIL	m³/jour
1983	350649	318049	4439	673137
	52,09	47,25	0,66	100,00
1984	370049	326661	16620	713330
	51,88	45,79	2,33	100,00
1985	371249	329161	16620	717030
	51,78	45,91	2,32	100,00
1986	403060	330861	16620	750541
	53,70	44,08	2,21	100,00
1987	450540	366069	16620	833229
	54,07	43,93	1,99	100,00
1988	510640	367962	21420	900022
	56,74	40,88	2,38	100,00
1989	539240	377078	21420	937738
	57,50	40,21	2,28	100,00
1990	598080	398978	25580	1022638
	58,48	39,01	2,50	100,00
1991	627580	407378	45580	1080538
	58,08	37,70	4,22	100,00
1992	688380	415578	50840	1154798
	59,61	35,99	4,40	100,00
1993	779980	431878	51840	1263698
	61,72	34,18	4,10	100,00
1994	811580	481986	51840	1345406
	60,32	35,82	3,85	100,00
1995	873280	508256	52440	1433976
	60,90	35,44	3,66	100,00
1996	896030	524316	52440	1472786
	60,84	35,60	3,56	100,00
1997	981430	527616	52440	1561486
	62,85	33,79	3,36	100,00
1998	1078030	559896	57440	1695366
	63,59	33,03	3,39	100,00
1999	1297730	585516	72440	1955686
	66,36	29,94	3,70	100,00

Fig. 17 Volume d'eau de mer dessalée en m<sup>3</sup>/jour par différents utilisateurs chaque année depuis 1970.

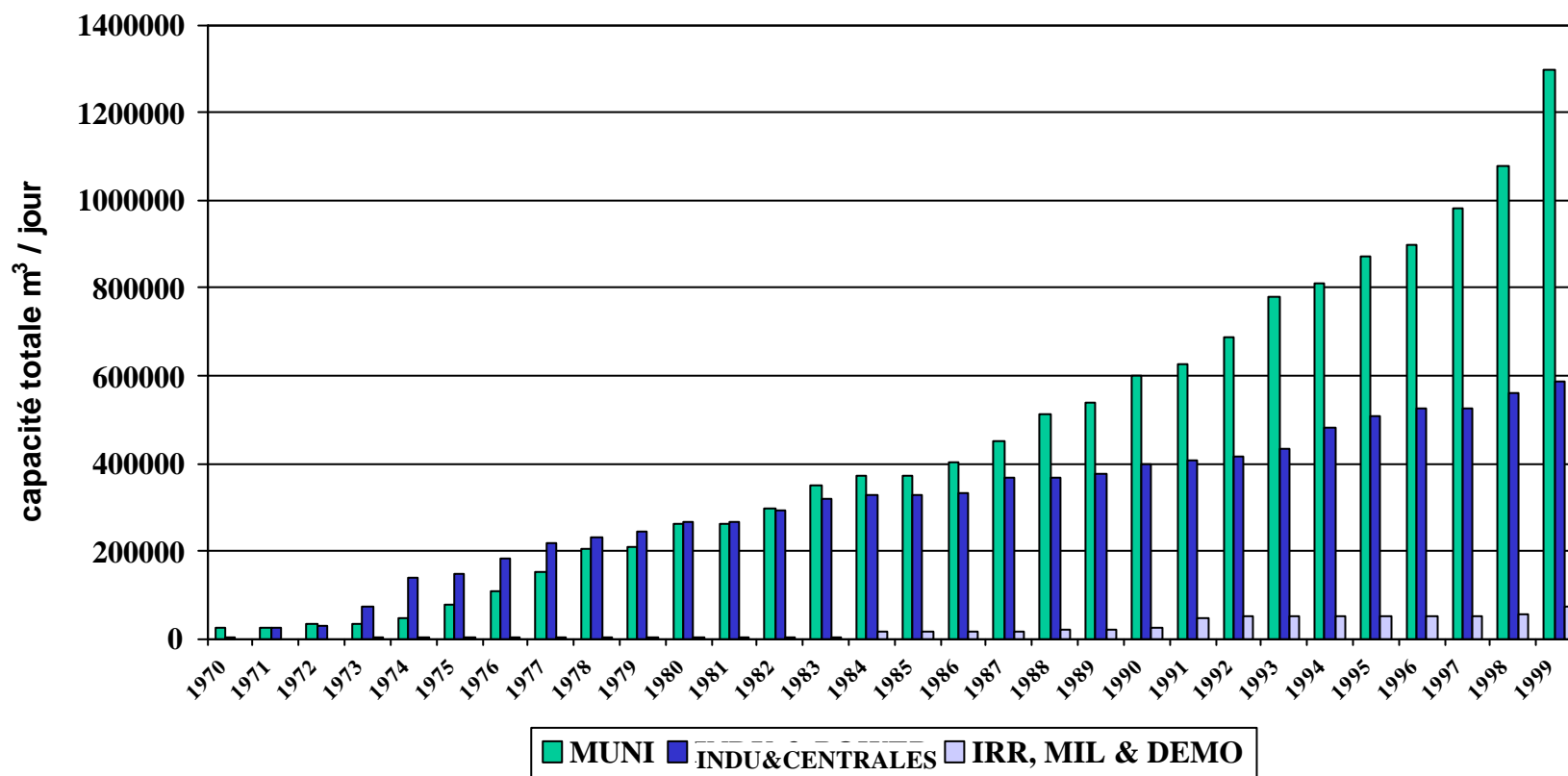


Fig. 18. L'évolution de l'utilisation de l'eau de mer dessalée au cours des trente dernières années dans les pays méditerranéens

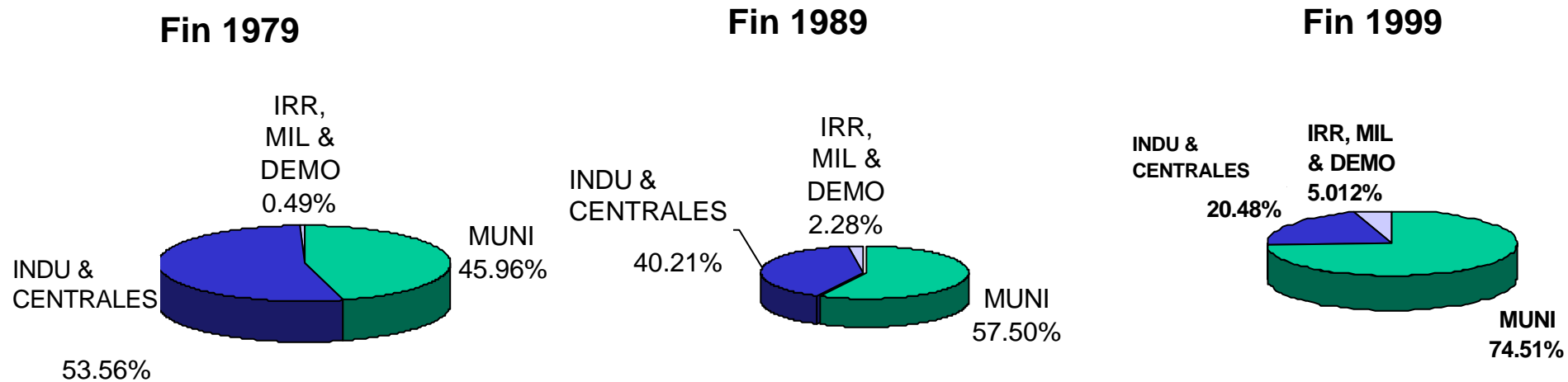
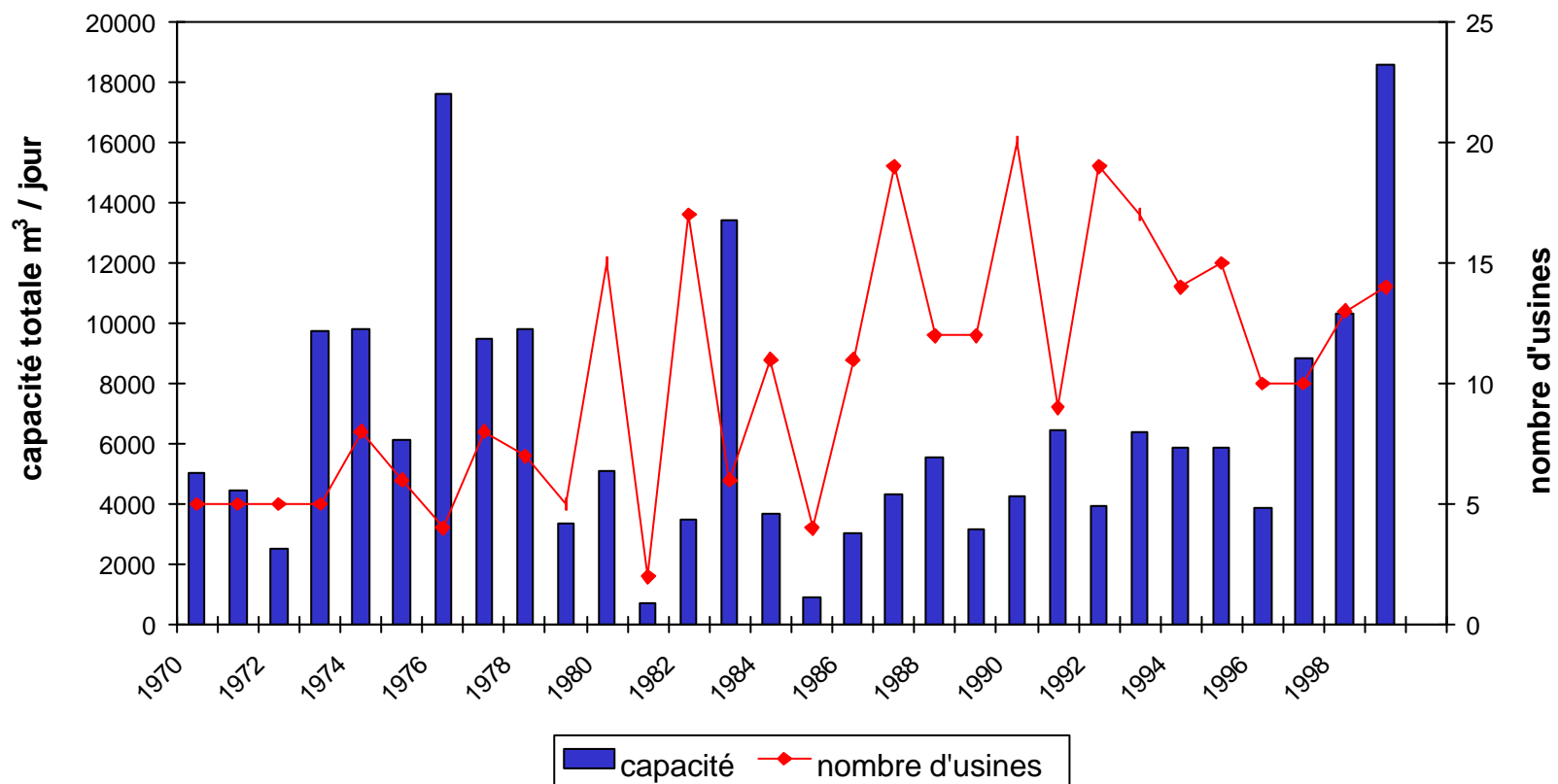


Fig. 19. Capacités et nombre d'usines mises en service chaque année depuis 1970.



Dans les années 1990, avec l'essor de la technique OI et le changement intervenu dans l'utilisation (le plus souvent à des fins municipales), il existe encore un grand nombre d'usines dotées de capacités relativement élevées, notamment au cours des 3-4 dernières années.

Il est prévu que cette tendance se poursuivra à l'avenir. Le tableau 8 récapitule les usines dotées d'une capacité nominale de 4000 m<sup>3</sup>/jour ou davantage dont la construction a été entreprise en 1998, 1999 et au début 2000. Comme on peut le constater, ces usines ont une capacité très élevée, la plus importante étant située à Murcia (Espagne) avec une capacité de 65 000 m<sup>3</sup>/jour. Il est aussi envisagé de construire une nouvelle usine de dessalement de l'eau de mer en Israël; elle aura une capacité de 50 millions de m<sup>3</sup>/an, soit 140 000 m<sup>3</sup>/jour.

Tableau 8

Usines de dessalement d'eau de mer dotées d'une capacité de plus de 4 000 m<sup>3</sup>/jour dont la construction a été entreprise en 1998, 1999 et au début 2000

<b>Pays</b>	<b>Emplacement</b>	<b>Capacité m<sup>3</sup>/jour</b>	<b>Type/unités</b>	<b>Utilisateur</b>	<b>Année de mise en service</b>
Algérie	Arzew	50000	MSF/2	MUNI	2002
Chypre	Larnaca	40000	OI/5	MUNI	2000
Chypre	Larnaca	20000	OI/4	POWER	2002
Chypre	Limassol	20000	OI/4	POWER	2001
Italie	Gela	14400	MSF/1	INDU	2000
Italie	Gela	17280	MSF/1	MUNI	2001
Maroc	Boujdour	8000	Project/2	MUNI	2001
Espagne	Alicante	50000	OI/7	MUNI	2001
Espagne	Almarosa	10000	OI/1	MUNI	1998
Espagne	Almeria	50000	OI/7	MUNI	2001
Espagne	Murcia	65000	OI/9	MUNI	2000
Espagne	BI Palma de Mal	43200	OI/5	MUNI	1999
Espagne	CI Grande Canarie	5000	OI/1	IRR	1998
Espagne	CI Grande Canarie	5000	OI/1	MUNI	2001
Espagne	CI Las Palmas	6700	OI/1	MUNI	2001
Espagne	CI Las Palmas	35000	ME/2	MUNI	2000





### **CHAPITRE 3. - LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT DU DESSALEMENT DE L'EAU DE MER, EU ÉGARD NOTAMMENT AU MILIEU MARIN**

Parmi les impacts dus à une usine de dessalement, il y a ceux qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation. Les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puis continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'étendre à des émissions dans l'atmosphère et des rejets dans l'eau ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur.

Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marines, la perturbation d'écosystèmes importants (dunes de sable, herbiers marins et autres habitats vulnérables par suite de l'emplacement choisi pour le trajet des canalisations), le dragage et l'élimination des déblais qui en résultent, le bruit, les entraves à l'accès du public et aux loisirs. Les plus importants de ces impacts concernent la qualité de l'air et la qualité de l'eau qui retentissent ensuite sur la flore, la faune et les écosystèmes marins.

En dépit du fait que des procédés différents ont été mis au point pour le dessalement – osmose inverse, distillation, électrodialyse, congélation sous vide, etc. -, ils ont tous en commun de consister à ôter de l'eau de mer les substances minérales – et notamment mais pas exclusivement les sels - qui y sont dissoutes. Il en résulte donc, dans tous les cas, un effluent (concentré) qui a une composition chimique similaire à l'eau de mer d'alimentation mais dont la concentration est de 1,2 à 3 fois plus élevée (Vanhems, 1998), avec en plus les produits chimiques utilisés au cours des phases de pré-traitement et de post-traitement. Toute une série de produits chimiques et d'additifs servent en effet, lors du dessalement, à prévenir ou combattre l'entartrage ou la prolifération de microorganismes dans les circuits, faute de quoi la bonne marche de l'exploitation serait entravée.

Les constituants présents dans ces eaux résiduelles rejetées par les usines de dessalement dépendent dans une large mesure de la qualité de l'eau d'alimentation, de la qualité de l'eau douce produite et de la technique de dessalement adoptée. Cependant, les rejets des usines de dessalement ne comprennent pas seulement l'effluent de saumure concentrée, les désinfectants et les agents antisalissures (antifouling) (Abu Qdais, 1999) (1) mais également des eaux chaudes et des effluents aqueux tels que les distillats et condensats d'éjecteur.

L'autre trait marquant des procédés de dessalement est qu'ils nécessitent un apport d'énergie thermique ou mécanique afin de réaliser la séparation de l'eau douce et de l'eau salée d'alimentation. Cet apport d'énergie se traduit par une hausse de la température de la saumure éliminée et par des rejets thermiques et des émissions atmosphériques associées à la production d'électricité.

#### **3.1 Origine et type des émissions et rejets**

##### **3.1.1 Émissions atmosphériques**

En général, les émissions atmosphériques des usines de dessalement consistent seulement en azote et oxygène provenant d'usines de distillation qui utilisent des procédés de désaération pour réduire la corrosion, en rejets des éjecteurs (usines MSF) ou des dégazeurs (usines OI).

En outre, la production d'énergie destinée à être utilisée dans les usines de dessalement accroît les émissions atmosphériques. Des augmentations substantielles des



émissions atmosphériques peuvent également se produire si une centrale thermique ou une installation de production couplée est construite dans le cadre d'un projet de dessalement.

Une méthode permettant d'évaluer l'énergie destinée au dessalement, présentée par Wade et Fletcher (1995) (38), donne les apports thermiques ci-après (tableau 9 pour des usines types, par kilogramme d'eau produite.

Tableau 9

Méthode permettant d'évaluer l'énergie destinée à une usine de dessalement, avec les apports thermiques par kg d'eau produite, pour des usines types, Wade et Fletcher, 1995) (38)

Procédé de dessalement		
Centrale associée	ISF Cycle combiné	OI Cycle combiné
Consommation de chaleur du procédé de dessalement en kj/kg	282	-
Consommation d'électricité du procédé de dessalement, en kWh/m <sup>3</sup>	3,6	7,5
Énergie de combustible pour la production d'eau, kj/kg	149	75,0

Cette comparaison des besoins respectifs en énergie de ces procédés de dessalement montre que l'OI a une consommation d'équivalents énergie plus réduite que la distillation MSF.

Comme les émissions atmosphériques dues à un procédé de dessalement sont directement en rapport avec ses besoins respectifs en énergie, il va de soi que les émissions dues à l'OI sont moindres que celles dues à la MSF. L'étude d'Afgan *et al.* (1999) (2) qui porte sur des usines de dessalement des pays du Golfe a permis de calculer des indicateurs de durabilité qui ont confirmé ce qui précède, ainsi qu'il ressort des tableaux 10 et 11.

Tableau 10

Indicateurs de durabilité pour une usine MSF à production simple

Indicateur de ressources en combustible, kg combustible /m <sup>3</sup>	11
Indicateur environnemental pour CO <sub>2</sub> , kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	37
Indicateur environnemental pour SO <sub>2</sub> , kg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	0,09
Indicateur environnemental pour NO <sub>x</sub> , Kg Nox/m <sup>3</sup>	0,06

Tableau 11

Indicateurs de durabilité pour une usine OI avec une source locale d'énergie électrique

Indicateur de ressources en combustible, kg combustible /m <sup>3</sup>	1,8
Indicateur environnemental pour CO <sub>2</sub> , kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	6
Indicateur environnemental pour SO <sub>2</sub> , kg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	0,005
Indicateur environnemental pour NO <sub>x</sub> , kg NO <sub>x</sub> /m <sup>3</sup>	0,009

### 3.1.2 Rejets chimiques

Toutes les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que le post-traitement de l'eau produite. La plupart des produits sont utilisés avant tout comme agents biocides, antitartre, antisalissures et antimousse, et ils finissent par modifier la composition de la saumure concentrée. La présence de certains métaux, qui sont des produits de la corrosion du circuit, influent aussi sur la composition de la saumure concentrée.

Ces produits chimiques ne sont pas les mêmes pour les principaux procédés de dessalement, à savoir MSF et l'osmose inverse. Les phases de pré- et de post-traitement des procédés de production d'eau potable sont exposées sur le tableau 12.

Les produits chimiques rejetés dans le milieu marin se répartissent entre les catégories suivantes:

i) *Produits de la corrosion*

Les usines de dessalement à procédé thermique rejettent du cuivre, du nickel, du fer, du chrome, du zinc et d'autres métaux lourds en fonction des alliages présents dans la filière de production, comme par ex. le titane (Schippers, 2000) (34). En termes de concentrations, celles du cuivre et du fer sont les plus élevées (Hoepner, 1999) (21). Par exemple, la plus faible valeur de cuivre relevée dans l'effluent de l'usine de dessalement d'Al-Khobar était de 20ppb (Oldfield, 1996) (31), contre des concentrations naturelles de base dans l'eau de mer de 0,12 ppb (Kennish, 1999) et de 0,07ppb (Laane, 1992) (24). Pour la Méditerranée, les niveaux de cuivre dans l'eau de mer couvrent une large gamme de valeurs: l'intervalle des concentrations dans les eaux du large est de 0,04-0,70 ppb, alors que pour les eaux côtières l'intervalle est de 0,01-50 ppb (UNEP, 1995) (37). Si l'on admet une valeur de 20 ppb de cuivre dans l'effluent de saumure d'une usine de dessalement ayant une capacité de 50 000 m<sup>3</sup> par jour et un taux de conversion de l'eau de 10%, alors plus de 10 kg de cuivre seront rejetés sur le site avec les 500 000 m<sup>3</sup> de saumure par jour.

Tableau 12

Résumé des phases de pré-(a) et post-(b) traitement au cours de la production d'eau potable par dessalement (Mickley *et al.*, 1993) (39)

<b>(a) Phase de pré-traitement</b>	<b>Objet</b>	<b>Produits chimiques ajoutés</b>	<b>Devenir des produits</b>
Ajustement du pH à 7	Diminue la concentration de carbonate (et la précipitation de carbonate). Protège la membrane contre l'hydrolyse	Acide (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Modifie le pH de l'eau produite et de la saumure concentrée, le sulfate est retenu dans la saumure concentrée
Antitartre	Prévient la formation de tartre sur les membranes	Agents chélateurs et dispersants	Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée

<b>(a) Phase de pré-traitement</b>	<b>Objet</b>	<b>Produits chimiques ajoutés</b>	<b>Devenir des produits</b>
Coagulation-filtration	Prévient les salissures et l'encrassement des membranes	Coagulants-floculants	Les agents floculants formés se séparent par décantation et sont éliminés par filtration
Désinfection	Prévient l'encrassement biologique et l'élimine les microorganismes qui se nourrissent des matières des membranes	Chlore (ou biocides, UV)	Chlore également réparti dans le perméat et la saumure concentrée
Déchloration	Protège les membranes sensibles au chlore	Bisulfate de sodium ou charbon actif granulaire (CAG)	Réagit avec le chlore pour former du sulfate et du chlorure qui sont retenus dans la saumure concentrée
Élimination des gaz dissous	Élimine les gaz nauséabonds, C, le radon et H <sub>2</sub>	Aération, Dégazage	Oxyde H <sub>2</sub> S et nH <sub>4</sub> dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
Ajustement du pH à 7	Prévient la corrosion du système de distribution, protège la flore et la faune aquatiques en cas de rejet en surface	Noah, carbonate de sodium anhydre, chaux	Accroît le niveau de sodium dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
Désinfection	Prévient la prolifération bactérienne dans le système de distribution, protège la flore et la faune aquatique si nécessaire	Chlore (ou Chlorométrie)	Le chlore est retenu dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
Réduction du niveau de chlore	Élimine le chlore et d'autres oxydants	Bisulfite de sodium ou CAGE	Accroît les niveaux de sulfates et de chlorures dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
Oxygénation	Accroît l'oxygène dissous à un niveau concourant au développement de la flore et de la faune aquatique	Aération	Accroît l'oxygène dissous dans la saumure concentrée
Élimination d'autres formes chimiques	Diminue tous les polluants susceptibles d'être présents dans l'eau produite et dans la saumure concentrée	Est fonction des formes chimiques	

Cet aspect est très préoccupant puisque, en Méditerranée, le nombre des usines MF de dessalement d'une capacité de production de 40 000 et 50 000 m<sup>3</sup>/jour s'accroît rapidement.

Les produits de la corrosion ne sont pas si importants dans le procédé OI puisque celui-ci se déroule à des températures ambiantes et que les parties métalliques du système sont surtout en acier inoxydable. Ainsi, à l'usine de dessalement de Dhekelia (Chypre), la concentration de cuivre que l'on a relevée dans l'eau de mer, près de l'émissaire de la saumure, était inférieure à 1 ppb (Zimmerman, 1999) (41).

ii) *Agents antitartre*

Les dépôts de tartre se forment sur les surfaces du matériel de dessalement industriel. La présence de tartre entraîne inmanquablement des difficultés d'exploitation et/ou une perte de rendement. Dans le procédé par distillation, le tartre réduit le taux de transfert de la chaleur à travers les parois atteintes et réduit le débit de liquide dans les tuyaux.

Différentes méthodes sont appliquées pour prévenir l'entartrage dans les procédés par distillation. Les polyphosphates, qui retardent les dépôts de tartre, sont un agent antitartre précoce, peu onéreux, mais d'une efficacité restreinte et qui a pour inconvénient d'être thermolabile: il est hydrolysé en orthophosphate à des températures supérieures à 90°C. Ces dernières années, l'utilisation de ce produit chimique a été notablement réduite.

Les additifs antitartre le plus largement utilisés semblent être des polymères de l'acide maléique (Finan *et al.*, 1989) (18). Ces polymères empêchent les matières dissoutes de précipiter, décanter et former une croûte sur les surfaces et ils entravent la formation de cristaux en altérant la structure réticulaire, permettant ainsi la formation d'une boue molle qui n'adhère pas ou ne se développe pas sur les surfaces métalliques (Al Gobaisi, 1999) (5). Bien que le taux d'application de cet acide soit de 1 à 3 ppm, la concentration habituelle dans le rejet est de 0,53 ppm (Morton *et al.*, 1996) (30). Dans les usines OI, l'acide sulfurique est utilisé avec des adjuvants polymères pour prévenir la formation de tartre.

iii) *Agents antisalissures*

Les salissures («fouling») constituent un processus à phases multiples dans lequel interviennent de nombreux groupes d'organismes. Elles commencent par l'adsorption de substances polymères de l'eau non traitée sur les surfaces solides, ce qui permet la formation d'un film précurseur pour la colonisation par des bactéries. À ce premier biofilm adhérent des périphytes, puis des microalgues, des protozoaires et des champignons, et enfin des débris, détritiques et particules inorganiques.

Depuis longtemps, les composés de chlore sont utilisés pour désinfecter les systèmes d'apport d'eau de mer et l'usine située en amont, afin de prévenir les salissures. Habituellement, on ajoute du chlore à raison de 2ppm. Un procédé bien conduit vise à obtenir une concentration de chlore nulle à l'émissaire. À l'usine de Sitra (Phase I) de Bahrein, de l'eau de Javel est ajoutée en continu pour conférer une teneur équivalant à 2 ppm de chlore. Le taux d'injection est contrôlé de manière à maintenir un niveau de chlore résiduel de 0, 2 ppm à l'émissaire (Burashid, 1992) (13).

À l'usine de dessalement de Dhekelia (Chypre), le niveau de chlore dans la saumure est effectivement nul. Quand l'eau de lavage à contre-courant est rejetée avec la saumure, le niveau de chlore est de 0,23 ppm.

D'autres biocides comme les sels de cuivre ont été essayés avec un succès variable et, en de nombreux sites, le rejet de cuivre dans la saumure est très inférieur à 1 m. Cependant, ce niveau est encore peu satisfaisant en raison du dommage qui peut en résulter pour l'environnement par suite de l'accumulation du métal (Morton *et al.*, 1996) (30).

iv) *Agents antimousse*

La mousse produite par l'eau de mer aux étages du procédé de distillation multistage est imprévisible mais a tendance à poser un problème plus grave quand les séparateurs sont proches de la surface du courant de saumure, ce qui ne permet de séparer qu'un volume réduit en phase aqueuse et phase vapeur.

Les agents antimousse sont habituellement des polyglycols alkylés, des acides gras et des esters d'acides gras. Les agents sont tensio-actifs à l'interface eau-vapeur et empêchent la formation de mousse. On ajoute habituellement ces produits à raison de 0,1 ppm, mais on observe fréquemment un surdosage. La formation de mousse est une fonction des constituants organiques de l'eau de mer qui sont principalement des produits d'excrétion et de dégradation d'algues planctoniques. Dans le cas de l'OI, il est nécessaire d'ajouter des agents antimousse.

### 3.1.3 La saumure concentrée

Les usines de dessalement rejettent en fait la même charge de constituants de l'eau de mer que celle qu'elles ont reçue, mais dans un volume d'eau moindre.

Avec le procédé MSF, un taux de récupération habituel sur la base de l'eau d'alimentation est de 10% et la salinité de la saumure concentrée est donc 1,1 fois plus élevée que celle de l'eau d'alimentation. Le concentré est généralement dilué par deux avec l'eau de refroidissement avant d'être rejeté, et par conséquent le facteur de concentration est de 1,05, ce qui réduit les impacts sur l'environnement.

Avec le procédé OI, le facteur de conversion varie de 30 à 70%. Dans ce cas, la salinité du concentré est de 1,3 à 1,7 fois plus élevée que celle de l'eau d'alimentation. Si l'on admet une salinité type de 39 ‰ pour la Méditerranée orientale, cela signifie que la saumure issue des usines OI varie en moyenne d'environ 51 à 66 ‰. Le rendement et les données environnementales d'une usine OI ayant une production de 10 000 m<sup>3</sup>/jour à Fujairah (Émirats arabes unis) sont communiqués par Morton *et al.* (1996) et figurent sur le tableau 13. Le tableau illustre la concentration significativement plus élevée de la saumure par comparaison avec une usine MSF.

La composition chimique de la saumure rejetée par rapport à celle de l'eau de mer d'alimentation dans le cas des unités de dessalement OI des îles Canaries est reproduite sur le tableau 14 (Zimmerman, 1999) (41). La salinité totale de la saumure est de 63,8, contre 38,95 pour l'eau d'alimentation, soit un rapport saumure/eau alimentation de 1,64. Des progrès récents intervenus dans le procédé IO avec des taux de récupération beaucoup plus élevés se traduisent par des concentrés présentant une salinité très supérieure (dépassant 70 ‰).

Tableau 13

Rendement et données environnementales de l'usine OI de Fujarah (Émirats arabes unis) et d'une usine de comparaison

	Usine OI de Fujarah	Usine de comparaison
Capacité nominale, m <sup>3</sup> /j	9 000	30 000
Eau produite TSD, mg/l	450	450
Conversion de l'eau, %	35	35
Fournisseur des membranes	Dow Filmtec	
Configuration des membranes	Enroulées en spirale	Enroulées en spirale
Température eau de mer, °C	27	27
Consommation d'énergie, kWh/m <sup>3</sup>	7,75	7,75
Élévation température eau de mer, K	0,65	0,65
Flux d'admission eau de mer, kg/s	306.5	1.022
STD eau de mer, %	4,2	4,2
Débit de saumure, kg/s	199,3	664,2
TSD saumure, %	6,46	6,46
Densité: admission : 1 027,5 Rejet: 1 048,8 Relative : 1 021		
Apport pr. chimiques, mg/l		
Acide sulfurique	30	30
Chlore	2	2
Bisulfite de sodium	9	9
Héxamétaphosphate de sodium	0	0

D'après Morton *et al.*, 1996 (30)

Tableau 14

Composition chimique de la saumure par rapport à celle de l'eau de mer  
(Données analysées dans des échantillons provenant d'usines OI des îles Canaries)

Analyse	Eau d'alimentation mg/l	Saumure mg/l	Rapport (saumure/eau aliment.)
Ca <sup>++</sup>	962	1.583	1.64
Mg <sup>++</sup>	1,021	1,09	1,87
Na <sup>+</sup>	11,781	19,346	1,64
K <sup>+</sup>	514	830	1,61
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,004	0,005	1,25
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	195	256	1,31

CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nil	nil mg/l	
So <sub>4</sub>	3,162	5,548	1,75
Cl <sup>-</sup>	21,312	43,362	2,03
F <sup>-</sup>	1,5	1,9	1,26
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,6	4	1,54
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0-08	0,4	5
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,03	0,05	1,67
Dureté totale en CaCO <sub>3</sub>	6,600	11,800	1,78
Salinité totale (TSD)	38,951	63,840	1,64
Fe <sup>***</sup>	0,04	0,05	1,25
Al <sup>+++</sup>	0,001	0,007	7
PH	6,33	6,26	NA
Conductivité	46,200 iS	75,300 iS	NA

(D'après Zimmerman, 1999) (41)

L'analyse de l'eau d'alimentation et de la saumure pour l'usine de dessalement d'eau de mer de Dhekelia est reproduite sur le tableau 15 (Zimmerman, 1999) (41). Une concentration de chlorures de 22,099 mg/l dans l'eau de mer se traduit par une concentration correspondante de 43,661 mg/l dans la saumure, soit un rapport saumure/eau d'alimentation de 1,976.

De même, pour l'usine de dessalement OI de Larnaca qui doit entrer en service au début 2001, il est prévu que les concentrations de chlorure seront les mêmes qu'à Dhekelia, puisqu'elle est conçue pour produire un concentré d'une salinité d'environ 72 ‰.

### 3.1.4 Rejet des eaux de lavage à contre-courant des membranes dans les usines OI

Dans les usines OI, le nettoyage et le stockage des membranes peuvent engendrer des eaux potentiellement dangereuses. Les membranes doivent être nettoyées à des intervalles de trois à six mois en fonction de la qualité de l'eau d'alimentation et du fonctionnement de l'usine. Les formulations utilisées pour le nettoyage des membranes sont habituellement des solutions alcalines ou acides aqueuses. De plus, une solution chimique de préservation (généralement à base de bisulfite de sodium) doit être utilisée si les membranes sont stockées pendant la fermeture de l'usine. Ces produits chimiques sont normalement épurés avant leur rejet dans la mer (Californian Coastal Commission, 1991) (14).

## 3.2 Impacts sur l'environnement

Les divers types de polluants résultant des différents procédés appliqués dans les usines de dessalement (distillation et osmose inverse) ont déjà été identifiés et décrits.

Une grille présentant les impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés de dessalement est reproduite sur le tableau 16. Selon ce tableau, les impacts les plus prononcés sont dus aux produits chimiques qui favorisent les phénomènes d'eutrophisation dans les eaux réceptrices ainsi qu'aux désinfectants.

Tableau 15

Analyse de la saumure et de l'eau d'alimentation à l'usine de dessalement de Dhekelia (Chypre)

Analyse	Eau d'alimentation mg/l	Saumure mg/l	Rapport (saumure/eau aliment.)
Ca~	450,0	891,2	1,98
Mg++	1,4523,0	2,877,7	1,98
Na	12,480,0	24,649,2	1,975
K	450,0	888,0	1,973
NH <sub>4</sub>	0,0	0,0	-
HCO <sub>3</sub>	160,0	315,3	1,97
CO <sub>3</sub>	0,2	0,4	2
So <sub>4</sub>	3,406,0	6,745,1	1,98
Bá	0,0	0,0	-
Sr	0,0	0,0	-
Cl	22,099,0	43,661,5	1,976
F	0,0	0,0	-
NO <sub>3</sub>	0,0	0,0	-
P	0,0	0,0	-
SiO <sub>2</sub>	0,0	0,0	-
TDS	40,498,2	80,028,4	1,976
PH	8,1	7,8	-

(D'après Zimmerman, 1999) (41)



Tableau 16

Grille d'impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés de dessalement

<b>Impact</b>	<b>Degré d'impact</b>	<b>Origine de l'impact</b>	<b>Techniques d'atténuation</b>
Pollution thermique Réduction de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices, Effets nocifs pour les espèces thermorésistantes	M  M	- saumure chaude	Mélange de la saumure avec de l'eau froide avant le rejet Bassins de retenue
Salinité accrue Effets nocifs pour les espèces résistantes aux sels	M	- saumure concentrée	Dilution de la saumure avant rejet Récupération de sels Bon choix de l'emplacement pour l'émissaire afin de permettre le maximum de brassage et de dispersion
Désinfectants	E	Chlore et ses composés Réaction du chlore avec des composés organiques – hydrocarbures principalement	Utilisation d'autres désinfectants. Mesures de protection contre les polluants au prélèvement de l'usine
Métaux lourds - toxicité	M	Corrosion du matériel de l'usine	Conception et choix judicieux du matériel de l'usine en recourant à des matériaux résistants à la corrosion
Produits chimiques : - Eutrophisation des eaux réceptrices - Toxicité - Hausse du pH	E F F	Adjonction d'agents Anticorrosion et antitartre	Réduction au minimum de l'utilisation de produits chimiques Utilisation d'additifs sans danger pour l'environnement
Pollution atmosphérique Plus acides Effet de serre Poussières	F M M	Utilisation de combustibles et activités d'élimination	Utilisation d'énergies propres et renouvelables autant que possible Application de systèmes mixtes et de production couplée Purification des gaz avant émission dans l'atmosphère
Sédiments Turbidité et limitation de la photosynthèse Difficultés de respiration	M	Perturbation des sables par des activités	Réduction au minimum et contrôle des activités d'excavation et remblayage

Impact	Degré d'impact	Origine de l'impact	Techniques d'atténuation
chez les animaux aquatiques	M	d'excavation et de dragage	Bonne maîtrise du ruissellement dans la zone du site
Bruit	F	Activités de construction Pompes et autres appareils au cours de l'exploitation de l'usine	Limitation des activités de construction aux seuls horaires de travail Choix du matériel le moins bruyant

E- Impact de degré élevé , M- de degré moyen, F-de degré faible  
(D'après Abu Qdais, 1999) (1)

La réduction de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices par suite du rejet de saumure chaude et les effets nocifs pour les espèces résistantes aux sels sont caractérisés comme étant des impacts de degré moyen. La turbidité accrue et la limitation de la photosynthèse par suite de la perturbation des sables due aux activités d'excavation et de dragage sont caractérisées également comme des impacts de degré moyen.

La toxicité due aux produits chimiques est caractérisée comme étant un impact de degré faible.

Sabrai *et al.* (1980) (32) ont évalué les considérations «sécurité-santé-environnement» pour les procédés OI, MSF and ED en recourant à des techniques d'étude d'impact. Ils ont utilisé une échelle quantitative théorique où E = 3, M = 2 et F = 1. Leurs résultats sont présentés sur le tableau 17. Il en ressort que OI et ED ont un impact moindre sur l'environnement.

De fait, les principaux procédés de dessalement - MSF, OI et ED – diffèrent quant à leur impact sur l'environnement en raison des différences dans les technologies appliquées.

Tableau 17

Notation des diverses usines de dessalement

Type d'usine	OI	MSF	ED
<b>Effet</b>			
Bruit	E	M	F
Effluent d'eau	M	E	M
Impureté de l'eau produite			
Microélément	L	H	FL
Matières toxiques	M	E	M
Pollution atmosphérique	F	E	M

Risques industriels	F	E	M
Notation totale	10	17	10

### 3.2.1 Effets dus aux produits de la corrosion

Comme on l'a déjà relevé, les usines de dessalement par distillation rejettent des métaux tels que le cuivre, le nickel, le fer, le chrome et le zinc dans le milieu marin.

Ces métaux ne se trouvent pas à l'état d'ions libres mais forment des complexes inorganiques et organiques qui sont adsorbés sur les matières en suspension et déposent en s'accumulant dans les sédiments. Comme, dans ce cas, le problème ne réside pas dans la concentration effective du métal mais dans sa charge totale atteignant l'environnement, on ne peut atténuer les effets en diluant le rejet.

Une étude d'impact sur l'environnement, menée à une usine de dessalement MSF en service à Key West (Floride, USA) au cours des années 1960 et jusqu'au milieu des années 1970, a montré que les concentrations de cuivre, qui étaient souvent 5 à 10 plus élevées que les concentrations ambiantes, s'avéraient toxiques pour les organismes marins (California Coastal Commission, 1991) (14). De même, la contamination de sédiments par des métaux lourds a été établie à la proximité d'un site de rejet de saumure concentrée à une usine de dessalement OI d'Arabie saoudite (Sadiq, 1995).

Il convient de bien préciser qu'il est encore difficile d'établir une corrélation entre des concentrations de métaux lourds dans l'eau de mer et les sédiments, d'une part, et les conséquences écologiques de l'autre. Cependant, dans l'ensemble, des concentrations de métaux lourds dépassant significativement les concentrations naturelles de base sont considérées comme une pollution de l'environnement, même si des effets biologiques n'ont pas été démontrés. Il n'est pas encore possible de fixer une limite en deçà de laquelle la pollution serait inoffensive et au delà de laquelle elle serait nocive (Hoepner, 1999) (21).

### 3.2.2 Effets dus aux additifs antitartre

Une action précoce contre l'entartrage est obtenue avec l'adjonction de phosphates polymères. L'orthophosphate, produit de l'hydrolyse des polyphosphates, est un macro-élément nutritif qui stimule la productivité primaire. Dans une zone marine oligotrophe comme la mer Méditerranée, le rejet d'un macro-élément nutritif peut avoir des effets drastiques tels que des efflorescences algales, des proliférations d'algues macroscopiques, etc. Ces dernières années, les agents antitartre les plus largement utilisés ont été les polymères de l'acide maléique. L'utilisation de ces produits permet d'empêcher l'apparition d'effets eutrophisants.

Il convient de prendre en compte le recours à l'acide sulfurique pour faciliter l'action des agents antitartre sur les membranes d'usines OI. Une étude d'impact sur l'environnement de l'effluent de l'usine de dessalement OI TIGNE à Malte (Aguis, 1988) (3) a montré que les valeurs du pH de la saumure étaient plus basses (7,3) que celles du pH de l'eau de mer ambiante (8,28).

### 3.2.3 Effets des additifs antisalissures

La chloration est un bon auxiliaire mais un mauvais maître en ce sens qu'elle est très économique et efficace mais qu'elle n'est pas correctement maîtrisée; elle donne naissance

à des dérivés tels que des thiolométhanés qui sont soumis à réglementation en raison de leurs effets cancérigènes.

Si le chlore est un agent antialgues à large spectre, il présente aussi des effets étendus sur le milieu marin quand il est rejeté avec la saumure. Il occasionne des effets biologiques par son action stérilisante intrinsèque et des effets chimiques en halogénant les constituants organiques de l'eau de mer (Hoepner, 1999) (21).

D'autres agents antialgues comme les sels de cuivre entraînent des rejets de cuivre dans la saumure, et ce métal, même à de très faibles concentrations (moins de 1ppm), peut avoir des incidences sur l'environnement par suite de son accumulation.

### 3.2.4 Effets des additifs antimousse

Les agents antimousse sont des détergents. Les détergents ont des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire. Les effets sur l'écosystème marin n'ont pas été étudiés mais pourraient être négligeables.

### 3.2.5 Effets du concentré (saumure)

Il est indubitable que c'est la saumure qui exerce le plus fort impact sur le milieu marin. Le volume total de saumure libéré dans ce milieu est déterminant pour les dommages qu'il peut induire. Un rejet de saumure concentrée en grandes quantités appelle un examen plus soigneux des impacts potentiels sur l'environnement que s'il s'agit d'un rejet en petites quantités.

À part le volume proprement dit, les modalités et l'emplacement du rejet sont essentiels pour les impacts qui peuvent en résulter. La longueur de l'émissaire, sa distance au rivage, son niveau au-dessus du fond de la mer, l'existence ou non d'un diffuseur, ainsi que la profondeur de l'eau et les caractéristiques hydrologiques (courants, vagues) peuvent conditionner la dispersion de la saumure et l'efficacité de la dilution au point de rejet et, par voie de conséquence, l'impact potentiel sur l'environnement.

Par exemple, à l'usine de dessalement de Dhekelia (Chypre), qui a une capacité de production de 40 000 m<sup>3</sup>/jour, la saumure, d'une salinité d'environ 72 ‰, est rejetée dans la mer par un émissaire doté à son extrémité d'un multidiffuseur, à une profondeur d'environ 5 m et à une distance de 250 m du rivage; il en résulte un accroissement de la salinité dans un rayon de 200 m à partir du rejet. De fait, la plus forte salinité (≈ 54 ‰) a toujours été décelée au point de rejet et il était possible de relever une salinité supérieure à celle de l'eau de mer (≈ 39 ‰) jusqu'à 200 m du rejet..

La zone d'impact présentant une forte salinité varie selon la saison, l'impact le plus marqué se produisant durant les mois d'été (Argyrou, 2000) (7).

Le rejet de 11,25 millions de litres de saumure à 62‰ de salinité par l'usine OI TIGNE (Malte) dans une fosse de calcaire tendre d'environ 30 mètres de profondeur entraîne une hausse de la salinité atteignant 58‰ dans la zone de rejet (Falzon et Gingeil, 1990) (19).

À la nouvelle usine OI de Larnaca (Chypre) d'une capacité de 40 000m<sup>3</sup>/jour (dont la mise en service est prévue pour le début 2001), l'émissaire de 81 cm de diamètre a une longueur d'environ 1500m. L'emplacement du point de rejet est à une profondeur d'environ 15 m. Les résultats d'une prévision de la dispersion de la saumure au moyen d'un modèle de

convection-diffusion à trois dimensions a montré que la salinité maximale au fond sera d'environ 42, 7‰ (Zodiatis et Lardner, 1999) (42).

Parmi les usines en service en Espagne, celle installée à Ceuta (procédé OI), avec une capacité de 16 000 m<sup>3</sup> /jour, rejette sa saumure par un émissaire à 450 m du rivage, et celle installée à Suresta (également OI), avec une capacité de 10 000 m<sup>3</sup>/jour, rejette sa saumure par un émissaire à 500 m du rivage. Les nouvelles usines en construction dotées d'une capacité supérieure sont conçues de manière à ce que la saumure soit rejetée loin de la côte. L'usine OI d'Almería, de 50 000 m<sup>3</sup>/jour, rejettera sa saumure à 1200 m du rivage, et celle de Cartagena le fera à 4 650 m du rivage (Chimarides, 2000) (15).

Le rejet du concentré dans la mer aboutit à la formation d'un système stratifié avec un courant de concentré à la couche du fond puisqu'il contient des concentrations en sel supérieures à celles de l'eau de mer ambiante. Le courant de fond à plus forte salinité peut affecter sérieusement le milieu marin et en particulier les biotes benthiques. (Argyrou, 2000) (7).

La salinité accrue affecte les organismes marins par le processus d'osmose qui consiste en la diffusion d'eau pure à travers une membrane qui est perméable à l'eau mais non aux ions qui y sont dissous. Par conséquent, le contenu en sels diffère de part et d'autre de la membrane, l'eau pure diffusera à travers la membrane à partir du compartiment ayant une faible concentration de ions dissous vers le compartiment ayant une concentration supérieure d'ions dissous. Quand des organismes marins sont exposés à une variation de la salinité (contenu en sels plus élevé dans le milieu externe que dans les fluides de l'organismes) ils sont soumis à un choc osmotique qui est préjudiciable pour la plupart d'entre eux en fonction de leur tolérance à la salinité (Levinton, 1996) (26).

Dans le cas de l'usine de dessalement de Dhekelia (Chypre), une étude sur trois années de l'impact du concentré sur le macrobenthos marin a révélé que les salinités élevées causaient des dommages importants aux communautés de l'algue macroscopique *Cystoseira barbata* à proximité de l'émissaire du concentré, alors que d'autres espèces d'algues microscopiques disparaissaient de la zone environnante (à une distance de 100 m du point de rejet). En outre, il en est résulté une diminution importante de la diversité et de l'abondance de la macrofaune benthique au site de rejet du concentré, par comparaison avec celles relevées avant la mise en service de l'usine de dessalement. Surtout, les modifications de la salinité de l'eau ont induit des changements dans la composition des formations macrofaunistiques à proximité du point de rejet. Alors que la communauté benthique avant la mise en place de l'émissaire se composait pour 27% de polychètes, pour 27% d'échinodermes, pour 26% de scaphopodes et pour 20% de gastropodes, au bout de trois années d'exploitation de l'usine, les seuls taxons observés étaient les polychètes et les crustacés représentant respectivement 80 et 20% de l'ensemble de la macrofaune (Argyrou, 2000) (7).

Des impacts ont également été signalés pour l'usine TIGNE (Malte) où l'effluent a affecté la croissance des algues à proximité de l'émissaire de saumure (Fatzon et Gingell, 1990) (19).

Toute une série d'organismes ont subi les effets nocifs de l'effluent de l'usine de dessalement MSF de Key West (Floride, USA) au cours des années 1960 et jusqu'au milieu des années 1970 (California coastal Commission, 1998) (14).

S'agissant de la bibliographie internationale sur le sujet, de nombreux articles ont paru dans des revues scientifiques spécialisées. Aux fins du présent rapport, nous en mentionnerons certains.

Altayaran et Madany (1992) (6) ont étudié les impacts du rejet de saumure d'une usine de dessalement sise à Bahreïn sur les propriétés physiques et chimiques de l'eau de mer. Ils ont constaté que la dispersion de la chaleur est directement fonction de la hausse de la température de l'effluent par rapport à la température de l'eau ambiante. La température moyenne atteint 7,5 degrés dans la zone peu profonde du littoral. Le dispositif du rejet de saumure provoque sa dispersion à la surface et évite un brassage excessif. L'effluent modifie la température, la salinité et la circulation de l'eau. La salinité atteint une moyenne de 52 g/l à 50 m du point de rejet.

La hausse de la salinité de l'eau de mer devrait stimuler la fixation de métaux en traces dissous par les animaux marins. Blust (1992) (11) a indiqué que le taux de fixation de cadmium par la crevette *Artemia franciscana* augmenterait avec la salinité de l'eau.

Del Bebe *et al.* (1994) (16) ont exploré plusieurs scénarios de rejet de saumure au moyen d'un programme de simulation information EPA CORMIX. Ils en ont conclu que:

- Des rejets de saumure très concentrée peuvent avoir des incidences sur le milieu benthique;
- une dilution de l'effluent à 1 ppt au-dessus de la salinité ambiante est une première indication prudente en vue de limiter les incidences, mais il conviendrait de réaliser des évaluations spécifiques du site;
- il est possible d'obtenir une dilution d'effluents de saumure très concentrée à 1ppt à des distances raisonnables;
- le rejet concomitant de saumure et d'eaux usées semble avoir des effets bénéfiques.

Hon-machi et Sibuya-ka (1977) (22) ont étudié les problèmes de pollution occasionnés par un procédé de distillation d'eau de mer. Ils en ont conclu qu'il était possible de réduire les impacts de la saumure dans la baie de Tokyo grâce à une conception judicieuse du dispositif de rejet.

Mabrook (1994) (28) a montré que la flore et la faune marines de la région de Hurghada (façade égyptienne de la mer Rouge) sont gravement atteintes par le rejet de saumure d'usines de dessalement. La majeure partie du corail a disparu des zones côtières, de nombreux organismes planctoniques ont disparu des eaux attenantes à l'usine, les populations de nombreuses espèces de poisson ont décliné et même disparu et les espèces provenant d'autres zones marines n'ont pas été en mesure de s'établir dans la région de Hurghada.

Il convient de signaler que la région de Hurghada est classée en 5 zones biologiques :1) zone du rivage; 2) zone à stylophoros, 3) zone à herbiers d'algues rouges; , 4) zone à pocilloporas; 5) zone à millépores et aéropores. Cette classification a été établie selon les types de récif de corail existant dans chaque zone.

Shunya *et al.* (1994) (35) ont étudié *in vitro* (expérimentations en laboratoire) les effets létaux d'une solution hypertonique sur les organismes marins dans le but d'accroître l'impact de la saumure sur la flore et la faune marines. Ils en ont conclu que la salinité létale initiale et la sensibilité de chaque organisme diffèrent d'une espèce à l'autre.

Le tableau ci-dessous récapitule les effets de solutions sodées hypertoniques sur les organismes marins côtiers:

Survie et éclosabilité	Sans effet ‰	Sensibilité ‰	Salinité létale initiale ‰
Survie de juvéniles de pagel	<45	50: changement de coloration de l'organisme	50
Survie de larves de flet	<50		55
Éclosabilité d'œufs de flet	<40(45?)	50-55 :léger retard de développement; 60 : retard de développement	70
Survie de praires	<50	60-70 : pas de protrusion du siphon	60
Juvéniles de pagel	<40	45 : apparaît assez souvent 50 :ne dure que quelques dizaines de secondes	70

En ce qui concerne les récifs de corail, les auteurs ont constaté que les coraux *Porites lutea*, *P. australienses*, *Goniastrea pectinata* et *Galaxea fascicularis* mouraient au bout de 24 h d'exposition à une salinité de 52,5‰; 48% d'entre eux mouraient avant une semaine. La salinité critique se situait entre 40 et 45‰.

Endean (1978) (17) présente les résultats d'une revue de la bibliographie relative aux impacts des rejets de saumure sur les récifs de corail. L'auteur signale qu'aux îles Vierges, les coraux et autres invertébrés meurent dans un rayon de 200m du point de rejet. En Floride, les effluents de saumure semblent avoir causé des modifications marquées de la densité des populations de nombreuses espèces dans la zone de rejet. L'article souligne que les dommages étaient provoqués par la salinité élevée des effluents de saumure et la présence de métaux en traces.

Hammond *et al.* (1998) (20) étudient les effets du concentré de l'osmose inverse d'eau de mer sur la communauté benthique dans deux zones: Floride et Caraïbes (Antigua).

Les résultats autorisent à penser qu'il n'y a pas eu de toxicité décelable pour l'herbier *Thalassia testudium* près de l'usine d'Antigua. Le panache du rejet n'affectait pas le taux de broutage d'un grand consommateur d'herbier, le poisson perroquet de mer (*Sparisoma radians*). Les résultats indiquent également que le rejet n'avait pas d'effets décelables sur la concentration de chlorophylle (biomasse) et l'abondance numérique de la communauté d'algues microscopiques benthiques de la zone. Il n'a pas été observé d'effets manifestes ou statistiquement significatifs sur la micro-épifaune ou les poissons pélagiques. Les coraux ne présentaient aucune perturbation apparente résultant de l'accroissement maximal de la salinité à 45‰.

### 3.2.6 Effets dus à la chaleur

Normalement, les usines de distillation rejettent la saumure à une température qui est environ supérieure de 10 à 15°C à celle de l'eau de mer. On obtient 1°C de plus que la température ambiante dès que le concentré est dilué de dix fois son volume par l'eau de la

zone marine réceptrice. Ce 1°C de plus que la température ambiante n'a pas d'importance écologique et n'est pas significativement démontrable (Hoepner, 1999) (21). Ce cas se présente lorsqu'il existe un brassage et un échange suffisants avec l'eau de mer du concentré.

À l'usine OI TIGNE de Malte, la température de l'effluent était assez élevée par rapport à celle de l'eau de mer et la variation de température de l'effluent de saumure ne suivait pas les modalités de la variation de température de l'eau de mer (Falzon et Gingell, 1990) (19).

### 3.2.7 Effets dus au prélèvement d'eau de mer

Les usines de dessalement de l'eau de mer ont des dispositifs d'admission situés au large qui leur permettent de prélever de grosses quantités d'eau à proximité de certains habitats marins. Ce processus comporte des impacts potentiels pour la flore et la faune de la zone concernée.

Par exemple, des tambours tamiseurs sont souvent disposés entre le dispositif d'apport et les pompes d'alimentation afin d'empêcher des débris flottants, des organismes marins volumineux et autres matières de pénétrer dans le circuit de pré-traitement de l'usine de dessalement.

En général, le maillage de ces tambours tamiseurs est de l'ordre de 5 mm, afin d'empêcher l'apport de la plupart des poissons et autres organismes marins. Cependant, le prélèvement représente deux sources potentielles d'impact, à savoir le heurt du poisson sur les tambours et l'introduction de biotes dans le circuit d'eau d'alimentation.

Il est notoire que le prélèvement et le tamisage de volumes relativement importants d'eau de refroidissement provoque le heurt du poisson et d'autres organismes sur les tambours tamiseurs, avec pour conséquences des dommages physiques comme l'écaillage et des troubles tels qu'une désorientation. Ce phénomène entraîne une augmentation de la mortalité par maladie et une vulnérabilité accrue à la prédation.

Ensuite, bien que les mailles empêchent l'apport de poissons et invertébrés de grande taille, on sait que l'introduction dans le circuit représente une menace importante pour le phytoplancton et le zooplancton. Les principaux impacts associés au passage dans les circuits de pré-traitement et de dessalement, qui dépendent en grande partie de la technique adoptée pour les procédés OI et MSF, sont liés à des activités tels que la chloration, les lésions de cisaillement et le changement rapide de pression dans le circuit. La conséquence générale de l'entraînement d'organismes dans le circuit est une réduction du recrutement pour les habitats existants et une chute de la productivité globale de l'écosystème.



## CHAPITRE 4. - LES ASPECTS JURIDIQUES DE L'ÉLIMINATION DE CONCENTRÉ (SAUMURE) AU REGARD DES PROTOCOLES «TELLURIQUE» ET «IMMERSIONS»

L'industrie du dessalement est en essor constant dans certains pays de la Méditerranée. La capacité totale estimative de dessalement, qui était d'environ un million de mètres cubes par jour en 1990, a aujourd'hui presque doublé et présente une tendance à une nouvelle croissance rapide dans le proche avenir.

Un caractère inédit de cette activité côtière située à terre tient à l'interaction mutuelle entre les usines qui la pratiquent et le milieu marin côtier. Un environnement propre est un préalable à la production d'eau propre. D'un autre côté, l'effluent et les émissions produits par les usines de dessalement portent atteinte à l'environnement fragile de la mer Méditerranée.

Il est donc essentiel de prendre en considération et d'établir scientifiquement tous les rejets effectués par les usines de dessalement afin de les maîtriser grâce aux dispositions des instruments juridiques en vigueur, tels que les Protocoles «immersions» et «tellurique» de la Convention de Barcelone.

### 4.1 Les rejets de substance et d'énergie au regard du Protocole «tellurique»

Le tableau 18 présente les différents types de rejet effectués par les usines de dessalement OI et MSF, avec leurs effets sur le milieu marin et leurs rapports avec les dispositions du Protocole «tellurique».

Il est stipulé au par. 5 de l'article 5 du Protocole «tellurique», que «les Parties entreprennent d'éliminer la pollution provenant de sources et activités situées à terre et en particulier d'éliminer progressivement les apports de substances toxiques, persistantes et susceptibles de bio-accumulation énumérées à l'annexe I».

Le dessalement de l'eau de mer n'est pas inclus dans les secteurs d'activité (section A de l'annexe I) qu'il convient d'envisager en premier lieu lors de la fixation des priorités pour l'élaboration des plans d'action, programmes et mesures visant l'élimination de la pollution provenant de sources et activités situées à terre. Toutefois, les métaux lourds qui sont rejetés dans le milieu marin par les procédés MSF figurent parmi les catégories de substances (section C de l'annexe I) qui servent de guide lors de l'élaboration des plans d'action, programmes et mesures visant à éliminer la pollution.

Au par. 1 de l'article 6 du Protocole «tellurique », il est stipulé que «les rejets de sources ponctuelles dans la zone du Protocole, et les rejets dans l'eau ou les émissions dans l'atmosphère qui atteignent et peuvent affecter la zone de la Méditerranée, telle que délimitée à l'article 3 a), 3 c) et 3 d) du présent Protocole, sont strictement subordonnés à une autorisation ou réglementation de la part des autorités compétentes des Parties, en tenant dûment compte des dispositions du présent Protocole et de son annexe II, ainsi que des décisions ou recommandations pertinentes des réunions des Parties contractantes».

Le tableau 18 recense les substances rejetées qui doivent être réglementées conformément à l'article ci-dessus et à l'annexe II.

Les émissions dans l'atmosphère telles que CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>, qui résultent de l'énergie requise pour le processus de dessalement et sont transférées par l'atmosphère à la zone de la mer Méditerranée, sont visées par l'article 4 du Protocole et par son annexe III. Ces émissions devraient être réglementées ou éliminées en fonction de leurs propriétés, sur la base des articles 5 et 6.

Tableau 18

Grille de produits chimiques et autres rejets provenant des usines OI et MSF, avec leurs incidences sur le milieu marin et leurs rapports avec le Protocole «tellurique»

Procédé/origine de l'impact/effet	Produits chimiques ajoutés ou produits	Devenir des produits chimiques et produits	Impacts néfastes sur le milieu marin	Rapport avec les dispositions du Protocole «tellurique»
Saumure	Saumure		Modifications des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau de mer et dommages causés aux biotes	Le rejet doit être réglementé (article 5, annexe I)
<b>OI</b>				
<b>a) Phase de pré-traitement</b>				
Ajustement du pH et protection des membranes contre l'hydrolyse	Ajout d'acide	Effet sur le pH de la saumure concentrée Le sulfate est retenu dans la saumure	Normalement aucun, si l'ajout est réglementé	Le rejet doit être réglementé (article 6, annexe II)
- Prévention de l'entartrage des membranes	Agents antitartre, polyphosphates, acide maléique	Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée	Normalement aucun, si l'ajout est effectué dans des conditions bien définies	Le rejet doit être réglementé (article 6, annexe II)
Désinfection visant à empêcher l'encrassement biologique et à éliminer les microorganismes qui se nourrissent des matières fixées sur les membranes	Chlore ou autres biocides ou UV	Le chlore est réglé à un niveau très faible dans la saumure	Normalement aucun si leur ajout est réglementé	Le rejet doit être réglementé (article 6, annexe II)
<b>b) Phase de traitement</b> Élimination des sels de l'eau d'alimentation		Saumure de concentration de 1,2 à 3 fois plus élevée que celle de l'eau d'alimentation	Augmente la salinité. Effets nocifs pour les espèces résistantes aux sels	Le rejet doit être réglementé (article 6, annexe II)

<b>c) Phase de post-traitement</b>				
- pH de l'eau produite ajusté à 7,0	NaOH, carbonate de sodium anhydre, ou chaux	Augmente le niveau de sodium dans la saumure concentrée	Normalement aucun, si l'ajout est réglementé	Le rejet doit être réglementé (article 6, annexe II)
- Désinfection de l'eau produite	Chlore	Le chlore est retenu dans la saumure mais à des niveaux faibles	Normalement aucun, si l'ajout est réglementé	Le rejet doit être réglementé (article 6, annexe II)
MSF				
<b>a) Procédé de traitement</b>				
-élimination des sels de l'eau d'alimentation		Concentration de la saumure de 1,1 à 1,2 fois plus élevée que celle de l'eau d'alimentation	Accroissement correspondant de la salinité Effets nocifs pour les espèces résistantes aux sels	Le rejet doit être réglementé (article 6, annexe II)
Élévation de la température jusqu'à 100-110°C		Saumure concentrée avec une hausse de la température de 10 à 15°C au dessus de la température ambiante	Effet dû à la hausse de la température chez les espèces thermosensibles	Le rejet doit être réglementé (article 6, annexe II)
- Corrosion des tuyaux		Métaux lourds comme Cu, Ti, Zn en fonction de la construction de la tuyauterie	Effets toxiques potentiels de ces métaux pour les organismes marins	Le rejet doit être réglementé (article 5, annexe I)
Prévention de l'entartrage des surfaces caloporteuses du distilleur	Additifs polymères tels que les polyphosphates ou polymères de l'acide maléique	Réglementé à un niveau très faible d'environ 0,33mg/l dans la saumure	Normalement aucun, si l'ajout est réglementé	Le rejet doit être réglementé (article 6, annexe II)
OI & MSF				
a) Énergie – consommation de combustibles	Émissions atmosphériques	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> CO <sub>2</sub>	Transfert dans le milieu marin par la voie atmosphérique	Le rejet doit être réglementé (Art. 4, annexe III)

#### 4.2 L'immersion de matériaux de dragage au regard du Protocole «immersion»

En raison de la mise en place, pour l'aménagement d'une usine de dessalement, de canalisations longues de plusieurs centaines de mètres servant au prélèvement d'eau de mer et au rejet de la saumure et qui doivent être enfouies en grande partie, il est nécessaire d'immerger des matériaux de dragage.

Aux termes de l'article 5 du Protocole «immersions», «l'immersion de déchets ou autres matières énumérées à l'article 4.2 [autrement dit, pour l'alinéa a), les matériaux de dragage], est subordonnée à la délivrance préalable, par les autorités compétentes, d'un permis spécial. À cet égard, l'immersion de matériaux de dragage au cours de la construction d'usines de dessalement nécessite donc la délivrance, par les autorités nationales compétentes, d'une autorisation.

## CHAPITRE 5. - CONCLUSIONS

La progression récente des zones arides et l'utilisation intensive de l'eau dans les agglomérations urbaines se sont traduites par une demande accrue d'eau douce dans les pays méditerranéens où les ressources en eau sont limitées, précaires et menacées, notamment dans le sud et l'est du bassin qui se caractérisent par une longue saison sèche à faible pluviométrie.

On estime que les demandes en eau douce dans les pays méditerranéens vont s'accroître de 32% d'ici à 2010 et de 55% d'ici à 2025; aussi les besoins en eau actuels et futurs de la région ne peuvent-ils être couverts et satisfaits que si l'on se tourne vers des sources non conventionnelles comme le recyclage des eaux usées et le dessalement de l'eau de mer.

C'est au début des années 1970 que le dessalement de l'eau de mer a commencé à être appliqué sur une base commerciale dans les pays méditerranéens; les principaux procédés utilisés rentraient dans deux catégories: les procédés thermiques d'une part, à savoir MSF, ME et VC, et les procédés à membranes de l'autre, à savoir OI et ED. Le recours à des formes d'énergie non conventionnelles – éolienne et solaire - pour le dessalement de l'eau de mer reste d'une application restreinte et ne concerne que de très petites unités. Les usines à production couplée eau + électricité en vue de réaliser des économies d'énergie sont un secteur d'apparition récente et qui en est au stade expérimental dans la région méditerranéenne.

Bien que le dessalement de l'eau de mer ait constitué une importante source d'eau douce pour les pays méditerranéens depuis les années 1970, cette technologie n'a été mise au service de la production d'eau potable que vers le milieu des années 1980. Le dessalement est pratiqué dans un certain nombre de pays méditerranéens, l'Espagne représentant environ un tiers de la production totale d'eau douce, la Libye environ 25% et l'Italie environ 18%. D'autres pays méditerranéens où le dessalement a lieu sont Chypre, la Grèce, Malte, l'Égypte, Israël, l'Algérie, le Liban et, très récemment, le Maroc et la Tunisie.

Le procédé de dessalement adopté a évolué avec le temps au cours des trente dernières années. Dans les années 1970, le seul procédé appliqué était la distillation MSF, à partir de 1980, les procédés VC et ME ont été appliqués dans un petit nombre d'usines, et l'OI a commencé à être mise en oeuvre en 1983. Aujourd'hui, les usines OI partagent avec les usines MSF 82% de la capacité totale de production des pays méditerranéens.

Les utilisations de l'eau de mer dessalée ont également évolué avec le temps. De 1970 à 1979, les principaux utilisateurs étaient l'industrie et les centrales, ainsi que les municipalités dans une moindre mesure. Au cours de la décennie 1980-89, les municipalités n'ont cessé d'occuper une place plus importante et sont devenues les principaux utilisateurs. Au cours des dix dernières années, l'utilisation de l'eau dessalée par les municipalités a atteint les deux tiers de la capacité de production totale des pays méditerranéens. En ce qui concerne la taille des usines, au cours des 3 à 4 dernières années, avec le plein essor de l'osmose inverse, de très grandes usines ont été mises en service avec une capacité de production atteignant 50 000 – 60 000 m<sup>3</sup>/jour. Cette tendance se poursuivra dans l'avenir.

Bien que le dessalement de l'eau de mer soit une industrie en développement constant dans de nombreux pays méditerranéens, on ne dispose que d'un très petit nombre d'études sur les impacts que cette activité exerce sur le milieu marin. Ces impacts vont du changement de l'occupation du sol, des conséquences esthétiques et des nuisances sonores aux rejets dans l'eau, émissions dans l'atmosphère et dommages potentiels pour le milieu récepteur. Les deux principaux procédés dessalement de l'eau de mer, MSF et OI, diffèrent par le type de leurs impacts. Dans le cas du procédé MSF, les principaux impacts

sont la chaleur, les effluents thermiques et le rejet de métaux comme Cu et Zn, alors qu'avec OI c'est la salinité élevée de la saumure concentrée (1,2 à 3 fois supérieure à la salinité de l'eau d'alimentation).

Un caractère inédit du dessalement de l'eau de mer tient à l'interaction mutuelle entre l'usine qui le pratique et le milieu marin attenant. Un milieu marin propre est un préalable à la production d'eau propre. D'un autre côté, l'effluent et les émissions émanant de l'usine affectent le milieu marin.

Un procédé de dessalement nécessite un apport d'énergie thermique ou mécanique, laquelle, à son tour, se traduit par une élévation de la température des effluents de saumure concentrée, par des rejets thermiques et des émissions atmosphériques associées à la production d'électricité. Au cours du pré-traitement, du traitement et du post-traitement qui interviennent lors du processus de dessalement, sont ajoutés un certain nombre de produits chimiques tels qu'agents antitartre, désinfectants, agents anticorrosion et antimousse. Une partie de ces produits ou de leurs dérivés peuvent être rejetés dans le concentré de saumure. Leur ajout doit être soumis à des conditions bien définies afin d'éviter qu'ils n'aient un impact sur le milieu marin.

L'une des rares études menées à cet égard en Méditerranée a concerné les effets de l'usine de Dhekelia (Chypre) sur le macrobenthos des eaux côtières attenantes. Il en ressort que la saumure, d'une salinité de 72 ‰, entraînait une augmentation de la salinité dans un rayon de 200 m du point de rejet. Des modifications notables du macrobenthos ont été relevées à proximité du rejet de la saumure. À proximité de l'usine OI TIGNE de Malte, des effets ont également été observés sur la croissance des algues.

Ces dernières années ont été marquées par une tendance à construire de grandes usines de dessalement à osmose inverse. Eu égard aux perfectionnements constants apportés aux procédés de dessalement qui permettent d'obtenir un taux de conversion de l'eau de mer d'environ 70%, il convient d'assurer une élimination correcte des effluents de saumure dont la salinité est d'environ trois fois supérieure à la salinité de l'eau d'alimentation.

Les matériaux de dragage provenant de la mise en place de longues canalisations sous-marines pour le prélèvement d'eau de mer et le rejet de la saumure doivent être immergés conformément aux dispositions spécifiques du Protocole «immersions». La saumure concentrée provenant d'une usine de dessalement devrait faire l'objet d'un règlement avant d'être rejetée dans le milieu marin, conformément aux dispositions pertinentes du Protocole « tellurique ». Par exemple, les rejets de métaux, comme le cuivre, émanant des usines de dessalement, devraient être effectués conformément aux prescriptions dudit Protocole.

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) Abu Qdais Hani, A. (1999), Environmental Impacts of desalination plants on the Arabian Gulf San Diego Proceeding, 1999 Vol. III, pp.249-260
- (2) Afgan, H.N., M. Darwish and J. Cavvalho (1999), Sustainability assessment of desalination plants for water production. *Desalination*, 124:19-31
- (3) Agius, A. (1988), Salinity effects of the effluents from the TIGNE RO plant on the surrounding sea. Diploma thesis, University of MALTE
- (4) Al-Ghadban and Al-Ami (1993), Environmental Impact assessment. Integrated Methodology- A case study of Kuwait, Arabian Gulf. *Coastal Management*, 21:271-298
- (5) Al-Gobaisi, D. (1994), *Desalination*, 99:483
- (6) Altayaran, A. and I. Madany (1992), Impact of a desalination plant on the physical and chemical properties of seawater, Bahrain. *Water Research*, Vol. 26, No. 4 pp.435-441
- (7) Argyrou, M. (2000), Impact of Desalination Plant on marine macrobenthos in the coastal waters of Dehkelia bay, Cyprus. Internal Report.
- (8) Bennet, T. and M. Cuccinello (1999), Saltwater desalination in *Water Treatment Primer*.
- (9) BLUE PLAN (2000), Mediterranean vision on water, population and the environment for the 21<sup>st</sup> century
- (10) BLUE PLAN (1992), Overview of the Mediterranean (Development and Environment)
- (11) Blust, R. (1992), Effect of salinity on the uptake of cadmium by the brine shrimp *Artemia franciscana*. *Mar.Ecol.Progr.Series*, Vol. 84, pp.245-254
- (12) Bouros, O.K. (1992), Desalting Technologies. *The ABCs of Desalting*
- (13) Burashid, K. (1992), *Desalination and Water Reuse*, 2(2):44
- (14) California Coastal Commission (1991), Seawater desalination in California Chap. three: Potential Environmental Impacts
- (15) Chimarrides, A. (2000), Technical Data on the desalination plants constructed by PRIDESA CO.
- (16) Del Bebe, J.V., J. Gerhard and J. Largier (1994), Ocean brine disposal. *Desalination*, Vol. 97, pp.365-372
- (17) Endean, R. (1978), Pollution of Coral Reefs. In: Fifth FAO/SIDA Workshop on aquatic pollution in relation to protection of living resources. FAO publication, pp.343-365
- (18) Finan, M., S. Smith, K. Evans and J. Muir (1989), *Desalination*, 73:341
- (19) Falzon, L. and B. Gingell (1990), A study of the influence of the effluent from the TIGNE RO plant on algae grow. Dissertation of B.Sc. degree. MALTE University

- (20) Hammond, M. N. Blake, C. Dye and C. Tomasko (1998), Effects of sea water reverse osmosis concentrate on marine benthic communities. In: The Desalting Revolution. America Desalting Association
- (21) Hoepner, H. (1999), A procedure for environmental impact assessments (EIA) for seawater desalination plants
- (22) Hon-machi and Shibuya-ka (1997), Pollution problems in a distillation process. In: Proceedings of International Congress on Desalination and Water Reuse. Tokyo, Japan. Elsevier, Amsterdam
- (23) Jawad-Abdel Mahmoud Al-Tabtabael Mohammad (1999), Impact of current power generation and water desalination activities on Kuwait Marine Environment. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse, San Diego California, pp.231-240
- (24) Kennish, M.J. (1994), Practical Handbook of Marine Science
- (25) Laone, M. (1992), Concentrations of Natural Compounds in Rivers, Sea water, Atmosphere and Mussels.
- (26) Levinton, J.S. (1996), Marine Biology Function. Biodiversity, Ecology. Oxford University Press, New York, U.S.A., 462 p.
- (27) Linsky, R. (1999), " What is the real value of water? in IDA NEWS Vol. 8
- (28) Mabrook, B. (1994), Environmental impact of waste brine disposal of desalination plants, Red Sea, ÉGYPTÉ. *Desalination*, Vol. 97, pp.453-465
- (29) Mickley, M., R. Hamilton, L. Gallegos and J. Truesdall (1993), Membrane Concentrate Disposal, AWWA Research Foundation and American Water Works Association
- (30) Morton, A., J. *et al.* (1996), Environmental Impacts of Seawater distillation and reverse osmosis process, *Desalination*, (8):1-10. In: Proceeding of desalination and the Environment Oct. 20-23
- (31) Oldfield, J.W. and B. Tood (1996), *Desalination*, 108 p.
- (32) Sabri, Z.A., G.P. McLagan and Hagenshohh (1980), "Safety and Environmental Impact of Fossil Fueled Desalination Plants Proceeding of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Fresh Water from the sea. Vol. 1, 99 p.
- (33) Sadiq, M. (1995), Metal Contamination of Sediments by Effluent from a RO Desalination Plant, International Desalination Association
- (34) Schipper, J. (2000), Environmental Impact from desalination plants – Pollution of the sea. WHO course on desalination March 2000
- (35) Shunya, I., S. Shiger and M. Ayako (1994), The lethal effect of hypertonic solutions and avoidance of marine organisms in relation to discharged brine from desalination plant. *Desalination*. Vol. 97, pp.389-399
- (36) Vanhems, C. (1992), Critical Review of Desalination Concentrate Disposal to Surface Water, U.S.A.



(37) UNEP (1995), Assessment of the State of Pollution of the Mediterranean sea by Zinc, Copper and their compounds. Document UNEP((OCA)/MED WG er inf3. 121 p.

(38) Wade, N.M. and R.S. Fletcher (1995), Energy allocation and other factors in the inthencing water cost in desalination and dual purpose power/water plants. proc. of IDA World Congress, Abu Dhabi, Nov. 1995, vol. III, pp.363-380

(39) Wangnick, K. (2000), 2000 IDA Worldwide Desalting Plants Inventory. Report 2000

(40) Zimmerman, R. (1996), Dhekelia desalination Plant. Environmental Impact Assessment

(41) Zimmerman, R. (1999), The Larnaca seawater desalination plant . Environmental impact Assessment Report

(42) Zodiatis, G. and R. Lardner (1999), Investigation into the dispersion of saline effluents from the desalination plant near Larnaca, Departmental Report



## ANNEXE I

USINES DE DESSALEMENT D'UNE CAPACITÉ DE PLUS DE 500 M<sup>3</sup>/JOUR  
EN SERVICE DANS LES PAYS MÉDITERRANÉENS

Pays	Emplacement	Capacité m <sup>3</sup> /jour	Type/Unité	Utilisateur	Année de mise en service
ALGÉRIE	Mers el Hadjari	500	VC/1	CENTRALE	1987
ALGÉRIE	Arzew	500	VC/1	INDU	1990
ALGÉRIE	Arzew	720	MSF/1	INDU	1970
ALGÉRIE	Arzew	960	MSF/1	INDU	1971
ALGÉRIE	Arzew	961	DIVERS/1	CENTRALE	1982
ALGÉRIE	Arzew	1100	MSF/1	INDU	1977
ALGÉRIE	Arzew	1200	VC/1	INDU	1982
ALGÉRIE	Shikda	1440	MSF/1	INDU	1970
ALGÉRIE	Arzew	1440	VC/1	INDU	1989
ALGÉRIE	Arzew	1560	VC/1	INDU	1989
ALGÉRIE	Arzew	1720	VC/1	INDU	1989
ALGÉRIE	Arzew	1920	MSF/1	INDU	1977
ALGÉRIE	ALGÉRIE DZ	2000	MSF/2	INDU	1979
ALGÉRIE	Ras Djinet	2000	MSF/1	INDU	1985
ALGÉRIE	Jijel	2000	MSF/4	CENTRALE	1992
ALGÉRIE	Arzew	2000	VC/1	INDU	1993
ALGÉRIE	Bethioua	2000	MSF/2	INDU	1994
ALGÉRIE	Cazaouet	2000	VC/1	INDU	1994
ALGÉRIE	Mers el Hadjari	2000	MSF/4	CENTRALE	1994
ALGÉRIE	Arzew	2200	MSF/2	INDU	1977
ALGÉRIE	ALGÉRIE DZ	2400	VC/1	INDU	2000
ALGÉRIE	Shidka	2896	VC/2	INDU	1989
ALGÉRIE	Arzew	2980	VC/2	INDU	1982
ALGÉRIE	Arzew	3000	MSF/2	INDU	1969
ALGÉRIE	Bethioua	3000	MSF/3	INDU	1994
ALGÉRIE	Arzew	3264	MFS/3	INDU	1980
ALGÉRIE	Arzew	3840	MSF/2	INDU	1977
ALGÉRIE	Annaba	5000	VC/1	INDU	1990
ALGÉRIE	Arzew	5678	MSF/5	INDU	1994
ALGÉRIE	Shidka	5760	VC/4	INDU	1993
ALGÉRIE	Annaba	14100	MFS/3	INDU- PETROCH	1978
ALGÉRIE	Shidka	24000	MSF/3	INDU	1977
CHYPRE	Dhekelia	681	MSF/1	MIL	1984
CHYPRE	Dhekelia	840	MSF/1	CENTRALE	1992
CHYPRE	Dhekelia	1440	MSF/2	CENTRALE	1982
CHYPRE	Dhekelia	1514	MSF/2	MIL	1964
CHYPRE	Dhekelia	1800	MSF/2	CENTRALE	1982
CHYPRE	Dhekelia	20000	OI/4	MUNI	1997

Pays	Emplacement	Capacité m <sup>3</sup> /jour	Type/Unité	Utilisateur	Année de mise en service
CHYPRE	Dhekelia	20000	OI/8	MUNI	1998
CHYPRE	Larnaca	40000	OI/5	MUNI	2000
CHYPRE	Vassilikos	1800	VC/2	CENTRALE	1999
ÉGYPTE	Alexandria	600	OI/1	MIL	1995
ÉGYPTE	El Arish	4200	ME	CENTRALE	1994
ÉGYPTE	Marsa Alam	500	OI/1	MUNI	1955
ÉGYPTE	Matrouh	2000	MSF/4	MUNI	1973
ÉGYPTE	Matrouh	500	MSF/2	MUNI	1988
ÉGYPTE	Varwina	3560	OI/1	MIL	1992
ÉGYPTE	Sidi KRIT	10000	MSF/2	CENTRALE	1999
GRÈCE	GRÈCE GR	600	OI/1	MUNI	1996
GRÈCE	Apropyrgos	3600	VC/3	INDU	1993
GRÈCE	Aspropyrgos	1920	VC/2	INDU	1999
GRÈCE	Chios Island	1920	OI/1	INDU (fishfarm)	1995
GRÈCE	Corinth	2400	MSF/1	INDU	1980
GRÈCE	Corinth	2400	MSF/1	INDU	1984
GRÈCE	Lavrion	2400	VC/2	CENTRALE	1998
GRÈCE	Mykonos	1200	OI/1	MUNI	1989
GRÈCE	Offshore Rig	1800	VC/3	INDU	1980
GRÈCE	Syros	1000	MSF/1	MUNI	1970
GRÈCE	Syros	600	OI/1	MUNI	1997
GRÈCE	Syros Island	1200	OI/1	MUNI	1989
GRÈCE	Syros Island	800	OI/1	MUNI	1993
ISRAËL	Ashdod	17032	ME/1	MUNI	1982
ITALIE	Bari	1680	MSF/1	CENTRALE	1978
ITALIE	Brindisi	590	MSF/1	INDU	1967
ITALIE	Brindisi	9600	MSF/2	INDU	1969
ITALIE	Brindisi	598	ME/1	INDU	1972
ITALIE	Brindisi	9600	MSF/1	INDU	1973
ITALIE	Brindisi	5760	MSF/4	MUNI	1987
ITALIE	Brindisi	954	MSF/1	CENTRALE	1971
ITALIE	Brindisi	954	MSF/1	CENTRALE	1981
ITALIE	Brindisi	960	MSF/1	CENTRALE	1992
ITALIE	Cabri	4558	MF/2	MUNI	1972
ITALIE	Cagliari	6000	OI/1	INDU	1991
ITALIE	Cagliari	1000	OI/1	CENTRALE	1991
ITALIE	Carloforte	1000	OI/1	MIL	1990
ITALIE	Gela	14400	MSF/1	MUNI	2000
ITALIE	Gela	17280	MSF/1	MUNI	2001
ITALIE	Gela	30000	MSF/2	INDU	1974
ITALIE	Gela	14400	MSF/1	INDU	1974
ITALIE	Gela	14483	MSF/1	INDU	1974
ITALIE	Gela	14400	MSF/1	INDU	1976
ITALIE	Gela	14400	MSF/1	INDU	1990
ITALIE	Fuime Santo	2880	MSF/2	CENTRALE	1971

Pays	Emplacement	Capacité m <sup>3</sup> /jour	Type/Unité	Utilisateur	Année de mise en service
ITALIE	ITALIE I	511	OI/1	MUNI	1986
ITALIE	ITALIE I	1900	OI/1	INDU	1999
ITALIE	ITALIE I	3000	VC/2	MUNI	1995
ITALIE	La Maddalena	500	OI/1	MIL	1990
ITALIE	Lambedousa	1000	VC/2	MUNI	1972
ITALIE	Libari	4800	VC/3	MUNI	1987
ITALIE	Milazzo	4800	ME/1	INDU	1998
ITALIE	Milazzo	1000	VC/2	INDU	1997
ITALIE	Montalto	7200	MSF/3	CENTRALE	1994
ITALIE	Pantelleria	3200	VC/3	MUNI	1987
ITALIE	Piombino	600	Divers/1	CENTRALE	1992
ITALIE	Piombino	1440	MSF/1	CENTRALE	1984
ITALIE	Piombino	1440	MSF/1	CENTRALE	1987
ITALIE	Porte Torres	16802	MSF/1	INDU	1971
ITALIE	Porte Torres	36000	MSF/1	INDU	1973
ITALIE	Porte Torres	719	MSF/1	DEMO	1973
ITALIE	Porto Emsedocle	4800	VC/3	MUNI	1992
ITALIE	Portoferrato	1200	OI	TOUR	1990
ITALIE	Priolo Gargallo	7200	ME/2	INDU	1998
ITALIE	Ravenna	720	MSF/1	DEMO/1	1980
ITALIE	Rome	1160	OI/2	MIL	1990
ITALIE	Salina	1200	VC/2	MUNI	1987
ITALIE	Sardegna	17280	VC/6	INDU	1998
ITALIE	Sardinia	600	MSF/1	INDU	1974
ITALIE	Sarroch	8500	MSF/1	INDU	1994
ITALIE	Sarroch	8500	MSF/1	INDU	1994
ITALIE	Sicily	17000	OI/4	MUNI	1992
ITALIE	Sicily	18000	VC/2	MUNI	1993
ITALIE	Sicily	18000	VC/2	MUNI	1993
ITALIE	Sicily	18000	VC/2	MUNI	1993
ITALIE	Sulcis	1200	MSF/1	CENTRALE	1987
ITALIE	Sulcis	1200	MSF/2	CENTRALE	1992
ITALIE	Taranto	4542	MSF/2	INDU	1964
ITALIE	Taranto	2160	MSF/2	INDU	1966
ITALIE	Taranto	3000	MSF/3	INDU	1968
ITALIE	Taranto	7200	MSF/1	INDU	1979
ITALIE	Termini	2830	MSF/2	CENTRALE	1994
ITALIE	Termini 1	961	ME/1	CENTRALE	1980
ITALIE	Torrevaldaliga	2880	MSF/2	CENTRALE	1980
ITALIE	Torrevaldaliga	2880	MSF/2	CENTRALE	1984
ITALIE	Torrevaldaliga	1440	MSF/1	CENTRALE	1993
ITALIE	Ustica	1200	VC/2	MUNI	1987
ITALIE	Villasimius	1500	OI/1	MIL	1990
LIBAN	Beirut	1300	VC/2	CENTRALE	1980
LIBAN	Beirut	2160	VC/3	CENTRALE	1982
LIBAN	LIBAN	650	VC/1	CENTRALE	1995

Pays	Emplacement	Capacité m <sup>3</sup> /jour	Type/Unité	Utilisateur	Année de mise en service
LIBAN	LIBAN	10560	VC/4	CENTRALE	1996
LIBAN	Nabi Yunis	520	MSF/1	CENTRALE	1971
LIBYE	Abbu Kammash	2880	MSF/1	INDU	1982
LIBYE	Ajdabia	2725	MSF/1	MUNI	1969
LIBYE	Azzawiya	500	MSF/1	INDU	1978
LIBYE	Azzawiya	500	MSF/1	MUNI	1975
LIBYE	Azzawiya	1500	MSF/3	CENTRALE	1974
LIBYE	Azzawiya	2000	VC/2	INDU	1993
LIBYE	Ben Jawad	6000	MSF/2	MUNI	1978
LIBYE	Bengazi	9000	MSF/2	MUNI	1976
LIBYE	Bengazi	24000	MSF/4	MUNI	1978
LIBYE	Bengazi	24000	MSF/4	MUNI	1976
LIBYE	Bomba	30000	MSF/3	MUNI	1988
LIBYE	Derna	4700	VC/1	INDU	1996
LIBYE	Derna	9400	MSF/2	MUNI	1975
LIBYE	Homs	52800	MSF/4	MUNI	1980
LIBYE	LIBYE LAR	1000	OI/2	INDU	1989
LIBYE	LIBYE LAR	1700	OI/1	INDU	1986
LIBYE	Mersa El Brega	2400	MSF/1	INDU	1980
LIBYE	Mersa El Brega	2400	MSF/1	INDU	1979
LIBYE	Mersa El Brega	4800	MSF/2	INDU	1982
LIBYE	Mersa El Brega	7200	MSF/3	CENTRALE	1975
LIBYE	Misurata	500	VC/1	INDU	1981
LIBYE	Misurata	500	MSF/1	INDU	1985
LIBYE	Misurata	4500	ME/2	INDU	1982
LIBYE	Misurata	10000	OI/5	MUNI	1984
LIBYE	Misurata	31500	MSF/3	INDU	1987
LIBYE	Mlita	20000	MSF/2	MUNI	1995
LIBYE	Port Brega	757	MSF/1	INDU	1969
LIBYE	Port Brega	757	MSF/1	INDU	1965
LIBYE	Port Brega	946	ME/1	INDU	1980
LIBYE	Port Brega	1514	MSF/2	INDU	1967
LIBYE	Port Brega	1892	VC/2	INDU	1984
LIBYE	Ras Lanuf	1000	MSF/2	INDU	1980
LIBYE	Ras Lanuf	1500	MSF/3	INDU	1980
LIBYE	Ras Lanuf	8400	MSF/1	MUNI	1984
LIBYE	Ras Lanuf	8400	MSF/1	MUNI	1995
LIBYE	Ras Lanuf	25200	MSF/3	INDU	1983
LIBYE	Ras Tajura	1500	MSF/3	MIL	1982
LIBYE	Ras Tajura	11000	OI/4	MIL	1984
LIBYE	Sirte	1893	MSF/1	INDU	1988
LIBYE	Sirte	10000	MSF/1	MUNI	1986
LIBYE	Sirte	20000	MSF/1	INDU	1995
LIBYE	Sirte 2	9084	MSF/2	MUNI	1982
LIBYE	Soussa	3785	MSF/1	MUNI	1982
LIBYE	Soussa	10000	VC/2	MUNI	1999

Pays	Emplacement	Capacité m <sup>3</sup> /jour	Type/Unité	Utilisateur	Année de mise en service
LIBYE	Soussa	13500	MSF/3	MUNI	1977
LIBYE	Tobruk	24000	MSF/4	MUNI	1977
LIBYE	Tobruk	40000	VC/3	MUNI	1999
LIBYE	Tripoli	650	OI/1	MUNI	1996
LIBYE	Tripoli	1000	OI/1	MUNI	1996
LIBYE	Tripoli	2500	OI/1	MUNI	1996
LIBYE	Tripoli	2500	MSF/1	MUNI	1986
LIBYE	Tripoli	10000	VC/2	INDU	1999
LIBYE	Tripoli	23084	MSF/2	INDU	1976
LIBYE	Tripoli-West 2	500	ME/1	MUNI	1992
LIBYE	Tripoli-West 2	32000	OI/5	MUNI	1992
LIBYE	Zliten	4500	MSF/1	MUNI	1978
LIBYE	Zliten	13500	MSF/3	MUNI	1975
LIBYE	Zuara	4540	MSF/1	MUNI	1979
LIBYE	Zuara	13500	MSF/3	MUNI	1974
LIBYE	Zuetina	5450	MSF/2	MUNI	1977
LIBYE	Zuetina	30000	MSF/3	MUNI	1983
MALTE	CharLapsi	20000	OI/10	MUNI	1983
MALTE	CharLapsi	4000	OI/1	MUNI	1986
MALTE	Cirkewwa	18600	OI/5	MUNI	1989
MALTE	Delimara	1300	VC/1	CENTRALE	1997
MALTE	Gozo	3000	MSF/1	MUNI	1972
MALTE	MALTE	568	OI/1	INDU	1987
MALTE	MALTE	1400	VC/2	CENTRALE	1991
MALTE	MALTE(BR)	1500	VC/2	CENTRALE	1993
MALTE	Marsa	4500	OI/1	MUNI	1983
MALTE	Pembroke	17600	OI/4	MUNI	1991
MALTE	Pembroke	8800	OI/2	MUNI	1993
MALTE	Pembroke	27600	OI/6	MUNI	1994
MALTE	Tigne	15000	OI/5	MUNI	1987
MALTE	Valetta	4500	MSF/1	MUNI	1967
MALTE	Valetta	16000	MSF/3	MUNI	1969
MAROC	El Aiun	7800	OI/5	MUNI	1995
MAROC	El Aiun	3501	MSF/1	INDU	1974
MAROC	El Aiun	3501	MSF/1	INDU	1972
ESPAGNE	Adeje	10000	OI/2	MUNI	1996
ESPAGNE	Almanzora	10000	OI/1	MUNI	1998
ESPAGNE	Almanzora	20000	OI/2	MUNI	1995
ESPAGNE	Almeria	500	OI/1	MUNI	1995
ESPAGNE	Alicante	50000	OI/7	MUNI	2001
ESPAGNE	Almeria	50000	OI/7	MUNI	2001
ESPAGNE	Jaen	720	OI/1	MUNI	1987
ESPAGNE	Gran Ganaria	4000	OI/1	MUNI	2001
ESPAGNE	Gran Ganaria	5000	OI/2	MUNI	2001
ESPAGNE	Gran Ganaria	5400	OI/2	IRR	2000
ESPAGNE	Almeria	1000	ME/1	INDU	1997

Pays	Emplacement	Capacité m <sup>3</sup> /jour	Type/Unité	Utilisateur	Année de mise en service
ESPAGNE	Almeria	1200	OI/2	MIL	1992
ESPAGNE	Almeria	2200	MSF/1	CENTRALE	1982
ESPAGNE	Aquillas	10000	OI/2	MUNI	1993
ESPAGNE	Arrecife	3000	VC/2	MUNI	1990
ESPAGNE	Arrecife	5000	OI/2	MUNI	1993
ESPAGNE	Arucas-Moya	4000	OI/1	MUNI	1994
ESPAGNE	Atrium Beach	2400	VC/4	TOUR	2000
ESPAGNE	Cadiz	1000	ME/1	INDU	1995
ESPAGNE	Ceuta	800	ME/1	MUNI	1997
ESPAGNE	Ceuta	4000	MSF/2	MUNI	1966
ESPAGNE	Ceuta	16000	OI/3	MUNI	1998
ESPAGNE	CI Guia	1500	VC/1	MUNI	1992
ESPAGNE	CIFuertaventura	2000	MSF/1	MUNI	1970
ESPAGNE	CIFuertaventura	1000	VC/2	MUNI	1980
ESPAGNE	CIFuertaventura	1000	VC/2	MUNI	1982
ESPAGNE	CIFuertaventura	1000	VC/2	MUNI	1982
ESPAGNE	CIFuertaventura	600	VC/1	MUNI	1986
ESPAGNE	CIFuertaventura	1600	VC/1	MUNI	1987
ESPAGNE	CIFuertaventura	1200	VC/1	TOUR	1988
ESPAGNE	CIFuertaventura	1200	VC/1	TOUR	1988
ESPAGNE	CIFuertaventura	600	OI/1	TOUR	1989
ESPAGNE	CIFuertaventura	1000	OI/1	TOUR	1990
ESPAGNE	CIFuertaventura	3000	OI/1	MUNI	1990
ESPAGNE	CIFuertaventura	1000	OI/1	TOUR	1990
ESPAGNE	CIFuertaventura	640	OI/1	TOUR	1990
ESPAGNE	CIFuertaventura	2400	OI/1	TOUR	1991
ESPAGNE	CL Gando	1000	OI/1	MIL	1993
ESPAGNE	CL Gran Agrico	500	VC/1	MUNI	1992
ESPAGNE	Corralejo	1500	OI/1	MUNI	1993
ESPAGNE	Del Rossario	4000	OI/2	MUNI	1992
ESPAGNE	Formentera	500	OI/1	MUNI	1984
ESPAGNE	Formentera	500	VC/1	TOUR	1991
ESPAGNE	Formentera	2000	OI/2	MUNI	1995
ESPAGNE	Gran Canaria	500	OI/1	MIL	1984
ESPAGNE	Gran Canaria	800	OI/1	IRR	1988
ESPAGNE	Gran Canaria	3500	OI/1	MUNI	1989
ESPAGNE	Gran Canaria	1000	OI/1	INDU	1990
ESPAGNE	Gran Canaria	10000	OI/2	IRR	1991
ESPAGNE	Gran Canaria	1000	VC/1	CENTRALE	1992
ESPAGNE	Gran Canaria	600	OI/1	INDU	1995
ESPAGNE	Gran Canaria	4000	OI/1	MUNI	1996
ESPAGNE	Gran Canaria	600	VC/1	INDU	1995
ESPAGNE	Gran Canaria	1000	VC/1	CENTRALE	1992
ESPAGNE	Gran Canaria	1000	VC/1	INDU	1990
ESPAGNE	Gran Canaria	3500	OI/2	MUNI	1989
ESPAGNE	Gran Canaria	3500	OI/1	MUNI	1999



Pays	Emplacement	Capacité m <sup>3</sup> /jour	Type/Unité	Utilisateur	Année de mise en service
ESPAGNE	Gran Canaria	4000	OI/1	MUNI	1996
ESPAGNE	Gran Canaria	4000	OI/1	IRR	1988
ESPAGNE	Gran Canaria	5000	OI/1	IRR	1998
ESPAGNE	Gran Canaria	10000	OI/2	IRR	1991
ESPAGNE	Gran Tarajal	1500	OI/1	MUNI	1993
ESPAGNE	Ibiza	8000	OI/2	MUNI	1997
ESPAGNE	Ibiza	9000	OI/3	MUNI	1991
ESPAGNE	Lanzarote	500	OI/1	TOUR	1992
ESPAGNE	Lanzarote	500	OI/1	TOUR	1992
ESPAGNE	Lanzarote	500	OI/1	MUNI	1987
ESPAGNE	Lanzarote	500	VC/1	TOUR	1984
ESPAGNE	Lanzarote	500	VC/1	DEMO	1979
ESPAGNE	Lanzarote	500	VC/1	MUNI	1983
ESPAGNE	Lanzarote	500	OI/1	MUNI	1983
ESPAGNE	Lanzarote	500	MSF/1	MUNI	1974
ESPAGNE	LanzaOlte	500	MSF/1	MUNI	1973
ESPAGNE	Lanzarote	600	VC/1	TOUR	1985
ESPAGNE	Lanzarote	600	VC/1	TOUR	1985
ESPAGNE	Lanzarote	600	VC/1	TOUR	1986
ESPAGNE	Lanzarote	600	VC/1	TOUR	1986
ESPAGNE	Lanzarote	600	VC/1	TOUR	1988
ESPAGNE	Lanzarote	1000	MSF/1	DEMO	1975
ESPAGNE	Lanzarote	1200	VC/1	TOUR	1988
ESPAGNE	Lanzaote	2000	OI/2	TOUR	1987
ESPAGNE	Lanzarote	2460	MSF/1	MUNI	1965
ESPAGNE	Lanzarote	2500	OI/1	MUNI	1987
ESPAGNE	Lanzarote	3000	VC/2	MUNI	1990
ESPAGNE	Lanzarote	5000	OI/2	MUNI	1986
ESPAGNE	Lanzarote	5000	MSF/2	MUNI	1975
ESPAGNE	Lanzarote	5000	OI/1	MUNI	1990
ESPAGNE	Lanzarote	5000	OI/1	MUNI	1990
ESPAGNE	Lanzarote	7500	OI/3	MUNI	1986
ESPAGNE	Las Palmas	500	VC/1	MUNI	1987
ESPAGNE	Las Palmas	500	VC/1	INDU	1989
ESPAGNE	Las Palmas	20000	MSF/4	MUNI	1970
ESPAGNE	Las Palmas	18000	MSF/4	MUNI	1978
ESPAGNE	Las Palmas	24000	OI/4	MUNI	1990
ESPAGNE	Las Palmas	6700	OI/1	MUNI	2001
ESPAGNE	Las Palmas	35000	ME/2	MUNI	2000
ESPAGNE	Las Palmas	12000	OI/2	MUNI	1990
ESPAGNE	Mallorca	520	VC/1	CENTRALE	1982
ESPAGNE	Mallorca	42000	OI/6	MUNI	1999
ESPAGNE	Marbella	56400	OI/10	MUNI	1999
ESPAGNE	Maspalomas	2000	ED/1	MUNI	1988
ESPAGNE	Maspalomas	21000	ED/8	MUNI	1988
ESPAGNE	Maspalomas	7500	OI/3	TOUR	1987

Pays	Emplacement	Capacité m <sup>3</sup> /jour	Type/Unité	Utilisateur	Année de mise en service
ESPAGNE	Mazarron	12000	OI/4	MUNI	1997
ESPAGNE	Murcia	800	ME/1	CENTRALE	1996
ESPAGNE	Murcia	15000	OI/5	IRR	1999
ESPAGNE	Murcia	20800	OI/8	IRR	2000
ESPAGNE	Murcia	65000	OI/9	MUNI	2000
ESPAGNE	Palma	1500	VC/1	INDU	1995
ESPAGNE	Palma de mal	43200	OI/5	MUNI	1999
ESPAGNE	Puerto Rico	1000	VC/1	TOUR	1987
ESPAGNE	Puerto Rico	2400	VC/2	TOUR	1988
ESPAGNE	ESPAGNE E	600	OI/1	MUNI	1998
ESPAGNE	ESPAGNE E	2000	OI/1	MUNI	1997
ESPAGNE	ESPAGNE E	5000	OI/1	MUNI	1998
ESPAGNE	ESPAGNE E	30000	OI/6	MUNI	1998
ESPAGNE	ESPAGNE E	42000	OI/6	MUNI	1997
ESPAGNE	ESPAGNE E BI	500	OI/1	MUNI	1986
ESPAGNE	Sureste 1	10000	OI/2	MUNI	1993
ESPAGNE	Sureste 2	15000	OI/2	MUNI	1998
ESPAGNE	Tenerife	600	VC/1	CENTRALE	1994
ESPAGNE	Tenerife	600	VC/1	CENTRALE	1992
ESPAGNE	Tenerife	3600	VC/1	INDU	1994
ESPAGNE	Tenerife	24000	OI/3	MUNI	1999
ESPAGNE	Vandellos	2400	ME/3	CENTRALE	1980
TUNISIE		600	VC/1	INDU	1998
TUNISIE		600	OI/1	TOUR	1999
TUNISIE	Gabes	1020	VC/2	INDU	1980

**ANNEXE II****TABLE DES ABRÉVIATIONS – GLOSSAIRE**

## a) Procédé:

ED:	Électrodialyse
ME:	distillation à effets multiples (ou multi-effets)
MSF:	distillation instantanée à étages multiples (ou multi-flash)
DIVERS :	tous autres procédés
OI:	osmose inverse
VC:	compression de vapeur

## b) Utilisateur

DEMO:	eau douce produite à des fins de démonstration
INDU:	eau douce servant dans l'industrie ou des procédés de fabrication
IRR:	eau douce servant à l'irrigation
MIL:	eau douce servant d'eau potable dans des installations militaires
MUNI:	eau douce servant d'eau potable dans des municipalités
CENTRALE:	eau douce servant d'eau de fabrication dans une centrale
TOUR:	eau douce servant d'eau potable dans le secteur touristique



## APPENDICE

### LIGNES DIRECTRICES PRÉLIMINAIRES POUR L'ÉVALUATION ET LA GESTION DES REJETS PROVENANT D'USINES DE DESSALEMENT

#### 1. PRESCRIPTIONS DES PROTOCOLES «TELLURIQUE» ET «IMMERSIONS»

Le Protocole « tellurique » stipule à l'article 5.1 que "les Parties entreprennent d'éliminer la pollution provenant de sources et activités situées à terre et en particulier d'éliminer progressivement les apports de substances toxiques, persistantes et susceptibles de bio-accumulation énumérées à l'annexe I".

Il est également stipulé à l'article 6.1 dudit Protocole que "les rejets de sources ponctuelles dans la zone du Protocole, et les rejets dans l'eau ou les émissions dans l'atmosphère qui atteignent et peuvent affecter la zone de la Méditerranée, telle que délimitée à l'article 3 a), c) et d) du présent Protocole, sont strictement subordonnés à une autorisation ou réglementation de la part des autorités compétentes des Parties, en tenant dûment compte des dispositions du présent Protocole et de son annexe II, ainsi que des décisions ou recommandations pertinentes des réunions des Parties contractantes».

À l'article 5.4 du Protocole « tellurique », il est encore stipulé que « lors de l'adoption des plans d'action, programmes et mesures, les Parties tiennent compte, individuellement ou conjointement, des meilleures techniques disponibles et de la meilleure pratique environnementale, y compris, le cas échéant, les technologies de production propre, en prenant en considération les critères énoncés à l'annexe IV».

Selon l'article 4.2 a) du Protocole «immersions», l'immersion de matériaux de dragage est subordonnée à la délivrance préalable, par les autorités compétentes, d'un permis spécial.

Enfin, les rejets provenant des usines de dessalement contiennent parfois des métaux, tels que le cuivre, qui figurent à la section C de l'annexe I du Protocole tellurique (catégories de substances).

Compte tenu de ce qui précède, les lignes directrices qui suivent sont proposées en vue d'aider les Parties contractantes à gérer les rejets provenant des usines de dessalement sans causer de préjudice au milieu marin.

#### 2. ÉVALUATION DES REJETS DES USINES DE DESSALEMENT

##### 2.1 Caractéristiques des rejets des usines de dessalement en fonction du procédé adopté

Au cours des dix dernières années, le nombre et la capacité des usines de dessalement de l'eau de mer se sont considérablement accrus dans les pays méditerranéens, si bien que les impacts potentiels sur l'environnement associés à leurs rejets, et en particulier au rejet de saumure concentrée, ont attiré l'attention des environnementalistes.

Les constituants des effluents des usines de dessalement dépendent en grande partie de la qualité de l'eau d'alimentation, de la qualité de l'eau produite et du procédé de

dessalement utilisé. Le type de procédé utilisé conditionne de manière déterminante les caractéristiques du rejet de saumure.

Toutes les usines de dessalement utilisent le chlore ou d'autres biocides pour nettoyer les canalisations et autres matériels, et parfois pour pré-traiter l'eau d'alimentation. Les usines à osmose inverse (OI) utilisent des agents flocculants (habituellement du chlorure ferrique) dans le cadre du traitement afin que les particules présentes dans l'eau d'alimentation forment des agrégats plus volumineux qui sont plus facilement éliminés par des filtres avant que l'eau ne diffuse à travers les membranes d'OI. Les filtres de pré-traitement font l'objet d'un lavage à contre-courant à des intervalles répétés de quelques jours. Les options d'élimination des agents flocculants, des particules et des boues ôtées des filtres comprennent leur rejet avec la saumure concentrée ou le prélèvement sur la paroi. Le chlorure ferrique n'est pas toxique mais peut provoquer un changement de coloration des eaux réceptrices du rejet.

Dans les usines OI, le nettoyage et le stockage des membranes peuvent donner naissance à des déchets dangereux potentiels. Les formulations utilisées pour le nettoyage des membranes sont habituellement des solutions alcalines ou des solutions acides aqueuses. De plus, il convient de recourir à une solution de préservation chimique (habituellement du bisulfite de sodium) si les membranes sont stockées pendant que l'usine est fermée. Ces produits chimiques devraient, dans toute la mesure du possible, être éliminés avant tout rejet dans la mer afin de réduire toute toxicité éventuelle.

Dans le cas des usines MSF, la température de l'eau d'alimentation s'élève à 100-110°C, de sorte que la saumure concentrée présente une température qui est supérieure de 10 à 15°C à la température ambiante.

Les deux types d'usines utilisent souvent des agents antitartre pour ôter les dépôts qui se forment à l'intérieur des circuits. Les polyphosphates, qui retardent le dépôt de tartre, sont un agent antitartre d'action précoce. Ces dernières années, l'utilisation de ces produits a été fortement restreinte. Plus récemment, on a mis sur le marché des agents antitartre qui sont des polymères de l'acide maléique ou acide acrylique et ne sont pas dangereux pour le milieu marin.

Les usines de dessalement par distillation MSF utilisent des agents antimousse pour réduire la mousse produite quand l'eau bout.

Il est indubitable que l'impact sur l'environnement le plus préoccupant est celui de la saumure, autrement dit des eaux qui contiennent une concentration élevée de sels et qui sont rejetées par toutes les usines de dessalement. La salinité de la saumure dépend du procédé utilisé. Dans le cas des usines à osmose inverse, la salinité de la saumure dépend de la capacité de conversion de l'usine et elle est de 1,2 à 3 fois supérieure à la salinité de l'eau d'alimentation. Dans le cas des usines à distillation multi-flash, la salinité de la saumure n'est que 1,2 fois plus élevée que celle de l'eau d'alimentation.

Le rejet est en rapport avec la taille de l'usine. Si une usine OI d'une capacité de 40 000 à 50 000 m<sup>3</sup>/jour rejette de la saumure d'une salinité deux à trois fois plus élevée que celle de l'eau d'alimentation, elle appelle une attention toute spéciale en ce qui concerne l'impact sur la masse d'eau réceptrice.

La même remarque est valable pour une usine MSF où des métaux lourds atteignent le milieu marin par la saumure qui entre en contact avec les éléments et canalisations de l'usine.

Les usines de dessalement nécessitent une quantité appréciable d'énergie pour leur fonctionnement. Dans plupart des cas, les usines OI demandent moins d'énergie que les usines MSF. À cet égard, les effets secondaires résultant d'une consommation accrue d'énergie doivent également être pris en compte puisque celle-ci se traduit par des niveaux plus élevés d'émissions atmosphériques, un préjudice plus marqué dû à l'entraînement dans le circuit de poisson lors du prélèvement d'eau de refroidissement et des quantités plus importantes d'eau de refroidissement rejetées en mer.

## 2.2 Effets potentiels sur l'environnement des rejets de saumures concentrées

L'éventualité d'effets dommageables pour le milieu marin des rejets provenant des usines de dessalement dépend en grande partie du volume total de saumure qui est libéré, des constituants de celle-ci et du degré de dilution avant que le rejet ne soit opéré dans la mer.

Le rejet de grosses quantités de saumure nécessite un examen plus soigneux des impacts possibles sur l'environnement que s'il s'agit de petites quantités.

Les constituants du rejet sont particulièrement préoccupants pour les organismes marins car ils comprennent des biocides, des métaux lourds et des produits chimiques qui ont une action sur l'oxygène. Les rejets des usines de dessalement ne contiennent pas systématiquement ces constituants, mais si ces derniers sont présents, ils doivent être éliminés ou ramenés à des niveaux admissibles avant d'être évacués dans la mer.

Une concentration élevée en sels des eaux rejetées et des fluctuations du degré de salinité peuvent être, à proximité de l'émissaire, une cause de mortalité parmi les organismes qui y sont sensibles. De plus, les rejets provenant des usines de dessalement ont une densité plus élevée que celle de l'eau de mer et peuvent déposer au fond de la mer et avoir éventuellement des effets préjudiciables pour les communautés benthiques.

Une variation de la salinité et/ou de la température due au rejet de saumure retentit aussi sur les habitudes migratoires du poisson le long des côtes. Si certaines espèces de poissons ressentent une variation de la salinité ou de la température, elles peuvent éviter la zone du panache et s'éloigner au large. Il s'ensuit que le poisson peut être forcé de nager sur une plus longue distance, de quitter la zone de plus grande disponibilité alimentaire et devenir davantage exposé aux prédateurs. Les impacts de ces modalités nouvelles sont incertains car notre connaissance de la migration du poisson le long des côtes reste limitée et que l'on sait pas avec certitude quelle est la taille du panache susceptible d'occasionner ces effets.

## 2.3 Site de rejet et milieu récepteur

Il est essentiel que les caractéristiques hydrographiques, météorologiques, géologiques et topographiques de la zone côtière réceptrice soient étudiées au préalable. A cet égard, il convient de recueillir les informations suivantes:

- a) carte bathymétrique du site au large et de ses environs, de préférence à une échelle 1:5000, couvrant au moins 2 km de côte;
- b) conditions géologiques et géomorphologiques de la zone de prélèvement d'eau d'alimentation de l'usine et de l'émissaire de saumure, y compris les affleurements rocheux, les conditions sédimentologiques et la stabilité des falaises;
- c) renseignements hydrographiques et météorologiques:

- courants de surface et de haut-fonds dans diverses conditions de marée et météo
  - courants à la profondeur du rejet de saumure
  - existence et caractéristiques de la thermocline
  - température et salinité de l'eau de mer et leur variation en fonction de la profondeur
  - vitesse et direction des vents;
- d) Conditions biologiques:
- État de la faune et de la flore benthiques et types de sédiment, gravier, boue et sable
  - qualité microbiologique des eaux
  - connaissances disponibles sur la capacité de survie des agents pathogènes dans le milieu marin;
- e) Utilisations présentes et futures de la mer et des plages concernées:
- tourisme, loisirs, pêche
  - conchyliculture
  - normes de qualité pour différentes utilisations;
- f) Émissaire:
- longueur et diamètre de l'émissaire, profondeur, matériaux constitutifs.
  - méthode de pose de l'émissaire: sur le fond de la mer ou enfoui dans le fond de la mer
  - méthode de contrôle de la corrosion
  - longueur, orifices, configuration et diamètre du diffuseur (s'il y a lieu);
  - vitesse du rejet
  - dilution initiale et finale.

#### 2.4 Réalisation de l'étude d'impact sur l'environnement

Dans les pays industrialisés d'Europe et de nombreux autres pays du monde, de nouveaux projets susceptibles d'avoir des incidences importantes sur le milieu marin sont assujettis à une procédure d'évaluation.

La directive du Conseil 97/117/CEE du 3 mars 1979 (modifiant la directive 85/337/CEE) concerne «l'évaluation des effets de certains projets publics et privés susceptibles d'avoir des effets importants sur l'environnement...On entend également par projets l'exécution de travaux de construction...À cet effet, l'étude d'impact sur l'environnement (EIE) permet d'identifier, décrire et évaluer de manière appropriée les incidences directes et indirectes d'un projet sur les facteurs humains ci-après: habitants, faune et flore; sol, eau, air; climat et paysage; biens matériels et patrimoine culturel”.

L'annexe II de la directive mentionne “les centrales thermiques et autres installations de combustion ayant un rendement calorifique de 300 mégawatts et plus” comme projets auxquels l'EIE s'applique, ce qui signifie que dans l'Union européenne les usines de dessalement thermique sont assujetties à une EIE.

En outre, la position commune (CE) n° 25/2000 adoptée par le Conseil le 30 mars 2000 prévoit l'évaluation des effets de certaines usines et programmes sur l'environnement.



Eu égard au fait que les pays de l'UE et d'autres pays méditerranéens ont déjà une législation sur la mise en œuvre de l'EIE, il conviendrait de considérer que la construction d'usines de dessalement est soumise au préalable d'une EIE. Outre qu'elle est un instrument visant à réduire au minimum les effets de la pollution, l'EIE sert de plus en plus d'atout pour obtenir un financement. Elle aide aussi à se forger une bonne réputation pour le pays, ce qui constitue de nos jours un argument de vente pour des produits d'exportation écologiquement sensibles comme les produits chimiques et agro-alimentaires.

### **3. MESURES D'ATTÉNUATION ET RECOMMANDATIONS PROPOSÉES**

#### **3.1 Mesures d'atténuation proposées pour réduire les impacts sur les ressources marines**

Les impacts sur l'environnement peuvent être réduits au minimum si un certain nombre de mesures sont prises en ce qui concerne les matériaux de construction et la conception du système de prélèvement d'eau et de l'émissaire de l'usine. Ces mesures sont les suivantes:

- Le choix de l'emplacement du prélèvement d'eau de mer et de l'émissaire doit être effectué de manière à éviter les zones sensibles, dans le respect de la flore et de la faune marines, des loisirs et autres utilisations de la mer.
- Le système de prélèvement d'eau doit être conçu de manière à réduire la possibilité de heurt et de piégeage (par ex., tambours tamiseurs à la prise d'eau afin de réduire l'entraînement d'organismes marins dans le circuit usine).
- Le choix de l'emplacement et la conception de l'émissaire doivent assurer un taux de brassage et un volume de dilution suffisants pour réduire au minimum les effets dommageables.
- L'émissaire doit être situé au large, mais non dans un estuaire ou autre zone à faible circulation d'eau.
- Il convient d'utiliser des techniques de pré-traitement qui réduisent au minimum ou éliminent la nécessité de produits chimiques dangereux, et de bonnes techniques de post-traitement et désinfection qui permettent d'espacer le nettoyage régulier des membranes en raison de leur encrassement.
- Dans toute la mesure du possible, il convient d'éliminer du flux de saumure, avant son rejet, les constituants qui sont dangereux.
- Si possible, la saumure sera mélangée avec l'eau de refroidissement résiduaire de la centrale.
- Une tuyauterie double sera utilisée pour réduire au minimum le risque de corrosion de matériaux dangereux (le polyéthylène ou le titane sont préférables au cuivre et au zinc).

#### **3.2 Programme de surveillance continue**

On dispose de fort peu de données concernant les impacts sur le milieu marin imputables aux usines de dessalement de l'eau de mer. Très peu d'études, pour ne pas dire

aucune, sont menées dans la région méditerranéenne, le Proche-Orient et d'autres parties du monde, pour observer en permanence les effets des rejets d'usines de dessalement sur les ressources marines.

La surveillance continue des impacts sur le milieu marin est essentielle et indispensable, eu égard notamment à la mise en service récente d'usines de dessalement de très grande capacité.

### 3.2.1 Surveillance et informations de base sur les ressources marines avant la mise en service des usines

Avant la mise en service d'une usine de dessalement, les informations de base ci-après seront utiles à l'autorité nationale chargée d'évaluer les incidences des rejets sur les ressources marines :

- données concernant les conditions hydrographiques, courants, vagues, etc., de la zone marine où l'émissaire sera situé;
- application de modèles pour déterminer à l'avance les modalités de la dispersion de la saumure dans la zone de l'émissaire;
- inventaire des organismes marins dans la zone de l'émissaire;
- inventaires à long terme des organismes marins benthiques dans les quelques mm de la couche supérieure du fond de la mer;
- données sur les sédiments de la zone de l'émissaire, y compris une analyse des particules;
- données de base sur la qualité microbiologique de la zone marine où est prélevée l'eau d'alimentation de l'usine;
- données sur l'état trophique de la zone de prélèvement d'eau d'alimentation;
- études par traceurs utilisant de petites quantités d'isotopes radioactifs pour déterminer la quantité de métaux aboutissant dans la microcouche du fond de la mer (dans le cas des usines MSF).
- Application de modèles pour étudier la dispersion de l'eau chaude (dans les cas d'usines MSF) et de la saumure.

### 3.2.2 Surveillance des effets sur les ressources marines après la mise en service :

- mesure des impacts sur les habitats du fond de mer;
- mesure des impacts sur le poisson dans la colonne d'eau;
- évaluation de la température, de la salinité et de la densité le long de la trajectoire du panache;
- tests aux moyen de colorant non toxique ou d'élément trace pour évaluer la dilution;
- échantillonnage des sédiments; et
- mesure de la salinité à diverses stations d'échantillonnage au large.

### 3.3 Recommandations d'ordre général

Avant de prendre toute décision concernant la construction d'une usine de dessalement, les autorités nationales devraient explorer toutes les autres options qui s'offrent pour l'approvisionnement en eau afin de s'assurer de la nécessité de cette construction.

a) Consommation d'énergie

Les technologies de production couplée eau + électricité, d'énergie alternative ou de réduction de la consommation d'énergie devront être prises en considération pour les nouveaux projets d'aménagement d'usines de dessalement.

b) Produits chimiques dangereux

Il convient de choisir les technologies et procédés qui réduisent au minimum les constituants dangereux dans la mer. Il conviendrait de recourir au traitement et nettoyage des éléments de l'usine au moyen de produits respectueux de l'environnement.

c) Dilution des rejets

Il convient d'évaluer les options consistant à mélanger la saumure avec les rejets des centrales. Mélanger la saumure avec l'eau de refroidissement rejetée par la centrale est probablement la meilleure solution pour réduire au minimum les impacts dommageables résultant de l'indice de dilution.

d) EIE

Il convient de réaliser au préalable une EIE pour toute nouvelle usine de dessalement, y compris pour la sélection du site. Les critères de sélection du site devraient comprendre entre autres:

- l'éloignement de l'usine par rapport à de zones à usage récréatif et touristique
- le milieu marin doit offrir une eau d'alimentation de bonne qualité avec un risque minimal de contamination due à d'autres activités proches
- le site choisi doit être proche d'une infrastructure de distribution d'eau en vue d'un raccordement facile et rapide de l'usine au réseau existant.

Les informations concernant les impacts potentiels des rejets prévus sur les ressources marines peuvent être obtenues lors de la surveillance effectuée avant la mise en service et tirées des résultats de la surveillance continue recueillis pour d'autres usines de dessalement.

e) Recherche et surveillance

Dans les pays méditerranéens, les autorités chargées des activités de dessalement de l'eau de mer devraient lancer des programmes de recherche et de surveillance pour étudier les incidences des rejets des usines de dessalement sur les ressources marines et la qualité de l'eau.