



**UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME
MEDITERRANEAN ACTION PLAN**



MED POL

**SEA WATER DESALINATION IN THE MEDITERRANEAN
ASSESSMENT AND GUIDELINES**

**DESSALEMENT DE L'EAU DE MER EN MÉDITERRANÉE
ÉVALUATION ET LIGNES DIRECTRICES**

MAP Technical Reports Series No. 139

UNEP/MAP
Athens, 2003

Note: The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of UNEP/MAP concerning the legal status of any State, Territory, city or area, or of its authorities, or concerning the delimitation of their frontiers or boundaries.

Responsibility for the concept and preparation of this document was entrusted to MED POL (Dr. Fouad Abousamra, MED POL Programme Officer). Dr. Loizos Loizides (Head of the Department of Fisheries & Marine Research, Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment, Nicosia, Cyprus) is the author of the Assessment and Ms Sabine Lattemann (University of Oldenburg, Institute of Marine Chemistry and Biology, Oldenburg, Germany) is the author of the Guidelines.

Note: Les appellations employées dans ce document et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du PNUE/PAM aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

MED POL (Dr Fouad Abousamra, Chargé de Programme MED POL) est responsable de la conception et de la préparation de ce document. Dr Loizos Loizides (directeur du département des Pêches et de Recherches Marines au Ministère de l'Agriculture et de Ressources Naturelles et de l'Environnement, Nicosie, Chypre) est l'auteur de l'évaluation et Mme Sabine Lattemann (Institut de Biologie et de Chimie Marine de l'Université de Oldenburg, Oldenburg, Allemagne) est l'auteur des lignes directrices.

© 2003 United Nations Environment Programme/Mediterranean Action Plan (UNEP/MAP) P.O. Box 18019, Athens, Greece.

© 2003 Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE/PAM) B.P. 18019, Athènes, Grèce.

ISBN 92 807 2379 0 ISSN 1810-6218 (Online)

This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP/MAP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source. This publication cannot be used for resale or for any other commercial purpose whatsoever without permission in writing from UNEP/MAP.

Le texte de la présente publication peut être reproduit en tout ou en partie à des fins pédagogiques et non lucratives sans autorisation spéciale de la part du détenteur du copyright, à condition de faire mention de la source. Le PNUE/PAM serait reconnaissant de recevoir un exemplaire de toutes les publications qui ont utilisé ce matériel comme source. Il n'est pas possible d'utiliser la présente publication pour la revente ou à toutes autres fins commerciales sans en demander au préalable par écrit la permission au PNUE/PAM.

For bibliographic purposes this volume may be cited as:

UNEP/MAP/MED POL: Sea Water Desalination in the Mediterranean: Assessment and Guidelines. MAP Technical Reports Series No. 139, UNEP/MAP, Athens, 2003.

Pour des fins bibliographiques, citer le présent volume comme suit:

PNUE/PAM/MED POL: Dessalement de l'eau de mer en méditerranée: évaluation et lignes directrices. No. 139 de la Série des rapports techniques du PAM, PNUE/PAM, Athènes, 2003.

.

The thematic structure of the MAP Technical Series is as follows:

- Curbing Pollution
- Safeguarding Natural and Cultural Resources
- Managing Coastal Areas
- Integrating the Environment and Development

La Série des rapports techniques du PAM est présentée avec la structure suivante:

- Maîtriser la Pollution
- Sauvegarder le Patrimoine Naturel et Culturel
- Gérer les Zones Côtières de Manière Durable
- Intégrer l'Environnement et le Développement

TABLE OF CONTENTS

Assessment of seawater desalination activities in the Mediterranean region and environmental impacts.

Guidelines for the environmental sound management of seawater desalination plants in the Mediterranean region.

Evaluation des activités de dessalement de l'eau de mer dans la région Méditerranéenne et impacts sur l'environnement.

Lignes directrices: gestion écologiquement rationnelle des usines de dessalement de l'eau de mer dans la région Méditerranéenne.

List of MAP Technical Series Reports

**D'ÉVALUATION DES ACTIVITÉS DE DESSALEMENT
DE L'EAU DE MER DANS LA RÉGION MÉDITERRANÉENNE
ET IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT**

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1. DESSALEMENT DE L'EAU DE MER	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
CHAPITRE 2. SITUATION ET TENDANCES DU DESSALEMENT DE L'EAU DE MER DANS LA RÉGION MÉDITERRANÉENNE	19
2.1 Les usines de dessalement de l'eau de mer en Méditerranée	19
2.2 Évolution du dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens au cours des trente dernières années (1970-1999)	27
CHAPITRE 3. LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT DU DESSALEMENT DE L'EAU DE MER, EU ÉGARD NOTAMMENT AU MILIEU MARIN	40
3.1 Origine et type des émissions et rejets	40
3.2 Impacts sur l'environnement	47
CHAPITRE 4. LES ASPECTS JURIDIQUES DE L'ÉLIMINATION DU CONCENTRÉ (SAUMURE) AU REGARD DES PROTOCOLES «TELLURIQUE» ET «IMMERSIONS»	56
4.1 Les rejets de substance et d'énergie au regard du Protocole «tellurique»	56
4.2 L'immersion de matériaux de dragage au regard du Protocole «immersions»	59
CHAPITRE 5. CONCLUSIONS	60
BIBLIOGRAPHIE	62
ANNEXE I: Usines de dessalement d'une capacité de plus de 500m ³ /jour en service dans les pays méditerranéens	
ANNEXE II: Table des abréviations – Glossaire	

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 m³ 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).

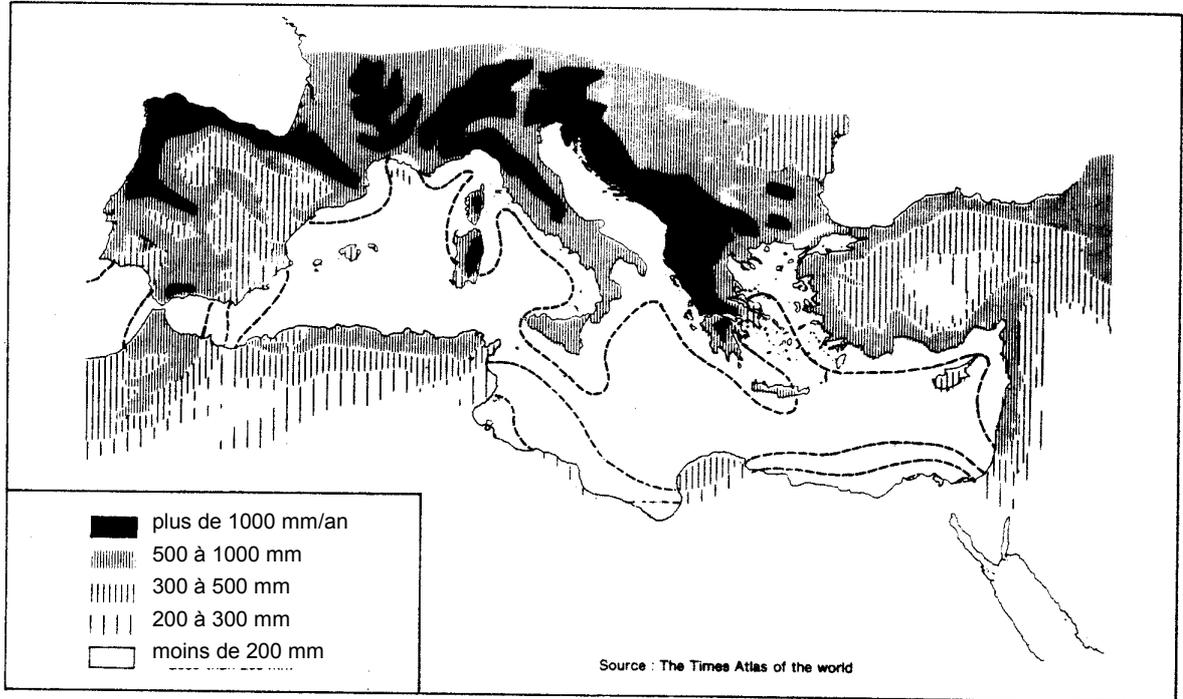
Les ressources en eau de la région méditerranéenne sont limitées, fragiles et menacées. Elles font déjà l'objet d'une exploitation intensive, notamment dans le sud et à l'Est où la saison sèche se caractérise par sa longueur, avec une pluviométrie annuelle faible (fig. 1)(Plan Bleu, 1992) (10).

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

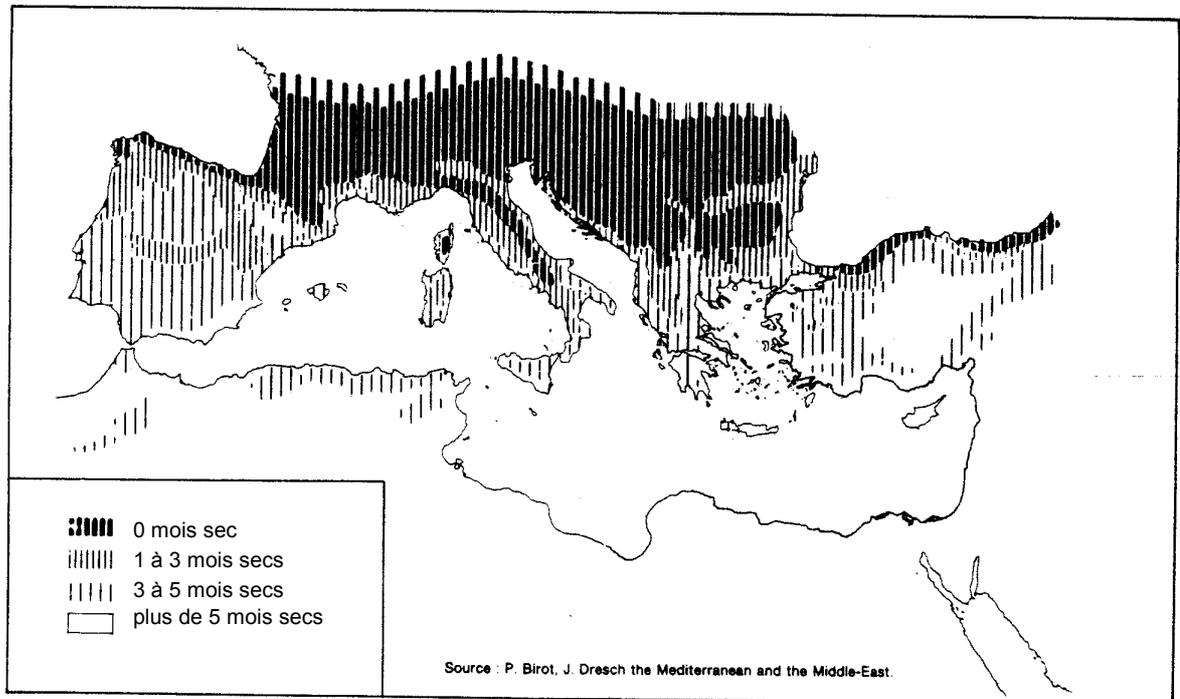
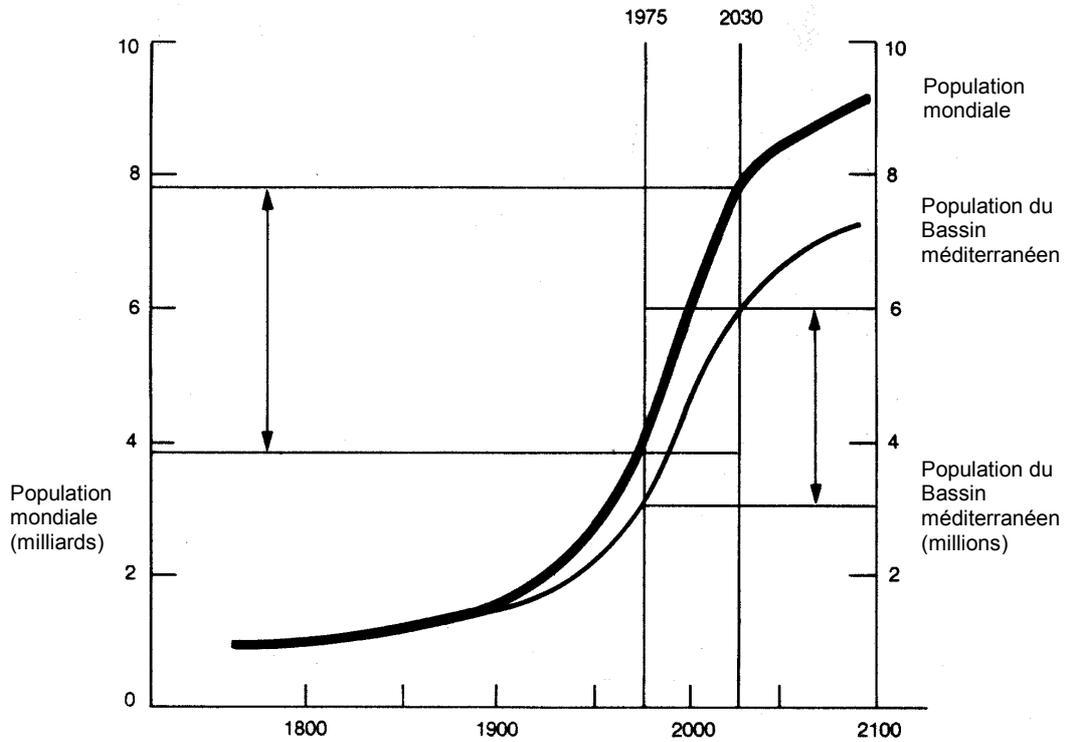


FIGURE 2

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



Sources : I.I.A.S.A. and Blue Plan

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 (km³/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 km³/an</i>								Demandes totales km ³ /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
Total	61,71	74,67	237,335	275,626	46,15	51,11	50,42	60,7	395,657	462,036

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

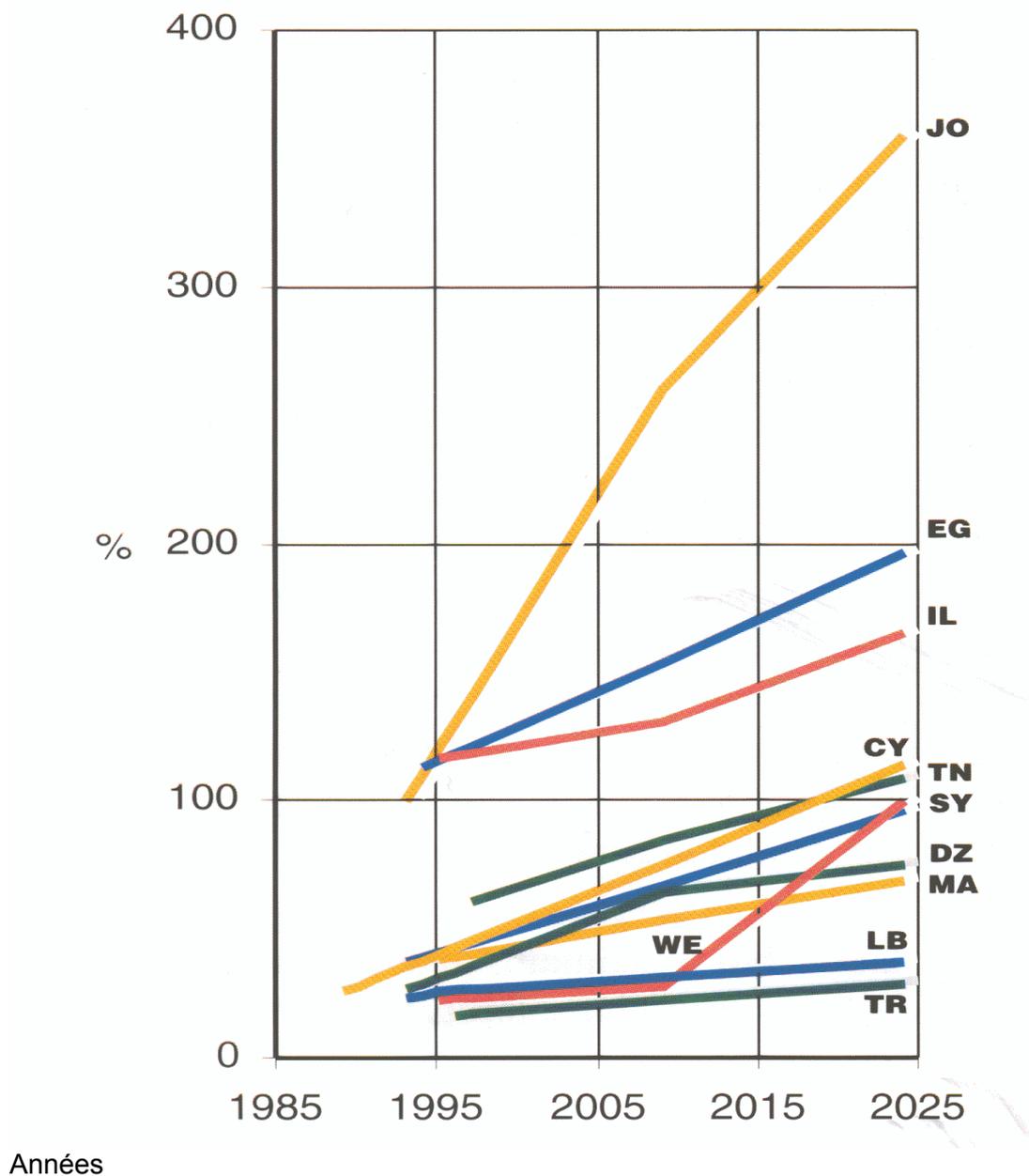
Le plus important processus de dessalement naturel se produit sur la Terre: il s'agit du cycle hydrologique - une machine naturelle, un système continuellement en action de distillation et de pompage. Le soleil fournit de l'énergie calorifique, et cela, s'ajoutant à la force de la gravité, empêche l'eau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

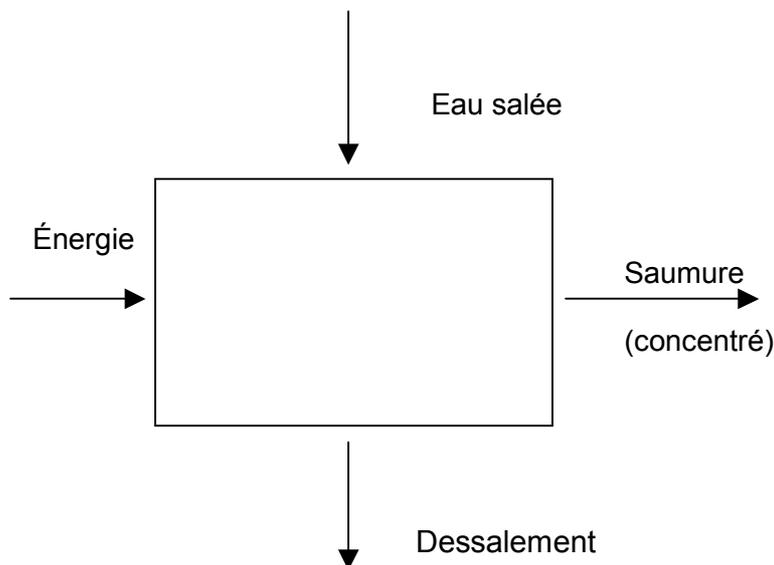
FIGURE 3

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 000m³/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).

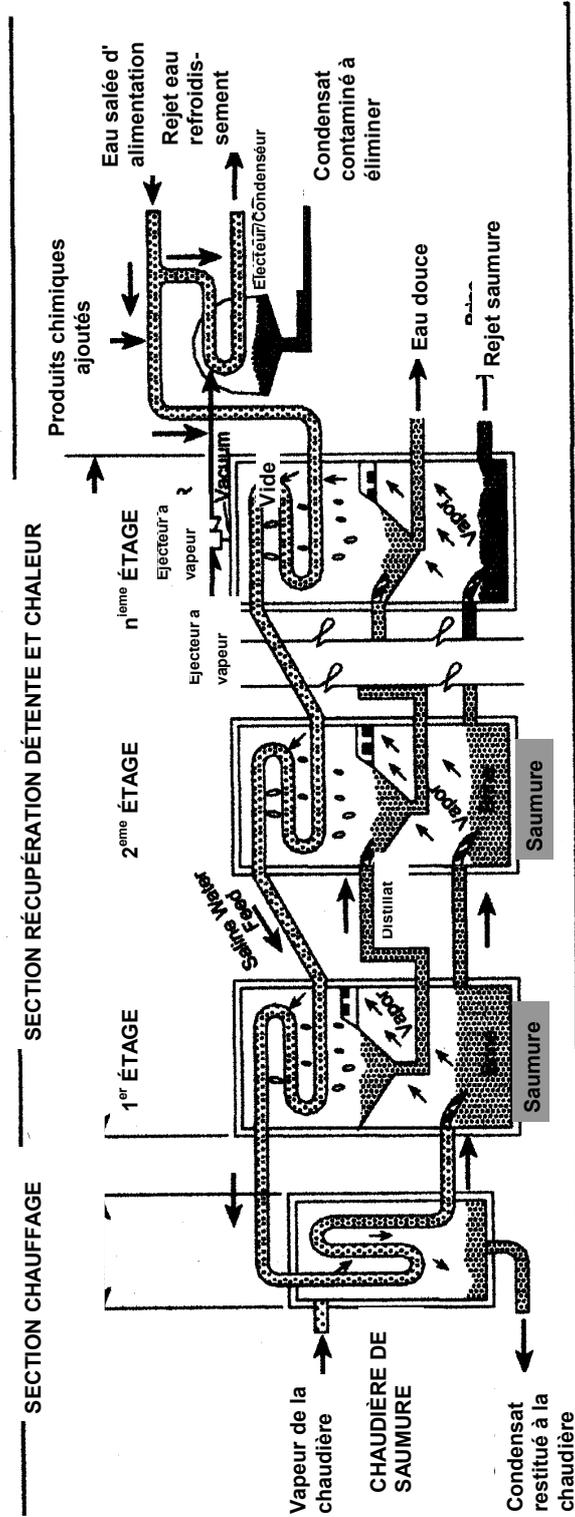
i) Électrodialyse (ED)

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).

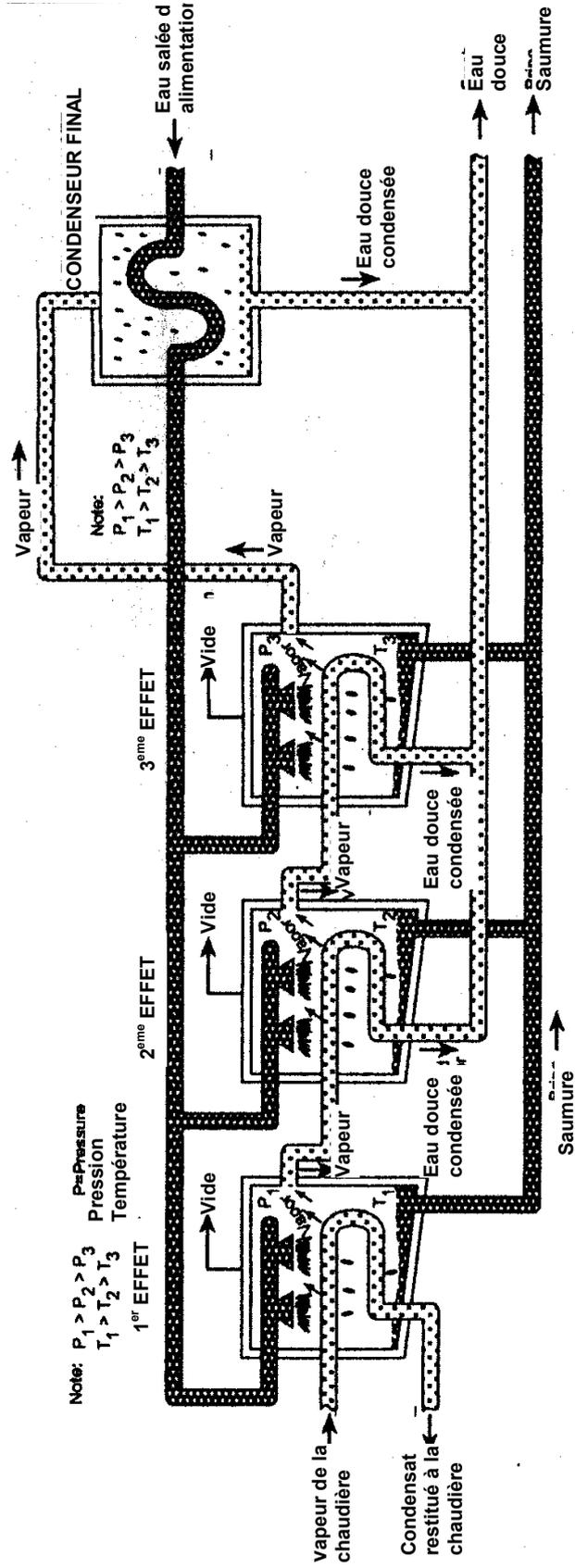
FIGURE 4



USAID

Schéma d'une usine multi-flash

FIGURE 5



USAID

Schéma d'une usine multi-effets à tuyaux horizontaux

FIGURE 6

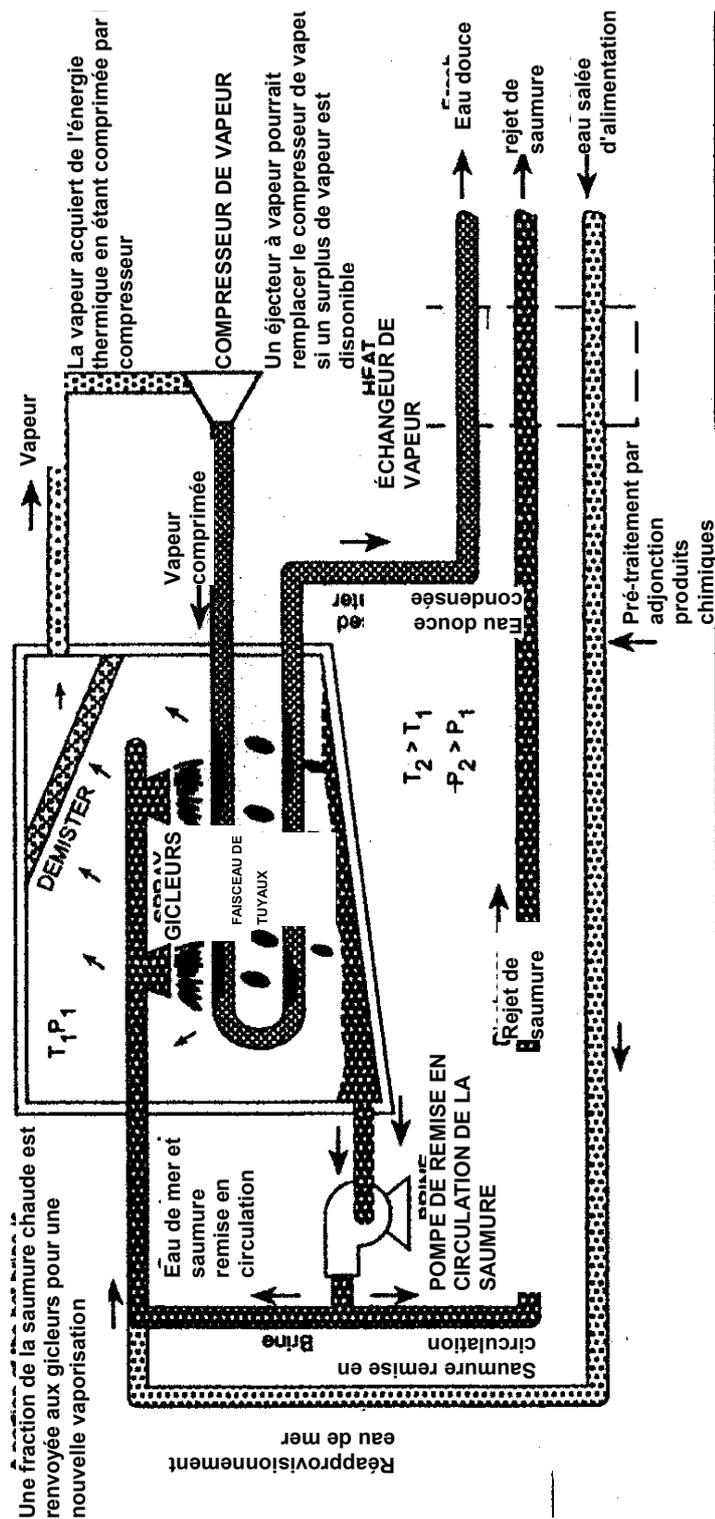


Schéma d'une unité de compression de vapeur mécanique

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 auer 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.

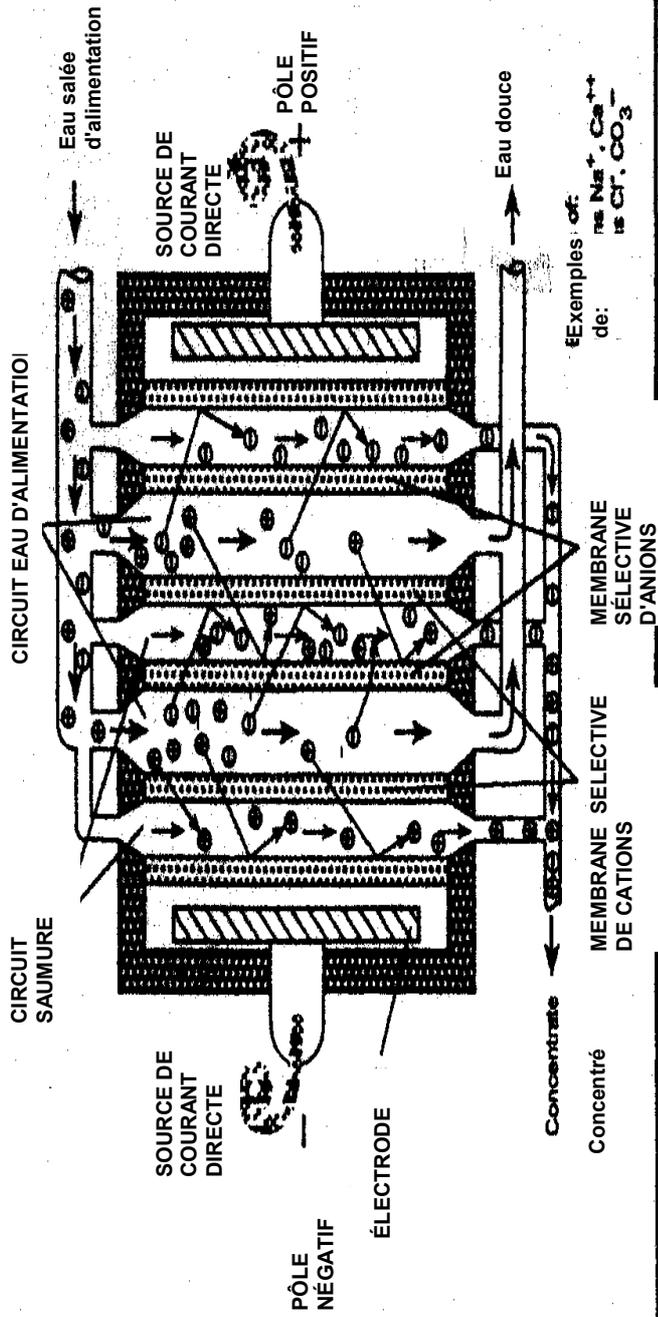
i) *Congélation*

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

Fonction de la membrane OI

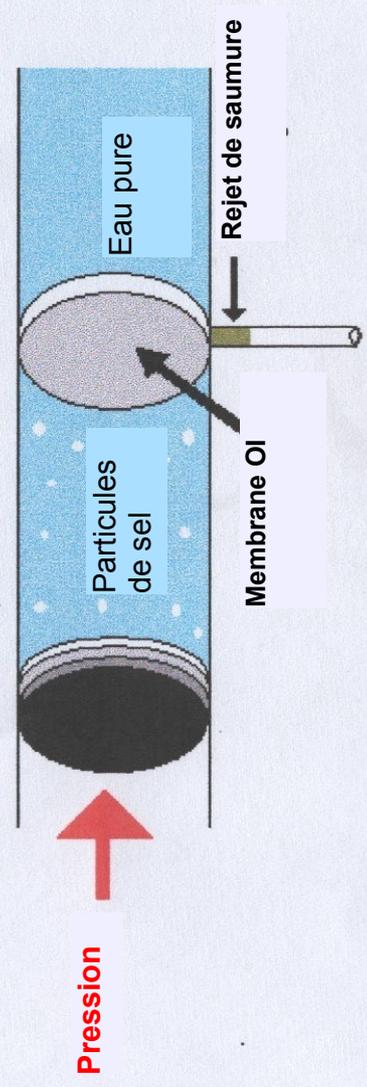
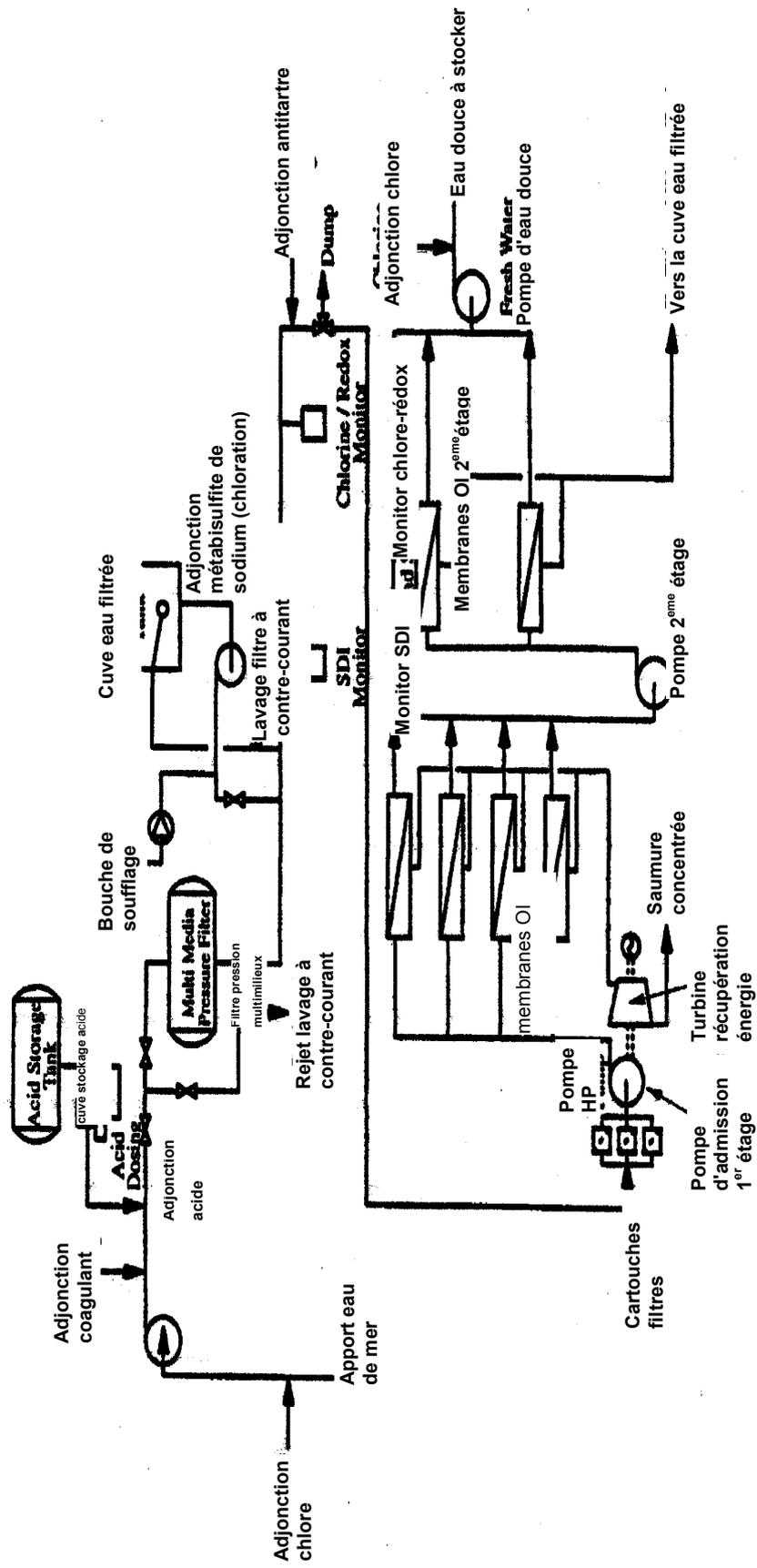


FIGURE 9

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 75×10^6 m³/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 m³/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 m³/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 m³/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 m³/jour représentant 33,18% de la capacité totale de la région méditerranéenne qui s'établissait, à la fin 1999, à 1 955 686 m³/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 m³/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 (m³/jour) des usines de dessalement d'eau de mer
(avec le pourcentage du total) en service dans chaque pays à la fin 1999

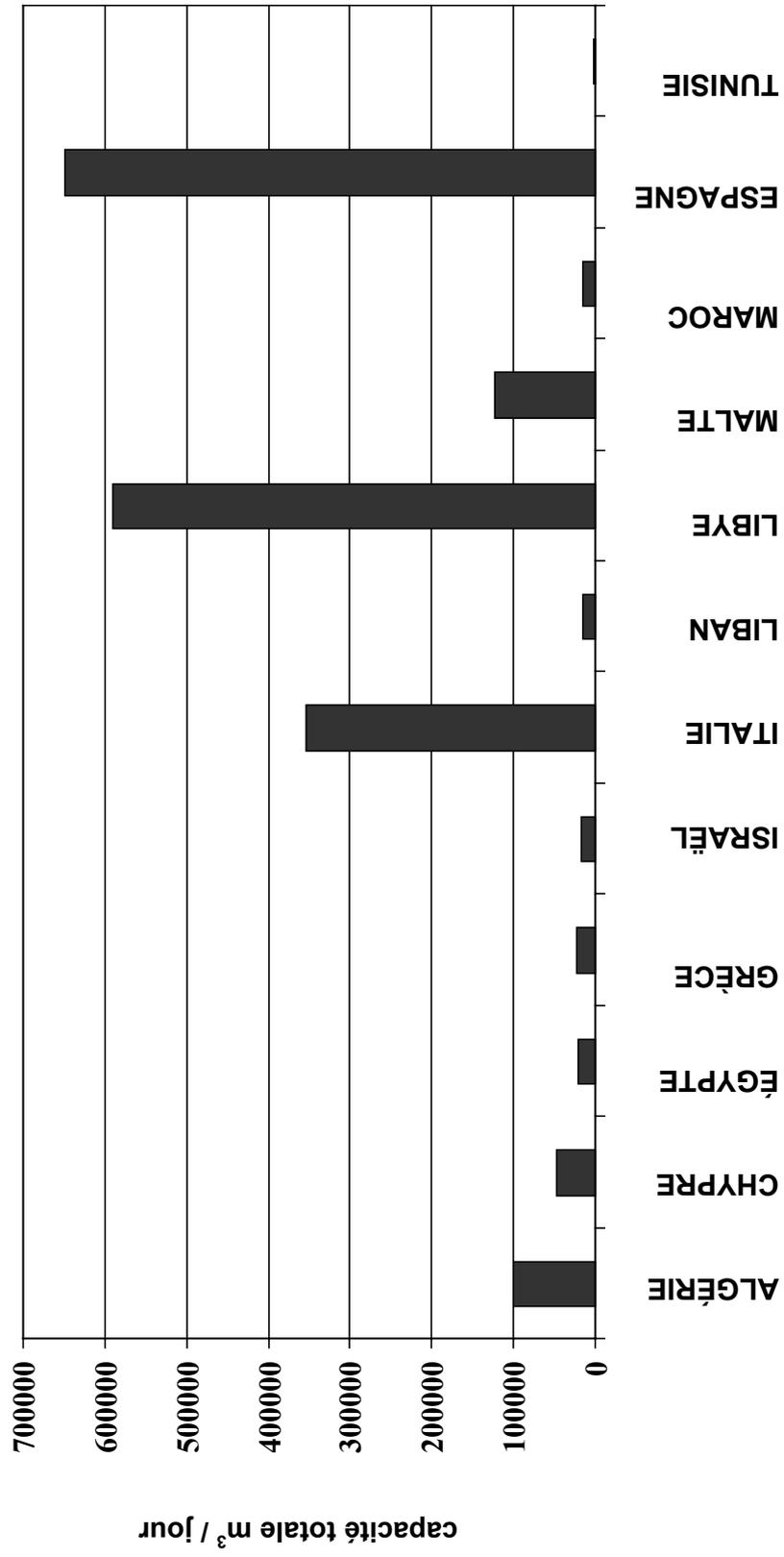
Pays	TOTAL	<i>% du total</i>
ALGÉRIE	100739	<i>5,15</i>
CHYPRE	46561	<i>2,38</i>
ÉGYPTE	20860	<i>1,07</i>
GRÈCE	21840	<i>1,12</i>
ISRAËL	17032	<i>0,87</i>
ITALIE	353990	<i>18,10</i>
LIBAN	15190	<i>0,78</i>
LIBYE	589604	<i>30,15</i>
MALTE	123868	<i>6,33</i>
MAROC	14802	<i>0,76</i>
ESPAGNE	648980	<i>33,18</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 750m³/jour. Au début des années 1970, la Libye a commencé à mettre en service des usines d'une capacité supérieure à 10 000 m³/jour et, à la fin 1999, la capacité totale des usines de dessalement se situait dans un intervalle supérieur à 1 million de m³/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 m³/jour.

Tableau 3

Capacité de production (m³/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>				
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 (m³/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.

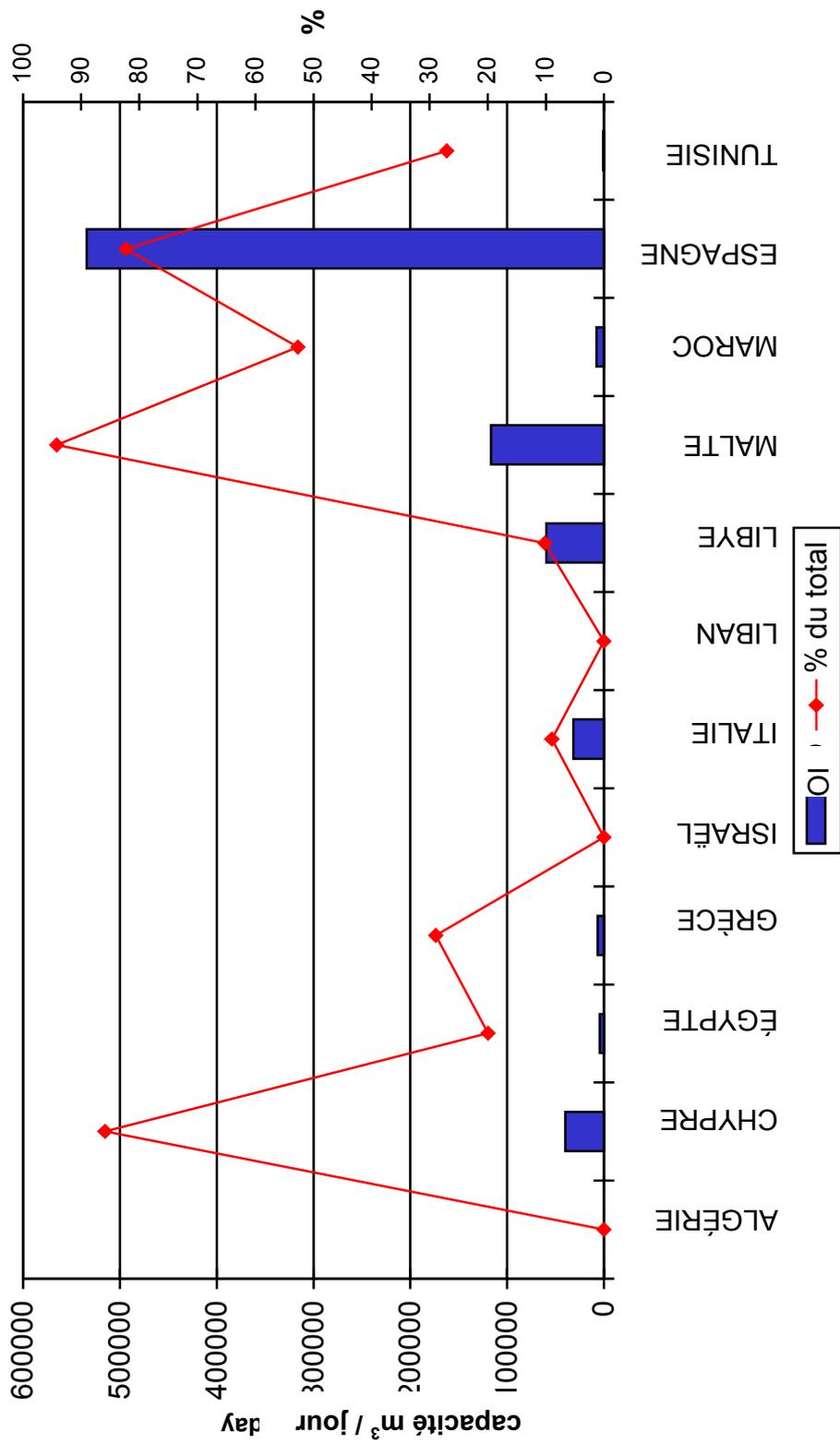


Fig. 12. Capacité de production (m³/jour) des usines MSF de dessalement d'eau de mer avec le pourcentage de la capacité totale dans chaque pays à la fin 1999.

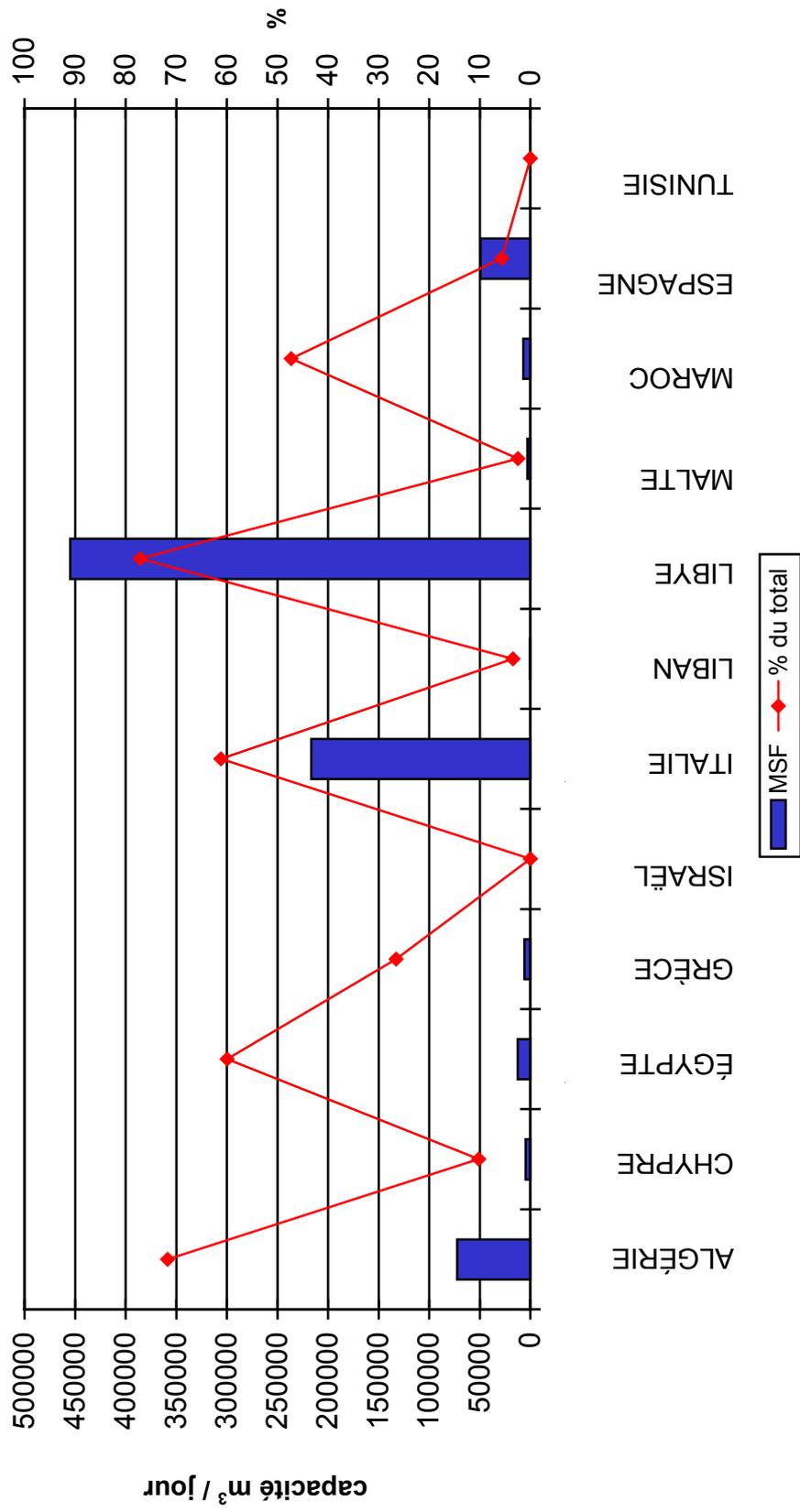


Fig. 13. Capacité de production (m³/jour) des usines VC de dessalement d'eau de mer avec le pourcentage correspondant de la capacité totale dans chaque pays à la fin 1999.

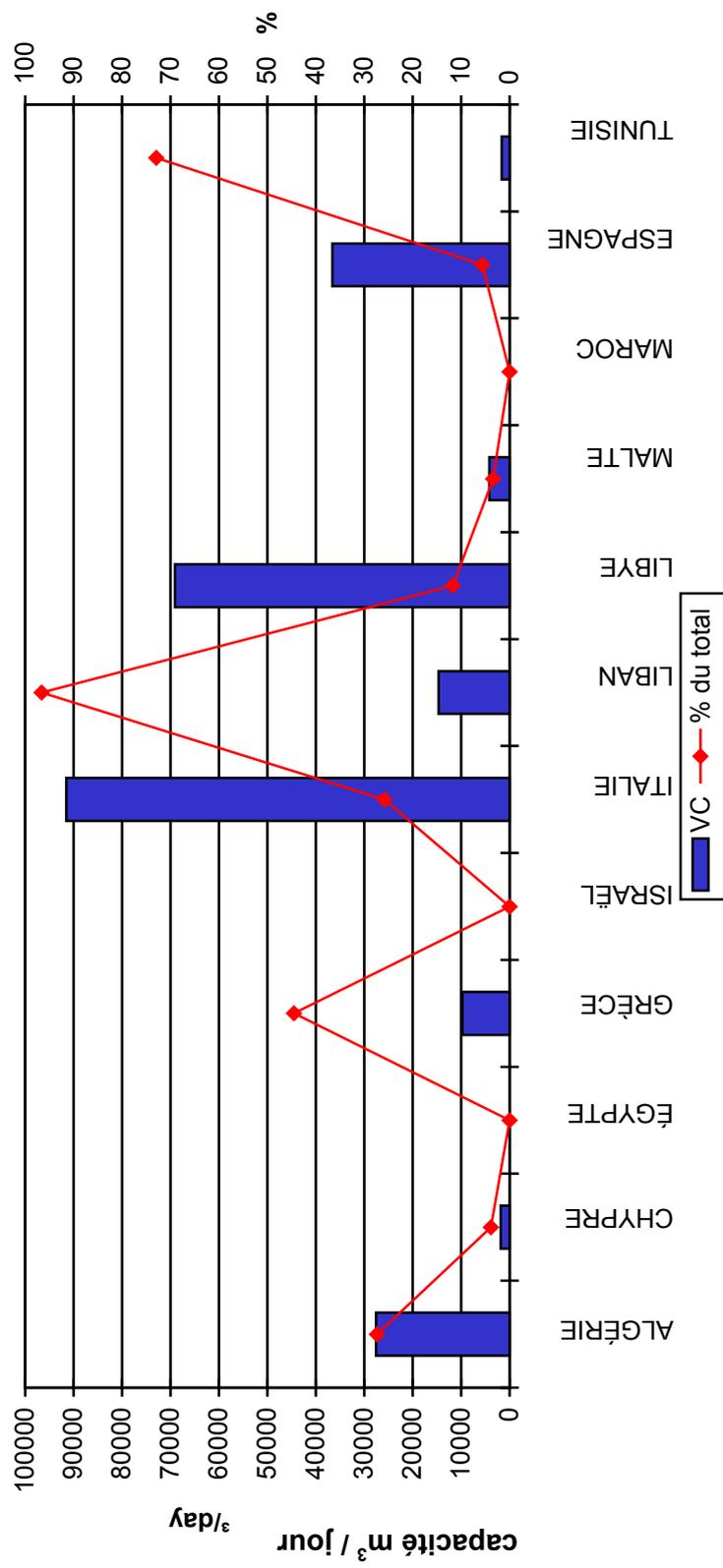


Tableau 4

Capacité de production(m³/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 ³ /jour				
	% 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 m³/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 4200m³/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 000m³/jour. La capacité de cette usine a été doublée en 1998 alors qu'une autre usine OI de 40 000m³/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 m³/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 032m³/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 m³/jour.

Sur la façade méditerranéenne du Maroc, il n'y a que deux usines MSF d'une capacité totale de 6 000m³/jour servant aux besoins de l'industrie et récemment (1995) une usine OI d'une capacité de 7800 m³/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 m³/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 160m³/jour, est passée à 455 000m³/jour in 1979, a doublé en 1989 et plus que doublé en 1999 avec une capacité totale atteignant 1 955 686m³/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 (m³/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 m³/jour) consommé par différents utilisateurs, à savoir: municipalités, industrie, centrales, installations militaires et irrigation, chaque année depuis 1970.

Tableau 5

Capacités de production (m³/jour) de différents types d'usines mises en service chaque année depuis 1970.

Type	OI	MSF	VC	ME & ED	Total
Année	m ³ /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
	78,48%	0,00%	21,52%	0,00%	100,00%
1990	58000	14400	12500		84900
	68,32%	16,96%	14,72%	0,00%	100,00%
1991	56000		1900		57900
	96,72%	0,00%	3,28%	0,00%	100,00%
1992	58760	5000	9400	1100	74260
	79,13%	6,73%	12,66%	1,48%	100,00%

Type	OI	MSF	VC	ME & ED	Total
Année	m³/jour	m³/jour	m³/jour	m³/jour	m³/jour
1993	38600	1440	68860		108900
	35,45%	1,32%	63,23%	0,00%	100,00%
1994	31600	39708	6200	4200	81708
	38,67%	48,60%	7,59%	5,14%	100,00%
1995	33420	48400	5750	1000	88570
	37,73%	54,65%	6,49%	1,13%	100,00%
1996	22750		15260	800	38810
	58,62%	0,00%	39,32%	2,06%	100,00%
1997	84600		2300	1800	88700
	95,38%	0,00%	2,59%	2,03%	100,00%
1998	101600		20280	12000	133880
	75,89%	0,00%	15,15%	8,96%	100,00%
1999	186600	10000	63720		260320
	71,68%	3,84%	24,48%	0,00%	100,00%
Total	801327	826301	256758	71298	1955686
% du Total	40,97	42,25	13,13	3,65	100,00

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			25160
	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
1971		47276			47276
	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
1972		58335	1000	598	59933
	0,00%	97,33%	1,67%	1,00%	100,00%
1973		107154	1000	598	108752
	0,00%	98,53%	0,92%	0,55%	100,00%
1974		185638	1000	598	187236
	0,00%	99,15%	0,53%	0,32%	100,00%
1975		222238	1000	598	223836
	0,00%	99,29%	0,45%	0,27%	100,00%
1976		292722	1000	598	294320
	0,00%	99,46%	0,34%	0,20%	100,00%
1977		368732	1000	598	370330
	0,00%	99,57%	0,27%	0,16%	100,00%
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

Type	OI	MSF	VC	ME & ED	Total
Année	m³/jour	m³/jour	m³/jour	m³/jour	m³/jour
	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 (m³/jour) de différents types d'usine de dessalement d'eau de mer mis en service dans les pays méditerranéens pour la période 1970 - 1999.

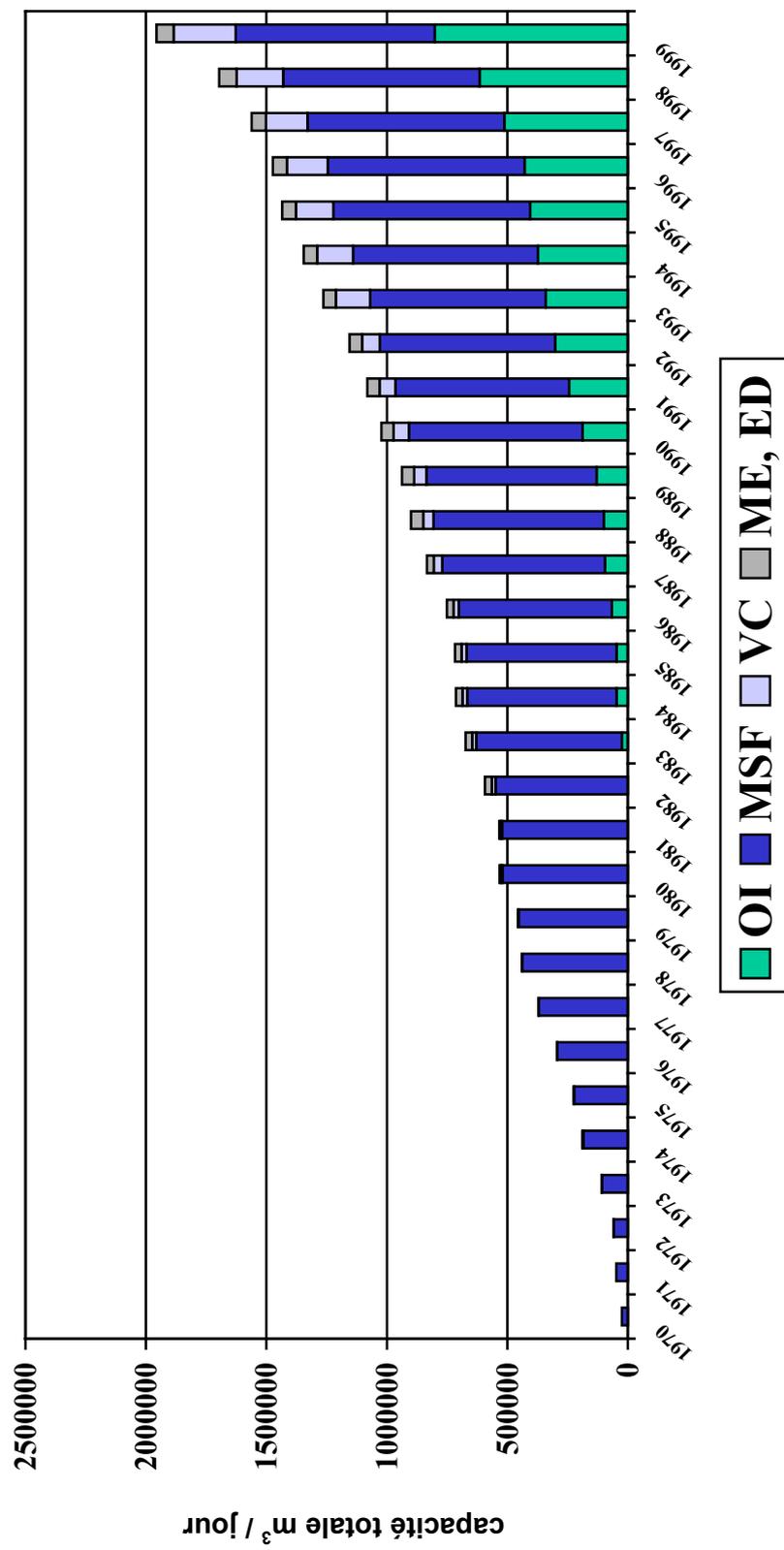
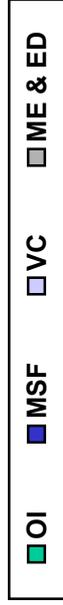
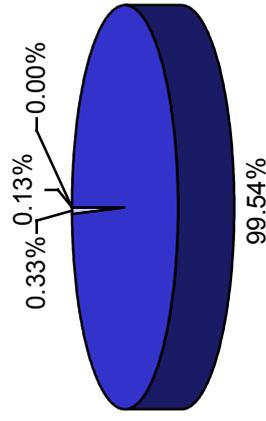
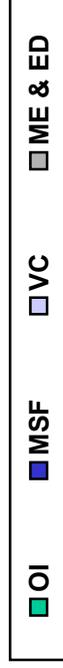
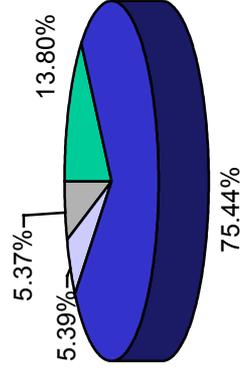


Fig. 16. L'évolution du type de procédé de dessalement adopté dans les pays méditerranéens au cours des trente dernières années (1970 - 1999).

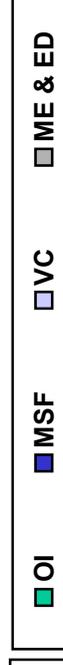
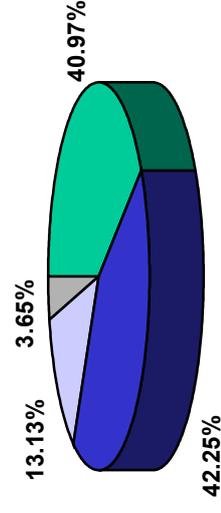
Fin 1979



Fin 1989



Fin 1989



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 m³/jour consommé par différents utilisateurs chaque année depuis 1970

ANNÉE	MUNI	INDU & CENTRALES	DEMO, IRR & MIL	m ³ /jour
1970	23000	2160	0	25160
	91,41	8,59	0,00	100,00
1971	23000	24276	0	47276
	48,65	51,35	0,00	100,00
1972	31558	28375	0	59933
	52,66	47,34	0,00	100,00
1973	34058	73975	719	108752
	31,32	68,02	0,66	100,00
1974	48058	138459	719	187236
	25,67	73,95	0,38	100,00
1975	76458	145659	1719	223836
	34,16	65,07	0,77	100,00
1976	109458	183143	1719	294320
	37,19	62,23	0,58	100,00
1977	152408	216203	1719	370330
	41,15	58,38	0,46	100,00
1978	204908	232483	1719	439110
	46,66	52,94	0,39	100,00
1979	209448	244083	2219	455750
	45,96	53,56	0,49	100,00
1980	263248	265954	2939	532141
	49,47	49,98	0,55	100,00
1981	263248	267408	2939	533595
	49,33	50,11	0,55	100,00
1982	295149	292849	4439	592437
	49,82	49,43	0,75	100,00
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 m³/jour par différents utilisateurs chaque année depuis 1970.

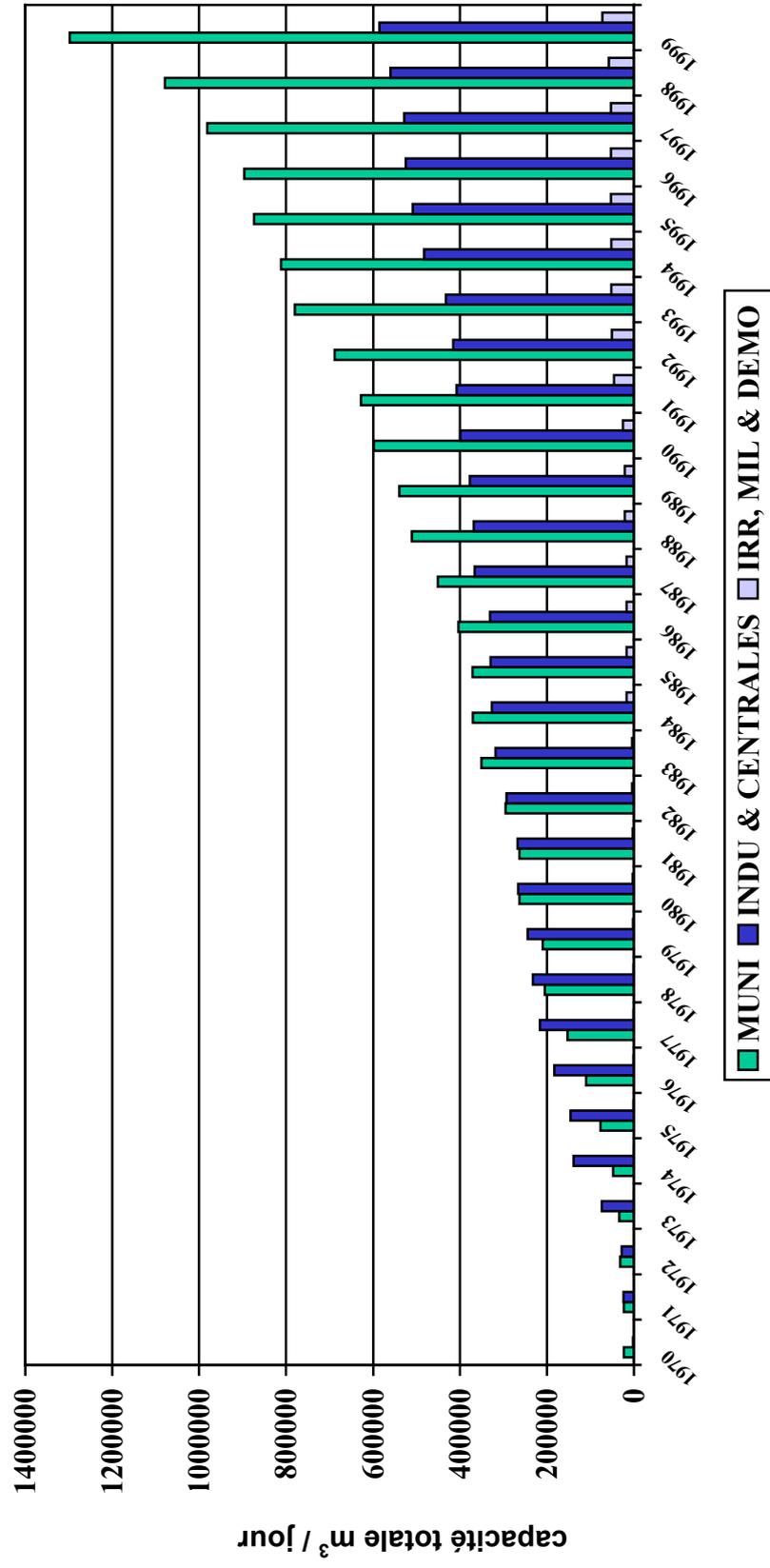
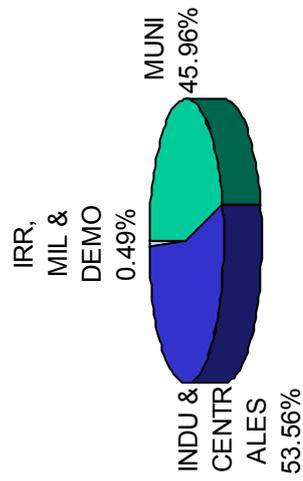
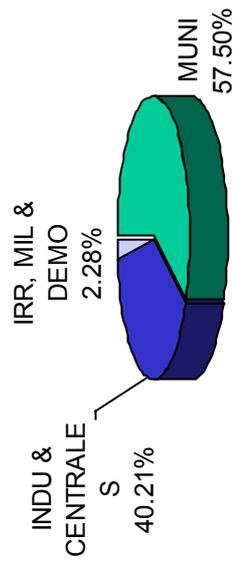


Fig. 18. L'évolution de l'utilisation de l'eau de mer dessalée au cours des trente dernières années dans les pays méditerranéens

Fin 1979



Fin 1989



Fin 1999

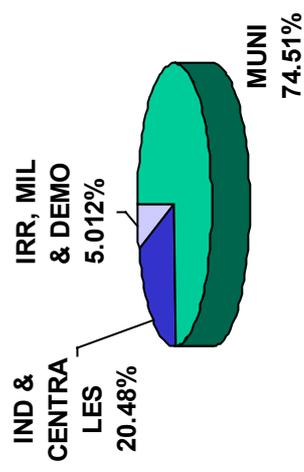
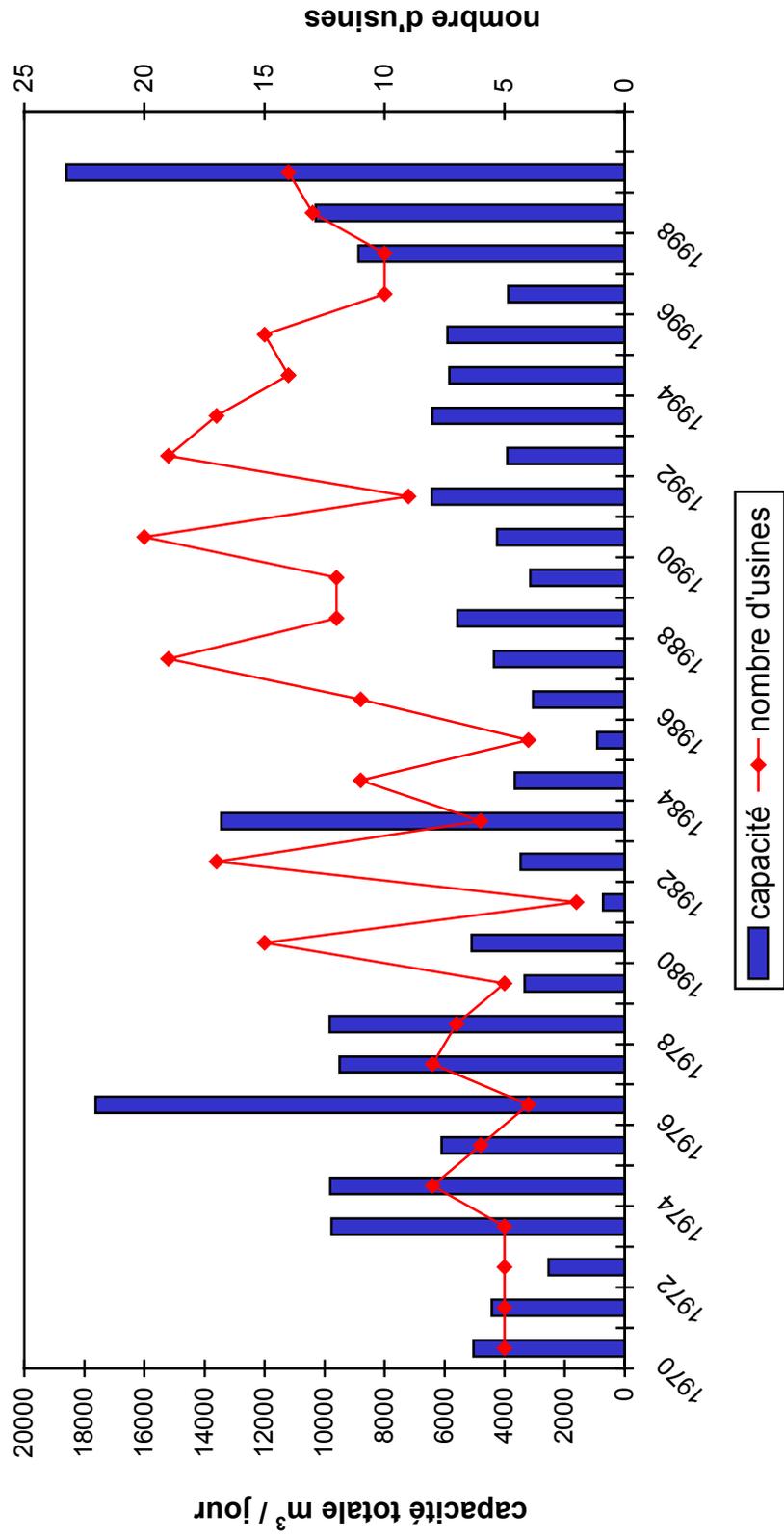


Fig. 19. Capacités et nombre d'usines mises en service chaque année depuis 1970.



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 m³/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 m³/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 m³/an, soit 140 000 m³/jour.

Tableau 8

Usines de dessalement d'eau de mer dotées d'une capacité de plus de 4 000 m³/jour dont la construction a été entreprise en 1998, 1999 et au début 2000

Pays	Emplacement	Capacité m³/jour	Type/unités	Utilisateur	Année de mise en service
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	MSF 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 ³	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 ³	11
Indicateur environnemental pour CO ₂ , kg CO ₂ /m ³	37
Indicateur environnemental pour SO ₂ , kg SO ₂ /m ³	0,09
Indicateur environnemental pour NO _x , kg NO _x /m ³	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 ³	1,8
Indicateur environnemental pour CO ₂ , kg CO ₂ /m ³	6
Indicateur environnemental pour SO ₂ , kg SO ₂ /m ³	0,005
Indicateur environnemental pour NO _x , kg NO _x /m ³	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 m³ 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 m³ 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)

(a) Phase de pré-traitement	Objet	Produits chimiques ajoutés	Devenir des produits
Ajustement du pH à 7	Diminue la concentration de carbonate (et la précipitation de carbonate). Protège la membrane contre l'hydrolyse	Acide (H ₂ SO ₄)	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
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 _S	Aération, Dégazage	Oxyde H _S et nH ₄ dans l'eau produite et dans la saumure concentrée

(a) Phase de pré-traitement	Objet	Produits chimiques ajoutés	Devenir des produits
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 m³/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, détritus 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 m³/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 Fujairah	Usine de comparaison
Capacité nominale, m ³ /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 ³	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)
Ca ⁺⁺	962	1.583	1,64
Mg ⁺⁺	1,021	1,09	1,87
Na ⁺	11,781	19,346	1,64
K ⁺	514	830	1,61
NH ₄ ⁺	0,004	0,005	1,25
HCO ₃ ⁻	195	256	1,31
CO ₃ ⁻	Nil	nil mg/l	
So ₄	3,162	5,548	1,75
Cl ⁻	21,312	43,362	2,03
F ⁻	1,5	1,9	1,26
NO ₃ ⁻	2,6	4	1,54
PO ₄ ⁻	0-08	0,4	5
NO ₂ ⁻	0,03	0,05	1,67
Dureté totale en CaCO ₃	6,600	11,800	1,78
Salinité totale (TSD)	38,951	63,840	1,64
Fe ^{***}	0,04	0,05	1,25
Al ⁺⁺⁺	0,001	0,007	7
PH	6,33	6,26	NA
Conductivité	46,200 µS	75,300 µS	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 ₄	0,0	0,0	-
HCO ₃	160,0	315,3	1,97
CO ₃	0,2	0,4	2
So ₄	3,406,0	6,745,1	1,98
Bα	0,0	0,0	-
Sr	0,0	0,0	-
Cl	22,099,0	43,661,5	1,976
F	0,0	0,0	-
NO ₃	0,0	0,0	-
P	0,0	0,0	-
SiO ₂	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

Impact	Degré d'impact	Origine de l'impact	Techniques d'atténuation
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 chez les animaux aquatiques	M M	Perturbation des sables par des activités d'excavation et de dragage	Réduction au minimum et contrôle des activités d'excavation et remblayage 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
Effet			
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 antisalissures 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 antisalissures 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 m³/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 000m³/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 m³ /jour, rejette sa saumure par un émissaire à 450 m du rivage, et celle installée à Suresta (également OI), avec une capacité de 10 000m³/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 000m³/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 styloporos, 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 CO₂, SO₂ et NO_x, 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)
OI				
a) Phase de pré-traitement				
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) Phase de traitement 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)

c) Phase de post-traitement						
- pH de l'eau produite ajusté à 7,0	NaOH, carbonate de sodium anhydride, 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						
a) Procédé de traitement						
-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 I)		
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 I)		
- 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 caloporteurs du distillateur	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 ₂ , NO _x CO ₂	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 m³/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., Darwish, M. and Cavvalho, J. (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 Madany, I. (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 Cuccinello, M. (1999), Saltwater desalination in *Water Treatment Primer*.
- (9) BLUE PLAN (2000), Mediterranean vision on water, population and the environment for the 21st 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., Gerhard, J. and Largier, J. (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., Smith, S., Evans, K. and Muir, J. (1989), *Desalination*, 73:341
- (19) Falzon, L. and Gingell, B. (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., Blake, N., Dye, C. and Tomasko, C. (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, ÉGYPTE. *Desalination*, Vol. 97, pp.453-465
- (29) Mickley, M., Hamilton, R., Gallegos, L. and Truesdall, J. (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 Tood, B. (1996), *Desalination*, 108 p.
- (32) Sabri, Z.A., McLagan, G.P. and Hagenshohh (1980), "Safety and Environmental Impact of Fossil Fueled Desalination Plants Proceeding of the 7th 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., Shiger, S. and Ayako, M. (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 Fletcher, R.S. (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 Lardner, R. (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 M³/JOUR EN SERVICE DANS LES PAYS MÉDITERRANÉENS

Pays	Emplacement	Capacité m ³ /jour	Type/Unité	Utilisateur	Année de mise en service
ALGÉRIE	Mers el Hadjiari	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 Hadjiari	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
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

Pays	Emplacement	Capacité m ³ /jour	Type/Unité	Utilisateur	Année de mise en service
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	Ashold	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
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

Pays	Emplacement	Capacité m ³ /jour	Type/Unité	Utilisateur	Année de mise en service
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
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

Pays	Emplacement	Capacité m ³ /jour	Type/Unité	Utilisateur	Année de mise en service
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
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

Pays	Emplacement	Capacité m ³ /jour	Type/Unité	Utilisateur	Année de mise en service
MALTE	CharLapsi	20000	OI/10	MUNI	1983
MALTE	CharLapsi	4000	OI/1	MUNI	1986
MALTE	Cirkezza	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
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

Pays	Emplacement	Capacité m ³ /jour	Type/Unité	Utilisateur	Année de mise en service
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
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

Pays	Emplacement	Capacité m ³ /jour	Type/Unité	Utilisateur	Année de mise en service
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	Maspaslomas	7500	OI/3	TOUR	1987
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

LIGNES DIRECTRICES

GESTION ÉCOLOGIQUEMENT RATIONNELLE DES USINES DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER DANS LA RÉGION MÉDITERRANÉENNE

TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION	1
2.	APERCU GENERAL DES POLITIQUES ET ASPECTS JURIDIQUES	2
2.1	Gestion des ressources en eau et gestion du littoral	2
2.2	Protection du milieu marin	2
3.	INTEGRATION DES ACTIVITES DE DESSALEMENT DANS LES PLANS NATIONAUX DES GESTION DE L'EAU ET DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT	3
3.1	Plan d'aménagement côtier	3
3.2	Politique nationale de gestion de l'eau	3
3.3	Politique nationale de protection de l'environnement	4
3.3i.	Application des dispositions du Protocole tellurique	4
3.3ii	Application des dispositions du Protocole "immersions"	13
4.	ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT POUR LES USINES DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER	13
4.1	Eléments de l'EIE	13
4.1.i	Utilisation du sol et emplacement de l'usine	13
4.1.ii	Options énergétiques et qualité de l'air	14
4.1.iii	Systèmes d'apport d'eau de mer	15
4.1.iv	Rejets de saumure et de substances chimiques	17
4.1.v	Mélange des déchets avec d'autres rejets	22
4.1.vi	Conditions océanographiques et utilisation de modèles de dispersion	23
4.1.vii	Effets transfrontières	25
4.1.viii	Accroissement potentiel de la demande d'eau	27
4.1.ix	Impacts socio-économiques, y compris les impacts sur les citoyens	30
4.1.x	Programmes de surveillance continue avant et après les opérations	31
4.2	Comment entreprendre l'étude d'impact sur l'environnement	32
4.3	Liste des éléments à prendre en considération dans l'EIE	33
5.	CLASSEMENT DES PROCEDES DE DESSALEMENT EN FONCTION DE LEURS IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT	35
6.	PERMIS TYPE POUR LA CONSTRUCTION ET L'EXPLOITATION D'USINES DE DESSALEMENT D'EAU DE MER	37
7.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	40

1 INTRODUCTION

La croissance démographique dans le monde s'accompagne d'une augmentation de la demande d'eau potable tandis que l'industrialisation, l'irrigation des sols et l'élévation des niveaux de vie se traduisent par un accroissement supplémentaire de la consommation d'eau douce par habitant. Cette évolution se produit surtout sur une étroite bande de littoral où près de la moitié de la population de la planète vit, et cette proportion atteindra les trois quarts d'ici à 2020 (Action 21, 1992). Dans la région méditerranéenne, comme dans le monde, la croissance démographique et l'intensité de l'activité socio-économique font de l'eau douce une ressource de plus en plus rare. L'exploitation des ressources en eau en est arrivée à un degré qui épuise les disponibilités dans certains pays méditerranéens, et d'autres pays ne seront probablement pas loin d'y parvenir ultérieurement. Selon les estimations la demande totale dans la région, qui était de 300 milliards de mètres cubes par an en 1990, augmentera de 32 % d'ici à 2010 et de 55 % d'ici à 2025, pour atteindre plus de 460 milliards de mètres cubes (Margat et Vallée, 2000).

La perspective d'une grave pénurie d'eau, qui restreindra le développement futur et pourra causer des dommages à l'environnement, indique qu'il est nécessaire de mettre en place de nouvelles stratégies de gestion des ressources en eau. Il faut intégrer, dans les politiques et plans de gestion, des méthodes non conventionnelles comme la récupération des eaux usées et le dessalement de l'eau de mer qui deviendront indispensables pour répondre à la demande croissante dans la Méditerranée et éviter la surexploitation des ressources conventionnelles. C'est essentiellement le secteur de l'agriculture, avec l'irrigation, qui bénéficie du recyclage des eaux usées, tandis que les principaux utilisateurs de l'eau de mer dessalée sont les communautés (eau de boisson) et les industries de pointe (eau pure) (Ribiero, 1996). Etant donné la longueur du rivage méditerranéen et l'importance de l'eau dessalée pour les îles qui peuvent en être très dépendantes, l'industrie du dessalement qui est pourtant déjà bien implantée dans certaines régions côtières de la Méditerranée prendra de plus en plus d'importance en tant que productrice d'eau douce. La mer semble être une source inépuisable d'eau douce et le potentiel de développement de cette industrie est énorme.

Pour exploiter l'eau de mer aux fins de dessalement, il faut au départ une eau brute de bonne qualité, mais les masses d'eau côtières subissent souvent les effets préjudiciables des rejets d'eaux usées provenant de toute une série d'activités menées à terre, y compris des installations de dessalement. Le courant de déchets produits par le dessalement se présente généralement sous la forme d'une saumure dont la salinité peut augmenter avec la température et qui contient des substances chimiques résiduelles du prétraitement, des métaux lourds dus à la corrosion ou des agents chimiques utilisés par intermittence pour le nettoyage: Le rejet dans la mer de ces déchets aux multiples composants, soit directement par les émissaires côtiers soit indirectement par des bateaux, risque donc d'avoir des effets préjudiciables à la qualité de l'eau et des sédiments ou de nuire aux écosystèmes marins. Bien que les impacts soient le plus souvent liés au concentré, les usines de dessalement peuvent aussi être de grandes installations industrielles qui prennent de l'espace, exigent de l'énergie et émettent d'énormes quantités de gaz de combustion, ou peuvent avoir des effets indirects sur le développement socio-économique.

Etant donné la forte demande de dessalement prévue dans la Méditerranée, il faut que les gouvernements prennent en compte, dans la planification et la gestion des nouveaux projets, des impacts potentiels environnementaux et socio-économiques qui en résulteront. A cet égard, le MED POL a procédé à une évaluation des activités de dessalement de l'eau de mer et de leurs impacts sur l'environnement (PNUE/MED, 2002a) et formulé des recommandations concernant l'élaboration de lignes directrices pour la gestion du dessalement de l'eau de mer (PNUE/MED, 2002b). Les deux documents et les conclusions d'une réunion d'experts tenue à Forli (Italie) du 16 au 18 mai 2002 ont servi de base à l'élaboration des présentes "Lignes directrices pour la gestion écologiquement rationnelle des usines de dessalement de l'eau de mer dans la région méditerranéenne", qui tiennent

compte aussi des dispositions du Protocole tellurique et du Protocole "immersions". Les deux protocoles constituent le cadre juridique de la réglementation à appliquer à l'élimination des déchets dans la Méditerranée par les émissaires ou les navires, et sont donc applicables aux rejets provenant du dessalement de l'eau de mer.

2 APERCU GENERAL DES POLITIQUES ET ASPECTS JURIDIQUES

2.1 Gestion des ressources en eau et gestion du littoral

Le littoral méditerranéen est une zone d'intense activité, où l'eau devient une ressource de plus en plus rare. Le développement futur dépend des disponibilités en eau, mais épuisera encore davantage les ressources conventionnelles. Cela étant, l'eau de mer représente une solution, un réservoir inépuisable qui peut être d'un grand secours grâce aux techniques de dessalement. L'augmentation des activités de dessalement peut à son tour retentir de façon positive sur le développement côtier, s'il ne subit plus les contraintes dues à la limitation de l'eau.

Il conviendrait donc que le développement des activités de dessalement fasse partie intégrante de la politique de gestion des ressources en eau, et en particulier la gestion des eaux côtières. Les disponibilités en eau et la croissance économique étant étroitement liées, il faudrait également intégrer les questions de gestion des ressources en eau et de dessalement de l'eau de mer dans l'aménagement de l'ensemble des zones côtières aux fins du développement durable de la région.

Dans la pratique, il est possible d'y parvenir notamment dans le cadre du Programme d'aménagement côtier du PAM (PAC) au titre duquel des projets d'aménagement sont mis en oeuvre dans certaines zones côtières des pays méditerranéens. L'expérience montre que la gestion des ressources en eau est déjà une composante essentielle de la plupart des projets en raison de la forte demande locale, de la pollution ou de la surexploitation des ressources conventionnelles. Il faut aussi tenir compte dans les projets PAC de la question émergente du dessalement de l'eau de mer et des retombées des nouvelles usines qui favorisent l'essor économique. Là où aucun projet PAC n'a été entrepris, un plan d'aménagement côtier peut servir de cadre juridique à la gestion des nouvelles usines de dessalement et au développement socio-économique qui en découle.

2.2 Protection du milieu marin

Le dessalement de l'eau de mer est un processus industriel qui doit être bien conçu et bien géré; sinon, il peut avoir sur l'environnement des effets préjudiciables dus entre autres à la modification de l'utilisation du sol de la zone côtière, aux nuisances créées par les travaux de construction et aux émissions causées dans l'air, le sol ou l'eau par le fonctionnement de l'usine.

En particulier, les rejets de déchets dans le milieu marin peuvent altérer la qualité de l'eau et des sédiments. Il s'agit de déchets aux composants multiples qui peuvent contenir des produits chimiques résiduels du prétraitement, de métaux lourds dus à la corrosion ou d'agents chimiques utilisés par intermittence pour le nettoyage, auxquels s'ajoutent l'augmentation de la salinité et de la température. L'altération de la qualité de l'eau de mer et des sédiments peut, à son tour, nuire à la faune et à la flore marines et avoir un effet durable sur les écosystèmes côtiers. Il conviendrait donc que les effluents provenant du dessalement de l'eau de mer soient en conformité avec les politiques et protocoles nationaux et régionaux concernant l'environnement.

Les Protocoles tellurique et "immersions" fournissent le cadre juridique à l'intérieur duquel doit s'inscrire la réglementation de l'élimination des déchets dans la Méditerranée. Etant donné qu'ils sont généralement rejetés directement dans la mer par les émissaires côtiers ou éliminés par des bateaux, les déchets des usines de dessalement tombent sous le coup des

dispositions des deux protocoles. Et, puisque les Parties contractantes à la Convention de Barcelone sont tenues d'incorporer les dispositions des protocoles qu'elles ont ratifiés dans leurs législations nationales, les instances nationales chargées de l'environnement devraient étendre l'application des politiques en vigueur aux activités de dessalement de l'eau de mer.

Les impacts potentiels sur l'environnement peuvent être directement liés à l'activité de dessalement (par ex. aux émissions dans la mer), mais ils peuvent aussi résulter indirectement des disponibilités en eau. L'augmentation de ces disponibilités favorisant la croissance socio-économique, le dessalement de l'eau de mer pose un problème nouveau pour la gestion des ressources en eau et la gestion du littoral. Et, par ailleurs, la gestion intégrée du littoral exige la prise en compte des impacts potentiels de toute activité sur l'environnement, y compris ses effets, directs et indirects cumulés. Il faudrait donc que les nouveaux approvisionnements en eau stimulent l'essor socio-économique uniquement quand l'environnement peut le supporter, compte tenu des objectifs à long terme de l'aménagement côtier.

3 INTEGRATION DES ACTIVITES DE DESSALEMENT DANS LES PLANS DE GESTION DE L'EAU ET DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

La gestion des usines de dessalement de l'eau de mer ne fait l'objet jusqu'ici que de dispositions assez limitées dans les pays méditerranéens, qui doivent par conséquent prendre les devants pour faire face à la croissance prévue de cette industrie dans la région. Il faut que les autorités nationales compétentes prennent des mesures concrètes pour que les activités de dessalement soient prises en compte dans les plans d'aménagement côtier, les politiques de gestion de l'eau et la réglementation concernant l'environnement.

En outre, elles doivent réagir aux propositions de création de nouvelles usines, au cas par cas, en évaluant les impacts potentiels. Il peut s'agir d'impacts socio-économiques, ou d'effets préjudiciables au milieu marin si la nouvelle usine n'est pas bien conçue ou gérée. Il faut par exemple déterminer si la proposition va dans le sens du plan d'aménagement côtier ou si elle respecte les normes environnementales, telles que les limites d'effluent.

3.1 Plan d'aménagement côtier

Un plan d'aménagement côtier peut indiquer les priorités du développement. Ainsi, le zonage ou des normes d'aménagement foncier (zones à usage réservée) peuvent garantir que la nouvelle installation sera implantée dans le périmètre ou à proximité d'une zone déjà développée. Les normes d'utilisation du sol peuvent être réparties à différents niveaux – municipal, régional ou national – à condition que la cohérence soit assurée entre les plans d'un niveau à l'autre. L'élaboration des normes devrait incomber à l'autorité nationale chargée de l'environnement, ou à l'autorité côtière dont dépend la zone envisagée, avec la participation des autres organismes nationaux ou locaux compétents.

En fonction des plans d'aménagement, les usines de dessalement devraient être implantées dans des zones où la construction de nouvelles installations industrielles est permise et l'essor socio-économique qui en résultera sera conforme aux objectifs à long terme fixés pour cette zone. Par exemple, il pourrait être souhaitable d'implanter de nouvelles installations de dessalement à l'intérieur d'un périmètre urbain, alors qu'il ne serait pas permis de le faire dans un environnement intact dont la préservation est l'objectif premier.

3.2 Politique nationale de gestion de l'eau

La formulation d'une politique nationale de gestion de l'eau qui tient compte de la question nouvelle du dessalement exige la mise en place d'une équipe spéciale intersectorielle appelée à traiter de tous les aspects liés au dessalement et de tous les problèmes qu'il pose. Doivent y participer des représentants de différents secteurs, y compris les responsables de la gestion des ressources en eau, les producteurs, les consommateurs et les ONG. Comme

le dessalement peut avoir des effets potentiellement préjudiciables à l'environnement, il est essentiel aussi que les instances nationales chargées de l'environnement ou les autorités côtières dont dépend la zone envisagée participent aux travaux de l'équipe spéciale.

Les aspects à prendre en considération lors de la formulation d'une politique nationale de gestion de l'eau sont l'extraction, l'affectation, la conservation et la réutilisation. Avant d'envisager le dessalement de l'eau de mer, il faut examiner les autres sources d'extraction de l'eau et les possibilités de conservation et de réutilisation. Dans les politiques nationales de gestion de l'eau, il ne faudrait encourager le dessalement de l'eau de mer que lorsqu'il est impossible d'exploiter les ressources conventionnelles (comme les aquifères) ou que cette exploitation cause des dommages à l'environnement. Les mesures de conservation, par exemple le maintien de l'infrastructure d'approvisionnement en eau et les campagnes de sensibilisation aux économies d'eau, pourraient contribuer à réduire les problèmes posés par la rareté de l'eau. Une autre option consiste à récupérer les eaux usées et à les utiliser, après un traitement minimum, dans des secteurs comme l'agriculture qui consomment beaucoup d'eau.

Au cas où le dessalement de l'eau de mer serait indispensable, la politique nationale de gestion de l'eau devrait fournir des orientations quant à la planification des nouveaux projets. Il faudrait prendre en considération l'objectif de la nouvelle installation, sa taille et son emplacement, et se demander, par exemple, si une installation permanente est nécessaire ou si un approvisionnement temporaire suffit pour remédier aux effets d'une période de sécheresse. La taille de la nouvelle installation peut être fonction des besoins du moment, ou de la demande future. Une usine peut fournir de l'eau uniquement pour la population et l'industrie locales, ou en produire en excédent pour approvisionner aussi d'autres régions. A cet égard, il convient de déterminer s'il est préférable de créer plusieurs petites usines ou au contraire une seule usine de grande taille.

3.3 Politique nationale de protection de l'environnement

Une usine de dessalement peut avoir des effets indirects sur l'environnement car elle suppose une modification de l'utilisation du sol et le développement accru de la zone côtière. L'implantation d'une nouvelle usine devrait donc être approuvée par les instances chargées de la réglementation du développement du littoral. Il faudrait que le développement s'inscrive dans le cadre des plans de protection de l'environnement et tienne compte des objectifs à long terme du plan d'aménagement côtier. Les impacts directs peuvent être attribués aux émissions atmosphériques et aux rejets dans le milieu marin. L'élimination dans le milieu marin devrait être subordonnée à la délivrance d'un permis de rejet par les instances nationales chargées de l'environnement, compte tenu de la législation et des protocoles régionaux en vigueur.

3.3.i Application des dispositions du Protocole tellurique

Aux termes du Protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution provenant de sources et activités situées à terre, les Parties "prennent toutes mesures appropriées pour prévenir, réduire, combattre et éliminer dans toute la mesure possible la pollution de la zone de la mer Méditerranée due aux déversements par les fleuves, les établissements côtiers ou les émissaires, ou émanant de toute autre source et activité terrestre située sur leur territoire"¹. Le Protocole modifié de 1996 fait aussi explicitement état des rejets dans les cours d'eau, y compris les étangs et les lagunes côtiers, et les eaux souterraines communiquant avec la mer, et des dépôts sous le lit de la mer².

En général, les usines de dessalement de l'eau de mer rejettent directement leurs déchets dans la mer par les émissaires côtiers. Elles peuvent aussi injecter la saumure dans le sol, ce qui est souvent le cas pour celles qui n'ont pas d'accès direct à la mer. La saumure peut

¹ Article premier du protocole originel et du protocole modifié

² Articles 3 d) et 4.1 a) du protocole originel et du protocole modifié

alors pénétrer dans aquifères souterrains qui se mêlent aux eaux souterraines du rivage pour finir dans la Méditerranée. Les usines côtières peuvent aussi injecter la saumure dans des puits ou des bassins de filtrage afin qu'elle se disperse dans les couches aquifères des dunes ou dans le fond de la mer. Après la ratification et l'entrée en vigueur du Protocole modifié, les différentes options de rejet tomberont sous le coup des dispositions de cet instrument.

Classement des rejets des usines de dessalement conformément aux annexes I et II

Le Protocole tellurique de 1983 distingue deux catégories de polluants qui sont énumérés dans des annexes séparées. La pollution de la zone du Protocole par des substances toxiques, persistantes et susceptibles de bio-accumulation (annexe I) est à éliminer. A cette fin, les Parties contractantes à la Convention de Barcelone sont tenues d'élaborer et d'adopter les programmes, mesures, normes communes de rejet et critères d'utilisation qui sont nécessaires³.

Les substances polluantes énumérées à l'annexe II ont été retenues sur la base des mêmes critères que celles de l'annexe I, mais elles sont généralement moins nocives. La pollution de la mer Méditerranée par ces substances est strictement limitée dans le cadre de programmes et de dispositions prises à cette fin, et les rejets sont subordonnés à la délivrance d'une autorisation par les autorités nationales compétentes⁴. Toutes les variables physiques des effluents et la plupart des composés chimiques susceptibles d'être présents dans les rejets du dessalement s'inscrivent dans cette catégorie de substances, auxquelles s'applique l'annexe II (tableaux 3-1 à 3-4).

Le Protocole tellurique modifié de 1996, qui n'a pas encore été ratifié, regroupe en une annexe la plupart des substances qui faisaient l'objet des annexes I et II du Protocole originel. Des plans et programmes d'action nationaux et régionaux doivent être mis en oeuvre pour éliminer la pollution de la Méditerranée par ces substances. De plus, tous les rejets de sources ponctuelles sont strictement subordonnés à la délivrance d'une autorisation par les autorités compétentes ou à l'application de la réglementation établie par les autorités nationales. Les dispositions de l'annexe du Protocole modifié, qui sont pour la plupart analogues à celles des annexes I et II du Protocole originel, sont reprises dans les tableaux 3-1 à 3-4.

La salinité, la température et l'oxygène dissous sont des variables naturelles de l'eau de mer qui sont altérées par le dessalement. Leurs valeurs d'effluent s'écartent des valeurs ambiantes au site de rejet et pourraient être nocives pour la faune et la flore marines (tableau 3-1). L'annexe II comprend les rejets thermiques et substances qui ont un effet défavorable sur la teneur en oxygène de l'eau de mer. La faible teneur en oxygène de la saumure est souvent due à la désaération physique et non à la présence de désoxygénants, mais l'effet est le même et la teneur en oxygène doit être visée par les dispositions de l'annexe II. Le degré élevé de salinité ne figure pas explicitement parmi les polluants dans les annexes, mais il devrait être soumis à réglementation conformément à l'annexe II qui s'applique aux substance qui, bien que par nature non toxiques, peuvent devenir nocives. Les organismes marins sont adaptés à la concentration des sels dissous dans l'eau de mer, dont dépend leur vie et qui n'est donc pas toxique. Les variations de la salinité naturelle sont généralement tolérées, mais de fortes concentrations de sels dissous dans les effluents peuvent être préjudiciables à la faune et à la flore marines.

Les métaux lourds dans la mer proviennent de la corrosion des parois des éléments de l'usine. Suivant les matériaux de construction utilisés, les rejets peuvent contenir des quantités-traces de fer, chrome, molybdène, nickel, cuivre et titane (voir aussi section 4.1.iv). Sauf le fer, qui ne figure pas parmi les polluants, tous ces métaux et leurs composés sont

³ Article 5 du protocole originel et du protocole modifié

⁴ Article 6 du protocole originel et du protocole modifié

visés par l'annexe II du Protocole. Leur rejet dans la Méditerranée est donc strictement limité et subordonné à la délivrance d'une autorisation par les autorités nationales compétentes (tableau 3-1). Dans les mesures d'élimination de la pollution par le cuivre et ses composés qu'elles ont adoptées, les Parties contractantes ont fixé une limite d'effluent pour le cuivre de 500µg/l et, pour la qualité de l'eau, un objectif de 8µg/l (PNUE/OMS, 1996).

Le chlore est un biocide couramment utilisé dans les procédés de dessalement, et il en reste souvent des concentrations résiduelles dans les effluents des usines de dessalement par distillation. Des composés organohalogénés peuvent se former dans l'usine ou dans le milieu marin à la suite du rejet (voir aussi section 4.1.iv). La pollution par des substances qui peuvent donner naissance à de tels composés doit être éliminée conformément aux dispositions de l'annexe I, exception faite de ceux qui sont biologiquement inoffensifs ou transformés en substances biologiquement inoffensives (tableau 3-2). Le chlore se décompose rapidement en chlorure et oxygène qui sont des composants naturels de l'eau de mer. Cette décomposition réduit le risque de formation de composés organohalogénés, mais ne l'élimine pas entièrement. Les temps de séjour sont suffisamment longs pour que des réactions puissent se produire entre le chlore et les matières organiques dissoutes dans l'eau de mer. La preuve est faite que certains de ces composés, dont la présence a été décelée dans les effluents des usines de dessalement et aux sites de rejet, comme le bromoforme et d'autres trihalométhanes, sont carcinogènes pour les animaux. Cependant, la composition des dérivés de la chloration et leurs concentrations dans l'environnement sont très variables, car elles dépendent de la disponibilité des matières organiques au site de rejet. Conformément à l'annexe I, la pollution par des substances qui se sont révélées avoir un pouvoir carcinogène, tératogène ou mutagène sont à éliminer. L'annexe I ne s'applique pas aux rejets des usines de dessalement quand les concentrations d'effluent restent inférieures aux limites fixées par les Parties. L'annexe II porte sur les biocides et leurs dérivés qui ne sont pas visés par l'annexe I.

Les coagulants et additifs de coagulation s'accumulent sur les filtres des usines OI et sont éliminés par lavage à contre courant, ce qui produit une boue susceptible d'être évacuée dans le milieu marin. La boue contient en outre des matières en suspension qui ont été éliminées de l'eau d'alimentation (voir aussi section 4.1.iv). L'évacuation des boues dans le milieu marin devrait se faire conformément à l'annexe II du Protocole tellurique. Les boues ne sont généralement pas toxiques, mais peuvent devenir nocives lorsqu'elles altèrent les caractéristiques chimiques et physiques de l'eau de mer, par exemple, en provoquant une augmentation dans la colonne d'eau de matières en suspension qui peuvent faire obstacle à la pénétration de la lumière (tableau 3-2).

Les agents antimousse, comme les polyglycols, qui sont d'usage courant dans les usines de dessalement par distillation, ont des propriétés tensioactives dues à leur solubilité dans l'eau et les solvants organiques (voir aussi section 4.1.iv). Dans le Protocole tellurique, les détergents et les substances tensioactives non biodégradables sont visés par l'annexe II et leur rejet doit être limité (tableau 3-2). La dégradabilité des polyglycols dépend fortement de leur poids moléculaire. Environ 80% de la fraction de masse moléculaire inférieure à 4 000g/mole (Falbe et Regitz, 1995) est dégradable, mais la polymérisation du polyéthylène glycole peut atteindre 5 000 000 g/mole. En 1996, les Parties contractantes ont adopté des mesures de lutte contre la pollution par les détergents. Elles ont notamment décidé que seuls devraient être utilisés les détergents dont le taux de biodégradabilité est raisonnable (90%) (PNUE/OMS, 1996).

Les agents antitartre qui sont utilisés dans les usines et procédés de dessalement (voir aussi section 4.1.iv) appartiennent à différents groupes de produits chimiques, auxquels peuvent donc s'appliquer des réglementations différentes (tableau 3-3). Les polyphosphates, qui sont encore utilisés dans certaines usines de dessalement, sont des macronutriments essentiels qui peuvent causer l'eutrophisation au site de rejet. L'annexe II du Protocole tellurique ajoute les composés inorganiques du phosphore aux substances qui, en causant l'eutrophisation, peuvent avoir des effets défavorables sur la teneur en oxygène de l'eau de mer.

Les agents antitartre phosphonés sont des composés organophosphorés qui figurent sur la liste de l'annexe I du Protocole tellurique. Il faut que des mesures soient prises pour éliminer la pollution par ces agents à moins qu'il ne s'agisse de substances biologiquement inoffensives, qui sont alors exclues de l'application de l'annexe I. Par conséquent, les mesures prises par les Parties contractantes permettent l'utilisation de ces substances sur autorisation, à condition qu'il soit démontré qu'elles n'ont pas d'effet direct sur la santé humaine et animale ni d'impact inadmissible sur l'environnement (PNUE/OMS, 1996). Etant généralement utilisés dans des concentrations non toxiques, les agents antitartre phosphonés ne devraient pas avoir d'impact direct sur la santé humaine et animale. Le grand inconvénient de la plupart des composés organophosphorés vient de leur faible dégradabilité. Avant d'autoriser le rejet d'agents antitartre phosphonés, il conviendrait de tenir compte de la toxicité et de la dégradabilité de la substance en cause.

Dans le cas des agents antitartre polymères, comme les polymères de l'acide maléique, la disposition susceptible d'être appliquée porte sur les substances qui ne sont pas toxiques, mais peuvent être nocives pour le milieu marin en raison du volume des rejets (annexe II). Il est généralement exclu que les agents antitartre polymères puissent avoir des effets directs à cause de leur toxicité, mais il faut se soucier de leur biodégradabilité et des interactions possibles avec les ions métalliques dissous dans l'eau de mer (par exemple, des nutriments essentiels comme le fer). Bien que leur dosage soit faible, les quantités de déchets produits peuvent être considérables en raison de l'énorme consommation d'eau de mer des usines de dessalement. Par exemple, à une dose de 2 mg/l correspond une charge chimique de 6 kg/j pour une production de 1 000 m³ par jour, soit environ 10 tonnes par jour pour l'ensemble de la Méditerranée.

Les solutions de nettoyage sont généralement alcalines ou acides avec des valeurs de pH pouvant atteindre 12, ou ne pas dépasser 2. Les additifs chimiques utilisés sont des inhibiteurs de corrosion dans les procédés thermiques et des biocides, des détergents, des agents complexants ou des oxydants dans les procédés OI (voir également section 4.1.iv et tableau 3-4). Le rejet de volumes importants de liquides de lavage peut avoir des effets défavorables sur la qualité de l'eau de mer, dont le pH est d'environ 8, et des impacts potentiels sur la faune et la flore marines.

L'annexe II s'applique aux composés acides ou basiques qui, du fait de leur composition et des quantités rejetées, risquent de nuire à la qualité de l'eau de mer. Elle inclut aussi les biocides et leurs dérivés qui ne sont pas visés par l'annexe I. Les dispositions s'appliquent aux biocides non oxydants comme le formaldéhyde, mais probablement pas au chlore, qui est aussi utilisé dans les opérations de prétraitement et dont il a été question plus haut.

Les détergents non biodégradables figurent aussi dans la liste de l'annexe du Protocole tellurique aux fins de l'article 6, selon lequel les rejets sont subordonnés à la délivrance d'une autorisation par les autorités nationales compétentes et limités en application de mesures et de programmes appropriés. Les mesures de lutte contre la pollution par les détergents que les Parties contractantes ont adoptées précisent que seuls peuvent être utilisés les détergents dont le taux de dégradabilité est raisonnable (90%) (PNUE/OMS, 1996). Des substances comme le sulfonate de dodécylbenzène qui sont utilisées dans les solutions de nettoyage sont devenues d'importants détergents anioniques en raison de leur relativement bonne biodégradabilité (par ex., 87% en 17 jours, test de Zahn-Wellens; Rott et autres, 1982). Les autres produits chimiques de lavage ne sont pas faciles à classer en fonction des annexes I et II du Protocole tellurique. Il se peut que des interactions se produisent entre des agents complexants comme l'EDTA et des ions métalliques dissous dans l'eau de mer, et par conséquent que ces agents soient visés par les dispositions de l'annexe II, qui traite généralement des substances qui ne sont pas toxiques, mais peuvent être nocives pour le milieu marin.

Secteurs d'activité

Le Protocole tellurique modifié de 1996 porte aussi sur différents secteurs d'activité à prendre en compte en priorité lors de l'élaboration des programmes et de l'adoption de mesures pour lutter contre la pollution. Comme le dessalement de l'eau de mer ne figure pas

dans la section A de l'annexe I, il serait à classer dans le secteur "29. Travaux et ouvrages modifiant l'état naturel du rivage". Les Parties contractantes pourraient envisager de faire explicitement de cette activité un secteur distinct sous le titre "Production d'énergie et dessalement de l'eau de mer" pour les raisons suivantes. Premièrement, les effluents des usines de dessalement par distillation ont des caractéristiques similaires à ceux des effluents des centrales, en termes notamment de température, de contamination par des métaux lourds ou de quantités de chlore résiduaire. Deuxièmement, les usines de dessalement et les centrales sont souvent implantées sur le même site en raison de la forte demande énergétique des premières ou pour permettre une cogénération, en particulier si l'on associe usines à distillation et centrales afin de produire simultanément de l'eau et de l'électricité. En outre, les installations de production couplée peuvent utiliser la même infrastructure (systèmes d'admission d'eau et émissaires). Si elles utilisent les mêmes émissaires, la saumure peut être diluée avec l'eau de refroidissement de la centrale afin d'atténuer les impacts dus à une forte salinité. Une modification de l'annexe, qui portera en même temps sur la production d'énergie et le dessalement de l'eau, rendra cette annexe directement applicable aux rejets combinés de saumure et d'eau de refroidissement.

Tableau 3-1: Caractères physiques et chimiques de la saumure, y compris la contamination par les métaux lourds provenant de la corrosion

Source d'impact	Procédé		Règlementation conformément au Protocole de 1983 <i>Les mentions en italique renvoient au Protocole modifié de 1996</i>
	Osmose inverse	Multi-stage flash (MSF)	
Salinité	jusqu'à 70 000 ppm	jusqu'à 50 000 ppm en raison du brassage avec l'eau de refroidissement, de salinité ambiante, de l'usine de dessalement	article 6; annexe II, section A, No. 13 Substances qui, bien que non toxiques par nature, peuvent devenir nocives [...] <i>article 5; annexe I, section C, No. 19</i> <i>Substances non toxiques qui peuvent avoir un effet défavorable sur les caractéristiques physiques ou chimiques de l'eau de mer.</i>
Température	ambiante	5-15 °C au-dessus de la température ambiante	article 6; annexe II, section A, No. 9 Rejets thermiques <i>article 5; annexe I, section C, No. 15</i> <i>Rejets thermiques</i>
Densité du panache	flottabilité négative	flottabilité positive, neutre ou négative	conséquence des valeurs de salinité et de température, indirectement visée par les réglementations correspondantes
Oxygène	diminution – effet secondaire dû aux substances chimiques de déchloration	désaération très faible, voulue et utilisation de désoxygénants pour réduire la corrosion	article 6; annexe II, section A, No. 11 Substances exerçant une influence défavorable, soit directement, soit indirectement sur la teneur en oxygène [...] <i>article 5; annexe I, section C, No. 17</i> <i>Substances non toxiques qui ont un effet défavorable sur la teneur en oxygène [...]</i>
Métaux lourds provenant d'aciers inoxydables	fer, nickel, chrome, molybdène		article 6; annexe II, section A, No. 1 cuivre, nickel, molybdène, titane, chrome <i>article 5; annexe I, section C, No. 5</i> <i>Métaux lourds et leurs composés</i>
Métaux lourds provenant d'alliages d'échangeurs de chaleur	absents	cuivre, nickel, titane	

Tableau 3-2: Substances chimiques de prétraitement

Source d'impact	Procédé		Réglementation conformément au Protocole tellurique de 1983 <i>Les mentions en italiques se rapportent au Protocole modifié de 1996</i>
	Osmose inverse	Multi-stage flash	
Biocides	Le chlore est généralement utilisé, mais habituellement neutralisé au bisulfite de sodium – le rejet ne contient pas de chlore résiduaire; des sous-produits chlorés peuvent être présents en quantités faibles ou non décelables	les rejets de chlore représentent 10 à 25 % de la dose utilisée par suite d'autodécomposition et de réaction avec des composés organiques, par ex., entre 200 et 500 ppb d'une dose initiale habituelle de 2 ppm, mais ce chiffre peut atteindre 8 ppm pendant un traitement de choc présence probable de nombreux dérivés chlorés en des concentrations variables	<p>article 5; annexe I, section A, Nos. 1 et 8</p> <ul style="list-style-type: none"> - Composés organohalogénés et substances qui peuvent donner naissance à de tels composés dans le milieu marin. A l'exception de ceux qui sont biologiquement inoffensifs [...] - Substances dont il est prouvé qu'elles possèdent un pouvoir cancérigène, tératogène ou mutagène [...] <p>article 5; annexe I, section B, La présente annexe ne s'applique pas aux rejets qui contiennent les substances énumérées à la section A ci-dessus en des quantités inférieures aux limites déterminées conjointement par les Parties.</p> <p>article 6; annexe II, section A, No. 2 Les biocides et leurs dérivés non visés à l'annexe I <i>article 5, annexe I, section C, No. 8</i> <i>Biocides et leurs dérivés</i></p>
Coagulants	par ex., chlorure ferrique, chlorure d'aluminium, provenant du lavage à contre courant des filtres et éliminés sous forme de boues ou rejetés dans l'environnement	non utilisés	<p>article 6; annexe II, section A, No. 13 Substances qui, bien que non toxiques par nature, peuvent devenir nocives [...] <i>article 5; annexe I, section C, No. 19</i> <i>Substances non toxiques qui peuvent avoir un effet défavorable sur les caractéristiques physiques ou chimiques de l'eau de mer.</i></p>
Additifs de coagulation	par ex., polyacrylamides (élimination en tant que coagulants)	non utilisés	
Agents antimousse	non utilisés	par ex., polyglycol utilisé en doses de 0,1 ppm, ou inférieures	<p>article 6; annexe II, section A, No. 6 Détergents et autres substances tensio-actives non biodégradables <i>article 5, annexe I, section C, No. 12</i> <i>Détergents et autres substances tensio-actives non biodégradables</i></p>

Tableau 3-3: Substances chimiques de prétraitement (suite)

Source d'impact	Procédé		Réglementation conformément au Protocole tellurique de 1983 <i>Les mentions en italique se rapportent au Protocole modifié de 1996</i>
	Osmose inverse	Multi-stage flash	
Agents antitartre		Dose courante de 2 ppm, par ex. de polyphosphates	<p>article 6; annexe II, section A, Nos.7 et 11</p> <ul style="list-style-type: none"> - Composés inorganiques du phosphore [...] - Substances exerçant une influence défavorable [...] sur la teneur en oxygène [...], spécialement celles qui peuvent être à l'origine de phénomènes d'eutrophisation. <p><i>article 5; annexe I, section C, No. 13</i> <i>Composés [...] du phosphore [...] qui peuvent être cause d'eutrophisation</i></p>
		par ex., phosphonates	<p>article 5; annexe I, section A, No. 2</p> <p>Composés organophosphorés [...]. A l'exception de ceux qui sont biologiquement inoffensifs.</p> <p>article 5; annexe I, section B,</p> <p>La présente annexe ne s'applique pas aux rejets qui contiennent les substances énumérées à la section A en des quantités inférieures aux limites déterminées conjointement par les Parties.</p> <p><i>article 5; annexe I, section C, No. 2</i> <i>Composés organophosphorés [...]</i></p>
		par ex., polymère de l'acide maléique, acide polyacrylique	<p>article 6; annexe II, section A, No. 13</p> <p>Substances qui, bien que non toxiques par nature, peuvent devenir nocives pour le milieu marin [...] en raison des quantités rejetées.</p> <p><i>article 5; annexe I, section C, No. 19</i> <i>Substances non toxiques qui peuvent avoir un effet défavorable sur les caractéristiques physiques ou chimiques de l'eau de mer.</i></p>
Acide		par ex., acide sulfurique, pH 6 à 7	<p>Bien que les rejets acides soient réglementés par l'article 6, annexe II, No. 12 (<i>article 5; annexe I, No. 16</i>), la dose utilisée pour le prétraitement n'est pas suffisante pour nuire à la qualité de l'eau de mer</p>

Tableau 3-4: Substances chimiques de nettoyage et de stockage

Source d'impact	Procédé		Réglementation conformément au Protocole tellurique de 1983 <i>Les mentions en italiques se rapportent au Protocole modifié de 1996</i>
	Osmose inverse	Multi-stage flash	
Solution alcaline	par ex., hydroxide de sodium, pH 11-12	non utilisée	article 6; annexe II, No. 12 Composés acides ou basiques dont la composition et la quantité sont telles qu'ils peuvent compromettre la qualité des eaux marines <i>article 5; annexe I, No. 16</i> <i>Composés acides ou basiques qui peuvent nuire à la qualité de l'eau</i>
Solution acide	par ex., acide chlorhydrique, acide citrique, pH 2-3	par ex., acide chlorhydrique, acide sulfurique, acide citrique, acide sulfamique, pH 2	
Inhibiteurs de corrosion	non utilisés	par ex., benzotriazole	
Biocides	non oxydants, tels que le formaldéhyde, le glutaraldéhyde, les dérivés de l'isothiazole; ou l'hypochlorate (c.-à-d. le chlore)	non utilisés	article 6; annexe II, section A, No. 2 Les biocides et leurs dérivés [...] <i>article 5, annexe I, section C, No. 8</i> <i>Biocides et leurs dérivés</i>
Détergents	par ex., dodécylsulfate, sulfonate de dodécylbenzène	non utilisés	article 6; annexe II, section A, No. 6 Détergents et autres substances tensio-actives non biodégradables. <i>article 5, annexe I, section C, No. 12</i> <i>Détergents et autres substances tensio-actives non biodégradables</i>
Agents complexants	par ex., éthylènediaminetétracétate (EDTA)	non utilisés	article 6; annexe II, section A, No. 13 Substances qui, bien que non toxiques par nature, peuvent devenir nocives [...] <i>article 5; annexe I, section C, No. 19</i> <i>Substances non toxiques qui peuvent avoir un effet défavorable sur les caractéristiques physiques ou chimiques de l'eau de mer.</i>
Oxydants	par ex., perborate de sodium, hypochlorate (c.-à-d. le chlore)	non utilisés	
Substances chimiques pour le stockage des membranes	e.g. bisulfate de sodium, propylène glycol, glycérine	non utilisés	

3.3.ii Application des dispositions du Protocole “immersions”

En application du Protocole sur les immersions dans la Méditerranée, les Parties “prennent toutes les mesures appropriées pour prévenir et réduire la pollution de la zone de la mer Méditerranée résultant des opérations d’immersion effectuées par les navires et les aéronefs”⁵. L’immersion par les navires n’est pas une option susceptible d’être retenue pour les usines de dessalement qui rejettent régulièrement d’énormes volumes d’effluents directement au travers des émissaires côtiers. Le Protocole tellurique et la législation nationale correspondante s’appliquent à la plupart des usines côtières. En revanche, les usines de l’arrière pays doivent compter sur d’autres options d’élimination. Ordinairement, elles procèdent au dessalement des eaux saumâtres des puits qui sont ensuite utilisées par les petites et moyennes entreprises et les municipalités, et ne produisent que peu de saumure. La saumure peut être rejetée soit localement dans des cuves d’évaporation, les réseaux d’égouts et des puits profonds dont l’eau n’est pas utilisée pour la boisson, ou peut être transportée et immergée dans la mer par des bateaux. L’immersion des effluents de dessalement doit être réglementée en application de l’article 5 du Protocole “immersions”, qui exige dans tous les cas l’obtention d’un permis pour tous les déchets énumérés dans l’annexe II.

4 ETUDE D’IMPACT SUR L’ENVIRONNEMENT POUR LES USINES DE DESSALEMENT DE L’EAU DE MER

Dans le Protocole tellurique modifié de 1995, les Parties contractantes sont convenues de procéder à une étude d’impact sur l’environnement pour prévenir, réduire, combattre et éliminer la pollution de la mer Méditerranée. L’étude d’impact sur l’environnement (EIE) est un préalable indispensable à toute activité qui pourrait avoir des effets défavorables importants sur le milieu marin et qui est subordonnée à la délivrance d’une autorisation par les autorités compétentes⁶. Etant donné les effets défavorables possibles du dessalement de l’eau de mer, il est essentiel de faire une EIE avant d’entreprendre tout nouveau projet de dessalement. L’EIE fournit en outre la base à partir de laquelle les autorités nationales compétentes peuvent donner leur autorisation pour certains éléments du nouveau projet ou imposer des restrictions afin de respecter certaines prescriptions, par ex. sous forme de permis de rejet dans le milieu marin ou d’aménagement côtier.

4.1 Eléments de l’EIE

L’EIE consiste en une analyse de toutes les composantes d’un projet et de leurs effets socio-économiques et environnementaux et aboutit à la formulation de méthodes d’atténuation des impacts. L’EIE décrite ci-après pour les usines de dessalement de l’eau de mer porte sur tous les aspects environnementaux et socio-économiques d’un projet et comprend des recommandations visant à en réduire les impacts.

4.1.i Utilisation du sol et emplacement de l’usine

Impact potentiels. Une nouvelle usine de dessalement transforme les caractéristiques du littoral et peut définitivement modifier les options d’utilisation du sol. Des impacts peuvent se produire non seulement pendant la construction des ouvrages et le fonctionnement de la nouvelle usine, mais aussi à cause des ouvrages eux-mêmes (systèmes d’apport d’eau, émissaires ou stations de pompage) et de l’infrastructure d’appui (routes, canaux ou lignes électriques).

Les activités de construction peuvent se traduire par différents impacts: modifications du sol (dunes, plages, fond de la mer), érosion et dommages aux sites archéologiques. Elles

⁵ Article premier du Protocole originel et modifié.

⁶ Articles 4 (engagements généraux), 3c) de la Convention de Barcelone révisée de 1995.

exigent un matériel lourd qui produit des émissions atmosphériques et du bruit, occasionne un préjudice esthétique ou peut perturber les organismes terrestres ou marins. Une fois construite, l'usine de dessalement peut avoir des impacts analogues. Son fonctionnement est à l'origine d'émissions atmosphériques et de rejets en mer ou de bruit causé par les stations de pompage, et toute l'installation, avec l'infrastructure d'appui, transforme irrémédiablement le panorama.

Outre les nuisances sonores et les incidences esthétiques, la modification de la qualité de l'air, de l'eau et des sédiments peut avoir des impacts sur les activités humaines et l'environnement côtier. Le site côtier peut perdre de sa valeur récréative pour les résidents et les touristes, et l'accès peut en être restreint. Si l'usine est aménagée dans un périmètre urbain, la terre peut perdre de sa valeur, tout comme les biens immobiliers des alentours. Les ouvrages maritimes, comme les systèmes d'apport d'eau de mer ou les émissaires, peuvent entraver la navigation, l'accès aux ports ou d'autres activités comme la pêche. Ils peuvent aussi avoir des impacts sur les courants d'eau et le transport des sédiments. La modification de l'utilisation du sol risque par ailleurs de nuire aux habitats des animaux terrestres et marins de la zone côtière, qui peuvent être chassés de leurs aires de reproduction, d'alimentation ou de repos.

Mesures de réduction et recommandations. Il faudrait, pour en réduire les impacts, que les travaux de construction soient entrepris aux périodes les moins perturbatrices pour les activités récréatives ou touristiques ou pour la reproduction et la migration des animaux de la zone côtière. Les mesures de prévention consistent aussi à amortir le bruit, à protéger le panorama et à délimiter les couloirs de construction. Il faudrait envisager des méthodes analogues pour réduire au minimum les nuisances sonores et les préjudices esthétiques causés par l'usine elle-même, par exemple en isolant les bâtiments qui abritent les pompes pour éviter le bruit, en limitant la hauteur de l'usine et en l'incorporant dans le paysage. Il faudrait aussi appliquer les meilleures techniques pour limiter les émissions afin de réduire au minimum les atteintes à la qualité de l'air et de l'eau.

Afin de réduire au minimum les impacts dus à la modification de l'utilisation du sol, il faudrait que les usines de dessalement soient aménagées à proximité d'autres installations qui ont les mêmes besoins et les mêmes conséquences. Les sites appropriés seraient ceux où il existe déjà une infrastructure (routes ou systèmes d'alimentation en eau de mer), où les nuisances esthétiques ou sonores sont admissibles et où enfin les eaux marines ont été classées à usage industriel. S'il est impossible d'éviter la mise en place d'une nouvelle infrastructure, son aménagement doit être optimisé de manière à réduire la superficie de sol utilisée et à éviter les impacts sur les zones marines sensibles et les espèces protégées. Ainsi, il faudrait installer les canalisations en sous-sol, sans sortie dans les zones sensibles, ou en réduire au minimum le nombre et la longueur. Les différents intérêts et activités touchant au site côtier devraient être réglementés dans le cadre du plan d'aménagement côtier afin d'éviter les conflits d'usage. Les intérêts que présente le rivage marin de la côte peuvent être pris en compte dans le plan d'aménagement côtier ou faire l'objet d'une réglementation distincte afin notamment d'éviter les entraves aux autres utilisations de la mer qui peuvent être causées par les systèmes d'apport d'eau de mer et les émissaires..

4.1.ii Options énergétiques et qualité de l'air

Le dessalement de l'eau de mer exige une grande quantité d'énergie, essentiellement sous forme d'énergie thermique (90%) pour le procédé lui-même (distillation), ou sous forme d'énergie mécanique, généralement obtenue par l'électricité (OI). Dans toutes les usines, l'énergie électrique est nécessaire aussi pour faire fonctionner les équipements auxiliaires comme les pompes ou les systèmes de dosage.

Les procédés par distillation sont généralement plus exigeants en énergie que les procédés à membranes. Ainsi, une usine dont le ratio de performance⁷ est de 8 a une consommation d'énergie thermique d'environ 290 kJ/kg de distillat (soit 80kWh/m³), généralement ajoutée sous forme de vapeur chauffée. S'y ajoute une demande d'électricité de 4 à 6 kWh/m³ pour les procédés par détente à étages multiples (*multistages flash* – MSF) et de 2,5 à 3 kWh/m³ pour les procédés par distillation à effets multiples (MED) (C.R.E.S., 1998). Toutefois, la cogénération d'électricité et d'eau dans les usines couplée réduit beaucoup la consommation d'énergie primaire car la vapeur dégagée par la production d'électricité est réutilisée comme source de chaleur pour l'usine de dessalement. Ces usines présentent un avantage économique et peuvent rivaliser avec les usines OI en termes de coûts énergétiques. A titre de comparaison, les besoins énergétiques des usines OI peuvent être ramenés à 2,5 kWh/m³ dans les grandes unités dotées de systèmes de récupération de l'énergie, alors qu'ils dépassent 15 kWh/m³ dans les petites usines qui ne sont pas équipées de ces systèmes.

Impacts potentiels. Un impact majeur est l'émission de gaz à effet de serre (surtout CO₂) et de pluies acides (NO_x, SO_x) dans l'atmosphère, quand ce sont des combustibles fossiles qui sont utilisés comme source d'énergie primaire. Cependant, les usines de dessalement émettent aussi des gaz qui ne proviennent pas de la combustion de combustibles fossiles, mais qui étaient déjà dissous dans l'eau de mer. Dans les usines thermiques, l'eau d'alimentation est habituellement désaérée et des gaz émanent de la saumure qui s'évapore dans les chaudières de détente. Les deux procédés augmentent les émissions de gaz carbonique (CO₂), qui est stocké dans les océans sous forme de bicarbonate et causent le rejet par l'eau de mer d'autres gaz dans l'atmosphère (surtout O₂ et N₂).

Si elle s'avère nécessaire pour répondre à la demande supplémentaire d'électricité de nouvelles installations de dessalement, l'augmentation de la capacité des centrales peut renforcer les impacts liés à l'utilisation de l'eau de refroidissement: risque d'entraînement et de collision d'organismes dans les rejets thermiques et aux points de prélèvement. D'autres effets défavorables peuvent résulter des opérations supplémentaires de transport et de manutention du combustibles nécessaire pour augmenter la production d'électricité, d'où aussi une augmentation des risques d'accident et de fuite.

Mesures de réduction et recommandations. Pour réduire les impacts liés à la consommation d'énergie, les autorités nationales devraient encourager l'application de technologies et procédés d'économie d'énergie, et notamment l'installation de systèmes de récupération dans les usines OI quand la production dépasse 50 m³ par jour. De plus, il est à recommander, lorsque cela est possible, d'appliquer des procédés de cogénération et d'utiliser la même infrastructure pour les usines de dessalement et les centrales. Cependant, l'exploitation de l'usine de dessalement n'est rentable que si elle fonctionne en même temps que la turbine à vapeur utilisée pour la production d'électricité. Il faut donc que la production d'eau soit alignée sur celle d'électricité, et que les deux soient adaptées à la demande réelle.

Il faudrait aussi que les autorités nationales encouragent l'utilisation de sources d'énergie renouvelables (solaire, éolienne, géothermique), quand cela est possible. Le remplacement des sources d'énergie conventionnelles (combustibles fossiles, énergie nucléaire) par des sources renouvelables réduit les déchets nucléaires et les émissions atmosphériques de CO₂, NO_x et SO_x. En cas d'utilisation de combustibles fossiles comme source d'énergie primaire, il faudrait que les émissions atmosphériques respectent les normes nationales de lutte contre la pollution atmosphérique.

4.1.iii Systèmes d'apport d'eau de mer

⁷ Le ratio production d'eau douce/apport de vapeur mesure l'efficacité des procédés thermiques. La valeur est généralement de 8 kg de distillat par kg de vapeur, mais il est possible d'atteindre des valeurs de 10 à 12.

Les usines de dessalement peuvent être alimentées par prélèvement au large, par des puits de plage souterrains et par des galeries d'infiltration ou les conduites de rejet de l'eau de refroidissement des centrales. L'eau de mer prélevée au large a généralement une teneur plus élevée et plus variable en matières organiques et inorganiques que celle des fonds marins. Ces matières préfiltrent l'eau d'arrivée et réduisent ainsi le nombre des organismes bactériens et des matières en suspension. Les sédiments des fonds marins peuvent aussi avoir des effets défavorables sur les caractéristiques de l'eau d'alimentation, dont ils augmentent notamment la teneur en carbonate et en sulfure d'hydrogène. L'eau d'alimentation qui provient des rejets d'eau de refroidissement peut contenir des produits chimiques résiduels du prétraitement (par ex., des biocides), des métaux lourds dus à la corrosion, et sa température peut être plus élevée. En fonction de l'option retenue, l'eau d'alimentation a des caractéristiques différentes, qui exigent une adaptation des procédés de prétraitement de l'usine de dessalement à la qualité de l'eau.

Impacts potentiels. Le prélèvement d'eau de mer au large s'accompagne généralement d'une perte d'organismes marins du fait que ceux-ci entrent en collision avec les tambours du système d'admission ou sont entraînés dans ce dernier avec l'eau d'alimentation. Il exige la mise en place d'une structure en surface qui peut perturber les courants et le transport des sédiments, entraver la navigation et les autres usages de la mer et offrir aux organismes marins des parois sur lesquelles se fixer. Le prétraitement est généralement plus lourd que pour l'eau des puits de plage et des galeries d'infiltration à cause de la qualité insuffisante et moins régulière de l'eau de surface. Le dosage optimal des produits chimiques à utiliser peut être difficile à déterminer, et le surdosage peut garantir la sécurité en cas de détérioration de la qualité de l'eau d'alimentation, ce qui à son tour augmente les risques de rejet de substances chimiques dans le milieu marin.

Outre le fait que le prétraitement sera souvent réduit au minimum, les structures de prélèvement souterraines éliminent les impacts dus aux phénomènes de collision et d'entraînement. Mais, les perturbations initiales pendant la construction sont plus grandes car il faut que les sédiments soient remis en place ou en suspension. Les puits de plage sont généralement creusés dans le fond marin à une profondeur de 30 à 50 mètres tandis que les galeries d'infiltration sont dotées de canalisations perforées selon une disposition radiale dans le sable saturé. Ils pourraient en outre nuire aux aquifères, notamment en modifiant la circulation des eaux souterraines ou en causant des intrusions d'eau salée dans les aquifères d'eau douce.

Mesures de réduction et recommandations. Il conviendrait de placer des tambours à l'entrée des systèmes d'admission de l'eau pour prévenir l'introduction d'organismes marins de grande taille. L'entraînement de plancton, de larves ou d'oeufs ne peut pas être évité par les tambours, mais il peut être réduit au minimum si on aménage les structures à distance des zones de forte production, par ex., en profondeur ou au large. On peut ainsi aussi atténuer les problèmes dus aux salissures biologiques et aux matières en suspension et, partant, réduire la consommation de produits chimiques. La structure d'admission devrait être conçue de manière à réduire le risque d'entraînement, ce qui peut se faire en l'équipant de tambours spéciaux ou en veillant à ce que la vitesse d'écoulement de l'eau dans le système ne soit pas supérieure à celle des courants naturels de l'eau des océans (moins de 5 cm/sec).

Il est recommandé d'aménager des puits de plage ou des galeries d'infiltration, s'il existe un site approprié, pour réduire les impacts de l'entraînement et de la collision ainsi que la consommation de produits chimiques. L'apport d'eau d'alimentation provenant des rejets d'eau de refroidissement présente des avantages du même genre et devrait être envisagé quand une usine de dessalement peut être couplée à une centrale. La réutilisation de l'eau de refroidissement de la centrale par l'usine de dessalement réduit le volume total des prélèvements, et par conséquent les problèmes d'entraînement et de collision. Comme l'eau de refroidissement subit généralement un traitement de désinfection pour lutter contre les salissures, l'adjonction supplémentaire de biocides peut devenir inutile, ou presque. La

production couplée réduit aussi au minimum les travaux de construction et l'utilisation du sol, puisque ce sont les mêmes structures d'alimentation qui peuvent être utilisées.

4.1.iv Rejets de saumure et de substances chimiques

Les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau de mer se modifient pendant le dessalement en fonction des méthodes de prétraitement et des procédés de dessalement. Les méthodes de prétraitement antitartre et antisalissures sont analogues dans les procédés par distillation et OI, mais elles sont différentes quand il s'agit d'éliminer les matières en suspension (usines OI uniquement) ou de lutter contre la corrosion et la production de mousse dans les usines à distillation. Le procédé utilisé a une grande influence sur la salinité des effluents, qui est habituellement plus élevée dans la saumure OI, alors qu'une température élevée caractérise les effluents de distillation. Outre les produits chimiques de prétraitement, on peut trouver de temps à autre dans les effluents des solutions de lavage, qui sont mélangées à la saumure. Chaque effluent a des propriétés qui peuvent se traduire par des impacts sur le milieu marin, et le rejet des effluents combinés peut avoir des effets cumulatifs ou synergiques.

Salinité

La salinité des effluents dépend de celle de l'eau d'alimentation et de l'effet de concentration du procédé de dessalement. La saumure OI est généralement plus concentrée (60 à 70) que l'effluent de distillation (environ 50). Cela est dû essentiellement au fait que les usines de dessalement par distillation utilisent l'eau de refroidissement de l'éjecteur à vapeur, qu'elles rejettent avec la saumure et qui réduit efficacement la salinité de l'effluent.

Impacts potentiels. La salinité est un facteur environnemental qui régule la distribution des organismes marins, laquelle se fait normalement quand les conditions du milieu sont favorables à la survie. La plupart des organismes peuvent s'adapter à des modifications mineures ou peuvent temporairement s'accommoder de salinités qui s'écartent beaucoup de la salinité normale, mais le rejet continu d'effluents très concentrés sera nocif pour la faune et la flore marines et modifiera la composition et l'abondance des espèces.

Mesures de réduction et recommandations. Afin de réduire au minimum les impacts dus à des degrés de salinité élevés, il faudrait que l'écart entre la salinité des effluents et celle du milieu ambiant ne dépasse pas 10%. A cette fin, on peut mélanger, dans les proportions voulues, les effluents de dessalement à l'eau de refroidissement de la centrale (voir section 4.1.v). Il faudrait aussi examiner les possibilités d'améliorer le brassage au site de rejet (voir section 4.1.vi).

Rejets thermiques

Les rejets thermiques sont caractéristiques des usines à distillation dont les procédés élèvent la température aussi bien de la saumure que de l'eau de refroidissement. Des écarts de 5 à 15°C par rapport à la température ambiante ont souvent été relevés.

Impacts potentiels. Les rejets thermiques peuvent modifier la distribution de la température et sa variabilité saisonnière à l'emplacement de l'émissaire, et avoir des impacts sur l'activité biologique, l'abondance et la distribution des espèces. L'élévation de la température de l'eau de mer peut renforcer les processus biologiques en hiver mais, en été, elle peut être à l'origine de stress ou causer une chute brutale de l'activité quand le degré critique est dépassé. Les organismes marins pourraient être attirés ou repoussés par le panache thermique, et des espèces mieux adaptées à des températures élevées pourraient finalement prédominer au site de rejet.

Mesures de réduction et recommandations. Pour que les effets défavorables soient limités au minimum, il ne faudrait pas que la température des rejets de distillation dépasse

de plus de 10°C celle du milieu ambiant. Le brassage avec des effluents de température moins élevée serait à envisager quand les conditions le permettent. Il est recommandé de diluer la saumure dans l'eau de refroidissement de la centrale pour en réduire la salinité, mais la dilution n'abaisse pas la température des effluents. Toutefois, l'eau de refroidissement de la centrale pourrait servir à alimenter l'usine de dessalement, ce qui abaisserait le volume total des prélèvements et des rejets d'eau de mer chauffée. Le site de rejet devrait aussi permettre d'assurer le brassage du panache d'effluents (voir section 4.1.vi) avec l'eau de mer environnante pour réduire les effets de la température élevée. A cette fin, il conviendrait de déterminer le niveau admissible d'élévation de la température de l'eau de mer due aux rejets thermiques. On pourrait envisager, par exemple, une élévation admissible de 2°C par rapport à la température ambiante des eaux de bordure d'une zone de brassage définie.

Teneur en oxygène

Impacts potentiels. La solubilité de l'oxygène dans l'eau de mer se réduit sous l'effet de températures et de salinités élevées, mais cette réduction n'est pas la cause première de la faible teneur en oxygène de l'effluent. La diminution est surtout due à l'opération de désaération pratiquée dans les usines à distillation pour prévenir la corrosion. Les usines OI utilisent des agents réducteurs comme le bisulfite de sodium pour la déchloration, ce qui a aussi pour effet secondaire d'épuiser l'oxygène. L'effluent peut être à l'origine d'un déficit d'oxygène au site de rejet et peut être nocif pour la faune et la flore marines.

Mesures de réduction et recommandations. Afin de prévenir le déficit d'oxygène, l'effluent peut être aéré ou mélangé avec d'autres courants de déchets à plus forte teneur en oxygène avant le rejet. Les conditions océanographiques au site de rejet devraient assurer un brassage suffisant de l'effluent et de l'eau de mer pour que la teneur en oxygène s'ajuste sur celle du milieu ambiant à proche distance de l'émissaire.

Biocides

L'eau de mer qui alimente les usines de dessalement par osmose inverse et par distillation est habituellement traitée au chlore pour prévenir les salissures. Des niveaux de chlore résiduels de 200 à 500µg/l sont généralement présents dans l'effluent de distillation et rejetés dans le milieu marin, tandis que les niveaux correspondants rejetés par les usines OI sont très faibles, voire non décelables, car elles procèdent souvent à la déchloration pendant le prétraitement pour protéger les membranes en polyamide qui sont sensibles à l'oxydation.

Impacts potentiels. Le chlore est un biocide très efficace, dont les concentrations résiduelles peuvent être très nocives pour la faune et la flore marines. Malgré la rapidité de leur autodégradation et de leur dilution dans l'environnement, ces concentrations peuvent avoir des effets défavorables importants sur le milieu marin. On peut s'attendre à une diminution initiale de 90% dans des eaux de mer chaudes et ensoleillées et, par conséquent, à des concentrations de 20 à 50µg/l dans la zone de brassage de l'effluent, ce qui correspond aux concentrations observées aux sites de rejet des usines de dessalement. A titre de comparaison, le critère de qualité de l'eau de mer recommandé par l'EPA des Etats-Unis d'après les résultats de tests toxicologiques portant sur un vaste éventail d'espèces est de 7,5µg/l pour une exposition de longue durée.

Les concentrations de chlore résiduel dans l'eau de mer augmentent le risque de formation de dérivés organohalogénés, dont beaucoup contiennent du brome, en plus du chlore. Des ions de bromure sont naturellement présents dans l'eau de mer et se transforment en brome fortement réactif en présence de chlore. Des composés organohalogénés peuvent se former à partir de précurseurs d'origine naturelle ou anthropique. Par exemple, des trihalométhanes (THM) - qui sont d'origine organique naturelle - ont été décelés comme des dérivés importants dans les sites de rejet des usines de dessalement, et des chlorophénols ainsi que des chlorobenzènes peuvent se former en présence de composés pétroliers. Il n'est guère

possible de déterminer le nombre des dérivés en raison des multiples réactions possibles avec les constituants organiques de l'eau de mer. Les différents composés organohalogénés peuvent ne pas être présents en des concentrations d'une toxicité aiguë, mais il est prouvé que certains d'entre eux ont un pouvoir cancérigène ou peuvent avoir des effets chroniques lors d'expositions de longue durée.

Mesures de réduction et recommandations. Il conviendrait d'accorder une priorité élevée à la neutralisation des concentrations de chlore résiduaire afin de réduire les impacts des effluents des usines de dessalement par distillation. Il existe plusieurs méthodes de traitement chimique, parmi lesquelles le dosage au bisulfite de sodium (utilisée dans le procédé OI) ou à l'acide sulfureux⁸.

D'autres méthodes de traitement devraient être envisagées quand les conditions le permettent, par exemple l'utilisation de la lumière ultraviolette dans les petits systèmes automatisés. La lumière ultraviolette a essentiellement pour avantage de ne pas nécessiter de stockage ni de manutention de produits chimiques, de ne pas modifier les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau de mer et de ne causer la formation d'aucun dérivé toxique. Les autres méthodes de prétraitement non chimique sont le préfiltrage à travers des membranes aux pores fins (microfiltrage ou ultrafiltrage) ou le recours aux puits de plage. Les deux méthodes éliminent les organismes salissants de l'eau d'alimentation, si bien que le dosage continu des biocides peut être remplacée par un traitement intermittent de désinfection et de lavage. Les autres biocides qu'il est proposé d'utiliser dans les usines de dessalement sont l'ozone, la monochloramine, le bioxyde de chlore et le sulfate de cuivre. Mais ces substances peuvent aussi être nocives pour la faune et la flore marines et doivent être traitées avant leur rejet.

Coagulants

Les usines OI utilisent généralement du chlorure ferrique ou du chlorure d'aluminium pour améliorer le filtrage des matières en suspension présentes dans l'eau d'alimentation. Les additifs de coagulation (substances organiques comme le polyacrylamide) et le contrôle du pH à l'acide sulfurique sont des moyens supplémentaires de renforcer le processus.

Impacts potentiels. L'eau de lavage à contre courant des filtres n'est pas toxique, mais son élimination dans le milieu marin augmente la quantité de matières en suspension au site de rejet. L'augmentation de la turbidité et la moindre pénétration de la lumière peuvent faire baisser la production primaire, tandis que la sédimentation accrue peut provoquer l'enfouissement d'organismes sessiles.

Mesures de réduction et recommandations. Il faudrait que l'eau de lavage à contre courant soit suffisamment diluée, par exemple en assurant de façon continue son mélange avec la saumure, ou éliminée des filtres et transportée dans une décharge. L'option d'élimination dépendra aussi de la quantité de matières produites. Le dépôt dans une décharge est à envisager pour les grandes usines, car les quantités de matières qui s'y accumulent sont très importantes, et les impacts potentiels ne sont guère possibles à éviter. L'usine devrait en outre prévoir l'enlèvement et le transport vers la décharge, ce qui est plus facile pour les grandes usines⁹.

Agents antitartre

⁸ L'élimination du chlore résiduaire à l'acide sulfureux s'est révélée être une méthode des plus efficace par rapport à son coût, que l'on peut techniquement appliquer sans causer d'altération des systèmes.

⁹ Le dosage de coagulant est habituellement lié à la quantité de matières en suspension présentes dans l'eau de mer d'alimentation; il faut par exemple 1 mg/l pour une faible concentration de base de 1 mg/l de matières solides en suspension. Pour une capacité de 1 000 m³ par jour, la production de matières dues au lavage à contre courant est de 6 kg par jour avec un taux de récupération de 33%, ce qui correspond à 600 kg par jour pour une usine qui produit 100 000 m³ par jour.

Des agents antitartre sont ajoutés à l'eau d'alimentation dans les usines MSF et OI pour prévenir l'entartrage. Les principaux agents antitartre sont des polymères organiques (essentiellement les polymères de l'acide acrylique et les polymères de l'acide maléique), des phosphonates et des polyphosphates. L'adjonction d'acide sulfurique est aussi un moyen efficace d'augmenter la solubilité des substances entartrantes alcalines, comme le carbonate de calcium. Le traitement à l'acide pose un problème dans les usines à distillation dont les parois des échangeurs de chaleur sont en alliages de cuivre, car une corrosion accrue augmente le risque de contamination de la saumure par le cuivre.

Impacts potentiels. Les polymères organiques ne sont pas toxiques pour la faune et la flore marines car les valeurs de toxicité (LC 50) dépassent les doses utilisées de plusieurs ordres de grandeur. Toutefois, la biodégradation est relativement lente, avec des demi-vies d'un mois ou plus, et il faut s'attendre à ce que les polymères organiques soient assez persistants dans le milieu marin. Comme elles réduisent la formation de tartre en dispersant et complexant les ions de calcium et de magnésium dans l'usine de dessalement, ces substances peuvent exercer une influence sur les processus naturels d'autres métaux bivalents dans le milieu marin.

Les phosphonates sont des composés organophosphorés caractérisés par une liaison stable carbone-phosphore (C-P) qui est assez résistante à la dégradation biologique, chimique et physique. Le devenir des agents antitartre phosphonés dans l'environnement dépend essentiellement de processus tels que la dilution ou l'adsorption sur les matières en suspension. Comme les polymères organiques, ils ne devraient pas avoir d'effets toxiques étant donné les valeurs LC50 relativement élevées des produits commerciaux.

Les agents antitartre polyphosphatés s'hydrolysent facilement en orthophosphates, surtout à hautes températures, ce qui abaisse leur efficacité dans les usines de dessalement par distillation. L'orthophosphate est un nutriment essentiel pour les producteurs primaires, qui peut causer l'eutrophisation et l'épuisement de l'oxygène au site de rejet. La formation d'un tapis algal a été observée à la sortie de certaines usines de dessalement qui utilisaient des polyphosphates pour le détartrage.

Mesures de réduction et recommandations. Il est recommandé d'utiliser des polymères organiques pour réduire les impacts potentiels de l'augmentation du niveau des nutriments au site de rejet. Bien que ces substances soient relativement non toxiques, il faut se préoccuper de leur devenir dans l'environnement et de leurs effets potentiels sur les métaux dissous dans l'eau de mer, ce qui exige de nouvelles recherches. Le prétraitement à l'acide sulfurique pourrait être envisagé dans les usines OI où les conduites sont généralement faites de matériaux - plastiques ou acier inoxydable - qui sont plus résistants à la corrosion que les alliages de cuivre. L'eau d'alimentation peut en outre être prétraitée par nanofiltrage, procédé d'adoucissement par filtrage à travers une membrane qui élimine de l'eau de mer une partie des cations bivalents, comme le calcium ou le magnésium.

Métaux lourds

La concentration des métaux lourds et leur composition dans le rejet dépend des matériaux de construction utilisés et de leur résistance à la corrosion. Les parois des échangeurs de chaleur des usines à distillation sont habituellement en alliages cuivre-nickel, et les autres éléments de construction comme les cuves à saumure sont souvent en acier inoxydable. Dans les usines OI, c'est aussi l'acier inoxydable qui prédomine, avec des matières plastiques pour les éléments non métalliques. L'acier inoxydable est généralement très peu corrosif, des quantités-traces de fer, nickel, chrome et molybdène étant présentes dans les rejets des usines à distillation et OI. En revanche, les niveaux de cuivre provenant des alliages de fabrication des échangeurs de chaleur posent souvent un problème majeur dans les rejets des usines à distillation, les teneurs étant habituellement de 15 à 100 µg/l dans de bonnes conditions de contrôle des procédés.

Impacts potentiels. Les alliages d'acier inoxydable en traces ne posent que relativement peu de risque pour le milieu marin, mais le cuivre est extrêmement toxique pour la plupart des organismes marins. Des concentrations aussi faibles que 10µg/l dans l'eau de mer peuvent avoir des effets considérables, mais leur toxicité dépend généralement de la biodisponibilité et de la sensibilité des espèces. Les concentrations de base du cuivre dans la Méditerranée sont faibles, de l'ordre de 0,04 à 0,70 µg/l au large, et inférieures à 0,01-50 µg/l dans les eaux côtières (PNUE, 1996). Les niveaux de cuivre dissous diminuent sous l'effet de processus chimiques et physiques dans l'eau de mer (précipitation, formation de complexe, adsorption), mais il se produit un enrichissement de l'élément dans les matières en suspension et, finalement, dans les sédiments. L'accumulation de cuivre constitue un risque potentiellement élevé pour les habitats des fonds meubles et les zones à faible échange d'eau, dans lesquelles les taux de sédimentation sont élevés. De nombreux invertébrés benthiques (y compris les crustacés) s'alimentent de matières déposées ou en suspension, le risque étant que des métaux lourds viennent enrichir leurs corps et atteignent des niveaux trophiques trop élevés.

Mesures de réduction et recommandations. Les quantités de métaux lourds présents dans les rejets de dessalement ne dépasseront très probablement pas les limites fixées à cet égard par les Parties contractantes à la Convention de Barcelone. Les niveaux prévus de rejet de cuivre sont bien inférieurs à la limite établie de 500 µg/l, mais dépassent l'objectif de 8µg/l fixé pour la qualité de l'eau. Il conviendrait que l'émissaire soit aménagé et configuré de manière à assurer une dilution du cuivre suffisante pour que l'objectif de qualité soit atteint dans les eaux de bordure de la zone de brassage. Afin de réduire les risques d'effet toxique dans cette zone, il est souhaitable de diminuer autant que possible les concentrations de cuivre dans l'effluent. Bioaccumulation et dépôt étant les caractéristiques du devenir du cuivre dans l'environnement, il conviendrait de surveiller le comportement des sédiments et des organismes en fonction de critères de qualité.

On peut agir sur les concentrations rejetées en maîtrisant la corrosion, c'est-à-dire généralement en prétraitant l'eau d'alimentation, en choisissant des matériaux de construction résistants à la corrosion et en utilisant des inhibiteurs de corrosion. Il faudrait utiliser autant que possible des matériaux non métalliques, par ex., pour le système d'alimentation, les canalisations de sortie ou dans les usines OI. Pour réduire les impacts dus à la contamination par le cuivre, il faudrait si possible remplacer les alliages cuivre-nickel par du titane dans les usines de dessalement par distillation.

Agents antimousse

Les agents antimousse, comme le polyéthylèneglycol et le polypropylèneglycol, sont ajoutés à l'eau d'alimentation des usines à distillation pour disperser les substances organiques qui produisent la mousse et réduire la tensio-activité à l'interface eau-air. Les polyglycols ne sont pas toxiques, mais sont très sujets à polymérisation, ce qui diminue leur biodégradabilité. Ils ne devraient pas avoir d'effets potentiels défavorables, car les dosages sont faibles et les concentrations rejetées sont diluées dans le milieu.

Solutions de nettoyage

Les usines OI utilisent des solutions de nettoyage qui sont soit alcalines (pH 11-12) pour éliminer les dépôts de vase et les biofilms, soit acides (pH 2-3) pour dissoudre les oxydes métalliques ou le tartre. Ces solutions peuvent aussi contenir des détergents, des oxydants, des agents complexants et des biocides qui donnent de meilleurs résultats pour le lavage des membranes. Pour le stockage des membranes, on utilise une solution de préservation chimique. Le nettoyage des usines de dessalement par distillation est relativement simple et se fait habituellement avec une solution acide de pH 2. Des inhibiteurs spéciaux anticorrosion peuvent être ajoutés à la solution.

Impacts potentiels. L'eau de mer a une bonne capacité tampon en ce sens que son pH naturel qui est d'environ 8 n'est généralement pas affecté par des rejets légèrement alcalins ou acides. Mais le rejet de solutions de lavage très acides ou alcalines peut devenir toxique pour la faune et la flore aquatiques, si la dilution au site de rejet n'est pas suffisante.

Des détergents comme le sulfonate de dodécylbenzène sont dangereux pour la faune et la flore aquatiques, car ils ont le pouvoir de perturber le système membranaire intracellulaire des organismes. De même, le pouvoir oxydant de certains produits chimiques (par ex., le perborate de sodium) peut nuire aux organismes marins dont ils oxydent les tissus organiques. Les agents complexants rejetés dans l'eau de mer pourraient interagir avec les ions métalliques dissous et entraver les processus naturels de ces éléments dans le milieu. Des agents complexants comme l'EDTA qui entrent généralement dans la composition des solutions de lavage sont peu dégradables et par conséquent très persistants dans le milieu marin. Les biocides oxydants et non oxydants (chlore et formaldéhyde) utilisés pour désinfecter les membranes sont particulièrement dangereux et peuvent être toxiques pour la faune et la flore marines. Les solutions au bisulfite de sodium utilisées pour stoker les membranes sont à l'origine, au site de rejet, d'un déficit en oxygène qui peut avoir des effets préjudiciables à la faune et à la flore marines.

Mesures de réduction et recommandations. Il faudrait récupérer les solutions de lavage et de stockage avant le rejet afin d'en éliminer la toxicité potentielle. A cette fin, il faut neutraliser les valeurs de pH acides ou alcalines et procéder à un traitement spécifique des détergents, oxydants, agents complexants, biocides et autres composés qui ont un effet défavorable sur la faune et la flore marines et les eaux côtières. Par exemple, le sulfonate de dodécylbenzène est en grande partie dégradable et le formaldéhyde peut être chimiquement neutralisé au peroxyde d'hydrogène et à l'hydroxyde de sodium. Il faudrait aménager une section d'épuration des eaux usées dans les usines de dessalement et éviter d'utiliser les substances pour lesquelles il n'existe pas de méthodes de traitement appropriées, ou les remplacer par d'autres produits chimiques.

4.1.v Mélange des déchets avec d'autres rejets

Le couplage usine de dessalement-centrale a pour avantage de permettre d'utiliser la même infrastructure et d'économiser une grande quantité d'énergie grâce à la cogénération (voir sections 4.1.i et 4.1.ii). Il permet aussi de mélanger les courants de déchets, c'est-à-dire l'eau de refroidissement de la centrale avec la saumure de l'usine de dessalement, dans le circuit de sortie avant le rejet dans le milieu marin. D'autres courants de déchets, comme les eaux usées épurées, peuvent aussi théoriquement servir à diluer la saumure, mais leur réutilisation est préférable à leur élimination.

Impacts potentiels. Le brassage des déchets a pour effet bénéfique de diluer les effluents salés résultant du dessalement avant leur élimination dans le milieu marin. Autrement, la salinité augmenterait au site de rejet, ce qui pourrait nuire à la faune et à la flore marines. La salinité est un facteur environnemental important pour les organismes marins qui vivent normalement dans un milieu dont la salinité se situe entre des valeurs limites optimales qui, si elles augmentent ou diminuent, peuvent atteindre un seuil qu'ils ne peuvent plus tolérer (voir section 4.1.iv).

Les centrales ont besoin de grandes quantités d'eau de refroidissement qui permettent généralement de bien doser le mélange pour obtenir une diminution importante de la concentration de la saumure. Le mélange réduit les impacts dus à une forte salinité, mais la présence de polluants dans les deux effluents peut avoir des effets cumulatifs ou synergiques sur la faune et la flore marines. Il se produit habituellement une élévation de la température de l'eau de refroidissement, et l'eau peut contenir des biocides résiduels ou des métaux lourds provenant de la corrosion.

De même, s'il peut avoir des incidences favorables, le mélange de la saumure et des effluents d'eau usée peut aussi avoir des effets secondaires peu souhaitables. Ainsi, la

salinité de la saumure et la demande d'oxygène biologique (DOB) pourraient probablement être réduites grâce au brassage des courants d'effluent, mais les contaminants présents dans ces deux courants pourraient causer la formation de divers dérivés réactionnels, tels que des substances organiques chlorées. Le brassage de la saumure et des effluents d'eau usée peut aussi provoquer l'aggrégation de contaminants en particules de différentes tailles et se traduire par des impacts sur les taux de turbidité et de sédimentation au site de rejet.

Mesures de réduction et recommandations. Il conviendrait d'évaluer les options de mélange des courants de déchets au stade de la planification d'un nouveau projet, en particulier pour les usines OI qui produisent des rejets très saumâtres. Les effluents de distillation sont généralement moins concentrés en raison du brassage de la saumure avec l'eau de refroidissement de l'usine de dessalement. La dilution avec d'autres courants de déchets n'est pas vraiment nécessaire, mais peut être envisagée dans les usines de dessalement par distillation couplées à des centrales afin que la salinité des effluents soit aussi proche que possible de celle du milieu ambiant.

Bien qu'il soit pratiqué dans d'autres régions du monde, le brassage de la saumure et des effluents d'eaux usées épurées n'est pas recommandé dans la région méditerranéenne pour les raisons suivantes. Tout d'abord, ces effluents pouvant être réutilisés, il ne faudrait pas encourager l'élimination dans la mer, où ils pourraient nuire à la qualité de l'eau d'alimentation de l'usine de dessalement. De plus, le couplage des usines de dessalement avec des stations d'épuration pose des problèmes pour la santé et pourrait susciter des objections pour des raisons psychologiques. Enfin, les risques pour l'environnement liés à la formation de dérivés réactionnels sont probablement plus grands quand les effluents de dessalement sont mêlés à des eaux usées épurées que quand ils le sont à l'eau de refroidissement des centrales.

En conclusion, le brassage des courants de déchets est une méthode efficace de réduction des impacts, qui inverse le processus de concentration des constituants de l'eau de mer naturelle en saumure pendant le dessalement. Cette méthode a pour effet secondaire de diluer les produits chimiques de prétraitement, mais son application n'est généralement pas acceptée pour l'élimination des déchets chimiques. Cela est vrai pour les substances présentes dans les effluents de dessalement, mais non pour celles qui se trouvent dans le courant de déchets qui sert au brassage, dont les agents antitartre et antimousse. Ces agents ont en effet une faible toxicité et sont présents en concentrations qui ne nuisent pas aux organismes marins. En revanche, les biocides résiduels, les métaux lourds dus à la corrosion et la pollution thermique sont des caractéristiques des effluents des usines à distillation, et aussi de l'eau de refroidissement des centrales. Ces caractéristiques n'étant pas modifiées par la dilution et le mélange des courants d'effluents pouvant en renforcer les impacts, il conviendrait de ne pas dépasser les limites admissibles de rejet correspondantes. Pour les rejets combinés, il faudrait identifier la Partie ou les Parties responsables du respect des prescriptions en matière de rejet pour éviter les problèmes d'application.

4.1.vi Conditions océanographiques et utilisation de modèles de dispersion

Le comportement des effluents brassés dépend des conditions océanographiques de la masse d'eau réceptrice, de la pratique de rejet et de certaines caractéristiques des rejets. Le brassage et la propagation des rejets sont déterminés en grande partie par les caractéristiques océaniques spécifiques au site – courants, régime des marées, bathymétrie ou topographie du rivage – mais sont aussi fonction de la conception et de l'emplacement de l'émissaire, du débit et de la vitesse de rejet. Le brassage dépend également de la différence de densité entre l'effluent et l'eau de mer environnante, la densité étant fonction de la salinité et de la température.

Impacts potentiels. Dans certaines conditions, le brassage peut donner naissance à la formation d'une masse d'eau distincte, déterminée par les caractéristiques de l'effluent, telles que la salinité accrue ou la présence de concentrations résiduelles de produits chimiques. La

propagation du panache de rejet pourrait affecter des organismes marins le long de sa trajectoire. En raison de sa concentration, la saumure des usines OI a une flottabilité négative qui peut l'entraîner au fond de la mer où elle peut se répandre et causer des effets préjudiciables aux habitats benthiques. Dans les usines OI, la salinité de la saumure est essentiellement due à sa densité élevée, mais dans les usines distillation, la température s'ajoute à la salinité. Comme la salinité et la température ont des effets contraires sur la densité, la flottabilité des rejets de distillation peut être positive, neutre ou négative en fonction de la stratification de la densité ambiante¹⁰ La propagation du panache à la surface ou son piégeage dans les masses d'eau intermédiaires affecte les communautés pélagiques, tandis que son enfoncement et sa propagation au fond de la mer ont des effets comparables à ceux des rejets OI qui nuisent aux organismes benthiques.

Mesures de réduction et recommandations. Il conviendrait d'améliorer le brassage de l'effluent dans la masse d'eau réceptrice en profitant de conditions océanographiques favorables et en optimisant la pratique de rejet. Par exemple, le brassage peut donner de bons résultats sur les côtes à forte énergie, où la turbulence est élevée et les échanges d'eau rapides en raison des forts courants. En revanche, les effluents peuvent se trouver piégés dans les sites abrités comme les baies ou les estuaires où les polluants séjournent pendant de longues périodes. Pour éviter les effets préjudiciables que les panaches enserrés sur les côtes peuvent causer aux habitats côtiers, l'émissaire peut être aménagé au large. De même, les émissaires proche de la surface empêchent la fixation des panaches de flottabilité négative sur le fond de la mer (et inversement pour les panaches de flottabilité positive). L'enfoncement ou le relèvement de l'effluent dans la colonne d'eau augmente la turbidité et renforce le brassage avec l'eau environnante. Des améliorations techniques peuvent aussi être apportées aux émissaires (par ex., utilisation de diffuseurs multiports ou augmentation de la vitesse de rejet).

Lorsqu'on se propose d'aménager une usine de dessalement, il y a lieu d'analyser différents scénarios de rejet pour déterminer la meilleure méthode d'élimination. Des modèles de dispersion peuvent être utilisés pour simuler le comportement dans la masse d'eau réceptrice du brassage d'un effluent à proximité et à distance du site, ainsi que la propagation du panache. Pour cela, il faut disposer de renseignements détaillés sur les conditions océanographiques au site de rejet et sur la pratique de rejet prévue. Les variables qui sont importantes sont par exemple la profondeur des eaux, la densité ambiante, y compris les variations saisonnières, les courants induits par le vent et la densité, le régime des marées, le diamètre et la profondeur de l'émissaire, la vitesse et le volume des effluents.

Comme la dilution des produits chimiques et leur dispersion sont conditionnées par le brassage et la propagation de l'effluent, des variables chimiques peuvent être introduites dans le modèle pour prévoir les concentrations dans l'environnement. Les informations à ce sujet peuvent permettre d'évaluer si les objectifs de qualité de l'eau (s'il en existe) seront respectés dans la masse d'eau réceptrice. On peut définir des zones de brassage limitées dans l'espace pour réguler la propagation et la dispersion du panache. Pour définir ces zones, il conviendrait de tenir compte des conditions océanographiques locales (par ex., hydrodynamiques ou bathymétriques) et d'exclure les zones d'importance biologique. Les niveaux ambiants peuvent être dépassés jusqu'à un certain point dans la zone de brassage, mais les objectifs de qualité de l'eau s'appliquent normalement à la limite de cette zone.

Par exemple, le modèle CORMIX approuvé par l'EPA des Etats-Unis permet de prévoir le comportement du brassage de divers types de rejet, y compris les saumures de dessalement et les eaux de refroidissement des centrales, dans des conditions ambiantes différentes. Outre la visualisation de la trajectoire du panache à proximité et à distance du site, ce

¹⁰ Le calcul fait pour l'eau de surface de la Méditerranée (compte tenu d'une fourchette de salinité de 36-38 et d'une fourchette de températures saisonnières de 15 à 30°C) donne des valeurs de densité de 1022 à 1028 kg/m³. En partant de l'hypothèse que la température augmente de 5 à 15°C et les valeurs de densité de 41 à 44 (une augmentation de 15% est habituelle pour les effluents des usines à distillation), les valeurs de densité correspondantes varient de 1020 à 1031 kg/m³.

modèle permet de prévoir les concentrations et les dilutions (Doneker et Jirka, 2001; Del Bene et autres, 1994; Jirka et autres, 1996)¹¹. Les modèles hydrodynamiques utilisés en Israël pour simuler le comportement du brassage des saumures de dessalement sont le modèle MIKE21 à deux dimensions de l'Institut danois de l'hydraulique (DHI)¹² et le modèle Princeton Ocean de l'Université de Princeton¹³. Des modèles hydrodynamiques ont aussi été mis au point au Centre pour l'environnement et l'eau de l'Institut de recherche de la King Fahd University of Petroleum and Minerals (Arabie Saoudite). Bien qu'ils n'aient pas été appliqués au rejet des usines de dessalement, ils ont été utilisés pour simuler la production de rejet d'eaux fortement salées dues aux opérations d'exploitation pétrolière au large (Al-Rabeh et autres, 2000; Badr et autres, 1999)

4.1.vii Effets transfrontières

Les polluants transportés par les courants peuvent affecter des zones situées à grande distance du site de rejet. Il conviendrait donc de tenir compte des impacts potentiels que les substances qui sont persistantes et se dispersent facilement dans le milieu marin peuvent avoir au-delà des eaux territoriales ou zones économiques exclusives d'une Partie contractante. La dégradation d'environnements locaux peut aussi avoir des incidences transfrontières. Il est essentiel de maintenir intacts les écosystèmes côtiers et marins pour assurer une biodiversité élevée dans la Méditerranée et offrir des habitats aux espèces migratoires, menacées ou endémiques. L'estimation du total des apports chimiques, sur le plan local comme dans l'ensemble de la Méditerranée, est un préalable essentiel à l'évaluation des effets transfrontières.

Les substances persistantes et mobiles présentes dans les rejets des usines de dessalement sont notamment des dérivés organohalogénés de la chloration, des agents antitartre phosphonés et polymères ou des détergents et des agents complexants utilisés dans les solutions de lavage. Elles peuvent être dispersées par les courants, et leur dilution en abaissera encore les concentrations qui sont déjà faibles. En revanche, la plupart des substances présentes dans les rejets de dessalement ont une échelle de dispersion limitée si bien que leurs effets sur l'environnement ne se produiront qu'au site de rejet et dans le voisinage immédiat. Leur devenir dans l'environnement se caractérise, indépendamment de la dilution, par des processus comme l'autodécomposition (par ex., le chlore) et leur transport dans les sédiments (par ex., le cuivre, les coagulants). Les effets locaux peuvent demeurer significatifs, en particulier dans les "points chauds" de dessalement où les capacités installées sont importantes.

Les concentrations de produits chimiques résiduels dans les rejets de dessalement sont relativement faibles, mais peuvent représenter d'immenses charges étant donné les volumes considérables d'effluents produits. L'estimation des charges chimiques est importante non seulement pour les substances susceptibles d'accumulation, mais aussi pour les composés très toxiques ou persistants présents dans le rejet. La figure 4.1 fait apparaître les apports estimatifs de trois substances représentatives – cuivre, chlore et agents antitartre – dans la Méditerranée. Calculée en fonction des capacités de dessalement et des concentrations des rejets, la charge chimique quotidienne peut atteindre 25 kg de cuivre, 1,9 tonne de chlore et 10,2 tonnes d'agents antitartre. Compte tenu de la superficie de la Méditerranée et de la longueur du rivage méditerranéen, les apports chimiques des usines de dessalement sont encore limités et assez bien répartis, bien qu'il existe quelques points chauds de capacités accrues.

¹¹ <http://www.cormix.info/>

¹² <http://www.dhisoftware.com/mike21/>

¹³ <http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/>

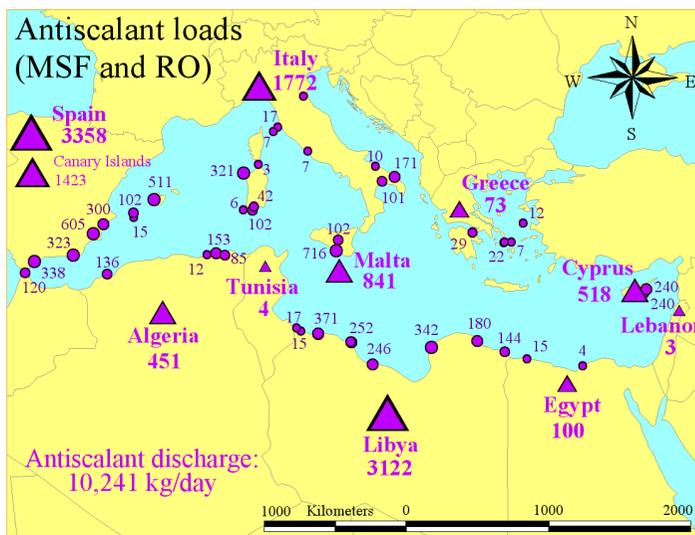
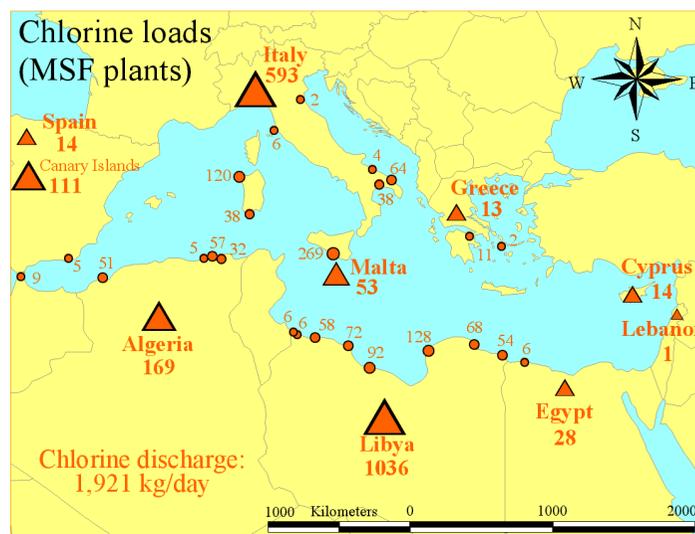
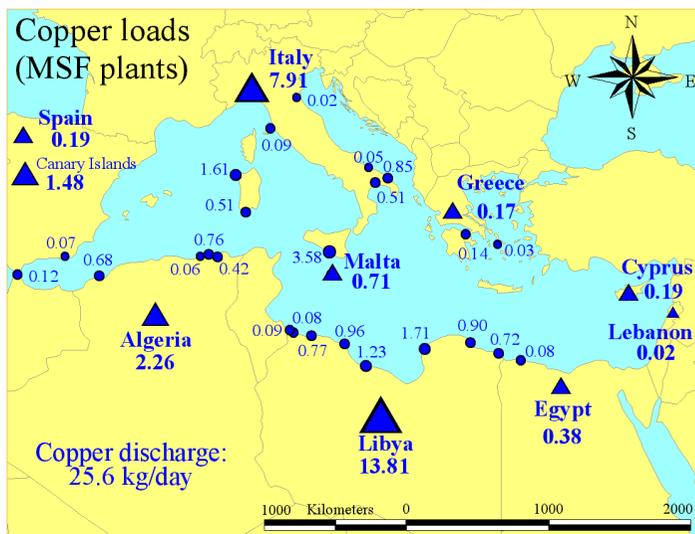


Figure 4-1: Estimation des rejets de cuivre, chlore et agents antitartre dans la Méditerranée (en kg par jour). Les points indiquent les charges de rejets par site, et les triangles, les charges nationales totales.

Le cuivre et le chlore sont présents dans les rejets d'usines de distillation par détente à étages multiples (MSF). Le calcul de l'estimation est basé sur une concentration de cuivre dans la saumure de 15µg/l tandis que la concentration de chlore résiduaire prise comme point de départ est de 0,25 mg/l pour les effluents de saumure et d'eau de refroidissement.

Les agents antitartre sont utilisés aussi bien dans les usines de distillation par détente à étages multiples que dans les usines OI. La figure indique les rejets estimatifs des deux types d'usines, à partir d'une dose de 2 mg/l pour l'eau d'alimentation.

4.1.viii Accroissement potentiel de la demande d'eau

Le manque d'eau s'explique essentiellement par les inégalités dans la répartition des ressources en eau entre les pays méditerranéens. La côte nord reçoit la plus grande partie de l'apport naturel et bénéficie d'un arrière pays au climat tempéré, avec d'abondantes ressources en eau. En revanche, les côtes est et sud se caractérisent par de faibles précipitations et peu d'apports d'eau venant des régions environnantes¹⁴. La pression déjà très forte qui s'exerce sur les ressources en eau dans les pays du sud et de l'est est exacerbée par la rapidité de la croissance démographique et du développement économique et agricole¹⁵.

Demande d'eau par secteur. Les collectivités ne consomment qu'une faible proportion de l'eau: leur part représente environ 8% de la demande totale dans les pays du sud, 14% dans ceux de l'est et 15 % dans ceux du nord (tableau 4-1). La part correspondante de l'activité industrielle est du même ordre, se situant entre 7 et 13% selon les régions si bien que l'irrigation agricole est et restera le premier secteur de consommation d'eau dans la plupart des pays méditerranéens. Dans les pays du sud et de l'est, la demande d'eau pour l'irrigation dépasse 80% du total, chiffre bien supérieur à celui des pays du nord, où environ 42% de l'eau est utilisée à des fins agricoles. Le déficit d'eau est plus prononcé pendant les mois d'été, quand les besoins d'eau pour l'irrigation atteignent leur maximum alors que les précipitations sont rares, voire inexistantes. De plus, le problème est aggravé de façon saisonnière par le tourisme et, certaines années, par des sécheresses, l'apport d'eau pouvant alors tomber au tiers de la moyenne normale (Margat et Vallée, 2000).

Augmentation prévue de la demande d'eau. Dans la plupart des pays méditerranéens, les prises d'eau ont déjà atteint ou atteindront un niveau qui épuise les ressources disponibles. La demande totale dans la région méditerranéenne approchait les 300 milliards de m³ par an en 1990, et devrait augmenter de 32% d'ici à 2010 et de 55%, pour dépasser 460 milliards de m³ par an, d'ici à 2025 (tableau 4-1). Les tendances profondes reflètent les différences entre les niveaux de développement démographique et économique des sous-régions. Alors que la demande doublera presque dans les pays du sud et de l'est, une augmentation relativement faible – de 20% - est prévue pour ceux du nord. Etant donné que les ressources sont limitées et que la demande augmentera rapidement, les pressions exercées sur les ressources naturelles en eau seront plus marquées dans les sous-régions sud et est, où 11 pays utiliseront plus de 50% du volume moyen de leurs ressources renouvelables d'ici à 2010 et 8 en auront besoin de plus de 100% en 2025 (Margat et Vallée, 2000).

¹⁴ Le Nord reçoit environ 72% de l'apport naturel total, tandis que l'Est en reçoit environ 23% et le Sud, 5%. Fait exception le bassin du Nil qui dispose d'abondantes ressources en eau provenant des hauts plateaux de l'Afrique centrale.

¹⁵ La population totale des pays de l'est et du sud a triplé en une génération et dépassait les 223 millions en 1995. Selon les estimations de l'ONU, la population de l'ensemble des pays de la Méditerranée devrait augmenter de 20 à 37%, pour passer de 420 millions d'habitants en 1995 à un chiffre se situant entre 508 et 579 millions en 2025.

Tableau 4-1: Demande d'eau par secteur en 1990 et prévisions tendanciennes modérées pour les pays méditerranéens, par sous-région, pour 2010 et 2015. Les chiffres sont exprimés en km³ par an et en pourcentage de la demande totale à partir de 1990 (100%). La sous-région nord comprend l'Albanie, la Bosnie-Herzégovine, la Croatie, l'Espagne, la France, la Grèce, l'Italie, Malte, Monaco, le Portugal, la République fédérale de Yougoslavie, la Slovénie; la sous-région est comprend Chypre, Israël, la Jordanie, le Liban, la Syrie, les Territoires sous autorité palestinienne (Gaza, Cisjordanie) et la Turquie; enfin la sous-région sud est formée par l'Algérie, l'Égypte, la Libye, le Maroc et la Tunisie (source: Margat et Vallée, 2000).

		Année de référence 1990										2010	2025
		Collectivités		Agriculture		Industrie		Energie		Total		Total	Total
		km ³ /a	%	km ³ /a	%	km ³ /a	%	km ³ /a	%	km ³ /a	%	%	%
1990	Nord	23	15	65.5	42	20	13	47	30	155	100	116	120
	Est	7.5	14	43	79	4	7	0	0	54	100	152	202
	Sud	7.5	8	72.5	82	8.5	10	0	0	89	100	148	189
	Total	38	13	181	61	33	11	47	16	299	100	132	155
2010	Total	62	16	237	60	46	12	50	13	395	100		
2025	Total	75	16	276	60	51	11	61	13	463	100		

Ressources non conventionnelles. :Les chiffres montrent que la demande future ne sera satisfaite que si l'eau provient de ressources non renouvelables (eaux souterraines fossiles) ou est produite par des méthodes non conventionnelles, comme la récupération des eaux usées et le dessalement. L'industrie du dessalement de l'eau est déjà bien établie et fiable dans certaines zones côtières de la Méditerranée (figure 4-2), mais l'ensemble de la région ne possède qu'une part relativement faible des capacités mondiales. Sa production actuelle dépasse 1,7 million de m³/j contre un total de 15 millions de m³ extraits de la mer tous les jours (données tirées de Wangnick, 1999). Les capacités des usines sont aussi relativement faibles, généralement inférieures à 100 000 m³/j, la plupart d'entre elles produisant 10 000 m³/j, ou moins. Bien que la distillation par détente à étages multiples soit le procédé le plus souvent utilisé dans le monde pour ses applications à l'eau de mer, suivi du procédé par osmose inverse, les deux procédés sont à peu près également appliqués dans la région méditerranéenne. A échelle nationale, toutefois, la situation s'écarte fortement de la tendance observée dans l'ensemble de la région, Ainsi, en Espagne, l'eau dessalée est presque exclusivement produite par des usines OI, tandis qu'en Libye, ce sont les procédés thermiques qui sont utilisés par la plupart des usines. La répartition des usines permet de conclure que l'application des technologies coûteuses et très exigeantes en énergie est jusqu'à présent restreinte aux zones dans lesquelles les ressources naturelles en eau sont très limitées, et l'énergie fossile d'accès facile, ou qui ont les moyens de payer le prix élevé de l'eau dessalée.

Selon le scénario tendanciel modéré du Plan Bleu pour la Méditerranée (Margat et Vallée, 2000), les ressources non conventionnelles couvriront 5 à 10 % de la demande d'eau en 2025, ce qui correspond à une production de 63 à 126 millions de m³ par jour: Une grande partie de cette eau sera produite par recyclage des eaux usées et servira aux besoins de l'irrigation. En revanche, l'eau dessalée sera essentiellement utilisée par les collectivités (eau de boisson) et par les industries de pointe (eau pure) (Ribiero, 1996). Le potentiel de croissance est énorme, mais les capacités futures de dessalement dans la Méditerranée ne sont guère faciles à prévoir.

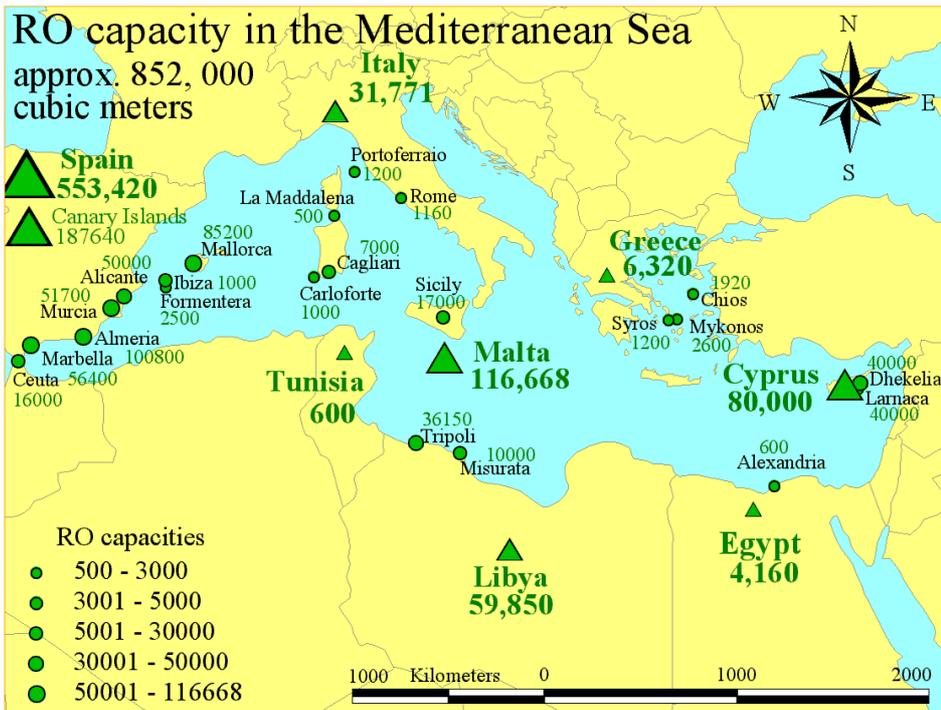
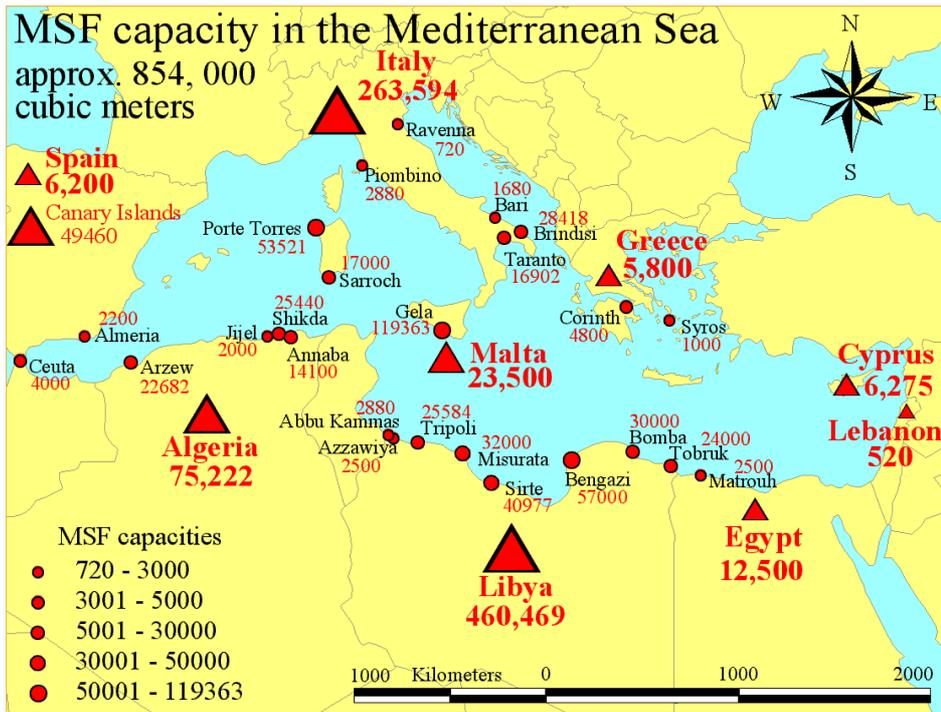


Figure 4-2: Capacités MSF et OI dans la Méditerranée, chaque procédé assurant environ une production de 0,85 million de m³ par jour. Les triangles correspondent aux capacités nationales, et les points aux capacités des usines (données tirées de Wangnick, 1999).

Pour ne satisfaire que 1% de la demande d'eau, les capacités des installations de dessalement dépasseront 12 millions de m³ par jour en 2025, soit une augmentation du septuple. L'application des technologies de dessalement sera probablement limitée aux pays développés qui ont très peu de ressources si les coûts restent élevés, mais leur application devrait se généraliser si les coûts tombent en deçà de 0,25 dollars EU par m³. Actuellement, la tendance est à la création de grandes usines dont les coûts de production peuvent être

considérablement abaissés. Ainsi, l'usine OI qu'il est prévu d'aménager à Ashkelon en Israël a une capacité garantie de plus de 270 000 m³ par jour, produits au prix, le plus bas jusqu'ici, de 0,53 dollars EU le mètre cube (Kronenberg, 2002).

4.1.ix Impacts socio-économiques, y compris les impacts sur les citoyens

Le dessalement de l'eau de mer peut remédier à la pénurie d'eau et aux problèmes de qualité de l'eau qui autrement pourraient avoir des répercussions directes et indirectes sur la santé et le bien-être humains. Il y a des problèmes de santé qui peuvent être directement liés à l'accès à des quantités insuffisantes d'eau salubre pour la consommation humaine, ou au manque d'eau pour l'assainissement et l'hygiène. Pour répondre à ces besoins de base, il faut un minimum absolu de 50 litres par personne et par jour (soit 18 m³ par an, Gleick, 1999). La question est donc de savoir quelles sont les quantités d'eau supplémentaires à produire pour pouvoir irriguer les cultures et assurer le développement industriel.

De sérieuses contraintes pèsent sur le développement économique et social quand les ressources renouvelables sont inférieures à 1 000 m³ par habitant et par an. Or, dans les pays du sud et de l'est de la Méditerranée, les ressources annuelles n'atteignent même pas ce chiffre, les quantités étant souvent inférieures à 500 m³ par habitant. Ces pays – Malte, Chypre, Syrie, Israël, Territoires palestiniens de Gaza et Cisjordanie, Jordanie, Algérie, Tunisie, Egypte et Libye – connaissent déjà des déficits structurels si bien que les ressources en eau par habitant devraient encore diminuer (Margat et Vallée, 2000). L'eau de dessalement pourrait donc contribuer à remédier à la rareté de l'eau, qui fait obstacle à l'élévation des niveaux de vie et au développement des secteurs dépendants de l'eau.

La pénurie d'eau peut causer des problèmes environnementaux qui ont des incidences directes et indirectes sur les citoyens. Une forte demande accroît la pression sur les ressources naturelles en eau, ce qui peut aboutir à une surexploitation de ces ressources et avoir des effets préjudiciables aux écosystèmes. Ainsi, l'utilisation excessive d'eau peut aggraver la désertification, avec pour conséquence une détérioration des conditions climatiques (élévation des températures diurnes à cause de l'absence de végétation et d'eau de surface) ou une augmentation de la quantité de poussières dans l'air qui peut affecter la qualité de vie des citoyens.

En outre, l'affectation de ressources limitées aux différents consommateurs, par ex., les secteurs agricole et industriel, les municipalités et le tourisme, peut être à l'origine de conflits. Cela vaut aussi pour les pays de la région en cas de pénurie des ressources en eau dont ils partagent l'utilisation.

En résumé, pour que le dessalement de l'eau de mer puisse être utile aux citoyens, il faut:

- assurer l'accès à des quantités suffisantes d'eau potable à usage domestique;
- créer des richesses grâce au tourisme, au développement industriel et agricole, ou même à de nouvelles possibilités d'emploi dans l'industrie du dessalement;
- réduire la pression sur les ressources naturelles, protéger les écosystèmes d'eau douce, prévenir la désertification ou l'augmentation de la salinité des eaux souterraines;
- garantir la stabilité et la paix dans la région.

Les impacts socio-économiques négatifs que peut avoir le dessalement sont les suivants:

- changement des modes de consommation, voire utilisation abusive de l'eau sous l'impression qu'il est facile de s'en procurer;
- concentration accrue du développement et de l'activité dans les zones côtières, migration des populations des régions rurales/de l'arrière-pays vers les zones côtières/suburbaines;
- dépendance à l'égard d'une technologie qui peut à son tour dépendre de l'importation de savoir faire ou d'énergie, ce qui expose la qualité de l'eau à la dégradation (par ex., déversements de pétrole) et est centralisée généralement dans quelques sites qui exigent le transport de l'eau sur de grandes distances.

L'ampleur des impacts socio-économiques dépend du développement futur de l'activité de dessalement dans la région méditerranéenne. Les scénarios tendanciels vont d'un développement limité dans les pays développés à un développement généralisé dans l'ensemble de la région si les coûts peuvent encore être abaissés. Le facteur coût peut aussi être lié aux décisions concernant la gestion de l'eau, par exemple, à l'octroi de subventions au dessalement pour maintenir la production de l'eau à bas prix. Le subventionnement donne certes aux groupes à faible revenu les moyens de se procurer de l'eau, mais il fausse le prix du produit, en particulier pour les secteurs qui pourraient supporter le coût réel du dessalement (par ex., l'industrie ou le tourisme). Le système tarifaire pourrait être conçu de manière à assurer des quantités suffisantes d'eau à tous, sans en favoriser l'utilisation abusive, et à éviter les subventions quand elles ne sont pas nécessaires.

4.1.x Programmes de surveillance continue avant et après les opérations

Aux termes de l'article 8 du Protocole tellurique, les Parties contractantes sont convenues d'entreprendre des programmes de surveillance continue pour évaluer systématiquement les niveaux de pollution le long de leurs côtes, notamment en ce qui concerne les secteurs d'activité et les catégories de substances énumérés dans les annexes I et II du Protocole. Bien que le dessalement de l'eau de mer ne figure pas explicitement parmi les secteurs d'activité, de nombreux composants de la saumure tombent sous le coup des dispositions de ces annexes. Compte tenu des polluants susceptibles d'être présents dans les rejets du dessalement, de la croissance prévue de l'industrie du dessalement dans la Méditerranée et des incidences transfrontières qui en résulteront, il conviendrait d'établir des programmes de surveillance continue des usines de dessalement. Ces programmes peuvent être entrepris indépendamment ou s'inscrire dans le cadre de programmes nationaux de surveillance continue.

Il est en outre nécessaires de surveiller systématiquement les effluents et la qualité de l'environnement pour s'assurer de leur conformité avec les limites d'effluent et les objectifs de qualité de l'eau. Les autorités nationales chargées de délivrer les permis de rejet peuvent donc fixer des normes de surveillance ou pourraient participer activement au processus de surveillance. La surveillance peut comporter, avant et après les opérations, des activités de collecte d'informations sur des projets spécifiques et d'évaluation de l'exactitude des prévisions issues de l'EIE, et peut inclure aussi des études fondamentales permettant d'avoir une meilleure connaissance générale des impacts potentiels.

Informations de base sur les impacts potentiels. On pourrait procéder à des analyses de laboratoire pour évaluer la toxicité aiguë et chronique des effluents de dessalement, de préférence en utilisant les espèces marines caractéristiques d'une région ou d'un site donné. Les analyses qui portent sur la totalité de l'effluent permettent d'étudier les impacts combinés de toutes ses variables (effets cumulatifs ou synergiques) et non de se limiter à ceux de chacun de ses composants. Elles permettent aussi de mieux connaître le devenir dans l'environnement des composés chimiques du rejet, par exemple les taux de biodégradation et de bioaccumulation, les réactions secondaires possibles avec d'autres composants de l'eau de mer ou d'autres effluents, les processus de transport dans les matières en suspension et les sédiments.

Surveillance continue avant les opérations. La surveillance avant les opérations consiste en une analyse chimique d'échantillons prélevés dans l'eau, les sédiments et le tissu organique des organismes marins au site de rejet. L'échantillonnage peut se faire le long de sections transversales ou en des points définis d'une grille qui permet une analyse spatiale, à l'aide par exemple de méthodes (géo)statistiques. Les mêmes points peuvent servir pour analyser la répartition et l'abondance des espèces benthiques qui sont ordinairement sessiles ou ont un rayon d'action limité. A cette fin, le sondage et l'enregistrement sur vidéo caméra sont, parmi d'autres, les méthodes qu'il convient d'appliquer. Les organismes pélagiques (par ex., poisson, plancton) ont une plus grande mobilité ou sont dispersés par

les courants, si bien que les tendances spatiales risquent d'être moins évidentes. Il est néanmoins recommandé de dresser l'inventaire général de ces espèces au site de rejet. Les résultats de l'analyse chimique et les données sur la composition des espèces serviront de référence pour les activités futures de surveillance.

Il faudrait aussi étudier les conditions océanographiques au site de rejet pour évaluer la direction et l'étendue des impact du panache de rejet. Les variables importantes à prendre en compte sont la salinité et la température, les données hydrographiques – courants et marées – et les caractéristiques topographiques – profondeur des eaux et morphologie du rivage. Les données peuvent être appliquées à des modèles informatiques pour simuler la propagation du panache et la dispersion des produits chimiques de prétraitement dans l'environnement. On peut aussi mesurer les taux de dispersion à l'aide de traceurs (colorants non toxiques).

Surveillance continue après les opérations. Pour procéder aux analyses chimiques après les opérations, il faudrait prélever des échantillons d'eau, de sédiment ou de tissu organique aux points définis pendant la surveillance avant les opérations. Il faut aussi faire l'inventaire des organismes marins présents à la sortie de l'émissaire aux fins de comparaison avec les données obtenues avant les opérations. On peut ainsi déterminer les changements susceptibles de s'être produits dans la qualité de l'eau et des sédiments ou dans la composition et l'abondance des espèces et en tirer des conclusions quant aux impacts potentiels du rejet. Dans ce contexte, on peut rechercher si les niveaux de salinité, de température et d'oxygène dissous ou les concentrations de produits chimiques dans l'environnement sont conformes aux objectifs de qualité de l'eau et des sédiments. La biosurveillance est également à recommander pour les métaux lourds qui ont tendance à s'accumuler dans le tissu organique des espèces marines comestibles.

Il faudrait étudier les modifications des conditions océanographiques qui ont pu se produire après la mise en service de l'usine car le panache de rejet peut perturber la circulation de l'eau au site de rejet. Les mesures de la salinité ou des variables de l'effluent peuvent servir d'indicateurs de la propagation et de la dispersion du panache. Les résultats peuvent être comparés aux prévisions concernant la trajectoire du panache (s'il en existe) obtenues à l'aide des modèles de simulation ou des traceurs.

4.2 Comment entreprendre une étude d'impact sur l'environnement (EIE)

Une étude d'impact sur l'environnement a pour objet d'identifier l'emplacement, le procédé et la méthode de construction qui ont les répercussions socio-économiques et environnementales les moins défavorables. Elle permet aussi de mettre en balance les avantages à tirer d'un nouveau projet et les risques qu'il comporte. L'EIE n'aura d'intérêt pour la réalisation du projet que si elle est intégrée au plus tôt dans le processus de planification et de développement. Ainsi, une première EIE peut s'inscrire dans le cadre de l'étude de faisabilité du nouveau projet afin de prendre en compte les considérations environnementales. Afin d'examiner un large éventail d'impacts possibles, l'EIE peut être précédée ou s'accompagner de la définition du champ d'étude ou de la mise en place d'une équipe spéciale. Les réactions du public, des organismes gouvernementaux, des utilisateurs ou d'autres groupes, et leur participation aux travaux de planification peuvent mener à un consensus général et prévenir d'éventuels conflits ultérieurs.

L'autorité qui est chargée d'approuver l'EIE devrait en définir la portée et en indiquer les modalités d'exécution. Une liste des aspects à prendre en considération dans une EIE est présentée dans la section suivante. La procédure générale proposée ci-après, qui comprend cinq étapes fondamentales, tient compte de l'approche méthodologique adoptée par le PNUE pour évaluer l'impact sur l'environnement des projets qui touchent à l'environnement côtier et au milieu marin (PNUE, 1990). Cette approche est appliquée ici au dessalement de l'eau:

- A. Collecte d'informations de base et examen de la législation en vigueur. Il est possible de tirer parti de l'expérience acquise dans des cas analogues pour réduire la durée et le coût des études d'impact sur l'environnement.
- B. Etude du projet et du site retenu, y compris le milieu naturel, le contexte socio-économique et les autres options concernant la conception et l'emplacement du projet.
- C. Identification et évaluation des impacts potentiels de la mise en oeuvre du projet sur la qualité de l'environnement:
 - i. analyse des cause des impacts sur l'environnement. Dans le cas des usines de dessalement de l'eau de mer, il peut se produire des impacts pendant les travaux de construction de l'usine ou pendant son fonctionnement normal. Le fonctionnement de l'usine est à l'origine de rejets d'eaux usées dans le milieu marin, d'émissions de gaz de combustion dans l'atmosphère, et éventuellement de déversements accidentels dans le sol ou les eaux côtières. Il conviendrait d'identifier les activités et les composés rejetés ou émis qui posent des problèmes particuliers.
 - ii. définition des liens de cause à effet. Il s'agit de savoir, par exemple, comment le rejet agit sur les caractéristiques physiques et chimiques et l'eau de mer, si les composants du rejet sont toxiques ou nocifs pour la faune et la flore marines, quel est leur devenir dans l'environnement, si plusieurs composants ont des effets cumulatifs, etc.
 - iii. analyse de l'écosystème affecté. Les écosystèmes côtiers sont plus ou moins réceptifs aux rejets du dessalement, en fonction de la sensibilité des organismes marins présents et des conditions océanographiques qui prévalent.
- D. Recommandation d'autres options ou de mesures de réduction pour tous les composants qui risquent d'avoir des effets nocifs, afin de réduire l'impact global de l'activité proposée. Pour les usines de dessalement de l'eau de mer, il conviendrait par exemple de déterminer la composition du rejet qui a le moins d'effets sur les espèces marines et le meilleur site de rejet pour la dilution et la dispersion des substances chimiques.
- E. Etablissement d'un programme de surveillance continue de la construction et des opérations de l'usine projetée pour vérifier l'exactitude des prévisions de l'EIE et réunir d'autres informations sur les effets. Les normes de surveillance devraient être spécifiées par l'autorité qui approuve l'EIE et délivre les permis de construction et d'exploitation.

4.3 Liste des éléments à prendre en considération dans l'EIE

La liste qui suit donne une idée générale des différents éléments à évaluer dans une étude d'impact sur l'environnement concernant les usines de dessalement de l'eau de mer et indique comment doivent être présentés les résultats dans le rapport de l'EIE:

- A. Informations de base (Introduction)
 - i. objet et nécessité du projet
 - ii. conditions de délivrance des permis et contexte juridique
 - iii. portée de l'EIE
- B. Description du projet
 - i. emplacement général
 - ii. éléments de l'installation sur le rivage – canalisations, stations de pompage, zone de traitement chimique, sous-stations électriques, etc
 - iii. éléments en mer - structure d'apport d'eau, émissaire de la saumure et canalisations immergées
 - iv. activités de construction sur le rivage et en mer – équipements nécessaires, calendrier des travaux, etc.

- v. procédure d'exploitation et de maintien – traitement chimique, vitesse d'écoulement de l'eau d'alimentation et des rejets
- C. Contexte socio-économique et cadre environnemental, impacts potentiels du projet et recommandations aux fins de réduction des impacts
- i. Utilisation du sol
 - description des caractéristiques du site sur le littoral et en mer – utilisations actuelles, valeur architecturale et culturelle, topographie, géologie et sols
 - impacts potentiels du changement d'utilisation du sol, géologie et conditions pédologiques – impacts d'ordre esthétique, destruction d'habitats, érosion, glissements de terrain, drainage de l'eau, etc
 - mesures de réduction, par ex., déterminer comment réduire au minimum la superficie de sol utilisée et éviter les impacts de l'implantation de l'usine sur des zones sensibles et modifier la construction et le fonctionnement de l'usine.
 - ii. Utilisation d'énergie
 - description des besoins énergétiques de l'usine
 - impacts potentiels de l'utilisation d'énergie, en particulier pour les sources d'énergie non renouvelables en termes de déchets, d'émissions, d'accidents
 - mesures de réduction – déterminer, par exemple, comment réduire la consommation d'énergie fossile en appliquant des techniques d'économie d'énergie (par ex., récupération de l'énergie dans le procédé par osmose inverse, cogénération) ou l'éviter en recourant à des sources d'énergie renouvelables
 - iii. Utilisation du milieu marin
 - a) cadre naturel
 - description de la masse d'eau de mer, y compris les conditions océanographiques et la qualité de l'eau
 - description des ressources biologiques, y compris les écosystèmes côtiers sensibles, les espèces endémiques ou menacées
 - b) prélèvement de l'eau de mer
 - description de la pratique de prélèvement
 - impacts potentiels – entraînement et collision, par exemple
 - méthode de réduction des prélèvements, par ex. définir la conception de l'ouvrage (tambours, puits de plage) ou envisager son déplacement pour réduire au minimum les impacts
 - c) rejets de saumure et de substances chimiques
 - description de la composition de l'effluent et des concentrations de substances chimiques résultant du procédé et du programme de prétraitement
 - impacts potentiels des composants de l'effluent sur le milieu marin, identification des variables qui posent des problèmes particuliers
 - méthodes de réduction, par ex., déterminer comment modifier le procédé et le programme de prétraitement, traiter ou diluer l'effluent, ou choisir l'emplacement de l'usine et de son émissaire pour réduire les impacts sur l'environnement
 - iv. Impacts socio-économiques
 - description des autres activités côtières dans la zone proposée, répartition et utilisation de l'eau dessalée
 - impacts potentiels sur d'autres utilisations des ressources (par ex., accès du public, tourisme, pêche et aquaculture, navigation, etc.) et impacts potentiels

des disponibilités en eau (croissance démographique et économique dans la zone côtière)

- méthodes de réduction, déterminer comment régler les conflits en permettant à différents secteurs d'utiliser simultanément les ressources ou en transférant certaines activités dans d'autres zones, et comment intégrer le dessalement de l'eau à un concept durable de développement

D. Evaluation des impacts globaux de l'activité proposée

- i. identification des activités ou des éléments susceptibles d'avoir un impact important sur l'environnement ou le développement socio-économique
- ii. évaluation des effets cumulatifs des différents éléments ou activités
- iii. résumé des recommandations de mesures de réduction, y compris les autres options pour l'emplacement du projet et la conception du procédé
- iv. identification des effets défavorables impossibles à éviter, évaluation des risques et analyse des coûts-avantages du projet

E. Cohérence avec les politiques et plans régionaux, nationaux ou locaux, par ex.

- i. plan d'aménagement côtier
- ii. plan national de gestion de l'eau
- iii. réglementation des rejets côtiers, dispositions du Protocole tellurique

F. Etablissement d'un programme de surveillance continue

- i. pour évaluer l'exactitude des prévisions concernant les effets sur l'environnement
- ii. pour vérifier si les méthodes de réduction appliquées réduisent de façon significative les impacts défavorables
- iii. pour rassembler d'autres informations sur les effets environnementaux.

5. CLASSEMENT DES PROCÉDES DE DESSALEMENT EN FONCTION DE LEURS IMPACTS

Les impacts socio-économiques peuvent résulter d'une augmentation des disponibilités en eau et sont donc liés au produit, et non au procédé de dessalement utilisé. En revanche, les effets sur l'environnement sont dus aux rejets de l'usine de dessalement, qui dépendent du procédé et comprennent le courant de déchets rejetés dans le milieu marin ainsi que les gaz de combustion émis dans l'atmosphère. Pour ce qui est des rejets dans le milieu marin, il faut faire une distinction entre le mode de fonctionnement normal de l'usine, lequel produit le rejet de saumure qui contient aussi des substances chimiques résiduelles provenant du prétraitement, et les cycles intermittents de lavage.

Fonctionnement normal de l'usine

Dans les sections précédentes, les différents composants des effluents de dessalement ont été évalués en fonction de leurs impacts probables sur l'environnement. A partir des résultats obtenus, on peut conclure que les produits chimiques de prétraitement utilisés dans le procédé OI ne présentent que peu de risques pour le milieu marin. Cela est dû surtout à l'absence de biocides dans le rejet et aux faibles concentrations de métaux lourds, les autres produits de prétraitement pouvant généralement être classés parmi les substances non dangereuses:

- i. Le chlore résiduel est habituellement éliminé de l'eau d'alimentation directement avant d'arriver dans la section OI pour prévenir l'oxydation qui endommagerait les membranes en polyamide. En cas d'utilisation de désinfectants non oxydants (par ex., sulfate de cuivre) ou de membranes plus résistantes à l'oxydation (par ex., acétate de cellulose), la saumure de vidange pourrait contenir des biocides résiduels. Toutefois, ce sont presque exclusivement des membranes en polyamide qui sont utilisées dans les

- usines modernes, et la chloration-déchloration est la méthode la plus couramment appliquée pour éliminer les salissures.
- ii. Les éléments des usines OI sont essentiellement en acier inoxydable et en matériaux non métalliques. La corrosion de l'acier inoxydable est généralement très faible dans l'eau de mer, encore qu'elle puisse se produire sous forme de piquages ponctuels dans des fissures si les conditions sont favorables. De ce fait, la saumure OI contient des concentrations relativement faibles de produits dus à la corrosion, le fer en étant le principal composant, avec en quantités moindres le nickel, le chrome et le molybdène.
 - iii. Les autres produits chimiques de prétraitement sont les coagulants et les agents antitartre qui ne sont généralement pas toxiques pour la faune et la flore marines. Ils peuvent avoir des effets nocifs, que l'on peut toutefois prévenir ou réduire en prenant certaines mesures de précaution. Par exemple, les déchets du lavage à contre courant des filtres peuvent être suffisamment dilués dans la saumure de vidange ou déposés sous forme solide dans une décharge pour éviter une augmentation des taux de turbidité et de sédimentation au site de rejet. En ce qui concerne les agents antitartre, l'utilisation de nouveaux polymères pourrait être préférable à celle d'agents antitarte polyphosphatés pour réduire le phénomène d'eutrophisation.

Le procédé OI a pour principal inconvénient de produire un effluent de salinité élevée, dont le degré se situe généralement entre 60 et 70, mais peut atteindre 90 si la récupération totale est augmentée par un second étage OI. Alors que la salinité de l'effluent OI peut être double de celle de l'eau de mer, celle de l'effluent de distillation dépasse rarement de plus de 15% celle du milieu ambiant et a des impacts potentiellement plus faibles sur le milieu marin. La différence de salinité entre les effluents peut être attribuée au rejet de l'eau de refroidissement qui est un déchet de la section rejet de vapeur des usines à distillation et permet de diluer efficacement la saumure de vidange.

Comme pour la salinité, les substances chimiques de prétraitement sont diluées par brassage des rejets de saumure et d'eau de refroidissement. Cela vaut aussi pour les agents antitartre et antimousse qui sont ajoutés à l'eau d'alimentation des usines à distillation, mais non à l'apport d'eau de refroidissement. Toutefois, les deux substances ne posent guère de problème, étant donné leur faible toxicité. La dilution n'affectera donc que les constituants de la saumure qui ne sont pas essentiels pour l'évaluation de l'impact des déchets de dessalement, ce qui n'est pas le cas pour d'autres substances d'importance pour les raisons suivantes:

- i. La chloration intervient généralement à l'arrivée de l'eau dans l'usine si bien que l'eau de refroidissement comme l'eau d'alimentation sont chlorées. Le rejet d'eau de refroidissement des usines de dessalement par distillation augmente donc la quantité totale de chlore qui entre dans la masse d'eau côtière sans que soient modifiées les concentrations du rejet. Malgré une réduction de la teneur en chlore par autodécomposition rapide, les niveaux résiduels présents dans l'effluent et le milieu ont probablement une importance toxicologique pour la faune et la flore marines. En outre, les réactions avec les constituants organiques de l'eau de mer entraînent la formation de composés halogénés.
- ii. Le cuivre provenant de la corrosion des alliages des échangeurs de chaleur est un polluant important présent dans les saumures de distillation, et probablement aussi dans les rejets d'eau de refroidissement. Bien qu'il puisse réduire les concentrations de cuivre, le mélange des courants de déchets n'aura pas d'effet sur les charges totales de rejet. Les charges sont particulièrement inquiétantes pour les substances, comme le cuivre, qui ont un pouvoir d'accumulation dans les sédiments ou les organismes marins.
- iii. Comme la température augmente à la fois dans la saumure et dans l'eau de refroidissement, le brassage n'abaissera pas la température de l'effluent global. En fait, une forte proportion du rejet thermique doit être attribué à l'eau

de refroidissement. Des températures élevées peuvent affecter la flore et la faune marine dans le zone de brassage, tout comme l'augmentation de la salinité.

Opérations intermittentes de nettoyage

Alors que les substances chimiques de prétraitement dans le procédé OI sont relativement inoffensives, il n'en est pas de même pour les solutions de lavage acides et alcalines des membranes, qui contiennent des produits qui posent des problèmes pour les organismes marins. Il s'agit des produits suivants:

- i. désinfectants très efficaces (formaldéhyde et isothiazole, par ex.)
- ii. détergents qui perturbent le système membranaire intracellulaire des organismes (sulfonate de dodécylbenzène, par ex.)
- iii. agents chélateurs peu dégradables qui agissent sur le devenir des métaux lourds dans la masse d'eau côtière (EDTA, par ex.)

Il conviendrait donc d'éviter de rejeter ces substances dans la mer car elles affecteront probablement la flore et la faune marines tant qu'elles n'auront pas atteint un degré de dilution et de dégradation suffisant dans la masse d'eau côtière. Pour le traitement des déchets ou les autres options de rejet, il y a intérêt à utiliser normalement de faibles volumes de solutions de lavage et à ne produire des déchets que par intervalles.

Dans les usines de dessalement par distillation, le procédé de nettoyage est relativement simple et consiste à faire circuler une solution acide chaude de pH 2. Le seul additif est généralement un inhibiteur chimique qui adhère aux parois métalliques des éléments pour éviter la corrosion. De faibles quantités de solution acide (ou alcaline dans le cas des usines OI) sont généralement peu inquiétantes pour le milieu marin à condition de garantir une dilution suffisante. Comme l'eau de mer a une bonne capacité tampon, elle neutralisera presque immédiatement l'excédent d'acidité ou d'alcalinité. Au demeurant, il est recommandé de neutraliser les grandes quantités de déchets acides avant le rejet car ils peuvent être nocifs pour la faune et la flore marines.

Conclusion

En ce qui concerne les impacts sur le milieu marin, on peut conclure que le procédé par osmose inverse est préférable au procédé par distillation car la saumure de rejet ne contient pas de biocides ni de métaux lourds. Toutefois, les nouveaux matériaux de construction, comme le titane, sont de plus en plus souvent utilisés dans les procédés thermiques, ce qui élimine la contamination de la saumure par le cuivre. De plus, les concentrations de chlore résiduelles pourraient être neutralisées suivant la pratique actuelle des usines OI. En revanche, les solutions de lavage qui servent périodiquement à remettre en état les membranes OI sont potentiellement plus dangereuses que les déchets du lavage des colonnes de distillation thermique.

Le procédé OI consommant moins d'énergie que le procédé par distillation, il porte moins atteinte à l'environnement. Cependant, les usines de production couplée peuvent rivaliser avec les usines OI en termes de besoins énergétiques, car la vapeur dégagée par la production d'électricité est utilisée comme source de chaleur pour l'usine de dessalement, et ne se perd pas dans l'atmosphère.

6. PERMIS TYPE POUR LA CONSTRUCTION ET L'EXPLOITATION D'USINES DE DESSALEMENT D'EAU DE MER

Le dessalement de l'eau de mer fait intervenir différentes activités qui peuvent exiger des permis distincts: aménagement des zones côtières pour les nouvelles usines, prélèvement de l'eau de mer ou rejet de concentrés dans la masse d'eau côtière. Les permis sont

adaptés aux spécificités de chaque usine, en particulier lorsqu'il s'agit d'une usine qui n'a guère de caractéristiques communes avec les autres en raison par exemple de sa taille, de son procédé ou de son emplacement dans un milieu marin unique et sensible. Cependant un permis type contenant des informations sur les caractéristiques les plus courantes des usines peut être établi pour un groupe d'installations similaires. La liste qui suit contient des rubriques qui peuvent figurer dans un modèle type, mais il est possible de la modifier et d'y incorporer des renseignements spécifiques à l'usine envisagée.

Permis d'aménagement côtier pour les usines de dessalement

- A. Nom et adresse du requérant et propriétaire de l'installation
- B. Brève description de l'aménagement prévu
- C. Brève description de l'utilisation actuelle du sol
- D. Description détaillée de l'installation contenant les informations suivantes qui peuvent être étayées par les plans du site et des cartes topographiques:
 - i. emplacement, taille, hauteur et distances entre les différentes structures de l'installation
 - ii. accès et raccordement à l'infrastructure hors de l'installation (routes, réseau électrique, canalisations, etc)
 - iii. dimension du site, y compris la superficie de la zone occupée par l'installation ou modifiée par l'aménagement du paysage
 - iv. drainage et modifications des cours d'eau
 - v. travaux de terrassement et modifications du paysage et de la topographie, par ex. du fond de la mer, des plages, des systèmes dunaires, des zones humides, de la végétation, etc.
- E. L'autorité compétente devrait en outre déterminer si:
 - i. l'installation prévue de dessalement et la croissance socio-économique qui en résulte sont compatibles avec les spécifications du plan d'aménagement côtier
 - ii. l'usine peut donner lieu à des conflits d'usage entre secteurs concurrents
 - iii. le site a été choisi et les travaux de construction seront réalisés compte tenu des aspects concernant la réduction au minimum de l'utilisation du sol et des impacts sur l'environnement

Permis de prélèvement d'eau de mer et de rejet pour les usines de dessalement

I. Plan de la demande

- A. Nom et adresse du requérant
- B. Nom de l'installation, adresse postale, emplacement général
- C. Brève description du procédé de dessalement et des mesures de prétraitement, y compris le type de procédé, la capacité nominale, les taux de prélèvement, de rejet et de récupération, les principales étapes du prétraitement et l'utilisation de substances chimiques
- D. Emplacement de la structure d'apport d'eau et de l'émissaire, y compris les coordonnées approximatives (latitude, longitude), la distance à partir du rivage, la profondeur du rejet, la profondeur totale de l'eau, l'identification et une brève description de la masse d'eau utilisée pour le prélèvement et/ou l'élimination
- E. Documents joints:
 - i. diagrammes des courants indiquant le cheminement de l'eau depuis le site de prélèvement jusqu'au site de rejet, y compris tous les procédés et étapes de prétraitement
 - ii. une carte topographique s'étendant au-delà du périmètre de l'installation, indiquant le tracé de l'installation, le site de prélèvement, les émissaires, les puits enfouis dans le fond de la mer, l'entreposage des substances chimiques et les cuves de prétraitement, les stations de pompage, etc

II. Sources et débits moyens contribuant à l'effluent total

- A. Mode de fonctionnement normal, par ex.:
- i. rejet de saumure (m³/jour)
 - ii. rejet d'eau de refroidissement des centrales (m³/jour)
- B. Rejets intermittents, par ex.:
- i. eau de lavage à contre courant des filtres OI (m³/jour)
 - ii. solutions de lavage (m³/lavage)

III. Limitations et normes de surveillance continue des variables des effluents, par exemple:

Caractéristique de l'effluent	Valeur maximale	Objectif qualité	Normes de surveillance	
			Fréquence	Type d'échantillon
Débit de rejet (m ³ /jour)			continue	enregistrement
Conductivité (mS/cm)	max. 10% au-dessus de la valeur ambiante		continue	enregistrement
Température	max. 10°C au-dessus du degré ambiant		continue	enregistrement
Salinité (ppt) ou chlorures (ppm)	max. 10% au-dessus de la valeur ambiante		1/semaine	localisé
Oxygène dissous	min. absolu de 4 mg/l; 5 mg/l en moyenne sur 24 heures		1/semaine	localisé
pH	6,5-8,5		1/semaine	localisé
Turbidité	max. 10% au-dessus de la valeur ambiante		1/semaine	localisé
Chlore résiduel	en-dessous de la limite de détection		1/semaine	localisé
Cuivre récupérable total	500µg/l	8µg/l	1/semaine	localisé

7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agenda 21 (1992). Protection of the oceans, all kinds of seas, including enclosed and semi-enclosed seas, and coastal areas and the protection, rational use and development of their living resources. published under <http://www.un.org/esa/sustdev/agenda21.htm>, Agenda 21, Chapter 17.
- Al-Rabeh, A. H., Lardner, R. W. and Gunay, N. (2000). GULFHYDRO Version 2.0: A software package for hydrodynamics in the Arabian Gulf. *Environmental Modelling and Software*, 15: 23–34.
- Badr, H. M., Al-Rabeh, A. H. and Khan, R. (1999). GULFDISP: A pc-based package for modeling brine and thermal dispersion in the Arabian Gulf. *Proceedings of the Fifth Saudi Engineering Conference*, March 1-4, Makkah Al-Mukarramah, Saudi Arabia, 4: 383–393.
- C.R.E.S. (1998). Desalination guide using renewable energies. THERMIE Programme of the European Commission, Directorate General for Energy (DG XVII), with contributions of C.R.E.S. Centre for Renewable Energy Sources, Greece; University of Las Palmas, Spain; Richard Morris and Associates, UK; Techenerg Limited, Ireland, 101p.
- Del Bene, J., Jirka, G. and Largier, J. (1994). Ocean brine disposal. *Desalination*, 97: 365–372.
- Doneker, R. L. and Jirka, G. H. (2001). CORMIX-GI systems for mixing zone analysis of brine wastewater disposal. *Desalination*, 139: 263–274.
- Falbe, J. and Regitz, M. (Ed.) (1995). *Roempp Chemie Lexikon*, 9th Edition on CD-ROM. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Gleick, P. (1999). The Human Right to Water. *Water Policy*, 1: 487–503.
- Jirka, G., Doneker, R. and Hinton, S. (1996). User's manual for cormix: A hydrodynamic mixing zone model and decision support system for pollutant discharges into surface waters. DeFrees Hydraulics Laboratory, School of Civil and Environmental Engineering, Cornell University, Ithaca, New York 14853-3501
- Khordagui, H. (1992). Conceptual approach to selection of a control measure for residual chlorine discharge in Kuwait Bay. *Environmental Management* 16, 3: 309–316.
- Kronenberg, G. (2002). Structuring the Ashkelon BOT contract. *The International Desalination and Water Reuse Quarterly*, A Faversham House Group Publication, IDA International Desalination Association, 12: 24–30.
- Margat, J. and Vallée, D. (2000). Mediterranean vision on water, population and the environment for the 21 st century. *Blue Plan for the Global Water Partnership/Medtac* in the programme of the World Water Vision of the World Water Council.
- Ribiero, J. (1996). Desalination technology survey and prospects, IPTS EUR 16434 EN. Institute for Prospective Technological Studies, Isla de la Cartuja, 41092 Sevilla, Spain, 55p.
- Rott, B., Viswanathan, R. and Freitag, D. (1982). Comparative-study of the usefulness of various tests for checking the degradability of environmental chemicals. *Chemosphere* 11, 5: 531-538. Quote from the Hazardous Substances Databank (HSDB), a database of the National Library of Medicine's TOXNET system. Access to database under <http://toxnet.nlm.nih.gov>.
- UNEP (1990). *An Approach to Environmental Impact Assessment for Projects Affecting the Coastal and Marine Environment*. Regional Seas Reports and Studies No. 122.

UNEP (1996). State of the marine and coastal environment in the Mediterranean Region. MAP Technical Report Series No. 100, UNEP, Athens.

UNEP/MED (2002a). Assessment of the sea water desalination activities in the Mediterranean region and environmental impacts. UNEP(DEC)/MED WG.205/3, Athens.

UNEP/MED (2002b). Recommendations for the preparation of guidelines for the management of sea water desalination in the Mediterranean region. (UNEP(DEC)/MED WG.205/4), Athens.

UNEP/WHO (1996). Guidelines for authorizations for the discharge of liquid wastes into the Mediterranean Sea. MAP Technical Reports Series No. 107, UNEP, Athens.

Wangnick, K. (1999). IDA Worldwide Desalting Plants Inventory Report No. 16. Wangnick Consulting GmbH, 27442 Gnarrenburg, Germany, 247p.

LIST OF MAP TECHNICAL SERIES REPORTS

*Please note that you can also download the MTS Reports
from our web site at www.unepmap.org*

MTS 138. UNEP/MAP : **MAP CAMP Project "Malta": Final Integrated Project Document and Selected Thematic Documents.** MAP Technical Report Series No. 138, UNEP/MAP, Athens, 2002. (English).

MTS 137. UNEP/MAP : **Free Trade and the Environment in the Euro-Mediterranean Context, Montpellier/Mèze, France, 5 – 8 October 2000:** Volume I: Technical Report of the Workshop; Volume II: Regional and International Studies; Volume III: National Studies; Volume IV: Environmental Aspects of Association Agreements. MAP Technical Report Series No. 137, (4 Vols), UNEP/MAP, Athens, 2002. **Libre-échange et environnement dans le contexte euro-méditerranéen : Montpellier/Mèze, France, 5 – 8 octobre 2000** (Parts in English & French).

MTS 136. UNEP/MAP/MED POL: **Guidelines for the management of fish waste or organic materials resulting from the processing of fish and other marine organisms.** MAP Technical Report Series No. 136, UNEP/MAP, Athens, 2002. (English, French, Spanish & Arabic).

MTS 135. PNUE/PAM: **PAC DU PAM "Zone côtière de Sfax": Synthèse des études du projet, rapport de la réunion de clôture et autres documents choisis.** No. 135 de la Série des rapports techniques du PAM, PNUE/PAM, Athènes, 2001. (French).

MTS 134. UNEP/MAP: **MAP CAMP Project "Israel": Final Integrated Report and Selected Documents.** MAP Technical Reports Series No. 134, UNEP/MAP, Athens, 2001. (English).

MTS 133. UNEP/MAP: **Atmospheric Transport and Deposition of Pollutants into the Mediterranean Sea: Final Reports on Research Projects.** MAP Technical Reports Series No. 133, UNEP/MAP, Athens, 2001. (English).

MTS 132. UNEP/MAP/WHO: **Remedial Actions for Pollution Mitigation and Rehabilitation in Cases of Non-compliance with Established Criteria.** MAP Technical Reports Series No. 132, UNEP/MAP, Athens 2001. (English).

MTS 131. UNEP/MAP: **MAP CAMP Project "Fuka-Matrouh", Egypt: Final Integrated Report and Selected Documents.** MAP Technical Reports Series No. 131, (2 Vols.), UNEP/MAP, Athens, 2001. (English).

MTS 130. UNEP/MAP/WMO: **Atmospheric Input of Persistent Organic Pollutants to the Mediterranean Sea.** MAP Technical Reports Series No. 130, UNEP/MAP, Athens, 2001. (English).

MTS 129. UNEP/MED POL: **Guidelines for the Management of Dredged Material.** MAP Technical Reports Series No. 129, UNEP, Athens 2000. (English, French, Spanish and Arabic). PNUE/MED POL: **Lignes Directrices pour la gestion des matériaux de dragage.** (Anglais, français, espagnol et arabe).

MTS 128. UNEP/MED POL/WHO: **Municipal Wastewater Treatment Plants in Mediterranean Coastal Cities.** MTS no. 128, UNEP, Athens 2000 (English and French). PNUE/MED POL/OMS: **Les Stations d'épuration des eaux usées municipales dans les villes cotières de la Méditerranée.** (Anglais et français).

MTS 127. UNEP: **Minutes of the Seminar, Territorial Prospective in the Mediterranean and the Approach by Actors,** Sophia Antipolis, France, 7-9 November 1996. MTS No. 127, UNEP, Athens 2000. PNUE: **Actes du séminaire, La prospective territoriale en Méditerranée et l'approche par acteurs,** Sophia Antipolis, 7-9 novembre 1996. (In French with English introduction and 1 paper).

MTS 126. UNEP/MCSD/Blue Plan: **Report of the Workshop on Tourism and Sustainable Development in the Mediterranean,** Antalya, Turkey, 17-19 September 1998. MAP Technical Reports Series No. 126, UNEP, Athens 1999. (English and French). PNUE/CMDD/Plan Bleu: **Rapport de l'atelier sur le tourisme et le développement durable en Méditerranée,** Antalya, Turquie, 17-19 septembre 1998. (Anglais et français).

MTS 125. UNEP: **Proceedings of the Workshop on Invasive *Caulerpa* Species in the Mediterranean,** Heraklion, Crete, Greece, 18-20 March 1998. MAP Technical Reports Series No. 125, UNEP, Athens 1999. (317 pgs). (English and French). PNUE: **Actes de l'atelier sur les especes *Caulerpa* invasives en Méditerranée,** Heraklion, Crète, Grèce, 18-20 mars 1998. (Anglais et français).

MTS 124. UNEP/WHO: **Identification of Priority Hot Spots and Sensitive Areas in the Mediterranean.** MAP Technical Reports Series No. 124. UNEP, Athens, 1999. PNUE/OMS: **Identification des "Points Chauds" et "Zones Sensibles" de pollution prioritaire en Méditerranée.**

MTS 123. UNEP/WMO: **MED POL Manual on Sampling and Analysis of Aerosols and Precipitation for Major Ions and Trace Elements.** MAP Technical Reports Series No. 123. UNEP, Athens, 1998.

- MTS 122.** UNEP/WMO: **Atmospheric Input of Mercury to the Mediterranean Sea.** MAP Technical Reports Series No. 122. Athens, 1998, (78 pages).
- MTS 121.** PNUE: **MED POL Phase III. Programme d'évaluation et de maîtrise de la pollution dans la région Méditerranéenne (1996-2005).** MAP Technical Reports Series No. 121. Athens 1998, (123 pgs). (In publication)
- MTS 120.** UNEP: **MED POL Phase III. Programme for the Assessment and Control of Pollution in the Mediterranean Region (1996-2005).** MAP Technical Reports Series No. 120. UNEP, Athens, 1998, (120 pgs).
- MTS 119.** UNEP: **Strategic Action Programme to Address Pollution from Land-Based Activities.** MAP Technical Reports Series No. 119. UNEP, Athens, 1998, (178 pgs) (English and French) PNUE: **Programme d'Actions Stratégiques visant à combattre la pollution due à des activités menées à terre.** (Français et anglais)
- MTS 118.** UNEP/WMO: **The Input of Anthropogenic Airborne Nitrogen to the Mediterranean Sea through its Watershed.** MAP Technical Reports Series No. 118. UNEP, Athens, 1997 (95 pgs.) (English).
- MTS 117.** UNEP: **La Convention de Barcelone pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution et le développement durable.** MAP Technical Reports Series No. 117. UNEP, Athens, 1997 (97 pgs.) (Français seulement).
- MTS 116.** UNEP/IAEA: **Data Quality Review for MED POL (1994-1995), Evaluation of the analytical performance of MED POL laboratories during 1994-1995 in IAEA/UNEP laboratory performance studies for the determination of trace elements and trace organic contaminants in marine biological and sediment samples.** MAP Technical Reports Series No. 116. UNEP, Athens, 1997 (126 pgs.) (English).
- MTS 115.** UNEP/BP **Methodes et outils pour les etudes systemiques et prospectives en Méditerranée, PB/RAC, Sophia Antipolis, 1996.** MAP Technical Reports Series No. 115. UNEP/BP, Athens, 1996 (117 pgs.) (français seulement).
- MTS 114.** UNEP: **Workshop on policies for sustainable development of Mediterranean coastal areas, Santorini island, 26-27 April 1996. Presentation by a group of experts.** MAP Technical Reports Series No. 114. UNEP, Athens, 1996 (184 pgs.) (Parts in English or French only). PNUE: **Journées d'étude sur les politiques de développement durable des zones côtières méditerranéennes, Ile de Santorin, 26-27 avril 1996. Communications par un groupe d'experts.** (Parties en anglais ou français seulement).
- MTS 113.** UNEP/IOC: **Final reports of research projects on transport and dispersion (Research Area II) - Modelling of eutrophication and algal blooms in the Thermaikos Gulf (Greece) and along the Emilia Romagna Coast (Italy).** MAP Technical Reports Series No. 113. UNEP, Athens, 1996 (118 pgs.) (English).
- MTS 112.** UNEP/WHO: **Guidelines for submarine outfall structures for Mediterranean small and medium-sized coastal communities.** MAP Technical Reports Series No. 112. UNEP, Athens, 1996 (98 pgs.) (English and French). PNUE/OMS: **Lignes directrices pour les émissaires de collectivités côtières de petite et moyenne taille en Méditerranée.**
- MTS 111.** UNEP/WHO: **Guidelines for treatment of effluents prior to discharge into the Mediterranean Sea.** MAP Technical Reports Series No. 111. UNEP, Athens, 1996 (247 pgs.) (English).
- MTS 110.** UNEP/WHO: **Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by anionic detergents.** MAP Technical Reports Series No. 110. UNEP, Athens, 1996 (260 pgs.) (English and French). PNUE/OMS: **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les détergents anioniques.**
- MTS 109.** UNEP/WHO: **Survey of pollutants from land-based sources in the Mediterranean.** MAP Technical Reports Series No. 109. UNEP, Athens, 1996 (188 pgs.) (English and French). PNUE/OMS: **Evaluation de l'enquête sur les polluants d'origine tellurique en Méditerranée (MED X BIS).**
- MTS 108.** UNEP/WHO: **Assessment of the state of microbiological pollution of the Mediterranean Sea.** MAP Technical Reports Series No. 108. UNEP, Athens, 1996 (270 pgs.) (English and French). PNUE/OMS: **Evaluation de l'état de la pollution microbiologique de la mer Méditerranée.**
- MTS 107.** UNEP/WHO: **Guidelines for authorization for the discharge of liquid wastes into the Mediterranean Sea.** MAP Technical Reports Series No. 107. UNEP, Athens, 1996 (200 pgs.) (English and French). PNUE/OMS: **Lignes directrices concernant les autorisations de rejet de déchets liquides en mer Méditerranée.** MAP Technical Reports Series No. 107. UNEP, Athens, 1996 (200 pgs.).
- MTS 106.** UNEP/FAO/WHO: **Assessment of the state of eutrophication in the Mediterranean sea.** MAP Technical Reports Series No. 106. UNEP, Athens, 1996 (456 pgs.) (English and French). PNUE/FAO/OMS: **Evaluation de l'état de l'eutrophisation en mer Méditerranée.**
- MTS 105.** UNEP/FAO/WHO: **Assessment of the state of pollution of the Mediterranean sea by zinc, copper and their compounds.** MAP Technical Reports Series No. 105. UNEP, Athens, 1996 (288 pgs.) (English and French). PNUE/FAO/OMS: **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par le zinc, le cuivre et leurs composés.**

MTS 104. UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with eutrophication and heavy metal accumulation.** MAP Technical Reports Series No. 104. UNEP, Athens, 1996 (156 pgs.) (English and French). PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche relatifs à l'eutrophisation et à l'accumulation des métaux lourds.**

MTS 103. UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with biological effects (Research Area III).** MAP Technical Reports Series No. 103. UNEP, Athens, 1996 (128 pgs.) (English and French). PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche relatifs aux effets biologiques (Domaine de Recherche III).**

MTS 102. UNEP: **Implications of Climate Change for the Coastal Area of Fuka-Matrouh (Egypt).** MAP Technical Reports Series No. 102. UNEP, Athens, 1996 (238 pgs.) (English).

MTS 101. PNUE: **Etat du milieu marin et du littoral de la région méditerranéenne.** MAP Technical Reports Series No. 101. UNEP, Athens, 1996 (148 pgs.) (français seulement).

MTS 100. UNEP: **State of the Marine and Coastal Environment in the Mediterranean Region.** MAP Technical Reports Series No. 100. UNEP, Athens, 1996 (142 pgs.) (English).

MTS 99. UNEP: **Implications of Climate Change for the Sfax Coastal Area (Tunisia).** MAP Technical Reports Series No. 99. UNEP, Athens, 1996 (326 pgs.) (English and French). PNUE: **Implications des changements climatiques sur la zone côtière de Sfax.**

MTS 98. UNEP: **Implications of Climate Change for the Albanian Coast.** MAP Technical Reports Series No. 98. UNEP, Athens, 1996 (179 pgs.) (English).

MTS 97. UNEP/FAO: **Final reports of research projects on effects (Research Area III) - Pollution effects on marine communities.** MAP Technical Reports Series No. 97. UNEP, Athens, 1996 (141 pgs.) (English and French). PNUE/FAO: **Rapports finaux des projets de recherche sur les effets (Domaine de recherche III) - Effets de la pollution sur les communautés marines.**

MTS 96. UNEP/FAO: **Final reports of research projects on effects (Research Area III) - Pollution effects on plankton composition and spatial distribution, near the sewage outfall of Athens (Saronikos Gulf, Greece).** MAP Technical Reports Series No. 96. UNEP, Athens, 1996 (121 pgs.) (English).

MTS 95. UNEP: **Common measures for the control of pollution adopted by the Contracting Parties to the Convention for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution.** MAP Technical Reports Series No. 95. UNEP, Athens, 1995 (69 pgs.) (English and French). PNUE: **Mesures communes de lutte contre la pollution adoptées par les Parties contractantes à la Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution.**

MTS 94. UNEP: **Proceedings of the Workshop on Application of Integrated Approach to Development, Management and Use of Water Resources.** MAP Technical Reports Series No. 94. UNEP, Athens, 1995 (214 pgs.) (parts in English or French only). PNUE: **Actes de l'Atelier sur l'application d'une approche intégrée au développement, à la gestion et à l'utilisation des ressources en eau.** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 93. UNEP/WHO: **Epidemiological studies related to the environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms.** MAP Technical Reports Series No. 93. UNEP, Athens, 1995 (118 pgs.) (English).

MTS 92. UNEP/WHO: **Assessment of the State of Pollution in the Mediterranean Sea by Carcinogenic, Mutagenic and Teratogenic Substances.** MAP Technical Reports Series No. 92. UNEP, Athens, 1995 (238 pgs.) (English).

MTS 91. PNUE: **Une contribution de l'écologie à la prospective. Problèmes et acquis.** MAP Technical Reports Series No. 91. Sophia Antipolis, 1994 (162 pgs.) (français seulement).

MTS 90. UNEP: **Iskenderun Bay Project. Volume II. Systemic and Prospective Analysis.** MAP Technical Report Series No. 90. Sophia Antipolis, 1994 (142 pgs.) (parts in English or French only). PNUE: **Projet de la Baie d'Iskenderun. Volume II. Analyse systémique et prospective.** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 89. UNEP: **Iskenderun Bay Project. Volume I. Environmental Management within the Context of Environment-Development.** MAP Technical Reports Series No. 89. UNEP, Blue Plan Regional Activity Centre, Sophia Antipolis, 1994 (144 pgs.) (English).

MTS 88. UNEP: **Proceedings of the Seminar on Mediterranean Prospective.** MAP Technical Reports Series No. 88. UNEP, Blue Plan Regional Activity Centre, Sophia Antipolis, 1994 (176 pgs.) (parts in English or French only). PNUE: **Actes du Séminaire débat sur la prospective méditerranéenne.** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 87. UNEP/WHO: **Identification of microbiological components and measurement development and testing of methodologies of specified contaminants (Area I) - Final reports on selected microbiological projects.** MAP Technical Reports Series No. 87. UNEP, Athens, 1994 (136 pgs.) (English).

MTS 86. UNEP: **Monitoring Programme of the Eastern Adriatic Coastal Area - Report for 1983-1991.** MAP Technical Report Series No. 86. Athens, 1994 (311 pgs.) (English).

MTS 85. UNEP/WMO: **Assessment of Airborne Pollution of the Mediterranean Sea by Sulphur and Nitrogen Compounds and Heavy Metals in 1991.** MAP Technical Report Series No. 85. Athens, 1994 (304 pgs.) (English).

MTS 84. UNEP: **Integrated Management Study for the Area of Izmir.** MAP Technical Reports Series No. 84. UNEP, Regional Activity Centre for Priority Actions Programme, Split, 1994 (130 pgs.) (English).

MTS 83. PNUE/UICN: **Les aires protégées en Méditerranée. Essai d'étude analytique de la législation pertinente.** MAP Technical Reports Series No. 83. PNUE, Centre d'activités régionales pour les aires spécialement protégées, Tunis, 1994 (55 pgs.) (français seulement).

MTS 82. UNEP/IUCN: **Technical report on the State of Cetaceans in the Mediterranean.** MAP Technical Reports Series No. 82. UNEP, Regional Activity Centre for Specially Protected Areas, Tunis, 1994 (37 pgs.) (English).

MTS 81. UNEP/IAEA: **Data quality review for MED POL: Nineteen years of progress.** MAP Technical Reports Series No. 81. UNEP, Athens, 1994 (79 pgs.) (English).

MTS 80. UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with the effects of pollutants on marine organisms and communities.** MAP Technical Reports Series No. 80. UNEP, Athens, 1994 (123 pgs.) (English).

MTS 79. UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with toxicity of pollutants on marine organisms.** MAP Technical Reports Series No. 79. UNEP, Athens, 1994 (135 pgs.) (parts in English or French only). PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche traitant de la toxicité des polluants sur les organismes marins.** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 78. UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with eutrophication problems.** MAP Technical Reports Series No. 78. UNEP, Athens, 1994 (139 pgs.) (English).

MTS 77. UNEP/FAO/IAEA: **Designing of monitoring programmes and management of data concerning chemical contaminants in marine organisms.** MAP Technical Reports Series No. 77. UNEP, Athens, 1993 (236 pgs.) (English).

MTS 76. UNEP/WHO: **Biogeochemical Cycles of Specific Pollutants (Activity K): Survival of Pathogens.** MAP Technical Reports Series No. 76. UNEP, Athens, 1993 (68 pgs.) (English and French). PNUE/OMS: **Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques (Activité K): Survie des pathogènes.**

MTS 75. UNEP/WHO: **Development and Testing of Sampling and Analytical Techniques for Monitoring of Marine Pollutants (Activity A).** MAP Technical Reports Series No. 75. UNEP, Athens, 1993 (90 pgs.) (English).

MTS 74. UNEP/FIS: **Report of the Training Workshop on Aspects of Marine Documentation in the Mediterranean.** MAP Technical Reports Series No. 74. UNEP, Athens, 1993 (38 pgs.) (English).

MTS 73. UNEP/FAO: **Final Reports on Research Projects Dealing with the Effects of Pollutants on Marine Communities and Organisms.** MAP Technical Reports Series No. 73. UNEP, Athens, 1993 (186 pgs.) (English and French). PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche traitant des effets de polluants sur les communautés et les organismes marins.**

MTS 72. UNEP: **Costs and Benefits of Measures for the Reduction of Degradation of the Environment from Land-based Sources of Pollution in Coastal Areas. A - Case Study of the Bay of Izmir. B - Case Study of the Island of Rhodes.** MAP Technical Reports Series No. 72. UNEP, Athens, 1993 (64 pgs.) (English).

MTS 71. UNEP/FAO/IOC: **Selected techniques for monitoring biological effects of pollutants in marine organisms.** MAP Technical Reports Series No. 71. UNEP, Athens, 1993 (189 pgs.) (English).

MTS 70. UNEP/IAEA/IOC/FAO: **Organohalogen Compounds in the Marine Environment: A Review.** MAP Technical Reports Series No. 70. UNEP, Athens, 1992 (49 pgs.) (English).

MTS 69. UNEP/FAO/IOC: **Proceedings of the FAO/UNEP/IOC Workshop on the Biological Effects of Pollutants on Marine Organisms (Malta, 10-14 September 1991), edited by G.P. Gabriellides.** MAP Technical Reports Series No. 69. UNEP, Athens, 1992 (287 pgs.) (English).

MTS 68. UNEP/FAO/IOC: **Evaluation of the Training Workshops on the Statistical Treatment and Interpretation of Marine Community Data.** MAP Technical Reports Series No. 68. UNEP, Athens, 1992 (221 pgs.) (English).

MTS 67. UNEP/IOC: **Applicability of Remote Sensing for Survey of Water Quality Parameters in the Mediterranean. Final Report of the Research Project.** MAP Technical Reports Series No. 67. UNEP, Athens, 1992 (142 pgs.) (English).

- MTS 66.** UNEP/CRU: **Regional Changes in Climate in the Mediterranean Basin Due to Global Greenhouse Gas Warming.** MAP Technical Reports Series No. 66. UNEP, Athens, 1992 (172 pgs.) (English).
- MTS 65.** UNEP: **Directory of Mediterranean Marine Environmental Centres.** MAP Technical Reports Series No. 65, UNEP, Athens, 1992 (351 pgs.) (English and French). PNUE: **Répertoire des centres relatifs au milieu marin en Méditerranée.**
- MTS 64.** UNEP/WMO: **Airborne Pollution of the Mediterranean Sea. Report and Proceedings of the Second WMO/UNEP Workshop.** MAP Technical Reports Series No. 64. UNEP, Athens, 1992 (246 pgs.) (English).
- MTS 63.** PNUE/OMS: **Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques (Activité K) - Survie des pathogènes - Rapports finaux sur les projets de recherche (1989-1991).** MAP Technical Reports Series No. 63. UNEP, Athens, 1992 (86 pgs.) (français seulement).
- MTS 62.** UNEP/IAEA: **Assessment of the State of Pollution of the Mediterranean Sea by Radioactive Substances.** MAP Technical Reports Series No. 62, UNEP, Athens, 1992 (133 pgs.) (English and French). PNUE/AIEA: **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les substances radioactives.**
- MTS 61.** UNEP: **Integrated Planning and Management of the Mediterranean Coastal Zones. Documents produced in the first and second stage of the Priority Action (1985-1986).** MAP Technical Reports Series No. 61. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1991 (437 pgs.) (parts in English or French only). PNUE: **Planification intégrée et gestion des zones côtières méditerranéennes. Textes rédigés au cours de la première et de la deuxième phase de l'action prioritaire (1985-1986).** (parties en anglais ou français seulement).
- MTS 60.** UNEP/WHO: **Development and testing of sampling and analytical techniques for monitoring of marine pollutants (Activity A): Final reports on selected microbiological projects (1987-1990).** MAP Technical Reports Series No. 60. UNEP, Athens, 1991 (76 pgs.) (parts in English or French only). PNUE/OMS: **Mise au point et essai des techniques d'échantillonnage et d'analyse pour la surveillance continue des polluants marins (Activité A): Rapports finaux sur certains projets de nature microbiologique (1987-1990).** (parties en anglais ou français seulement).
- MTS 59.** UNEP/FAO/IAEA: **Proceedings of the FAO/UNEP/IAEA Consultation Meeting on the Accumulation and Transformation of Chemical contaminants by Biotic and Abiotic Processes in the Marine Environment (La Spezia, Italy, 24-28 September 1990), edited by G.P. Gabrielides.** MAP Technical Reports Series No. 59. UNEP, Athens, 1991 (392 pgs.) (English).
- MTS 58.** UNEP/FAO/WHO/IAEA: **Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by organophosphorus compounds.** MAP Technical Reports Series No. 58. UNEP, Athens, 1991 (122 pgs.) (English and French). PNUE/FAO/OMS/AIEA: **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les composés organophosphorés.**
- MTS 57.** UNEP/WHO: **Research on the toxicity, persistence, bioaccumulation, carcinogenicity and mutagenicity of selected substances (Activity G): Final reports on projects dealing with carcinogenicity and mutagenicity.** MAP Technical Reports Series No. 57. UNEP, Athens, 1991 (59 pgs.) (English).
- MTS 56.** UNEP/IOC/FAO: **Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by persistent synthetic materials which may float, sink or remain in suspension.** MAP Technical Reports Series No. 56. UNEP, Athens, 1991 (113 pgs.) (English and French). PNUE/COI/FAO: **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les matières synthétiques persistantes qui peuvent flotter, couler ou rester en suspension.**
- MTS 55.** UNEP/WHO: **Biogeochemical cycles of specific pollutants (Activity K): Final report on project on survival of pathogenic organisms in seawater.** MAP Technical Reports Series No. 55. UNEP, Athens, 1991 (95 pgs.) (English).
- MTS 54.** UNEP/WHO: **Development and testing of sampling and analytical techniques for monitoring of marine pollutants (Activity A): Final reports on selected microbiological projects.** MAP Technical Reports Series No. 54. UNEP, Athens, 1991 (83 pgs.) (English).
- MTS 53.** UNEP/WHO: **Epidemiological studies related to environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms (Activity D). Final report on epidemiological study on bathers from selected beaches in Malaga, Spain (1988-1989).** MAP Technical Reports Series No. 53. UNEP, Athens, 1991 (127 pgs.) (English).
- MTS 52.** UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with bioaccumulation and toxicity of chemical pollutants.** MAP Technical Reports Series No. 52. UNEP, Athens, 1991 (86 pgs.) (parts in English or French only). PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche traitant de la bioaccumulation et de la toxicité des polluants chimiques.** (parties en anglais ou français seulement).
- MTS 51.** UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with mercury, toxicity and analytical techniques.** MAP Technical Reports Series No. 51. UNEP, Athens, 1991 (166 pgs.) (parts in English or French)

only). PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche traitant du mercure, de la toxicité et des techniques analytiques.** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 50. UNEP: **Bibliography on marine litter.** MAP Technical Reports Series No. 50. UNEP, Athens, 1991 (62 pgs.) (English).

MTS 49. UNEP/WHO: **Biogeochemical cycles of specific pollutants. Survival of pathogens. Final reports on research projects (Activity K).** MAP Technical Reports Series No. 49. UNEP, Athens, 1991 (71 pgs.) (parts in English or French only). PNUE/OMS: **Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques. Survie des Pathogènes. Rapports finaux sur les projets de recherche (activité K).** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 48. UNEP/FAO: **Final reports on research projects (Activity G).** MAP Technical Reports Series No. 48. UNEP, Athens, 1991 (126 pgs.) (parts in English or French only). PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche (Activité G).** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 47. UNEP: **Jellyfish blooms in the Mediterranean. Proceedings of the II workshop on jellyfish in the Mediterranean Sea.** MAP Technical Reports Series No.47. UNEP, Athens, 1991 (320 pgs.) (parts in English or French only). PNUE: **Les prolifération's de medusas en Méditerranée. Actes des IIèmes journées d'étude sur les méduses en mer Méditerranée.** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 46. UNEP/WHO: **Epidemiological studies related to environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms (Activity D). Final report on project on relationship between microbial quality of coastal seawater and rotavirus-induced gastro-enteritis among bathers (1986-88).** MAP Technical Reports Series No.46. UNEP, Athens, 1991 (64 pgs.) (English).

MTS 45. UNEP/IAEA: **Transport of pollutants by sedimentation: Collected papers from the first Mediterranean Workshop (Villefranche-sur-Mer, France, 10-12 December 1987).** MAP Technical Reports Series No. 45. UNEP, Athens, 1990 (302 pgs.) (English).

MTS 44. UNEP: **Bibliography on aquatic pollution by organophosphorus compounds.** MAP Technical Reports Series No. 44. UNEP, Athens, 1990 (98 pgs.) (English).

MTS 43. PNUE/UICN/GIS **Posidonie: Livre rouge "Gérard Vuignier" des végétaux, peuplements et paysages marins menacés de Méditerranée.** MAP Technical Reports Series No. 43. UNEP, Athens, 1990 (250 pgs.) (français seulement).

MTS 42. UNEP/IUCN: **Report on the status of Mediterranean marine turtles.** MAP Technical Reports Series No. 42. UNEP, Athens, 1990 (204 pgs.) (English and French). PNUE/UICN: **Rapport sur le statut des tortues marines de Méditerranée.** MAP Technical Reports Series No. 42. UNEP, Athens, 1990 (204 pgs.).

MTS 41. UNEP: **Wastewater reuse for irrigation in the Mediterranean region.** MAP Technical Reports Series No. 41. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1990 (330 pgs.) (English and French). PNUE: **Réutilisation agricole des eaux usées dans la région méditerranéenne.**

MTS 40. UNEP/FAO: **Final reports on research projects (Activities H, I and J).** MAP Technical Reports Series No. 40. UNEP, Athens, 1990 (125 pgs.) (English and French). PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche (Activités H, I et J).** MAP Technical Reports Series No. 40. UNEP, Athens, 1990 (125 pgs.).

MTS 39. UNEP/FAO/WHO/IAEA: **Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by organohalogen compounds.** MAP Technical Reports Series No. 39. UNEP, Athens, 1990 (224 pgs.) (English and French). PNUE/FAO/OMS/AIEA: **Evaluation de l'état de la pollution par les composés organohalogénés.**

MTS 38. UNEP: **Common measures adopted by the Contracting Parties to the Convention for the Protection of the Mediterranean Sea against pollution.** MAP Technical Reports Series No. 38. UNEP, Athens, 1990 (100 pgs.) (English, French, Spanish and Arabic). PNUE: **Mesures communes adoptées par les Parties Contractantes à la Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution.** PNUE: **Medidas comunes adoptadas por las Partes Contratantes en el convenio para la Proteccion del Mar Mediterraneo contra la Contaminacion.**

MTS 37. UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with eutrophication and plankton blooms (Activity H).** MAP Technical Reports Series No. 37. UNEP, Athens, 1990 (74 pgs.) (parts in English or French only). PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche consacrés à l'eutrophisation et aux efflorescences de plancton (Activité H).** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 36. PNUE/UICN: **Répertoire des aires marines et côtières protégées de la Méditerranée. Première partie - Sites d'importance biologique et écologique.** MAP Technical Reports Series No. 36. UNEP, Athens, 1990 (198 pgs.) (français seulement).

MTS 35. UNEP: **Bibliography on marine pollution by organotin compounds.** MAP Technical Reports Series No. 35. UNEP, Athens, 1989 (92 pgs.) (English).

MTS 34. UNEP/FAO/WHO: **Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by cadmium and cadmium compounds.** MAP Technical Reports Series No. 34. UNEP, Athens, 1989 (175 pgs.) (English and French). PNUE/FAO/OMS: **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par le cadmium et les composés de cadmium.**

MTS 33. UNEP/FAO/WHO/IAEA: **Assessment of organotin compounds as marine pollutants in the Mediterranean.** MAP Technical Reports Series No. 33. UNEP, Athens, 1989 (185 pgs.) (English and French). PNUE/FAO/OMS/AIEA: **Evaluation des composés organostanniques en tant que polluants du milieu marin en Méditerranée.**

MTS 32. UNEP/FAO: **Biogeochemical cycles of specific pollutants (Activity K).** MAP Technical Reports Series No. 32. UNEP, Athens, 1989 (139 pgs.) (parts in English or French only). PNUE/FAO: **Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques (Activité K).** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 31. UNEP/WMO: **Airborne pollution of the Mediterranean Sea. Report and proceedings of a WMO/UNEP Workshop.** MAP Technical Reports Series No. 31. UNEP, Athens, 1989 (247 pgs.) (parts in English or French only). PNUE/OMM: **Pollution par voie atmosphérique de la mer Méditerranée. Rapport et actes des Journées d'étude OMM/PNUE.** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 30. UNEP: **Meteorological and climatological data from surface and upper measurements for the assessment of atmospheric transport and deposition of pollutants in the Mediterranean Basin: A review.** MAP Technical Reports Series No. 30. UNEP, Athens, 1989 (137 pgs.) (English).

MTS 29. UNEP: **Bibliography on effects of climatic change and related topics.** MAP Technical Reports Series No. 29. UNEP, Athens, 1989 (143 pgs.) (English).

MTS 28. UNEP: **State of the Mediterranean marine environment.** MAP Technical Reports Series No. 28. UNEP, Athens, 1989 (225 pgs.) (English).

MTS 27. UNEP: **Implications of expected climate changes in the Mediterranean Region: An overview.** MAP Technical Reports Series No. 27. UNEP, Athens, 1989 (52 pgs.) (English).

MTS 26. UNEP/IUCN: **Directory of marine and coastal protected areas in the Mediterranean Region. Part I - Sites of biological and ecological value.** MAP Technical Reports Series No. 26. UNEP, Athens, 1989 (196 pgs.) (English).

MTS 25. UNEP: **The Mediterranean Action Plan in a functional perspective: A quest for law and policy.** MAP Technical Reports Series No. 25. UNEP, Athens, 1988 (105 pgs.) (English).

MTS 24. UNEP/FAO: **Toxicity, persistence and bioaccumulation of selected substances to marine organisms (Activity G).** MAP Technical Reports Series No. 24. UNEP, Athens, 1988 (122 pgs.) (parts in English or French only). PNUE/FAO: **Toxicité, persistance et bioaccumulation de certaines substances vis-à-vis des organismes marins (Activité G).** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 23. UNEP: **National monitoring programme of Yugoslavia, Report for 1983-1986.** MAP Technical Reports Series No. 23. UNEP, Athens, 1988 (223 pgs.) (English).

MTS 22. UNEP/FAO: **Study of ecosystem modifications in areas influenced by pollutants (Activity I).** MAP Technical Reports Series No. 22. UNEP, Athens, 1988 (146 pgs.) (parts in English or French only). PNUE/FAO: **Etude des modifications de l'écosystème dans les zones soumises à l'influence des polluants (Activité I).** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 21. UNEP/UNESCO/FAO: **Eutrophication in the Mediterranean Sea: Receiving capacity and monitoring of long-term effects.** MAP Technical Reports Series No. 21. UNEP, Athens, 1988 (200 pgs.) (parts in English or French only). PNUE/UNESCO/FAO: **Eutrophisation dans la mer Méditerranée: capacité réceptrice et surveillance continue des effets à long terme.** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 20. (*) UNEP/WHO: **Epidemiological studies related to environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms (Activity D). Final report on project on relationship between microbial quality of coastal seawater and health effects (1983-86).** MAP Technical Reports Series No. 20. UNEP, Athens, 1988 (156 pgs.) (English).

MTS 19. (*) UNEP/IOC: **Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by petroleum hydrocarbons.** MAP Technical Reports Series No. 19. UNEP, Athens, 1988 (130 pgs.) (English and French). PNUE/COI: **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les hydrocarbures de pétrole.**

MTS 18. (*) UNEP/FAO/WHO: Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by mercury and mercury compounds. MAP Technical Reports Series No. 18. UNEP, Athens, 1987 (354 pgs.) (English and French). PNUE/FAO/OMS: **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par le mercure et les composés mercuriels.**

MTS 17. (*) UNEP: Seismic risk reduction in the Mediterranean region. Selected studies and documents (1985-1987). MAP Technical Reports Series No. 17. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (247 pgs.) (parts in English or French only). PNUE: **Réduction des risques sismiques dans la région méditerranéenne. Documents et études sélectionnés (1985-1987).**

MTS 16. (*) UNEP: Promotion of soil protection as an essential component of environmental protection in Mediterranean coastal zones. Selected documents (1985-1987). MAP Technical Reports Series No. 16. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (424 pgs.) (parts in English or French only). PNUE: **Promotion de la protection des sols comme élément essentiel de la protection de l'environnement dans les zones côtières méditerranéennes. Documents sélectionnés (1985-1987).** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 15. (*) UNEP: Environmental aspects of aquaculture development in the Mediterranean region. Documents produced in the period 1985-1987. MAP Technical Reports Series No. 15. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (101 pgs.) (English).

MTS 14. (*) UNEP: Experience of Mediterranean historic towns in the integrated process of rehabilitation of urban and architectural heritage. Documents produced in the second phase of the Priority Action (1986). MAP Technical Reports Series No. 14. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (500 pgs.) (parts in English or French only)

MTS 13. (*) UNEP: Specific topics related to water resources development of large Mediterranean islands. Documents produced in the second phase of the Priority Action (1985-1986). MAP Technical Reports Series No. 13. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (162 pgs.) (parts in English or French only). PNUE: **Thèmes spécifiques concernant le développement des ressources en eau des grandes îles méditerranéennes. Textes rédigés au cours de la deuxième phase de l'action prioritaire (1985-1986).** MAP Technical Reports Series No. 13. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (162 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

MTS 12. (*) UNEP: Water resources development of small Mediterranean islands and isolated coastal areas. Documents produced in the first stage of the Priority Action (1984-1985). MAP Technical Reports Series No. 12. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (162 pgs.) (parts in English or French only). PNUE: **Développement des ressources en eau des petites îles et des zones côtières isolées méditerranéennes. Textes rédigés au cours de la première phase de l'action prioritaire (1984-1985).** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 11. (*) UNEP: Rehabilitation and reconstruction of Mediterranean historic settlements. Documents produced in the first stage of the Priority Action (1984-1985). MAP Technical Reports Series No. 11. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1986 (158 pgs.) (parts in English or French only). PNUE: **Réhabilitation et reconstruction des établissements historiques méditerranéens. Textes rédigés au cours de la première phase de l'action prioritaire (1984-1985).** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 10. (*) UNEP: Research on the toxicity, persistence, bioaccumulation, carcinogenicity and mutagenicity of selected substances (Activity G). Final reports on projects dealing with toxicity (1983-85). MAP Technical Reports Series No. 10. UNEP, Athens, 1987 (118 pgs.) (English).

MTS 9. (*) UNEP: Co-ordinated Mediterranean pollution monitoring and research programme (MED POL - PHASE I). Final report, 1975-1980. MAP Technical Reports Series No. 9. UNEP, Athens, 1986 (276 pgs.) (English).

MTS 8. Add. (*) UNEP: Biogeochemical studies of selected pollutants in the open waters of the Mediterranean (MED POL VIII). Addendum, Greek Oceanographic Cruise 1980. MAP Technical Reports Series No. 8, Addendum. UNEP, Athens, 1986 (66 pgs.) (English).

MTS 8. (*) UNEP/IAEA/IOC: Biogeochemical studies of selected pollutants in the open waters of the Mediterranean (MED POL VIII). MAP Technical Reports Series No. 8. UNEP, Athens, 1986 (42 pgs.) (parts in English or French only). PNUE/AIEA/COI: **Etudes biogéochimiques de certains polluants au large de la Méditerranée (MED POL VIII).** (parties en anglais ou français seulement).

MTS 7. (*) UNEP/WHO: Coastal water quality control (MED POL VII). MAP Technical Reports Series No. 7. UNEP, Athens, 1986 (426 pgs.) (Parts in English or French only). PNUE/OMS: **Contrôle de la qualité des eaux côtières (MED POL VII).** (Parties en anglais ou français seulement).

MTS 6. (*) UNEP/IOC: Problems of coastal transport of pollutants (MED POL VI). MAP Technical Reports Series No. 6. UNEP, Athens, 1986 (100 pgs.) (English).

MTS 5. (*) UNEP/FAO: Research on the effects of pollutants on marine communities and ecosystems (MED POL V). MAP Technical Reports Series No. 5. UNEP, Athens, 1986 (146 pgs.) (Parts in English or French only). PNUE/FAO: **Recherche sur les effets des polluants sur les communautés et écosystèmes marins (MED POL V).** (Parties en anglais ou français seulement).

MTS 4. (*) UNEP/FAO: Research on the effects of pollutants on marine organisms and their populations (MED POL IV). MAP Technical Reports Series No. 4. UNEP, Athens, 1986 (118 pgs.) (Parts in English, French or Spanish only). PNUE/FAO: **Recherche sur les effets des polluants sur les organismes marins et leurs peuplements (MED POL IV).** (Parties en anglais, français ou espagnol seulement).

MTS 3. (*) UNEP/FAO: Baseline studies and monitoring of DDT, PCBs and other chlorinated hydrocarbons in marine organisms (MED POL III). MAP Technical Reports Series No. 3. UNEP, Athens, 1986 (128 pgs.) (Parts in English, French or Spanish only). PNUE/FAO: **Etudes de base et surveillance continue du DDT, des PCB et des autres hydrocarbures chlorés contenus dans les organismes marins (MED POL III).** (Parties en anglais, français ou espagnol seulement).

MTS 2. (*) UNEP/FAO: Baseline studies and monitoring of metals, particularly mercury and cadmium, in marine organisms (MED POL II). MAP Technical Reports Series No. 2. UNEP, Athens, 1986 (220 pgs.) (Parts in English, French or Spanish only). PNUE/FAO: **Etudes de base et surveillance continue des métaux, notamment du mercure et du cadmium, dans les organismes marins (MED POL II).** (Parties en anglais, français ou espagnol seulement).

MTS 1. (*) UNEP/IOC/WMO: Baseline studies and monitoring of oil and petroleum hydrocarbons in marine waters (MED POL I). MAP Technical Reports Series No. 1. UNEP, Athens, 1986 (96 pgs.) (Parts in English, French or Spanish only). PNUE/COI/OMM: **Etudes de base et surveillance continue du pétrole et des hydrocarbures contenus dans les eaux de la mer (MED POL I).** (parties en anglais, français ou espagnol seulement).