



## TABLE OF CONTENTS

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1.</b> | <b>INTRODUCTION</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2.</b> | <b>APERCU GENERAL DES POLITIQUES ET ASPECTS JURIDIQUES</b>  | <b>2</b>  |
| 2.1       | Gestion des ressources en eau et gestion du littoral  | 2         |
| 2.2       | Protection du milieu marin  | 2         |
| <b>3.</b> | <b>INTEGRATION DES ACTIVITES DE DESSALEMENT DANS LES PLANS NATIONAUX DES GESTION DE L'EAU ET DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT</b> | <b>3</b>  |
| 3.1       | Plan d'aménagement côtier   | 3         |
| 3.2       | Politique nationale de gestion de l'eau   | 4         |
| 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        |
| <b>4.</b> | <b>ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT POUR LES USINES DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER</b>  | <b>13</b> |
| 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  | 16        |
| 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   | 24        |
| 4.1.vii   | Effets transfrontières  | 25        |
| 4.1.viii  | Accroissement potentiel de la demande d'eau   | 28        |
| 4.1.ix    | Impacts socio-économiques, y compris les impacts sur les citoyens   | 31        |
| 4.1.x     | Programmes de surveillance continue avant et après les opérations   | 32        |
| 4.2       | Comment entreprendre l'étude d'impact sur l'environnement   | 34        |
| 4.3       | Liste des éléments à prendre en considération dans l'EIE  | 34        |
| <b>5.</b> | <b>CLASSEMENT DES PROCEDES DE DESSALEMENT EN FONCTION DE LEURS IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT</b>                                    | <b>36</b> |
| <b>6.</b> | <b>PERMIS TYPE POUR LA CONSTRUCTION ET L'EXPLOITATION D'USINES DE DESSALEMENT D'EAU DE MER</b>                                    | <b>39</b> |
| <b>7.</b> | <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>  | <b>41</b> |

## 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 APERÇU 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”<sup>1</sup>. 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 les eaux souterraines communiquant avec la mer, et des dépôts sous le lit de la mer<sup>2</sup>.

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 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 nécessaires<sup>3</sup>.

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 compétentes<sup>4</sup>. 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

---

<sup>1</sup> Article premier du protocole originel et du protocole modifié

<sup>2</sup> Articles 3 d) et 4.1 a) du protocole originel et du protocole modifié

<sup>3</sup> Article 5 du protocole originel et du protocole modifié

<sup>4</sup> Article 6 du protocole originel et du protocole modifié

les annexes, mais il devrait être soumis à réglementation conformément à l'annexe II qui s'applique aux substances 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 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 m<sup>3</sup> 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   |   | Réglementation conformément au Protocole de 1983<br><i>Les mentions en italique renvoient au Protocol 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 | <b>article 6; annexe II, section A, No. 13</b><br>Substances qui, bien que non toxiques par nature, peuvent devenir nocives [...]<br><i>article 5; annexe I, section C, No. 19</i><br>Substances non toxiques qui peuvent avoir un effet défavorable sur les caractéristiques physiques ou chimiques de l'eau de mer. |
| Température  | ambiante  | 5-15 °C au-dessus de la température ambiante  | <b>article 6; annexe II, section A, No. 9</b><br>Rejets thermiques<br><i>article 5; annexe I, section C, No. 15</i><br>Rejets thermiques  |
| 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                               | <b>article 6; annexe II, section A, No. 11</b><br>Substances exerçant une influence défavorable, soit directement, soit indirectement sur la teneur en oxygène [...]<br><i>article 5; annexe I, section C, No. 17</i><br>Substances non toxiques qui ont un effet défavorable sur la teneur en oxygène [...]          |
| Métaux lourds provenant d'aciers inoxydables               | fer,<br>nickel,<br>chrome,<br>molybdène                                   |   | <b>article 6; annexe II, section A, No. 1</b><br>cuivre, nickel, molybdène, titane, chrome<br><i>article 5; annexe I, section C, No. 5</i><br>Métaux lourds et leurs composés   |
| 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<br><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><b>article 5; annexe I, section A, Nos. 1 et 8</b><br/>- 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 [...]<br/>- Substances dont il est prouvé qu'elles possèdent un pouvoir cancérigène, tératogène ou mutagène [...]</p> <p><b>article 5; annexe I, section B,</b><br/>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><b>article 6; annexe II, section A, No. 2</b><br/>Les biocides et leurs dérivés non visés à l'annexe I<br/><i>article 5, annexe I, section C, No. 8</i><br/><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><b>article 6; annexe II, section A, No. 13</b><br/>Substances qui, bien que non toxiques par nature, peuvent devenir nocives [...]<br/><i>article 5; annexe I, section C, No. 19</i><br/><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><b>article 6; annexe II, section A, No. 6</b><br/>Détergents et autres substances tensio-actives non biodégradables<br/><i>article 5, annexe I, section C, No. 12</i><br/><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<br><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          |                   | <b>article 6; annexe II, section A, Nos.7 et 11</b><br>- Composés inorganiques du phosphore [...]<br>- Substances exerçant une influence défavorable [...] sur la teneur en oxygène [...], spécialement celles qui peuvent être à l'origine de phénomènes d'eutrophisation.<br><i>article 5; annexe I, section C, No. 13</i><br><i>Composés [...] du phosphore [...] qui peuvent être cause d'eutrophisation</i>   |
|                   | par ex., phosphonates                                      |                   | <b>article 5; annexe I, section A, No. 2</b><br>Composés organophosphorés [...]. A l'exception de ceux qui sont biologiquement inoffensifs.<br><b>article 5; annexe I, section B,</b><br>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.<br><i>article 5; annexe I, section C, No. 2</i><br><i>Composés organophosphorés [...]</i> |
|                   | par ex., polymère de l'acide maléique, acide polyacrylique |                   | <b>article 6; annexe II, section A, No. 13</b><br>Substances qui, bien que non toxiques par nature, peuvent devenir nocives pour le milieu marin [...] en raison des quantités rejetées.<br><i>article 5; annexe I, section C, No. 19</i><br><i>Substances non toxiques qui peuvent avoir un effet défavorable sur les caractéristiques physiques ou chimiques de l'eau de mer.</i>  |
| Acide             | par ex., acide sulfurique, pH 6 à 7                        |                   | 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   |

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

| Source d'impact                                     | Procédé  |  | Réglementation conformément au Protocole tellurique de 1983<br><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   | <b>article 6; annexe II, No. 12</b><br>Composés acides ou basiques dont la composition et la quantité sont telles qu'ils peuvent compromettre la qualité des eaux marines<br><i>article 5; annexe I, No. 16</i><br><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   | <b>article 6; annexe II, section A, No. 2</b><br>Les biocides et leurs dérivés [...]<br><i>article 5, annexe I, section C, No. 8</i><br><i>Biocides et leurs dérivés</i>   |
| Détergents  | par ex., dodécylsulfate, sulfonate de dodécylbenzène   | non utilisés   | <b>article 6; annexe II, section A, No. 6</b><br>Détergents et autres substances tensio-actives non biodégradables.<br><i>article 5, annexe I, section C, No. 12</i><br><i>Détergents et autres substances tensio-actives non biodégradables</i>   |
| Agents complexants                                  | par ex., éthylènediaminetétracétate (EDTA)   | non utilisés   | <b>article 6; annexe II, section A, No. 13</b><br>Substances qui, bien que non toxiques par nature, peuvent devenir nocives [...]<br><i>article 5; annexe I, section C, No. 19</i><br><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, propylene 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”<sup>5</sup>. 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 compétentes<sup>6</sup>. 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).

<sup>5</sup> Article premier du Protocole originel et modifié.

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

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 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 performance<sup>7</sup> est de 8 a une consommation d'énergie thermique d'environ 290 kJ/kg de distillat (soit 80kWh/m<sup>3</sup>), généralement ajoutée sous forme de vapeur chauffée. S'y ajoute une demande d'électricité de 4 à 6 kWh/m<sup>3</sup> pour les procédés par détente à étages multiples (*multistages flash* – MSF) et de 2,5 à 3 kWh/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> dans les grandes unités dotées de systèmes de récupération de l'énergie, alors qu'ils dépassent 15 kWh/m<sup>3</sup> 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 CO<sub>2</sub>) et de pluies acides (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>) 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 (CO<sub>2</sub>), 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 O<sub>2</sub> et N<sub>2</sub>).

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 m<sup>3</sup> 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 CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et SO<sub>x</sub>. 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.

---

<sup>7</sup> 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.

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

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 résiduaire 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 sulfureux<sup>8</sup>.

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

---

<sup>8</sup> 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.

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 usines<sup>9</sup>.

### **Agents antitartre**

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,

---

<sup>9</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> par jour.

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 polyéthylène glycol et le polypropylène glycol, 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 composées 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 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 ambiante<sup>10</sup> 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 proches 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

---

<sup>10</sup> 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/m<sup>3</sup>. 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/m<sup>3</sup>.

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 modèle permet de prévoir les concentrations et les dilutions (Doneker et Jirka, 2001; Del Bene et autres, 1994; Jirka et autres, 1996)<sup>11</sup>. 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)<sup>12</sup> et le modèle Princeton Ocean de l'Université de Princeton<sup>13</sup>. 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.

---

<sup>11</sup> <http://www.cormix.info/>

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

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

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 composées 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.

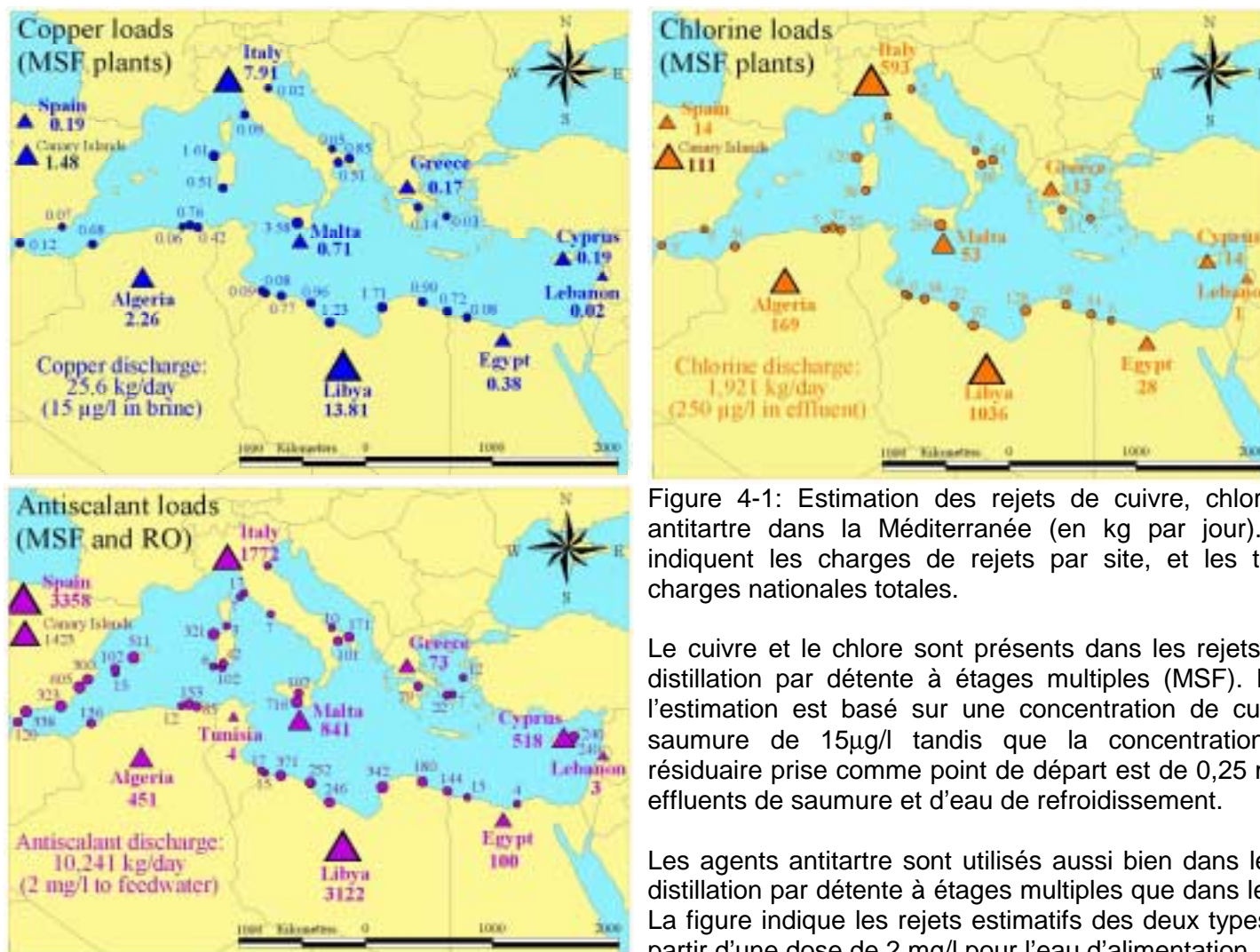


Figure 4-1: Estimation des rejets de cuivre, chlore et agents antitartre dans la Méditerranée (en kg par jour). Les points indiquent les charges de rejets par site, et les triangles, les charges nationales totales.

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 environnantes<sup>14</sup>. 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 agricole<sup>15</sup>.

**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 m<sup>3</sup> par an en 1990, et devrait augmenter de 32% d'ici à 2010 et de 55%, pour dépasser 460 milliards de m<sup>3</sup> 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).

---

<sup>14</sup> 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.

<sup>15</sup> 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 km<sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> /a      | %  | km <sup>3</sup> /a | %  | km <sup>3</sup> /a | %  | km <sup>3</sup> /a | %  | km <sup>3</sup> /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 m<sup>3</sup>/j contre un total de 15 millions de m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>/j, la plupart d'entre elles produisant 10 000 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>. 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 la 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 (m3/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           |

| Caractéristique de l'effluent | Valeur maximale                          | Objectif qualité | Normes de surveillance |                    |
|-------------------------------|--|------------------|------------------------|--------------------|
|                               |  |                  | Fréquence              | Type d'échantillon |
| 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). GULFHLYDRO 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.