



NATIONS  
UNIES

EP

UNEP(DEPI)/MED WG.435/3



PROGRAMME DES NATIONS UNIES  
POUR L'ENVIRONNEMENT  
PLAN D'ACTION POUR LA MÉDITERRANÉE

6 mars 2017  
Original : anglais

Réunion régionale d'experts visant à examiner le projet de Lignes directrices sur le dessalement et sur le Protocole «immersion».

Grèce, 4-6 avril 2017

**Point 4 de l'ordre du jour : Examen du projet de Lignes directrices actualisées sur le dessalement**

**Lignes directrices actualisées sur le dessalement**

Pour des raisons environnementales et économiques, le tirage du présent document a été restreint. Les participants sont priés d'apporter leur copie à la réunion et de ne pas demander de copies supplémentaires.

## Note explicative du secrétariat

1. Depuis 2003, date de publication du rapport technique n° 139 du PAM, les efforts en matière de dessalement à l'échelle mondiale, en particulier le dessalement autour de la Méditerranée, se sont accrus de façon exponentielle. Les technologies ont également évolué et se sont accompagnées d'une meilleure prise de conscience des possibles impacts sur l'environnement, notamment sur le milieu marin.
2. En outre, le cadre juridique de réglementation du rejet de déchets en Méditerranée a évolué parce que les amendements au Protocole sur les sources terrestres (Protocole « tellurique ») sont entrés en vigueur en 2008 et qu'un certain nombre de Plans régionaux ont été adoptés qui contiennent des mesures juridiquement contraignantes pour la prévention et la réduction de polluants spécifiques. De plus, le système PAM a encore évolué grâce à la mise en œuvre de l'Approche écosystémique (EcAp) visant à atteindre et à préserver un Bon état écologique (BEE) qui, en tant que principe fondamental du système PAM, est rationalisé et intégré à l'évaluation et aux mesures environnementales.
3. Le présent projet de Lignes directrices sur le dessalement de l'eau de mer en Méditerranée s'est inspiré du format général des Lignes directrices de 2003 qu'il a actualisé et élargi en y introduisant de nouvelles études et des publications sur la situation générale du dessalement puis a ajouté des dispositions sur l'amélioration technologique future des méthodes matures existantes en matière de dessalement et sur les technologies émergentes et les énergies renouvelables (Section 2).
4. La situation et les tendances du dessalement de l'eau de mer en Méditerranée ont été actualisées (section 3). Des questionnaires ont été envoyés aux Parties contractantes leur demandant des renseignements non seulement sur la capacité de dessalement installée, mais également sur la production réelle et en particulier sur les détails opérationnels des grandes usines de dessalement. Ces détails concernent l'utilisation de produits chimiques (identité et concentrations), le mode de prise d'eau et de rejet, ainsi que la composition de la saumure (section 3). Cet aspect n'a pas été abordé dans les lignes directrices précédentes.
5. La section 4 relative aux impacts réels et mesurés du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement a été considérablement élargie pour inclure des rapports et des publications à jour. On sait qu'au cours des cinq dernières années, il y a eu de plus en plus de publications révisées par les pairs sur les effets réels du dessalement de l'eau de mer qui ont fourni des données qui faisaient défaut auparavant.
6. La section relative aux aspects juridiques du rejet de saumure (section 5) a été mise à jour pour aborder les dispositions pertinentes modifiées du Protocole « tellurique ». Une nouvelle section, absente des lignes directrices précédentes, a été ajoutée pour répondre à la nécessité d'atteindre un Bon état environnemental.
7. La section 6 relative à l'Évaluation de l'impact sur l'environnement a également été mise à jour par l'introduction de documents récents et actualisés afin d'inclure les MTP et les MPE ainsi que les questions de durabilité.
8. La section 7 du projet de lignes directrices est entièrement nouvelle et concerne la surveillance de l'environnement. Ce point n'avait pas été traité dans les Lignes directrices de 2003.

## Table des matières

<b>1. Introduction</b> .....	1
<b>2. Dessalement de l'eau de mer</b> .....	1
2.1. Besoin de dessalement de l'eau de mer .....	2
2.2. Brève description des méthodes actuelles (matures) de dessalement de l'eau de mer .....	2
2.3. Orientations futures de la technologie du dessalement de l'eau de mer - technologies émergentes, amélioration des procédés et utilisation des énergies renouvelables.....	3
<b>3. Situation et tendances du dessalement de l'eau de mer en région méditerranéenne</b> .....	5
3.1. Évolution du dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens de 1999 à 2013. ....	6
3.2. Capacité installée pour le dessalement de l'eau de mer en Méditerranée et production réelle ....	7
<b>4. Impacts du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement, notamment en ce qui concerne le milieu marin</b> .....	7
4.1. Prise d'eau de mer .....	7
4.2. Rejet de saumure .....	8
4.2.1. <i>Dispersion de saumure (impacts abiotiques)</i> .....	8
4.2.2. <i>Effets de la saumure (salinité et température) sur le biote</i> .....	8
4.2.3. <i>Effet des produits chimiques utilisés dans le procédé de dessalement et rejetés avec la saumure</i> 9	
4.3. Contaminants émergents .....	10
<b>5. Aspects juridiques du rejet de saumure, en relation avec le Protocole « tellurique » modifié, ainsi que l'engagement à atteindre un Bon état environnemental basé sur l'Approche écosystémique.</b> .....	11
5.1. Le Protocole « tellurique » modifié et dessalement de l'eau de mer.....	11
5.2. Mise en œuvre de l'Approche écosystémique (ECAp) pour atteindre et conserver un Bon état écologique (BEE) .....	12
<b>6. Évaluation de l'impact sur l'environnement (EIE)</b> .....	13
6.1. Description du projet .....	14
6.2. Sélection de la technologie et caractérisation des rejets.....	15
6.3. La modélisation de la dispersion de saumure.....	15
6.4. Description de l'environnement (terrestre et marin) .....	15
6.4.1 <i>Description de l'environnement terrestre</i> .....	16
6.5. Évaluation des impacts possibles .....	16
6.5.1 <i>Impacts possibles pendant la phase de construction</i> .....	16
6.5.2 <i>Impacts possibles après le début des opérations</i> .....	17

## Table des matières (suite)

6.6.	Atténuation de l'impact .....	18
6.6.1	<i>Atténuation de l'impact pendant la construction</i> .....	18
6.6.2	<i>Atténuation de l'impact après le début des opérations</i> .....	18
6.7.	Meilleures technologies disponibles (MTD) et Meilleures pratiques environnementales (MPE)	19
6.8.	Durabilité.....	20
<b>7.</b>	<b>Surveillance de l'environnement</b> .....	<b>21</b>
7.1.	Surveillance pendant la phase de construction .....	21
7.2.	Surveillance sur le long terme après le début des opérations .....	22
7.2.1.	<i>Échantillonnage marin</i> .....	22
7.2.2.	<i>Rapport de surveillance</i> .....	24
7.2.3.	<i>Surveillance en usine</i> .....	24
<b>8.</b>	<b>Références</b> .....	<b>25</b>

## Liste des abréviations et des acronymes

<b>AD</b>	Dessalement par adsorption
<b>MTD</b>	Meilleures techniques disponibles
<b>MPE</b>	Meilleures pratiques environnementales
<b>CDI</b>	Désionisation capacitive
<b>CFC</b>	Chlorofluorocarbones
<b>PC</b>	Parties contractantes
<b>CSP</b>	Énergie solaire à concentration
<b>CdP</b>	Conférence des Parties
<b>EcAp</b>	Approche écosystémique
<b>ED</b>	Électrodialyse
<b>EDR</b>	Électrodialyse inverse
<b>AEE</b>	Agence européenne pour l'environnement
<b>EIE</b>	Évaluation de l'impact sur l'environnement
<b>UE</b>	Union européenne
<b>FAO</b>	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
<b>OD</b>	Osmose directe
<b>BEE</b>	Bon état écologique
<b>Émission de GES</b>	Émission de gaz à effet de serre
<b>GW</b>	Global Water Intelligence
<b>AIEA</b>	Agence internationale de l'énergie atomique
<b>IDA</b>	Association internationale de dessalement
<b>IMAP</b>	Programme intégré de surveillance et d'évaluation
<b>OMI</b>	Organisation maritime internationale
<b>GIEC</b>	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
<b>Protocole « tellurique »</b>	Protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique
<b>LTD</b>	Distillation à basse température
<b>PAM</b>	Plan d'action pour la Méditerranée
<b>MD</b>	Distillation sur membrane
<b>MED</b>	Distillation à effets multiples
<b>MED POL</b>	Programme d'évaluation et de maîtrise de la pollution dans la région méditerranéenne
<b>MSF</b>	Distillation par détente à étages multiples
<b>PRO</b>	Osmose à pression retardée
<b>OI</b>	Osmose inverse
<b>ER</b>	Énergies renouvelables
<b>RED</b>	Électrodialyse inverse
<b>SW</b>	Eau de mer
<b>Programme SWIM</b>	Programme de gestion durable et intégrée de l'eau
<b>TVC</b>	Compression thermique de vapeur
<b>PNUE</b>	Programme des Nations Unies pour l'environnement
<b>PNUE/PAM</b>	Programme des Nations Unies pour l'environnement/Plan d'action pour la Méditerranée
<b>ZRL</b>	Zéro rejet liquide

## 1. Introduction

1. À la suite de l'approbation par la réunion des Point focaux du MED POL, le Programme MED POL du PNUE/PAM a publié en 2003 le rapport technique n° 139 du PAM : Dessalement de l'eau de mer en Méditerranée. Évaluation et Lignes directrices. À l'époque, les lignes directrices, largement utilisées par les Parties contractantes, étaient à jour et décrivaient la nécessité du dessalement de l'eau de mer, les technologies de base, la situation et les tendances du dessalement de l'eau de mer dans la région méditerranéenne et abordaient les impacts sur l'environnement ainsi que les aspects juridiques du rejet de saumure.

2. Depuis 2003, les efforts en matière de dessalement à l'échelle mondiale se sont accrus de façon exponentielle en raison de l'augmentation de la demande d'eau douce et de l'amélioration des technologies ainsi que de la viabilité économique. La région méditerranéenne a suivi la tendance mondiale. La capacité de dessalement installée est ainsi passée d'environ 4 millions de m<sup>3</sup>/jour (Mm<sup>3</sup>/jour) en 2003 à 12 Mm<sup>3</sup>/jour en 2013. Les technologies ont également évolué et se sont accompagnées d'une meilleure prise de conscience des possibles impacts sur l'environnement, notamment sur le milieu marin. De plus, le cadre juridique de réglementation du rejet de déchets dans la Méditerranée et les Plans régionaux liés à la pollution (dans le cadre des protocoles « telluriques » (LBS) et des Protocoles « immersions » et du PAS/MED) ont évolué pour intégrer les aspects de l'Approche écosystémique (EcAp) en vue d'atteindre et de conserver un Bon état environnemental (BEE).

3. À présent, le MED POL examine et actualise le rapport technique n° 139 du PAM publié en 2003 pour mieux décrire les efforts autour de la Méditerranée en matière de dessalement et évaluer les impacts de celui-ci sur le milieu marin et côtier. Les nouvelles lignes directrices visent à orienter les Parties contractantes sur le mode de dessalement de manière durable et sur la manière de surveiller l'environnement. Elles s'appuient sur les publications précédentes : Rapport technique n° 139 du PAM (PNUE/PAM/MEDPOL 2003), rapport SWIM (Khordagui 2013), publications du PNUE et du CNRC (CNRC 2008, PNUE 2008), entre autres, ainsi que sur les publications citées dans le présent rapport.

## 2. Dessalement de l'eau de mer

4. Le dessalement de l'eau de mer (SW) représente environ 60 % des efforts en matière de dessalement à l'échelle mondiale et plus de 80 % autour de la Méditerranée. Il s'agit également du type de dessalement le plus énergivore en raison de la concentration élevée en sel. Par conséquent, le dessalement évoqué par les lignes directrices actualisées est celui de l'eau de mer, étant entendu que le dessalement d'eaux saumâtres est courant dans de nombreuses régions du monde, mais pas en Méditerranée (Khordagui 2013, Lior 2017).

5. Un autre point à prendre en compte est la différence entre la capacité de dessalement installée et la production réelle à matière de dessalement. La plupart des statistiques sur le dessalement (provenant principalement des rapports de l'Association internationale de dessalement (IDA) et du Global Water Intelligence (GWI)) se concentrent sur la capacité de dessalement installée. Toutefois, la capacité de dessalement installée peut être supérieure à la production réelle en raison de l'évolution des besoins de dessalement, généralement liés à la variabilité climatique (années de sécheresse ou de pluie), à la disponibilité de l'approvisionnement en eau naturelle ou réutilisée et aux coûts financiers.

## 2.1. Besoin de dessalement de l'eau de mer

6. Selon la FAO (2012), au cours du siècle dernier, la consommation mondiale d'eau s'est accrue à un rythme de plus de deux fois supérieur à celui de la croissance de la population. Ceci, conjugué à l'augmentation de l'incidence des sécheresses et aux changements des régimes de précipitations, en raison du changement climatique, a réduit la disponibilité de l'eau douce. Si les tendances actuelles de la consommation mondiale persistent, d'ici l'an 2025, deux personnes sur trois dans le monde pourraient vivre dans des conditions de stress hydrique<sup>1</sup>.

7. La crise de l'eau et un accès restreint à l'eau potable dans de nombreuses régions ainsi que l'amélioration constante des technologies de dessalement ont entraîné une augmentation du dessalement dans le monde, en particulier le dessalement de l'eau de mer. Historiquement, le dessalement commercial a débuté vers 1965 avec une capacité mondiale d'environ 8 000 m<sup>3</sup>/jour en 1970 pour atteindre environ 86,6 Mm<sup>3</sup>/jour à fin 2015<sup>2</sup>. De 1997 à 2008, le taux composé de croissance annuel du dessalement était de 17 %. Le dessalement a augmenté de façon exponentielle au rythme de 14 % par an de 2007 à 2012 avant que le taux baisse à 3 % par an de 2012 à 2015 (Gude 2016, Lior 2017). L'on a pu construire de grandes usines et des usines de très grande taille parce qu'elles sont devenues économiquement viables. Le dessalement dans les pays méditerranéens reflète la progression mondiale et sera traité dans la section 3.

## 2.2. Brève description des méthodes actuelles (matures) de dessalement de l'eau de mer

8. Les technologies de dessalement peuvent être divisées en deux grands procédés :

- a) Le procédé membranaire (changement sans phase), dans lequel des membranes semi-perméables sont utilisées pour séparer l'eau des sels dissous ; et
- b) Le procédé thermique (changement avec phase) dans lequel l'eau d'alimentation est portée à ébullition (à des températures et à des pressions de fonctionnement appropriées) et la vapeur condensée sous forme d'eau pure.
- c) On commence à utiliser des technologies hybrides qui s'appuient sur les deux procédés, comme la distillation sur membrane (voir ci-dessous).

9. L'industrie du dessalement a été dominée par des procédés thermiques jusqu'en 2003-2005 lorsque la technologie membranaire et en particulier l'osmose inverse (OI) les a surpassés (Gude 2016). Nous présentons ci-dessous une brève description des méthodes de dessalement établies (matures) par technologie.

### 2.2.1. Procédés membranaires

10. L'osmose inverse (OI) s'appuie sur la pression pour forcer les molécules d'eau de la solution d'alimentation à traverser des membranes semi-perméables qui retiennent les sels et filtrent les particules, produisant de l'eau douce et de la saumure. L'efficacité de ce procédé est de 0,45 pour l'eau de mer (SW) et de 0,75 pour l'eau saumâtre (BW) (Banque mondiale 2012). La salinité de la saumure produite à partir du procédé de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse (SWRO) est deux fois plus élevée que celle de l'eau de mer.

11. Lors des différentes étapes du procédé, l'on peut ajouter des produits chimiques qui sont ensuite rejetés avec la saumure en mer ou à l'intérieur des terres : coagulants en phase de prétraitement (sels de fer

<sup>1</sup> <http://www.who.int/heli/risks/water/water/en/> (consulté le 6 février 2017)

<sup>2</sup> <http://www.iwa-network.org/desalination-past-present-future/>

ou d'aluminium, polymères) ; biocides (tels que le chlore) et agents antitartre (sulfite de sodium) ; agents anticalcaires pour empêcher la salissure des membranes (tels que les polyphosphates, les polyphosphonates, l'acide polyacrylique, l'acide polymaléique) ; solutions de nettoyage pour membranes OI (solutions acides, solutions alcalines et détergents) ; et les correcteurs de pH et de dureté pour l'eau produite (calcaire).

12. Les étapes successives, l'utilisation de produits chimiques, la récupération d'énergie et l'efficacité améliorée ont été décrites dans plusieurs publications (Fritzmann et al. 2007, Greenlee et al. 2009, Elimelech et Phillip 2011, Ghaffour et al. 2013). À l'état actuel de la technique, les centrales de type SWRO consomment entre 3 et 4 kWh/m<sup>3</sup> d'énergie et émettent entre 1,4 et 1,8 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> et entre 10 et 100 g de NO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup> d'eau produite (Lior 2017).

13. L'électrodialyse (ED) est un procédé de séparation électrochimique dans lequel les ions sont transférés à travers des membranes échangeuses d'ions par une tension continue pour obtenir de l'eau dessalée (CNRC, 2008). L'électrodialyse inverse (EDR), une variante de l'ED, peut se réaliser avec des eaux d'alimentation très turbides.

#### 2.2.2. *Processus thermiques*

14. La distillation par détente à étages multiples (MSF) utilise une série d'étages, chacun ayant une température et une pression successivement plus basses, pour une vaporisation rapide (ou « détente ») de l'eau à partir du liquide en vrac. La vapeur est ensuite condensée par des tubes de l'eau d'alimentation entrante, récupérant ainsi l'énergie de la chaleur de condensation (CNRC 2008). L'efficacité de ce procédé est de 0,25 et la salinité de la saumure produite à partir du dessalement de l'eau de mer est d'environ 1,5 fois supérieure à la salinité de l'eau de mer et sa température est d'environ 5 degrés plus élevée.

15. Lors des différentes étapes du procédé, l'on peut ajouter des produits chimiques qui sont ensuite rejetés avec la saumure en mer ou à l'intérieur des terres : agents anti-mousse, inhibiteurs de corrosion, biocides (tels que le chlore) et agents antitartre (sulfite de sodium) ; agents anticalcaires pour empêcher la salissure (tels que les polyphosphates, les polyphosphonates, l'acide polyacrylique, l'acide polymaléique) ; solutions de nettoyage ; et les correcteurs de pH et de dureté pour l'eau produite (calcaire). Les usines de dessalement thermique sont soumises à la corrosion et au rejet ultérieur de métaux (tels que le cuivre) avec la saumure.

16. La distillation à effets multiples (MED) est une méthode d'évaporation à couche fine par laquelle la vapeur produite par une chambre (ou « effet ») se condense ensuite dans la chambre suivante, qui reste à une température et à une pression inférieures, pour aboutir à une chaleur supplémentaire de vaporisation. L'efficacité du procédé est de 0,34. Par rapport au procédé MSF, le procédé MED consomme moins d'électricité en raison de la réduction des besoins en pompage (CNRC 2008). Les grandes usines MED intègrent la compression thermique de la vapeur (TVC) dans laquelle la pression de la vapeur est utilisée (en plus de la chaleur) pour en améliorer l'efficacité (CNRC 2008).

2.3. Orientations futures de la technologie du dessalement de l'eau de mer - technologies émergentes, amélioration des procédés et utilisation des énergies renouvelables.

17. L'industrie du dessalement en constante progression a encouragé la recherche et l'ingénierie pour développer de nouvelles technologies, des technologies hybrides, afin de repenser les composants des systèmes en place pour améliorer l'efficacité, réduire la consommation d'énergie et de produits chimiques et les rejets. Nous vous proposons ci-dessous une brève description des futures orientations en matière de dessalement.

18. Osmose directe (OD). Le procédé OD repose sur le principe par lequel l'eau (solvant) se diffuse à travers une membrane semi-perméable depuis une région à faible concentration jusqu'à une région à concentration élevée par le processus osmotique naturel. Une membrane semi-perméable est placée entre une solution d'alimentation à faible concentration et une solution d'extraction à concentration élevée. La différence chimique potentielle entre les deux solutions entraîne les molécules d'eau à travers la membrane depuis la solution d'alimentation jusqu'à la solution d'extraction tout en retenant les solutés. L'eau est ensuite séparée et la solution d'extraction réutilisée. Le procédé de séparation peut être coûteux en fonction des caractéristiques de la solution d'extraction (Gude 2016, Straub et al. 2016, Amy et al. 2017).

19. La distillation sur membrane (MD) est un procédé entraîné thermiquement qui utilise une membrane hydrophobe et microporeuse comme contacteur pour obtenir une séparation par l'équilibre liquide-vapeur. La force motrice du procédé MD est la différence partielle de pression de la vapeur maintenue aux deux interfaces de la membrane (alimentation chaude et perméat froid). La solution d'alimentation chaude est mise en contact avec la membrane qui permet à la vapeur uniquement de passer à travers ses pores secs de sorte qu'elle se condense du côté réfrigérant. Le procédé utilise des températures et des pressions inférieures à celles des procédés thermiques et membranaires établis et peut atteindre 90 % de récupération (Banque mondiale 2012, AIEA 2015, Kim et al. 2016, Amy et al. 2017).

20. Le dessalement par adsorption (AD) est un procédé de cycle d'adsorption/désorption entraîné par la chaleur. Dans ce procédé, de l'eau de mer brute est introduite dans un évaporateur à sa température ambiante et un adsorbant est utilisé pour adsorber la vapeur générée à très basses pression et température, dans un environnement à basse pression. Lorsqu'il arrive à saturation, l'adsorbant est chauffé pour libérer la vapeur (procédé de désorption) puis il est condensé à l'intérieur d'un condenseur externe. Il n'est pas nécessaire de chauffer l'eau d'alimentation comme pour d'autres procédés thermiques (Kim et al. 2016).

21. Parmi les nouveaux procédés et technologies, citons les suivants : L'osmose à pression retardée (PRO), l'électrodialyse inverse (EI), la distillation à basse température (LTD), la désionisation capacitive (CDI). La plupart de ces technologies ne sont pas encore parfaitement au point. Elles ne sont donc pas utilisées dans les grandes usines. Le circuit fermé OI émerge à présent dans le domaine commercial. Les procédés OD et MD sont utilisés dans des applications de niche (Amy 2017).

22. Amélioration des technologies actuelles : De nombreuses améliorations ont lieu en permanence dans le domaine en constante évolution du dessalement, en particulier dans l'amélioration des rendements et la réduction de la consommation d'énergie et de produits chimiques ainsi que dans le rejet de saumure. En voici quelques exemples :

- a) Zéro rejet liquide (ZRL) est un procédé qui récupère l'eau des concentrés de saumure pour éliminer les déchets liquides. En théorie, la plupart des technologies émergentes peuvent s'utiliser dans des schémas de type zéro rejet liquide. Le procédé ZRL est particulièrement important dans le dessalement des eaux saumâtres intérieures (Gude 2016, Tong et Elimelech 2016) et peut se réaliser dans de petites usines de dessalement d'eau de mer ;
- b) L'amélioration des membranes conventionnelles et la conception de nouvelles membranes (ingénierie membranaire) pour accroître le rendement, réduire la consommation d'énergie et les émissions de GES associées sont en constante évolution. Ces procédés comptent notamment le développement de membranes biomimétiques, à base d'aquaporines (une protéine canalisatrice d'eau), d'eau synthétique et de canaux ioniques ainsi que de graphène ;
- c) Énergies renouvelables (RE). Les énergies renouvelables, les énergies solaire (énergie solaire à concentration (CSP)), photovoltaïque (PV), géothermique, éolienne et à ondes (marées) finiront par remplacer l'énergie conventionnelle dans le dessalement lorsqu'elles deviendront économiquement viables (Gude 2016, Amy et al. 2017). Toutefois, l'AIEA (AIEA 2015) prévoit

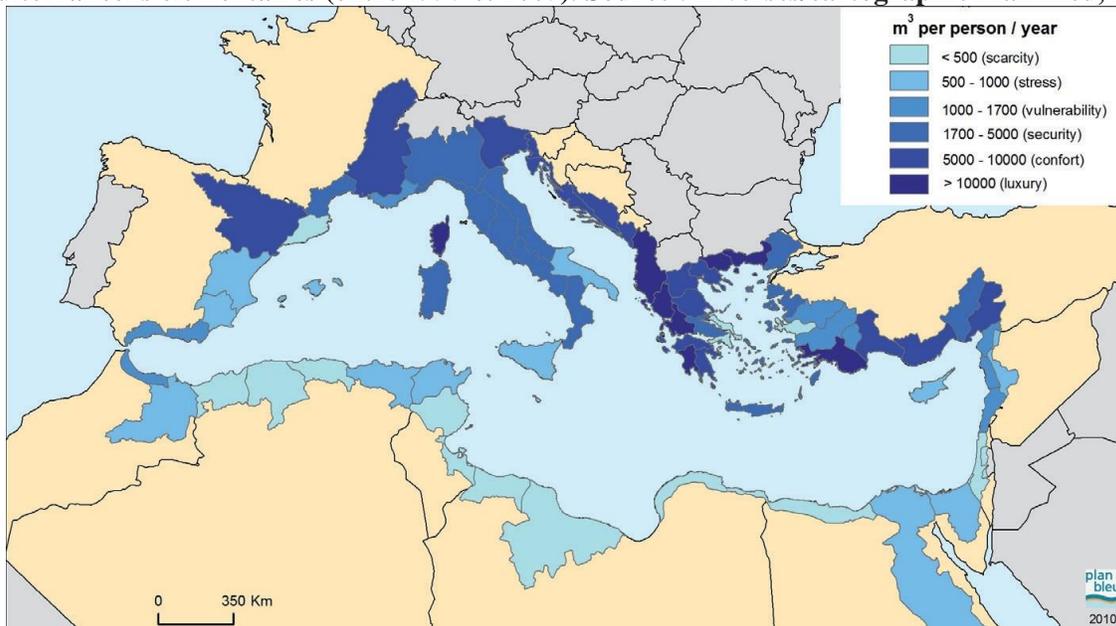
qu'en 2030, le dessalement alimenté par les énergies renouvelables ne suffira que pour l'approvisionnement en eau domestique, mais augmentera pour répondre à l'offre industrielle d'ici 2050.

### 3. Situation et tendances du dessalement de l'eau de mer en région méditerranéenne

23. Les ressources en eau naturelles renouvelables par habitant dans les pays riverains de la mer Méditerranée vont de la pénurie (< 500 m<sup>3</sup>/année-personne) au confort et au luxe (5000 m<sup>3</sup>/année-personne) (AQUASTAT<sup>3</sup>, Plan Bleu, 2010).

24. Il existe un déséquilibre entre la rive nord et la rive sud de la Méditerranée, la deuxième étant considérée comme l'une des régions du monde les plus pauvres en eau. En conséquence, les efforts de dessalement autour de la Méditerranée se concentrent surtout sur ses rives sud et est, ainsi qu'en Espagne. En 2013, plus de 1 532 usines de dessalement d'eau de mer se sont installées autour de la mer Méditerranée avec une capacité totale cumulée d'environ 12 Mm<sup>3</sup>/jour. Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse représentait environ 80 % de la production. Presque toute l'eau dessalée produite est consommée comme eau potable par les municipalités (Khordagui 2013).

**Figure 1. Ressources en eau naturelles renouvelables par habitant dans les différents bassins méditerranéens élémentaires (entre 1995 et 2005). Source : Diverses/cartographie Plan Bleu, 2010**



25. En 2014, l'Agence européenne pour l'environnement, en collaboration avec le PNUE/PAM, a publié un rapport rassemblant les niveaux de pollution dans la région, notamment les principaux moteurs des changements environnementaux et leurs implications sur la protection du milieu marin, sans aborder la question du dessalement (AEE-PNUE/PAM 2014). Toutefois, dans le rapport PNUE/PAM sur l'état de la Méditerranée en 2012, le dessalement a été mentionné comme une nouvelle source de pression et un secteur clé affectant l'environnement marin et côtier en Méditerranée (PNUE/PAM 2012).

<sup>3</sup> [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water\\_res/index.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_res/index.stm)

3.1. Évolution du dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens de 1999 à 2013.

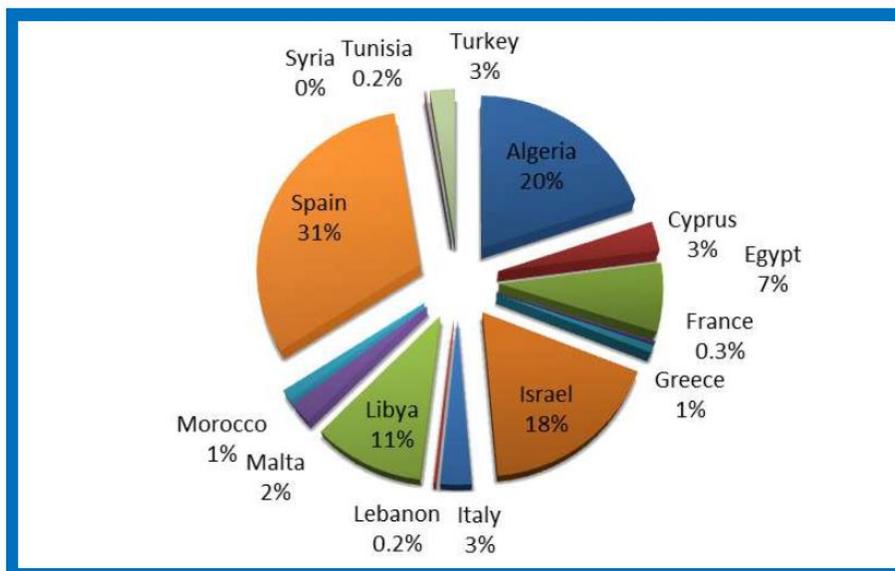
26. En 1970, la capacité totale de dessalement autour de la Méditerranée était de 0,025 Mm<sup>3</sup>/jour.

27. Fin 1999, elle s'était accrue de presque 2 ordres de grandeur pour atteindre une capacité totale de près de 2 Mm<sup>3</sup>/jour, dont 41 % étaient produits par OI (PNUE/PAM/MED POL 2003). L'Espagne était le plus grand producteur d'eau dessalée avec 33 % de la capacité totale, principalement à partir du procédé OI. La Libye suivait avec 30 % de la capacité totale, principalement à partir du procédé MSF. L'Italie, Malte, l'Algérie et Chypre représentaient respectivement 18, 6, 5 et 2 % de la capacité totale (PNUE/PAM/MED POL 2003).

28. En 2007, la capacité totale de dessalement en Méditerranée était de 4,0 Mm<sup>3</sup>/j, soit 14 % de la capacité totale du globe. L'Espagne était le principal producteur, avec 35 % de la capacité totale en Méditerranée suivie de la Libye avec 20 %. L'Algérie, Israël, l'Italie, Malte et Chypre représentaient respectivement 19, 10, 7, 5 et 4 % de la capacité totale (Lattemann et al. 2010a, Lattemann et al. 2010b). Le principal procédé utilisé était le procédé OI.

29. En 2011, la capacité a été portée à 11,6 Mm<sup>3</sup>/jour dans les pays méditerranéens, mais cette estimation peut inclure le dessalement de l'eau provenant de l'Atlantique et de la mer Rouge. L'Espagne était le principal producteur (41 % de la capacité totale en Méditerranée), suivie de l'Algérie et d'Israël avec respectivement 15 et 10 %. La Libye représentait 7 % de la production totale et l'Italie et l'Égypte, 6 % chacun (Cuenca 2013).

30. Les impacts possibles du dessalement autour de la mer Méditerranée sur l'environnement ont été évalués dans le cadre de l'activité 1.3.2.1 du programme SWIM (Gestion durable et intégrée de l'eau) de l'UE (Khordagui 2013) et selon la capacité installée. En 2013, la capacité totale de dessalement installée cumulée était d'environ 12 Mm<sup>3</sup>/j. De 2000 à 2013, la capacité installée a augmenté de 560 % (40 % par an). Le procédé OI était la technologie de dessalement la plus répandue dans la région (environ 82 %), suivie des procédés MSF (11 %) et MED (6,5 %). En 2013, l'Espagne a été le principal producteur (31 % de la capacité totale), suivie de l'Algérie, d'Israël et de la Libye avec respectivement 20, 18 et 11 %.



**Figure 2. Contribution relative de chaque pays méditerranéen à la capacité totale de dessalement de 12 Mm<sup>3</sup>/jour en 2013. Figure de Khordagui (2013) compilée avec les données de GWI Desal Data.**

3.2. Capacité installée pour le dessalement de l'eau de mer en Méditerranée et production réelle

31. Le rapport SWIMM (Khordagui 2013) est le rapport collectif le plus récent sur la situation du dessalement dans la région méditerranéenne. Afin d'examiner et de modifier les connaissances actuelles, des questionnaires partiellement remplis ont été envoyés aux Parties contractantes, leur demandant leur collaboration. Le questionnaire comprend des questions générales (capacité de dessalement installée, production réelle, contribution du dessalement de l'eau de mer à la production réelle et plans futurs) et des questions spécifiques (nombre d'usines qui procèdent à un dessalement de plus de 10 000 m<sup>3</sup>/jour, leur emplacement, les procédés utilisés, les détails sur l'utilisation de produits chimiques et sur leur rejet dans l'environnement). Les questionnaires partiellement remplis envoyés aux pays figurent à l'annexe I.

**4. Impacts du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement, notamment en ce qui concerne le milieu marin**

32. La présente section traite de l'impact du dessalement de l'eau de mer sur le milieu marin après le démarrage des opérations des usines, selon Kress et Galil (2015) et d'autres rapports publiés ainsi que la documentation examinée par les pairs citée dans le présent texte. Les effets possibles pendant les phases de construction et d'exploitation sont décrits aux sections 5 et 6. Les principaux impacts du dessalement de l'eau de mer sur le milieu marin sont associés à deux composantes : la prise d'eau de mer (eau d'alimentation) en direction de l'usine de dessalement et le rejet de saumure. Le nombre d'articles publiant des effets quantitatifs *in situ* ou en laboratoire est toutefois faible et de portée limitée (Roberts et al. 2010). Ces articles ont néanmoins augmenté au cours des dernières années. Ils nous informent que les effluents de dessalement ont un impact sur le biote marin voisin de l'émissaire, mais il ne s'agit pas de conclusions définitives en raison de résultats contradictoires. Les résultats sont spécifiques au site et dépendent de la sensibilité de l'environnement récepteur, du procédé de dessalement, de la taille de l'usine et de la composition du rejet. L'absence d'études sur le long terme leur porte préjudice. Les émissions de GES peuvent également affecter le milieu marin par l'acidification des océans. Toutefois, ces émissions ne seront pas abordées dans la présente section.

4.1. Prise d'eau de mer

33. Les principaux effets associés au prélèvement de l'eau d'alimentation (eau de mer) sont l'entraînement et la collision d'organismes marins (CNRC 2008, PNUE 2008). Il s'agit également des effets les moins étudiés et les plus connus, en particulier l'impact sur la population.

34. L'entraînement est le transport de petits organismes planctoniques avec le flux d'eau de mer vers les usines de dessalement. Il est généralement reconnu que la faune et la flore entraînées qui pénètrent dans l'usine de dessalement périront au cours des différentes étapes du procédé de dessalement, y compris par l'application de biocide. Ceci contraste avec les eaux de refroidissement des centrales électriques, où une mortalité plus faible a été signalée (Mayhew et al. 2000, Barnthouse 2013). L'entraînement peut être réduit en plaçant les prises d'eau loin des zones biologiquement productives, comme dans les eaux plus profondes au large des côtes, ou en utilisant des puits souterrains côtiers, bien que ces derniers soient difficiles à réaliser pour les usines de dessalement à grande échelle (CNRC 2008, Elimelech et Phillip 2011).

35. La collision se produit à des prises ouvertes lorsque des organismes suffisamment grands pour éviter de passer par les écrans de prise d'eau installés sont piégés par ceux-ci par la force de l'eau de mer qui entre dans l'usine de dessalement. Il est reconnu que l'impact des méduses sur le point de prise d'eau bloque celui-ci et réduit la production<sup>4</sup>. La collision peut être réduite grâce à une combinaison d'écrans appropriés et une faible vitesse d'aspiration. Pour l'US-EPA, afin de réduire les collisions, la vitesse du débit d'aspiration selon les MTD doit être de 0,152 m/s. Le projet ProDes financé par l'UE propose une vitesse d'aspiration maximale de 0,1 m/s<sup>5</sup>.

#### 4.2. Rejet de saumure

##### 4.2.1. *Dispersion de saumure (impacts abiotiques)*

36. La saumure est définie ici comme le rejet salin d'une usine de type SWRO et comme le rejet salin et chaud d'une usine de dessalement thermique, sans les produits chimiques utilisés au cours du procédé. La dispersion de saumure peut varier considérablement selon les caractéristiques propres au site, le volume de l'effluent, le mode de rejet et les conditions hydrographiques existantes. Néanmoins, la salinité et la température sont plus élevées que les normes de référence aux sites de rejet, mais comme mentionné, la zone affectée est très variable (Fernandez-Torquemada et al. 2009, Holloway 2009, McConnell 2009, Dрами et al. 2011, Kress and Galil 2012). Des études sur l'effet du dessalement thermique dans le golfe fermé ont montré un effet sur la température et la salinité de l'eau et une augmentation de la salinité dans la région (Purnama et al. 2005, Lattemann et Hopner 2008, Uddin et al. 2011).

37. Le rejet de saumure peut augmenter la stratification de l'eau de mer qui, combinée à une salinité et une température plus élevées, peut réduire les niveaux d'oxygène contenu dans l'eau. Cette inquiétude a été soulevée lors de l'EIE de l'usine de type SWRO de Perth (Australie), mais bien que la surveillance ait montré une légère stratification de l'eau près du diffuseur, aucun effet significatif n'a été trouvé sur les concentrations de l'oxygène dissous (Holloway 2009).

38. Le rejet de saumure peut avoir un autre impact abiotique du point de vue esthétique du fait du rejet de saumure trouble. Cet effet a été décrit pour l'usine de type SWRO d'Ashkelon (Israël) qui, jusqu'en 2010, a rejeté en impulsions du ressac contenant de l'hydroxyde de fer utilisé comme coagulant dans l'étape de prétraitement. L'hydroxyde de fer formait un « panache rouge » visible (Safrai et Zask 2008, UNEP 2008, Dرامي et al. 2011).

##### 4.2.2. *Effets de la saumure (salinité et température) sur le biote*

39. La salinité et la température ont longtemps été perçues comme des facteurs environnementaux inhibiteurs pour la survie et la croissance du biote marin (Murray et Wingard 2006, Wiltshire et al. 2010). Ces deux éléments sont donc susceptibles d'affecter le biote à proximité des zones de rejet de saumure de dessalement.

##### i. Études en laboratoire et en mésocosme

40. Des expériences en laboratoire et en mésocosme sur *Posidonia oceanica*, un herbier marin endémique à la mer Méditerranée et d'une importance particulière en matière d'habitat, ont montré que, dans certaines conditions, une salinité accrue affectait sa fonction physiologique, sa croissance foliaire et ses taux de survie (Fernández-Torquemada et al. 2005, Ruiz et al. 2009, Sandoval-Gil et al. 2012, Marín-Guirao et al. 2013).

<sup>4</sup> <http://gulfnews.com/news/uae/general/jellyfish-choke-oman-desalination-plants-1.355525>

<sup>5</sup> [http://www.prodes-project.org/fileadmin/Files/D6\\_2\\_Legislation\\_Guidelines.pdf](http://www.prodes-project.org/fileadmin/Files/D6_2_Legislation_Guidelines.pdf)

41. Deux autres types d'herbiers marins méditerranéens, *Cymodocea nodosa* et *Zostera noltii*, ont été identifiés comme étant sensibles aux augmentations de salinité (Fernández-Torquemada et Sánchez-Lizaso 2011), tandis que la tolérance d'autres herbiers marins au stress d'hypersalinité varie d'une espèce à l'autre (Walker et McComb, 1990, Koch et al. 2007, Sandoval-Gil et al. 2012) (Walker et al. 1988, Koch et al. 2007, Sandoval-Gil et al. 2012a, Sandoval-Gil et al. 2012b).

42. Des combinaisons de stress de température et de salinité ont considérablement réduit les performances larvaires et la croissance de la balane *Amphibalanus improvisus* (Nasrolahi et al. 2012), alors qu'il a été démontré que la salinité affecte la structure de la silice des diatomées (Vars et al. 2013).

43. L'hypersalinité a diminué la survie des embryons de la seiche géante australienne *Sepia apama* et réduit son poids moyen et la longueur de son manteau (Dupavillon et Gillanders 2009). Les essais de toxicité de l'effluent entier (WET) réalisés sur des espèces présentes dans la région dans le cadre de l'EIE pour l'usine de type SWRO d'Olympic Dam (Australie) attribuent la toxicité à l'augmentation de la salinité (Hobbs et al. 2008). D'autre part, aucun effet significatif n'a été trouvé chez 18 espèces communes lors d'une EIE approfondie réalisée pour l'usine de type SWRO de Carlsbad (Californie du Sud) (Le Page 2005).

44. Récemment, une expérience en mésocosme sur l'impact des salinités élevées (5 % et 15 % plus élevées que la salinité ambiante) sur les populations côtières microbiennes de la Méditerranée orientale a révélé qu'après environ 12 jours d'exposition, la chlorophylle a et la productivité primaire ont augmenté et la composition de la population microbienne a évolué. Cette dernière dépendait de la population initiale soumise aux saisons et de l'intensité de l'enrichissement en salinité (Belkin et al. 2015).

## ii. Études *in situ*

45. Une étude de terrain d'une prairie *P. oceanica* peu profonde en Espagne a montré qu'elle était affectée après 6 années d'exposition à la saumure OI (Sánchez-Lizaso et al. 2008), ce qui correspond aux études réalisées en laboratoire. Toujours en Espagne (sud-est de la côte méditerranéenne), le rejet de saumure a changé la communauté benthique (Del Pilar Ruso et al. 2007, Del Pilar -Ruso et al. 2008, de-la-Ossa-Carretero et al. 2016). L'échinoderme a disparu près de l'émissaire du Dhekelia de type SWRO à Chypre (Argyrou 1999). Cependant, aucun effet du rejet de saumure n'a été trouvé dans le nord-ouest de la Méditerranée (Raventos et al. 2006) ni dans le sud-ouest de la Floride (Hammond et al. 1998). De plus, dans certains cas, les résultats de la surveillance de la communauté benthique n'ont pas été concluants en raison d'un changement de taille des particules sédimentaires, ce qui peut signifier des changements dans la composition de la communauté (Shute 2009, Riera et al. 2011, Riera et al. 2012).

46. Des études *in situ* ont détecté des changements dans les communautés microbiennes et dans le fonctionnement microbien en Méditerranée et en Mer rouge (Drami et al. 2011, van der Merwe et al. 2014a, Belkin et al. 2017). La photophysologie du symbiote des algues du corail *Fungia granulosa* n'a pas été influencée par les changements rapides et prolongés de la salinité, mais a varié avec les changements de conditions de lumière (van der Merwe et al. 2014b).

### 4.2.3. *Effet des produits chimiques utilisés dans le procédé de dessalement et rejetés avec la saumure*

47. On en sait peu sur les effets des produits chimiques rejetés avec la saumure dans le milieu marin. La cooccurrence des facteurs de stress : salinité, température, produits chimiques et rejets concomitants d'effluents de déchets (tels que les eaux de refroidissement des centrales électriques) sèment également la

confusion dans la discussion sur les résultats des rares études existantes, empêchant d'établir une relation cause-réponse.

48. Le chlore est utilisé à la fois dans les usines de dessalement et dans les centrales électriques pour empêcher la salissure. Dans les usines de type OI, le chlore résiduel est oxydé pour éviter d'endommager les membranes ; dans les usines de dessalement thermique et dans les centrales électriques, la saumure rejetée peut contenir du chlore résiduel. Le chlore résiduel réagit rapidement au contact de l'eau de mer pour former des complexes toxiques tels que le bromoforme (Taylor 2006) qui s'accumule dans le foie du bar européen *Dicentrarchus labrax*. Dans la même étude, il a été impossible de séparer l'effet du bromoforme de la température sur *Mytilus edulis*.

49. Les produits de corrosion (métaux) des usines de dessalement thermique, en particulier le cuivre, un matériau commun dans les échangeurs de chaleur, se sont accumulés à proximité des émissaires. Bon nombre d'études indiquent que cette présence de cuivre ne signifie pas un effet néfaste parce que le cuivre est un composé naturel qu'on trouve dans la nature (Lattemann et Hopner 2008). Toutefois, des études antérieures ont révélé que le cuivre affectait les échinodermes, les tuniciers et les herbiers marins ainsi que les micro-organismes de Floride (Chesher, 1971, Brand et al. 1986). Récemment, des concentrations de cuivre et de zinc plus élevées que celle que l'on retrouve naturellement dans les sédiments et les bivalves ont été signalées lors du rejet de saumure de deux usines de type SWRO à Taiwan (Lin et al. 2013).

50. Le métabisulfite de sodium ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) est habituellement utilisé pour nettoyer les membranes d'osmose inverse. Des impulsions à court terme dans le milieu marin peuvent entraîner une acidification et une hypoxie. Les bio-essais de toxicité sur le poisson-lézard *Synodus synodus* dans les Canaries ont révélé une sensibilité élevée à l'exposition à court terme à de faibles concentrations, avec une mortalité totale se produisant à des concentrations plus élevées (Portillo et al., 2013).

51. La toxicité observée lors de l'essai WET sur la diatomée *Nitzschia closterium* a été attribuée à la salinité (70 % des effets toxiques), tandis que 30 % ont été attribués à l'agent anticalcaire polyphosphonate (Hobbs et al. 2008). Au cours d'une étude récente en mésocosme en Méditerranée orientale, l'ajout de phosphonate a libéré immédiatement le stress phosphoreux de la communauté microbienne et, en 10 jours, a réduit la diversité bactérienne et augmenté la diversité eucaryote (Belkin et al. 2017).

52. Les sels de fer utilisés dans des coagulants au stade de prétraitement à l'usine de type SWRO d'Ashkelon (Israël) et rejetés en impulsions en mer se sont avérés avoir diminué l'efficacité de croissance du phytoplancton à l'émissaire lors d'études *in situ* alors que pendant une expérience en mésocosme, l'ajout de fer a immédiatement modifié la composition des communautés microbiennes, amélioré la production et l'efficacité des bactéries tout en diminuant la production primaire. Au bout de 10 jours, la biomasse autotrophe et le nombre d'assimilations ont baissé par rapport au niveau de référence (Drami et al. 2011, Belkin et al. 2017).

#### 4.3. Contaminants émergents

53. Comme nous l'avons dit plus haut, l'industrie du dessalement est très dynamique ; elle s'efforce d'améliorer son rendement, de réduire la quantité de produits chimiques utilisés dans ses procédés et rejetés avec la saumure et d'utiliser des substances moins dangereuses (chimie verte). Par conséquent, il est difficile de suivre les changements ; les spécialistes de l'environnement doivent donc travailler en étroite collaboration avec les exploitants d'usines de dessalement pour se tenir informés des changements apportés aux procédés. À titre d'exemple, l'usine de dessalement de la ville Hadera (Israël) utilise à

présent la biofloculation plutôt que la coagulation avec des sels de fer comme étape de prétraitement. La saumure rejetée ne contient donc plus de fer.

54. Un autre obstacle est que bon nombre des produits chimiques (principalement des coagulants et des agents anti-tartre) sont protégés par des brevets ; leur composition exacte est donc en général une propriété exclusive qui ne peut être divulguée. Dans ce cas, le composé actif doit être identifié et compilé en même temps que ses propriétés toxicologiques. Il convient de mentionner que des polluants connus sont également utilisés dans le procédé : acides, alcalis, solutions de nettoyage, sels métalliques ainsi que des produits de corrosion connus (métaux).

55. Sur la base d'un examen des technologies existantes et de l'état d'avancement des travaux, les contaminants suivants émergent des technologies de dessalement :

Contaminants	Utilisés/produits dans le procédé de dessalement	
	Membrane	Thermique
Sels de Fe, sels d'Al, polymères organiques	Coagulant	Non utilisé
Métaux lourds Fe, Ni, Cr, Mo	Corrosion d'acier inoxydable	Corrosion d'acier inoxydable
Métaux lourds Cu, Ni, Ti	Non pertinent	Corrosion à partir de la chaleur
Chlore, autres oxydants	Biocide, utilisé mais neutralisé avec du bisulfite avant élimination	Chlore résiduel biocide
Bisulfite	Neutralisant de biocide	Non utilisé
Polyglycol, détergents	Non utilisé	Agent anti-mousse
Détergents, oxydants, agents complexants	Nettoyage de membranes	Non utilisé
Polyphosphate, Polyphosphonate, polymères organiques (acides polymaléiques et polyacryliques)	Agent anti-tartre	Agent anti-tartre
Solutions alcalines	Nettoyage (neutralisé avant élimination)	Non utilisé
Solutions acides	Nettoyage (neutralisé avant élimination)	Nettoyage
	Non utilisé	Inhibiteurs de corrosion
Calcaire (CaCO <sub>3</sub> )	Agent d'ajustement du pH et de la dureté de l'eau produite	Agent d'ajustement du pH et de la dureté de l'eau produite
Sel	Saumure	Saumure
Température	Sans objet	Saumure

## **5. Aspects juridiques du rejet de saumure, en relation avec le Protocole « tellurique » modifié, ainsi que l'engagement à atteindre un Bon état environnemental basé sur l'Approche écosystémique.**

5.1. Le Protocole « tellurique » modifié et dessalement de l'eau de mer

56. Le Protocole « tellurique » modifié stipule que les rejets de sources ponctuelles dans le milieu marin doivent être autorisés ou réglementés et qu'un système d'inspection et de surveillance doit être mis en

place. Le protocole comprend 4 annexes et bien que le dessalement ne soit pas désigné comme l'un des secteurs d'activité à prendre en considération lors de l'établissement des priorités pour la préparation des plans d'action, les principes qui y sont énoncés peuvent être appliqués à l'industrie du dessalement.

- i. L'annexe I énumère 19 catégories de substances et de sources de pollution à prendre en compte lors de la préparation des plans d'action, la plupart concernant le dessalement, tels que les composés organohalogénés, azotés et phosphorés, les métaux lourds, les détergents non biodégradables, les rejets thermiques, les substances non toxiques susceptibles d'avoir un effet néfaste sur la concentration en oxygène ainsi que sur les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau de mer.
- ii. L'annexe II décrit les éléments à prendre en compte lors de la délivrance d'autorisations de rejet de déchets et dresse une liste de contrôle à utiliser lors de la procédure d'Évaluation de l'impact sur l'environnement (EIE, voir chapitre 6).
- iii. L'annexe III relative au rejet atmosphérique ne touche l'industrie du dessalement que dans le contexte de la consommation d'énergie et des émissions de GES.
- iv. L'annexe IV précise les critères de définition des Meilleures technologies disponibles (MTD) et des Meilleures pratiques environnementales (MPE) (voir chapitre 6).

## 5.2. Mise en œuvre de l'Approche écosystémique (ECAp) pour atteindre et conserver un Bon état écologique (BEE)

57. L'Approche écosystémique (EcAp) est une procédure de planification des ressources et de gestion qui intègre la gestion des activités humaines et de leurs institutions à la connaissance du fonctionnement des écosystèmes. Dans la gestion des écosystèmes marins et des ressources marines, cette approche nécessite d'« identifier et d'agir sur les influences qui sont essentielles à la santé des écosystèmes marins pour parvenir à l'utilisation durable des biens et des services écosystémiques et au maintien de l'intégrité des écosystèmes » et nécessite des systèmes novateurs de surveillance (Farmer et al. 2012, Borja et al. 2016a, Borja et al. 2016b). L'EcAp requiert plusieurs éléments, basés sur le cadre conceptuel DPSIR (moteur – pression – état – impact – réaction) :

- i. Une définition de l'origine des pressions émanant des activités ;
- ii. Une évaluation des risques et un cadre de gestion des risques pour chaque risque ;
- iii. Une intégration verticale des structures de gouvernance de l'échelle locale à l'échelle internationale ;
- iv. Un cadre de participation des parties prenantes ; et
- v. La prestation de services écosystémiques et d'avantages sociaux (Elliott 2014).

58. Elle nécessite également une gestion adaptative pour faire face à la nature complexe et dynamique des écosystèmes et à l'absence de connaissance ou de compréhension exhaustive de leur fonctionnement.

59. L'approche écosystémique est le principe fondamental du PNUE/PAM dont l'objectif ultime est d'atteindre et de maintenir le Bon état écologique (BEE) de la mer et de la côte méditerranéenne (PNUE/PAM 2012, 2014a, b, 2016). Ce principe a été intégré aux travaux du PNUE/PAM à travers une série de décisions convenues lors des réunions de la Convention de Barcelone :

60. La décision IG.17/6 définit une feuille de route pour la mise en œuvre de l'Approche écosystémique, décrivant 7 étapes, notamment la définition de la vision et des objectifs, l'élaboration de 11 objectifs écologiques, objectifs opérationnels et de leurs indicateurs respectifs, l'élaboration de descripteurs et de cibles du BEE, de programmes de surveillance et des mesures nécessaires pour atteindre le BEE. La décision IG.20/4 a validé les travaux réalisés relativement aux 11 objectifs écologiques, aux objectifs opérationnels et aux indicateurs pour la Méditerranée. La décision IG.21/3 relative à l'Approche écosystémique a adopté les définitions du BEE et a convenu de cibles et d'indicateurs communs à

l'échelle régionale. Le développement le plus récent lié à la mise en œuvre de l'Approche écosystémique en Méditerranée est l'adoption du Programme intégré de surveillance et d'évaluation (IMAP) de la mer et de la côte méditerranéennes et des critères d'évaluation connexes par la CdP 19 (décision IG. 22/7).

61. Les 11 objectifs écologiques sont les suivants<sup>6</sup> :

- La biodiversité est maintenue ou renforcée.
- Les espèces non indigènes n'affectent pas l'écosystème.
- Les populations de poissons et de crustacés exploités commercialement sont en dessous des limites biologiques de sécurité.
- Les altérations aux composantes des chaînes alimentaires marines n'ont pas d'effets négatifs sur le long terme.
- L'eutrophisation est évitée.
- L'intégrité du sol marin est maintenue.
- L'altération des conditions hydrographiques n'affecte pas de manière négative les écosystèmes côtiers et marins.
- Les dynamiques naturelles des zones côtières sont maintenues et les écosystèmes et paysages côtiers sont préservés.
- Les contaminants n'ont aucun impact significatif sur les écosystèmes côtiers et marins et sur la santé.
- Les déchets marins et côtiers n'affectent pas de manière négative les écosystèmes côtiers et marins.
- Le bruit des activités humaines n'a aucun impact significatif sur les écosystèmes marins et côtiers.

62. La plupart des objectifs écologiques et opérationnels s'appliquent à l'industrie du dessalement tant au niveau des sites de prise d'eau que des sites de rejet (voir chapitre 4). Par conséquent, lors de l'examen et de la surveillance de sites de rejet, il convient de prendre soin d'ajouter des paramètres qui aideront à définir l'état de l'environnement avant le début des opérations et à faire le suivi les tendances sur le long terme.

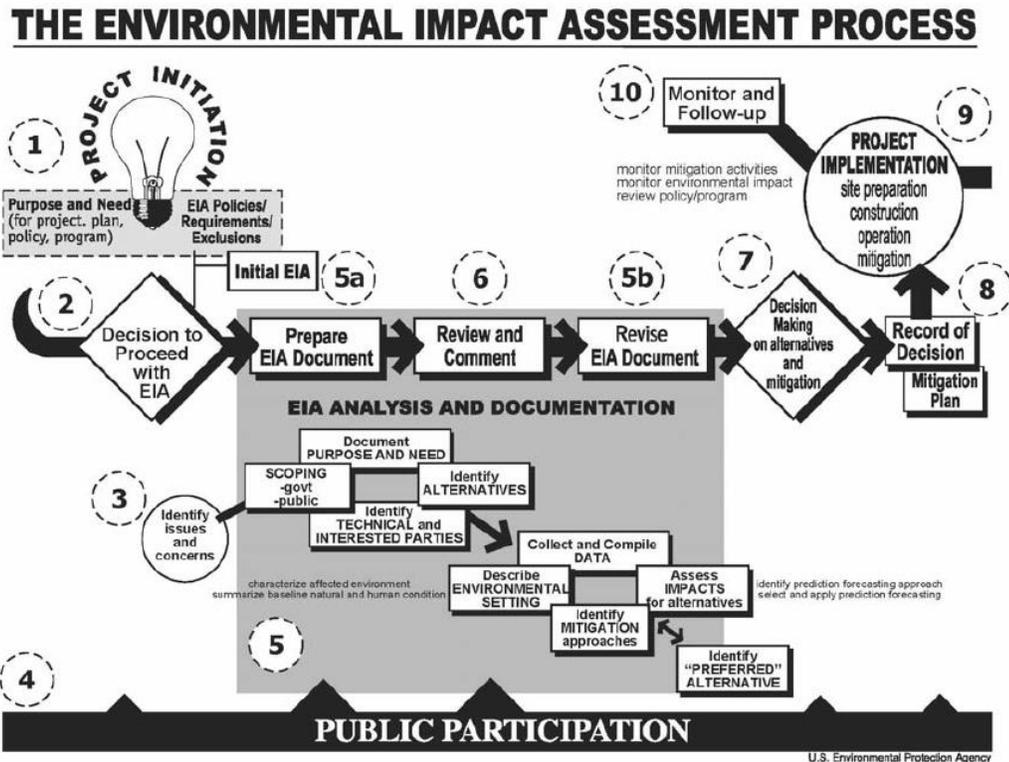
## **6. Évaluation de l'impact sur l'environnement (EIE)**

63. L'évaluation de l'impact sur l'environnement (EIE) est un processus par lequel les effets prévus d'une élaboration ou d'un projet sur l'environnement sont identifiés aux étapes de conception et de planification. Si les effets probables sont inacceptables, des mesures de conception ou d'autres mesures d'atténuation appropriées peuvent être prises pour réduire ou éviter ces effets. L'EIE doit être préparée par

---

<sup>6</sup> <http://web.unep.org/unepmap/who-we-are/ecosystem-approach>

des professionnels et des spécialistes de façon multidisciplinaire ; elle doit inclure des ingénieurs, des spécialistes de l'environnement, des concepteurs et être réalisée dans le cadre réglementaire en collaboration avec les décideurs. Il convient d'encourager la contribution des parties prenantes. La procédure d'EIE a été largement décrite dans le manuel d'orientation du PNUE publié en 2008 (PNUE 2008). Une brève description de l'EIE est fournie dans le diagramme suivant<sup>7</sup>.



64. Vous trouverez ci-dessous une description des étapes proposées et de l'importance accordée à un processus d'EIE pour l'industrie du dessalement. Elle sert de ligne directrice générale et n'est pas exhaustive ; elle doit être adaptée en fonction des spécificités du projet et de l'emplacement de l'usine de dessalement.

### 6.1. Description du projet

65. Une description générale de l'objectif et de la nécessité du projet doit être donnée au début du rapport d'EIE. Elle doit inclure les renseignements suivants :

7

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/50000I6K.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1995%20Thru%201999&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C95THRU99%5CTXT%5C00000013%5C50000I6K.txt&User=anonymous&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&slide>

- Emplacement envisagé de l'usine de dessalement
- Co-implantation avec d'autres industries (comme des centrales électriques)
- Composantes terrestres et extracôtières de l'usine (bâtiments, pompes, pipelines, émissaires de saumure), activités de construction prévues et calendrier
- Raccordement au réseau d'eau potable.

## 6.2. Sélection de la technologie et caractérisation des rejets

66. L'EIE doit comporter une description détaillée de la technologie du procédé de dessalement choisi ainsi que la raison de ce choix. Elle doit inclure les renseignements suivants :

- La technologie de dessalement choisie et les spécifications techniques
- La capacité de dessalement de l'usine et les plans d'expansion futurs
- La consommation et la source d'énergie
- La superficie et la méthode de prise d'eau d'alimentation (prise libre, prise de puits)
- Les étapes de traitement de l'eau d'alimentation pendant le procédé de dessalement (entre autres le prétraitement, l'application de biocide, les mesures anti-détartrage, les étapes de nettoyage, le traitement de l'eau dessalée)
- Type de rejets et d'émissions (marin, terrestre et atmosphérique)
- Le volume total des rejets et des émissions (quotidien, annuel)
- La zone et la méthode de rejet de saumure (rejet à ciel ouvert, rejet de façon concomitante, émissaire marin avec ou sans diffuseurs)
- Les types de rejet de saumure (continu, intermittent, variable)
- Les concentrations et les charges des substances rejetées et leur caractérisation environnementale (persistance, toxicité, bioaccumulation)

## 6.3. La modélisation de la dispersion de saumure

67. Le processus d'EIE lors du choix du site et de la méthodologie de rejet doit être accompagné d'une modélisation de la dispersion de saumure. Les modèles comprennent, entre autres, la modélisation numérique en champ proche ou en champ lointain, les modèles de circulation, les modèles écosystémiques (Brenner 2003, Christensen et Walters 2004, Botelho et al. 2013, Purnama et Shao 2015, Abualtayef et al. 2016).

## 6.4. Description de l'environnement (terrestre et marin)

68. Les données existantes sur l'habitat terrestre et sur l'habitat marin provenant du site de l'usine de dessalement envisagée doivent être compilées et analysées de façon critique. En l'absence de données

disponibles ou en cas de données partielles ou obsolètes, des enquêtes doivent être menées avant la construction du site. Le nombre d'enquêtes et le calendrier (saisonnier) doivent être décidés sur une base spécifique au site. Ces renseignements (compilés et/ou nouveaux) serviront également de référence précieuse (référence) pour la surveillance de l'environnement après le début des opérations (voir la section 7). Il est important que la méthodologie utilisée pour entreprendre des enquêtes de base soit documentée afin que les résultats de la dernière surveillance puissent être référencés.

#### 6.4.1 *Description de l'environnement terrestre*

- Caractéristiques physiques du paysage (sol, habitat, géologie)
- Utilisations en cours
- Valeur archéologique et culturelle
- Valeur environnementale
- Proximité vis-à-vis d'aires protégées, présence dans la zone d'espèces protégées

#### 6.4.2 *Description de l'environnement marin*

- Conditions océanographiques et qualité de l'eau dans la région
- Composition sédimentaire et bathymétrie
- Biote de l'eau de mer et des compartiments benthiques, y compris les espèces menacées et les espèces exotiques, proximité vis-à-vis de zones protégées.

### 6.5. Évaluation des impacts possibles

69. L'évaluation des impacts possibles doit être effectuée sur la base des documents existants et, si nécessaire, complétée par des études en laboratoire telles que les essais de toxicité de l'effluent entier (WET) et des expériences en mésocosme. Comme nous l'avons noté à la section 4, les effets du dessalement de l'eau de mer sur le milieu marin ne sont pas bien documentés, bien que le nombre de publications et la sensibilisation aient augmenté ces dernières années. Les impacts émanent des activités de construction à terre (construction d'installations de dessalement, de stations de pompage, de pipelines, de systèmes de raccordement aux infrastructures) et en mer (installation de prises d'eau et d'émissaires).

#### 6.5.1 *Impacts possibles pendant la phase de construction*

70. Au cours de la phase de construction, les impacts possibles proviennent des activités de construction à terre (construction d'installations de dessalement, de stations de pompage, de pipelines, de systèmes de raccordement aux infrastructures) et en mer (installation de prises d'eau et d'émissaires). La plupart des impacts sont localisés et peuvent cesser après la phase de construction. Cependant, ils peuvent s'avérer considérables pendant la construction (PNUE 2008, Lokiec 2013).

#### Terrestre

- Modification du relief naturel
- Impact sur la faune et la flore
- Impacts des déchets de construction et des excédents de terre
- Pollution des sols et des eaux souterraines (combustibles, hydrocarbures)

- Pollution de l'air (émission de poussière)
- Émission de bruit pendant les travaux de construction
- Dommages aux antiquités et aux réserves naturelles

#### Marins

- Altération des fonds marins (composition et bathymétrie)
- Remise en suspension des sédiments pendant les travaux maritimes (turbidité accrue)
- Libération de nutriments et de polluants (le cas échéant) avec remise en suspension des sédiments
- Impact sur le biote benthique en raison de l'altération des fonds marins et sur le biote benthique et les organismes pélagiques en raison de l'augmentation de la turbidité et des polluants
- Effet sur la vie de la faune et de la flore marines sensibles du fait des bruits, des vibrations et de la lumière
- Pollution par des hydrocarbures depuis des navires.

#### 6.5.2 *Impacts possibles après le début des opérations*

71. Après le début des opérations, les impacts suivants peuvent se produire :

#### Terrestre

- Altération permanente de l'habitat côtier
- Impact esthétique dû à la structure de l'usine et obstruction du libre passage le long du littoral en raison de l'emplacement de l'usine, des pipelines terrestres et de la station de pompage
- Émissions de GES et de polluants atmosphériques dans le cas de la production d'électricité sur site
- Pollution sonore et lumineuse
- Déversement accidentel ou fuite de produits chimiques
- Déchets solides et eaux usées

#### Marins

- Altération permanente de l'habitat marin
- Changements de l'hydrographie et transports de sédiments
- Collisions et entraînement du biote marin
- Dégradation de la qualité de l'eau et effets biologiques dus au rejet de saumure et de produits chimiques utilisés dans le procédé de dessalement.
- Facilitation de l'introduction d'espèces non indigènes en raison des changements d'habitat, en particulier de l'augmentation de la salinité et de la température

- Pollution sonore et lumineuse

## 6.6. Atténuation de l'impact

72. L'EIE doit inclure une description des mesures à prendre pour éviter et atténuer les impacts négatifs probables de l'usine de dessalement sur l'environnement marin et côtier. Vous trouverez ci-dessous une liste des étapes à prendre en compte à cet égard pendant la phase de construction et après le début des opérations.

### 6.6.1 Atténuation de l'impact pendant la construction

73. Pendant la phase de construction, les étapes suivantes doivent être prises en compte pour atténuer les impacts possibles

- Utilisation de méthodes de construction respectueuses de l'environnement, telles que le levage de tuyau plutôt que des tranchées ouvertes pour l'installation de pipelines
- Réhabilitation des zones affectées pendant la construction
- Conception entraînant une altération minimale de l'environnement naturel
- Recyclage des déchets de construction
- Utilisation de bassins de confinement comme réservoirs de carburant et d'hydrocarbure
- Mouillage des surfaces pour éviter la pollution de l'air par la poussière.
- En mer, levage de tuyau (le plus loin possible de la côte) et dragage contrôlé au-delà
- Recouvrement de la tranchée après installation des pipelines et restauration de la bathymétrie d'origine

### 6.6.2 Atténuation de l'impact après le début des opérations

#### Terrestre

- Consommation minimale d'énergie (centrale alimentée au gaz naturel ou aux énergies renouvelables)
- Isolation acoustique et éclairage extérieur minimal
- Utilisation minimale de produits chimiques dans le procédé - mesures de sécurité pour le transport, l'entreposage et la manutention, conteneurs pour les déchets solides et sites d'enfouissement autorisés
- Réduction du rejet de saumure, augmentation de la récupération
- Pipelines souterrains

## Marins

- Pipelines de prise d'eau et de déversement au-dessous du fond marin pour minimiser l'altération de l'habitat marin
- Vitesse d'aspiration lente pour éviter des collisions (ou forage de puits)
- Écran de déplacement autonettoyant pour la collecte de débris au niveau du système de prise d'eau et rejet dans des sites autorisés d'élimination de déchets
- Dosage du chlore (traitement de choc) dans la prise d'eau en direction de l'usine en évitant le rejet en mer
- Système de diffuseur d'émissaire pour augmenter la dilution initiale et réduire la salinité et la température, ou en décharge à ciel ouvert, dilution avec rejet concomitant, c'est-à-dire l'eau de refroidissement de l'usine
- Réduction de l'utilisation de produits chimiques dans le procédé
- Traitement terrestre du ressac
- Utilisation de produits chimiques respectueux de l'environnement
- Traitement des réacteurs calcaires en lavage avec les ressacs
- Neutralisation de la solution de nettoyage de membrane inorganique avant rejet.

### 6.7. Meilleures technologies disponibles (MTD) et Meilleures pratiques environnementales (MPE)

74. Les meilleures technologies disponibles et les meilleures pratiques environnementales sont définies à l'annexe IV du Protocole « tellurique » modifié comme suit : MTD « désigne les tout derniers progrès (état de la technique) dans les procédés, les installations ou les méthodes d'exploitation, permettant de savoir si une mesure donnée de limitation des rejets, des émissions et des déchets est appropriée sur un plan pratique » et MPE « désigne la mise en œuvre de la combinaison la mieux adaptée de mesures et de stratégies de lutte environnementales ».

75. Ces définitions ont été traitées plus en détail dans les lignes directrices du GIEC pour expliquer que les techniques « disponibles » désignent celles qui sont élaborées selon une échelle qui permet une mise en œuvre dans le secteur industriel concerné, dans des conditions économiquement et techniquement viables, en prenant en compte le coût et les avantages tandis que « meilleur » désigne le plus efficace pour atteindre un niveau général élevé de protection de l'environnement dans son ensemble.

76. Il est reconnu que les MTD et les MPE évoluent avec le temps en fonction des avancées technologiques et scientifiques et avec les changements des facteurs économiques et sociaux. Cela est vrai en particulier pour l'industrie du dessalement qui est dans un état constant d'amélioration et de changement rapides en raison des efforts importants en matière de recherche et d'ingénierie déployés dans le développement technologique. Par conséquent, les processus MTD et MPE doivent les suivre de près afin d'appliquer les points suivants :

- Accroître les taux de récupération (efficacité du dessalement)
- Minimiser la consommation d'énergie et de produits chimiques

- Remplacer les produits chimiques par des substances plus respectueuses de l'environnement ou avoir recours à des procédés qui ne nécessitent pas l'utilisation de produits chimiques
- Diminuer les rejets
- Réutiliser la saumure dans de nouvelles technologies de dessalement pour accroître davantage le rendement en eau douce
- Promouvoir une production plus propre

## 6.8. Durabilité

77. La durabilité intègre l'évaluation des impacts économiques, environnementaux et sociaux aux grands projets, parmi lesquels le dessalement de l'eau de mer. Les impacts sont fortement interconnectés et doivent être évalués de manière intégrative. Les principaux objectifs visent à économiser les ressources matérielles et énergétiques et à réduire les déchets. L'analyse de la durabilité doit être mise en œuvre lors de la planification et de la conception du projet avant la construction et l'exploitation de l'usine (Gude 2016, Lior 2017).

78. L'évaluation de la durabilité définit des indicateurs qui mesurent les impacts économiques, environnementaux et socio-économiques et leur importance relative (ou poids) et, si possible, calcule un indice unique de durabilité composite, en agrégeant des indicateurs et leur importance relative. Bien que la viabilité du dessalement utilisé soit jugée principalement sur l'économie et la fiabilité de la production, elle inclut désormais des aspects environnementaux et sociaux.

79. Voici quelques indicateurs et considérations à prendre en compte lors d'une étude de la durabilité.

### i. Économie

- Utilisation et demande d'eau
- Coût des sources alternatives d'eau (conservation des ressources naturelles, collecte d'eau de pluie, traitement et réutilisation de l'eau, prévention du gaspillage d'eau dû à des fuites et à des tuyaux défectueux, ou autre)
- Coût total non subventionné de l'eau dessalée.
- Sources d'énergie et technologie des procédés
- Coûts d'exploitation et d'entretien

### ii. Environnement

- Approches EIE et MTD
- Effets sur l'eau d'alimentation et sur son domaine (prise d'eau et rejet de saumure)
- Épuisement des ressources (dessalement de l'eau saumâtre)
- Émission de GES
- Transports transfrontières de polluants (rejet de saumure)

### iii. Social

- Impacts sur la santé (qualité de l'eau dessalée)
- Utilisation des terres et croissance locale rapide et non planifiée, sans infrastructure d'accompagnement
- Acceptation sociale, confiance dans l'approvisionnement en eau dessalée
- Impact sur les secteurs consommateurs d'eau comme l'agriculture
- Impact sur les activités récréatives

## 7. Surveillance de l'environnement

80. La surveillance de l'environnement est une exigence légale du protocole « tellurique » modifié (article 8) ainsi qu'une exigence scientifique de suivi des éventuels impacts du dessalement de l'eau de mer sur le milieu marin. La surveillance de l'environnement doit s'appuyer sur l'enquête de référence effectuée pendant l'EIE, sans s'y limiter. La surveillance pendant la phase de construction sera différente de la surveillance de l'environnement sur le long terme nécessaire pendant l'exploitation de l'usine. Quelques publications traitent de la surveillance de l'environnement dans les usines de dessalement (CNRC 2008, PNUE 2008, Lattemann et Amy 2012).

### 7.1. Surveillance pendant la phase de construction

81. La surveillance pendant la phase de construction doit être planifiée en fonction des effets éventuels provenant des activités de construction à terre et en mer (section 6.5). L'objectif est d'évaluer si l'impact d'une activité est acceptable et sinon, d'introduire des mesures d'atténuation dès que possible.

82. La surveillance terrestre pendant la construction doit inclure les éléments suivants :

- i. Surveillance du rejet des déchets de construction sur site pour éviter d'endommager les terrains hors de la zone de construction
- ii. Surveillance des rejets accidentels de combustibles, d'hydrocarbures, d'autres substances et de poussière pour prévenir la pollution des sols, de l'atmosphère et des eaux souterraines
- iii. Surveillance des niveaux sonores et lumineux et, si nécessaire, limiter les heures d'exploitation
- iv. À la fin de la construction, il convient d'inspecter la zone pour vérifier si des mesures ont été appliquées pour réhabiliter la zone et qu'aucune tranchée n'a été laissée ouverte, que toutes les constructions non permanentes ont été enlevées, etc.

83. La surveillance maritime pendant la construction doit inclure les éléments suivants :

- i. Surveillance des niveaux de turbidité de l'eau et, s'ils sont supérieurs à une valeur prédéterminée, réglementer les opérations de dragage
- ii. Dans les zones sensibles, où l'on soupçonne une pollution des sédiments, suivre le rejet de polluants dans la colonne d'eau
- iii. Surveillance des niveaux de bruits, de vibrations et de lumière qui peuvent gêner les mammifères marins et d'autres espèces marines sensibles
- iv. Surveillance des sédiments utilisés pour couvrir les pipelines, s'ils ne sont pas d'origine locale

- v. À la fin de la construction, toutes les installations maritimes doivent être cartographiées sur une carte de bathymétrie actualisée.
- vi. Surveillance des prairies sous-marines et de macroalgues afin de les rétablir

## 7.2. Surveillance sur le long terme après le début des opérations

84. Un engagement doit être pris sur le long terme quant à la surveillance régulière du milieu marin après le début des opérations de l'usine. Il doit demeurer tout au long de la durée de vie de l'usine de dessalement et quelques années après. Ces séries de données à long terme avec des contrôles appropriés sont essentielles pour normaliser la variabilité temporelle naturelle afin d'éviter des conclusions erronées sur les effets du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement.

85. Le plan de surveillance doit être basé sur l'enquête EIE réalisée avant la construction de l'usine. Les données de surveillance doivent être analysées régulièrement et de façon critique afin de tenir compte des changements dans la conception de la surveillance lorsque cela s'avère nécessaire, de faire respecter les exigences en matière de permis et d'exiger des mesures d'atténuation lorsque les effets sont jugés excessifs. Les données doivent être publiées et diffusées à toutes les parties afin de permettre aux régulateurs et aux scientifiques chargés de la surveillance de recevoir des commentaires.

86. Voici les recommandations générales pour une étude de surveillance : La surveillance spécifique doit être fonction de l'environnement et de la sensibilité, de la technologie de dessalement, y compris des méthodes de prise d'eau et de rejet de saumure, conformément à la législation et aux prescriptions internationales et nationales. Le programme de surveillance doit être approuvé par les régulateurs nationaux avant sa mise en œuvre.

### 7.2.1. Échantillonnage marin

87. La fréquence d'échantillonnage doit être déterminée en fonction des caractéristiques propres au site. Il est recommandé qu'au début, la surveillance soit effectuée au moins deux fois par an pendant les saisons pertinentes (hiver et été ou printemps et automne).

88. Stations d'échantillonnage. La conception initiale des stations d'échantillonnage doit être basée sur le modèle de dispersion de saumure obtenu à partir des résultats de la modélisation. Deux grilles d'échantillonnage sont requises : une grille étendue de stations pour suivre et délimiter la dispersion et l'étalement du panache de saumure au moment de l'enquête (ci-après dénommées les stations de dispersion) et une grille plus petite de stations pour échantillonner l'eau, les sédiments et le biote afin d'évaluer les effets du rejet de saumure (ci-après dénommées stations d'échantillonnage). Le réseau des stations de dispersion doit être souple et actualisé *in situ* en fonction de la dispersion réelle de saumure (déterminée en fonction de la température de l'eau de mer et de la salinité mesurées au cours de l'enquête) et/ou après l'examen des données de surveillance<sup>8</sup>. Les stations d'échantillonnage doivent être placées dans trois zones générales suivantes : les zones perturbées (dans la zone de mélange, où la salinité et la température sont les plus élevées), les zones touchées (au-delà de la zone de mélange, mais toujours sous l'influence de la saumure) et les zones de référence (où aucune saumure n'est présente). Trois à quatre stations sont recommandées pour l'échantillonnage dans chaque zone.

89. Le navire d'échantillonnage doit être équipé d'un système de positionnement mondial précis et pouvoir accueillir l'instrumentation scientifique et le personnel. Pendant l'échantillonnage, il convient de

---

<sup>8</sup> Il convient de prendre en compte des stations de surveillance in situ avec des instruments enregistrant la température, la salinité, l'oxygène dissous et la fluorescence. Cependant, il est reconnu que cela peut être difficile à mettre en œuvre en raison du coût élevé de l'instrument et de l'entretien.

tenir un journal détaillé. On y consignera notamment la date de l'enquête, les noms des participants, les conditions météorologiques et la marée (température de l'air, vents, courants, vagues), la position exacte de chaque station (latitude, longitude, profondeur) le temps d'occupation de la station et les éléments échantillonnés, tout événement inhabituel pendant l'échantillonnage ou en mer.

90. Paramètres à mesurer. En général, la décision relative aux paramètres à mesurer doit s'appuyer sur les rejets attendus à partir de l'usine de dessalement, identifiés dans l'EIE, et sur les objectifs écologiques et opérationnels et la définition du BEE.

91. Dans les stations de dispersion, il convient de mesurer les profils continus de profondeur de la température, la salinité, l'oxygène dissous, la fluorescence et la turbidité.

92. Aux stations d'échantillonnage, trois compartiments seront échantillonnés : eau de mer, sédiments et biote.

- i. Eau de mer : Les paramètres de base comprennent les profils continus de profondeur comme dans les stations de dispersion, la concentration de particules en suspension, les éléments nutritifs (nitrate, nitrite, ammonium, azote total, phosphate, phosphore total, acide silicique), métaux, chlorophylle-a, substances rejetées en mer et identifiées dans l'EIE. Les paramètres suivants du biote de l'eau de mer sont facultatifs et sont à prendre en compte en fonction des caractéristiques de la zone : composition et population microbienne (nombre de phytoplanctons et de bactéries), taux de production primaire et bactérienne, population de zooplancton (composition et quantité)<sup>9</sup>.
- ii. Sédiment : Les paramètres de base comprennent la répartition de la taille des sédiments (granulométrie), les métaux lourds (mercure, cadmium, cuivre, zinc, fer, aluminium) et la concentration en carbone organique, dans la structure de la communauté faunique (nombre de spécimens, détermination taxinomique au niveau des espèces si possible)<sup>10</sup>. Si la zone de rejet est rocheuse, la population sessile doit être caractérisée et évaluée. Si la zone de rejet est située à proximité de prairies sous-marines et de macroalgues, celles-ci doivent également être caractérisées et évaluées.
- iii. Biote ! En plus des paramètres mentionnés dans les échantillons d'eau de mer et de sédiments, les espèces en voie de disparition et les espèces envahissantes identifiées dans l'EIE doivent être surveillées.

93. Les méthodes d'échantillonnage doivent être adéquates pour permettre la collecte représentative des échantillons. Les instruments de mesure *in situ* doivent être calibrés conformément aux spécifications du fabricant.

94. Collecte d'échantillons. Les échantillons doivent être marqués et associés à des identificateurs uniques. Dans le cadre d'un programme de surveillance à long terme, la même station devant être occupée à plusieurs reprises, la date d'échantillonnage doit être l'un des identificateurs pour éviter toute confusion. Les échantillons doivent être conservés de façon adéquate après l'échantillonnage, pendant le transit et jusqu'à l'étape de mesure en laboratoire.

<sup>9</sup> Les outils génomiques sont perçus comme un axe prometteur et émergent d'amélioration de la surveillance des écosystèmes, car ces approches ont le potentiel de fournir des mesures nouvelles, plus précises et plus rentables. La plus prometteuse est le métabarcoding

<sup>10</sup> Les outils génomiques sont perçus comme un axe prometteur et émergent d'amélioration de la surveillance des écosystèmes, car ces approches ont le potentiel de fournir des mesures nouvelles, plus précises et plus rentables. La plus prometteuse est le métabarcoding

95. *Méthodes analytiques.* Les mesures analytiques doivent être effectuées de préférence par des laboratoires accrédités et, en l'absence de ceux-ci, par des laboratoires bénéficiant de méthodes de contrôle qualité et d'assurance qualité. La méthode d'analyse choisie doit être claire et précise pour permettre l'évaluation de l'impact de la saumure et de suivre les changements temporels.

#### 7.2.2. *Rapport de surveillance*

96. Le rapport de surveillance doit inclure les éléments suivants :

- i. Une introduction décrivant la technologie de l'usine de dessalement, sa production mensuelle, les prises d'eau et les rejets de saumure (volume et composition), tout dysfonctionnement qui a pu avoir un impact sur le milieu marin (comme le rejet imprévu de matières solides)
- ii. Une description détaillée de l'enquête de surveillance, y compris les dates, la marée, les emplacements des stations d'échantillonnage, l'identité des échantillons prélevés à chaque station, les méthodes d'échantillonnage, les méthodes de conservation des échantillons
- iii. Les résultats, accompagnés des tableaux de toutes les données collectées *in situ* et en laboratoire
- iv. Discussion, y compris les cartes de dispersion de la saumure, l'évaluation des impacts basés sur l'EIE et la documentation
- v. Conclusions
- vi. Recommandations pour la surveillance continue, telles que les changements du nombre d'usines et d'emplacements, les paramètres mesurés, la fréquence d'échantillonnage.

#### 7.2.3. *Surveillance en usine*

97. La surveillance en usine doit inclure la qualité de l'eau d'alimentation (prise d'eau de mer) et le volume et la composition de la saumure.

- i. Prise d'eau de mer : Se concentrer sur les paramètres qui peuvent affecter le procédé de dessalement et la qualité de l'eau dessalée.
- ii. Saumure avant rejet : Volume de rejet, température, salinité, concentration des produits chimiques utilisés dans le procédé de dessalement et rejetés avec la saumure.

## 8. Références

- Abualtayef, M., H. Al-Najjar, Y. Mogheir, and A. K. Seif. 2016). Numerical modeling of brine disposal from Gaza central seawater desalination plant. *Arabian Journal of Geosciences* 9:572.
- Amy, G., N. Ghaffour, Z. Li, L. Francis, R. V. Linares, T. Missimer, and S. Lattemann. 2017). Membrane-based seawater desalination: Present and future prospects. *Desalination* 401:16-21.
- Argyrou, M. 1999. Impact of desalination plant on marine macrobenthos in the coastal waters of Dhekelia Bay, Cyprus. Department of Fisheries, Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment, Cyprus.
- Barnthouse, L. W. 2013. Impacts of entrainment and impingement on fish populations: A review of the scientific evidence. *Environmental Science & Policy* 31:149-156.
- Beaumont, N. J., M. C. Austen, J. P. Atkins, D. Burdon, S. Degraer, T. P. Dentinho, S. Derous, P. Holm, T. Horton, E. van Ierland, A. H. Marboe, D. J. Starkey, M. Townsend, and T. Zarzycki. 2007. Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: Implications for the ecosystem approach. *Marine Pollution Bulletin* 54:253-265.
- Belkin, N., E. Rahav, H. Elifantz, N. Kress, and I. Berman-Frank. 2017. The effect of coagulants and antiscalants discharged with seawater desalination brines on coastal microbial communities: A laboratory and in situ study from the southeastern Mediterranean. *Water Research* 110:321-331.
- Belkin, N., E. Rahav, H. Elifantz, N. Kress, and I. Berman-Frank. 2015. Enhanced salinities, as a proxy of seawater desalination discharges, impact coastal microbial communities of the eastern Mediterranean Sea. *Environmental Microbiology* 17:4105-4120.
- Borja, A., M. Elliott, J. H. Andersen, T. Berg, J. Carstensen, B. S. Halpern, A.-S. Heiskanen, S. Korpinen, J. S. S. Lowndes, and G. Martin. 2016a. Overview of Integrative Assessment of Marine Systems: The Ecosystem Approach in Practice. *Frontiers in Marine Science* 3:20.
- Borja, A., M. Elliott, J. H. Andersen, A. C. Cardoso, J. Carstensen, J. G. Ferreira, A.-S. Heiskanen, J. C. Marques, J. M. Neto, H. Teixeira, L. Uusitalo, M. C. Uyarra, and N. Zampoukas. 2013. Good Environmental Status of marine ecosystems: What is it and how do we know when we have attained it? *Marine Pollution Bulletin* 76:16-27.
- Borja, Á., B. S. Halpern, and P. Archambault. 2016b. Assessing marine ecosystems health, in an integrative way. *Continental Shelf Research* 121:1-2.
- Botelho, D., M. Barry, G. Collecutt, J. Brook, and D. Wiltshire. 2013. Linking near-and far-field hydrodynamic models for simulation of desalination plant brine discharges. *Water Science and Technology* 67:1194-1207.
- Brand, L. E., W. G. Sunda, and R. R. L. Guillard. 1986. Reduction of marine phytoplankton reproduction rates by copper and cadmium. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 96:225-250.
- Brenner, S. 2003. High-resolution nested model simulations of the climatological circulation in the southeastern Mediterranean Sea. Pages 267-280 *in* *Annales Geophysicae*.
- Chesher, R. 1971. Biological impact of a large-scale desalination plant at Key West, Florida. Elsevier Oceanography Series 2:99-164.
- Christensen, V., and C. J. Walters. 2004. Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations. *Ecological Modelling* 172:109-139.
- Cuenca, J. C. 2013. Report on water desalination status in the Mediterranean countries. IMIDA, Spain.
- de-la-Ossa-Carretero, J. A., Y. Del-Pilar-Ruso, A. Loya-Fernández, L. M. Ferrero-Vicente, C. Marco-Méndez, E. Martínez-García, and J. L. Sánchez-Lizaso. 2016. Response of amphipod assemblages to desalination brine discharge: Impact and recovery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 172:13-23.
- Del Pilar -Ruso, Y., J. A. De-la-Ossa-Carretero, F. Gimenez-Casalduero, and J. L. Sanchez-Lizaso. 2008. Effects of a brine discharge over soft bottom Polychaeta assemblage. *Environmental Pollution* 156:240-250.

- Del Pilar Ruso, Y., J. A. D. la Ossa Carretero, F. G. Casalduero, and J. L. S. Lizaso. 2007. Spatial and temporal changes in infaunal communities inhabiting soft-bottoms affected by brine discharge. *Marine Environmental Research* 64:492-503.
- Drami, D., Y. Z. Yacobi, N. Stambler, and N. Kress. 2011. Seawater quality and microbial communities at a desalination plant marine outfall. A field study at the Israeli Mediterranean coast. *Water Research* 45:5449-5462.
- Dupavillon, J. L., and B. M. Gillanders. 2009. Impacts of seawater desalination on the giant Australian cuttlefish *Sepia apama* in the upper Spencer Gulf, South Australia. *Marine Environmental Research* 67:207-218.
- EEA-UNEP/MAP. 2014. Horizon 2020 Mediterranean Report. EEA Technical report No6.
- Elimelech, M., and W. A. Phillip. 2011. The future of seawater desalination: Energy, technology, and the environment. *Science* 333:712-717.
- Elliott, M. 2014. Integrated marine science and management: Wading through the morass. *Marine Pollution Bulletin* 86:1-4.
- FAO. 2012. Coping with water scarcity. An action framework for agriculture and food security. FAO Water Report 38.
- Farmer, A., L. Mee, O. Langmead, P. Cooper, A. Kannen, P. Kershaw, and V. Cherrier. 2012. The ecosystem approach in marine management. Policy Brief.
- Fernandez-Torquemada, Y., J. M. Gonzalez-Correa, A. Loya, L. M. Ferrero, M. Diaz-Valdes, and J. L. Sanchez-Lizaso. 2009. Dispersion of brine discharge from seawater reverse osmosis desalination plants. *Desalination and Water Treatment* 5:137-145.
- Fernández-Torquemada, Y., and J. Sánchez-Lizaso. 2011. Responses of two Mediterranean seagrasses to experimental changes in salinity. *Hydrobiologia* 669:21-33.
- Fernández-Torquemada, Y., J. L. Sánchez-Lizaso, and J. M. González-Correa. 2005. Preliminary results of the monitoring of the brine discharge produced by the SWRO desalination plant of Alicante (SE Spain). *Desalination* 182:395-402.
- Fritzmann, C., J. Löwenberg, T. Wintgens, and T. Melin. 2007. State-of-the-art of reverse osmosis desalination. *Desalination* 216:1-76.
- Ghaffour, N., T. M. Missimer, and G. L. Amy. 2013. Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination* 309:197-207.
- Greenlee, L. F., D. F. Lawler, B. D. Freeman, B. Marrot, and P. Moulin. 2009. Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Research* 43:2317-2348.
- Gude, V. G. 2016. Desalination and sustainability – An appraisal and current perspective. *Water Research* 89:87-106.
- Hammond, M., N. Blake, P. Hallock-Muller, M. Luther, D. Tomasko, and G. Vargo. 1998. Effects of disposal of seawater desalination discharges on Near Shore Benthic Communities. Report of Southwest Florida Water Management District and University of South Florida.
- Hobbs, D., J. Stauber, A. Kumar, and R. Smith. 2008. Ecotoxicity of effluent from the proposed Olympic Dam Desalination Plant. Final Report. Hydrobiology Pty Ltd. Aquatic Environmental Services.
- Holloway, K. 2009. Perth Seawater Desalination Plant Water Quality Monitoring Programme. Final Programme summary Report 2005-2008. Report No. 445\_001/3. Prepared by Oceanica Consulting Pty LTD for the Water Corporation of Western Australia.
- IAEA. 2015. New technologies for seawater desalination using nuclear energy. International Atomic Energy Agency. . IAEA-TECDOC series no 1753.
- Khordagui, H. 2013. Assessment of potential cumulative environmental impacts of desalination plants around the Mediterranean Sea. SWIM Final report, Activity 1.3.2.1.
- Kim, Y.-D., K. Thu, K. C. Ng, G. L. Amy, and N. Ghaffour. 2016. A novel integrated thermal-/membrane-based solar energy-driven hybrid desalination system: Concept description and simulation results. *Water Research* 100:7-19.

- Koch, M. S., S. A. Schopmeyer, C. Kyhn-Hansen, C. J. Madden, and J. S. Peters. 2007. Tropical seagrass species tolerance to hypersalinity stress. *Aquatic Botany* 86:14-24.
- Kress, N., and B. Galil. 2015. Impact of seawater desalination by reverse osmosis on the marine environment. Pages 177-202 in S. Burn and S. Gray, editors. *Efficient desalination by reverse osmosis*. IWA, London.
- Kress, N., and B. S. Galil. 2012. Seawater desalination in Israel and its environmental impact. *Desalination and Water Reuse* February-March 2012:26-29.
- Lattemann, S., and G. Amy. 2012. Marine monitoring surveys for desalination plants—a critical review. *Desalination and Water Treatment* 51:233-245.
- Lattemann, S., and T. Hopner. 2008. Impacts of seawater desalination plants on the marine environment of the Gulf. *Protecting the Gulf's Marine Ecosystems from Pollution*. Ed A.H. Abuzinada, H.J. Barth, F. Krupp, B. Böer and T.Z. Al Abdessalaam Birkhäuser Verlag/Switzerland:191-205.
- Lattemann, S., M. D. Kennedy, J. C. Schippers, and G. Amy. 2010a. Chapter 2 Global Desalination Situation. Pages 7-39 in C. E. Isabel and I. S. Andrea, editors. *Sustainability Science and Engineering*. Elsevier.
- Lattemann, S., K. Mancy, B. Damitz, H. Khordagui, and G. Leslie. 2010b. Environmental Impact Assessment of Desalination Projects. Pages 153-177 *Desalination Technology*. CRC Press.
- Le Page, S. 2005. Salinity Tolerance Investigations: A Supplemental report for the Carlsbad, CA Desalination project. Report presented to Poseidon Resources.
- Lin, Y.-C., G.-P. Chang-Chien, P.-C. Chiang, W.-H. Chen, and Y.-C. Lin. 2013. Potential impacts of discharges from seawater reverse osmosis on Taiwan marine environment. *Desalination* 322:84-93.
- Lior, N. 2017. Sustainability as the quantitative norm for water desalination impacts. *Desalination* 401:99-111.
- Lokiec, F. 2013. Sustainable desalination: environmental approaches. *in Sustainable desalination: environmental approaches*. The International Desalination Association World Congress on Desalination and Water Reuse, Tianjin, China.
- Marín-Guirao, L., J. M. Sandoval-Gil, J. Bernardeau-Esteller, J. M. Ruíz, and J. L. Sánchez-Lizaso. 2013. Responses of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* to hypersaline stress duration and recovery. *Marine Environmental Research* 84:60-75.
- Mayhew, D. A., L. D. Jensen, D. F. Hanson, and P. H. Muessig. 2000. A comparative review of entrainment survival studies at power plants in estuarine environments. *Environmental Science & Policy* 3, Supplement 1:295-301.
- McConnell, R. 2009. Tampa Bay Seawater Desalination Facility – Environmental Impact Monitoring. Proceedings of 2009 Annual WaterReuse Conference, Seattle.
- Murray, J. B., and G. L. Wingard. 2006 Salinity and temperature tolerance experiments on selected Florida Bay mollusks. U.S. Geological Survey Open-File Report 1026:59 pp.
- Nasrolahi, A., C. Pansch, M. Lenz, and M. Wahl. 2012. Being young in a changing world: how temperature and salinity changes interactively modify the performance of larval stages of the barnacle *Amphibalanus improvisus*. *Marine Biology* 159:331-340.
- NRC. 2008. Desalination, a national perspective National Research Council of the National Academies. The National Academies press, Washington, D.C.
- Purnama, A., H. H. Al-Barwani, and R. Smith. 2005. Calculating the environmental cost of seawater desalination in the Arabian marginal seas. *Desalination* 185:79-86.
- Purnama, A., and D. Shao. 2015. Modeling brine discharge dispersion from two adjacent desalination outfalls in coastal waters. *Desalination* 362:68-73.
- Raventos, N., E. Macpherson, and A. García-Rubiés. 2006. Effect of brine discharge from a desalination plant on macrobenthic communities in the NW Mediterranean. *Marine Environmental Research* 62:1-14.

- Riera, R., F. Tuya, E. Ramos, M. Rodríguez, and Ó. Monterroso. 2012. Variability of macrofaunal assemblages on the surroundings of a brine disposal. *Desalination* 291:94-100.
- Riera, R., F. Tuya, A. Sacramento, E. Ramos, M. Rodríguez, and O. Monterroso. 2011. The effects of brine disposal on a subtidal meiofauna community. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 93:359-365.
- Ruiz, J. M., L. Marin-Guirao, and J. M. Sandoval-Gil. 2009. Responses of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* to in situ simulated salinity increase. *Botanica Marina* 52:459-470.
- Safrai, I., and A. Zask. 2008. Reverse osmosis desalination plants -- marine environmentalist regulator point of view. *Desalination* 220:72-84.
- Sánchez-Lizaso, J. L., J. Romero, J. Ruiz, E. Gacia, J. L. Buceta, O. Invers, Y. Fernández Torquemada, J. Mas, A. Ruiz-Mateo, and M. Manzanera. 2008. Salinity tolerance of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: recommendations to minimize the impact of brine discharges from desalination plants. *Desalination* 221:602-607.
- Sandoval-Gil, J. M., L. Marin-Guirao, and J. M. Ruiz. 2012. Tolerance of Mediterranean seagrasses (*Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*) to hypersaline stress: water relations and osmolyte concentrations. *Marine Biology* 159:1129-1141.
- Shute, S. 2009. Perth Desalination Plant- Cockburn Sound benthic macrofauna community and sediment habitat, Repeat Macrobenthic survey. Oceanica Consulting. Report No. 604-011/1:202pp.
- Straub, A. P., A. Deshmukh, and M. Elimelech. 2016. Pressure-retarded osmosis for power generation from salinity gradients: is it viable? *Energy & Environmental Science* 9:31-48.
- Taylor, C. J. L. 2006. The effects of biological fouling control at coastal and estuarine power stations. *Marine Pollution Bulletin* 53:30-48.
- Tong, T., and M. Elimelech. 2016. The Global Rise of Zero Liquid Discharge for Wastewater Management: Drivers, Technologies, and Future Directions. *Environmental Science & Technology* 50:6846-6855.
- Uddin, S., A. N. Al Ghadban, and A. Khabbaz. 2011. Localized hyper saline waters in Arabian Gulf from desalination activity-an example from South Kuwait. *Environmental Monitoring and Assessment* 181:587-594.
- UNEP. 2008. Desalination Resource and Guidance Manual for Environmental Impact Assessments. United Nations Environment Programme, Regional Office for West Asia, Manama, and World Health Organization, Regional Office for the Eastern Mediterranean, Cairo Ed. S. Lattemann:168 pp.
- UNEP/MAP. 2012. State of the Mediterranean Marine and Coastal Environment, UNEP/MAP – Barcelona Convention, Athens.
- UNEP/MAP. 2012. UNEP(DEC)/MED WG.372/3. Approaches for definition of GES and setting targets for the pollution related ecological objectives in the framework of the ecosystem approach. (EO5:eutrophication, EP:9 contaminants, EP10: marine litter, EO11: noise). Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.
- UNEP/MAP. 2014a. Monitoring Guidance on Ecological Objective 5: Eutrophication. UNEP(DEPI)MED WG.394/4.
- UNEP/MAP. 2014b. UNEP(DEPI)/MED WG.401/3. Draft monitoring and assessment methodological guidance. Athens, Greece.
- UNEP/MAP. 2016. Report of the Meeting of the Ecosystem Approach Correspondence Group on Pollution Monitoring for Contaminants and Eutrophication. UNEP(DEPI)/MED WG.427/9.
- UNEP/MAP/MEDPOL. 2003. Sea Water Desalination in the Mediterranean: Assessment and Guidelines. MAP Technical Reports Series No. 139 UNEP/MAP, Athens.
- van der Merwe, R., F. Hammes, S. Lattemann, and G. Amy. 2014a. Flow cytometric assessment of microbial abundance in the near-field area of seawater reverse osmosis concentrate discharge. *Desalination* 343:208-216.

- van der Merwe, R., T. Röthig, C. R. Voolstra, M. A. Ochsenkühn, S. Lattemann, and G. L. Amy. 2014b. High salinity tolerance of the Red Sea coral *Fungia granulosa* under desalination concentrate discharge conditions: An in situ photophysiology experiment. *Frontiers in Marine Science* 1.
- Vars, S., M. Johnston, J. Hayles, J. Gascooke, M. Brown, S. Leterme, and A. Ellis. 2013.  $^{29}\text{Si}\{1\text{H}\}$  CP-MAS NMR comparison and ATR-FTIR spectroscopic analysis of the diatoms *Chaetoceros muelleri* and *Thalassiosira pseudonana* grown at different salinities. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 405:3359-3365.
- Walker, D. I., and A. J. McComb. 1990. Salinity response of the seagrass *Amphibolis antarctica* (Labill.) Sonder et Aschers.: an experimental validation of field results. *Aquatic Botany* 36:359-366.
- Wiltshire, K., A. Kraberg, I. Bartsch, M. Boersma, H.-D. Franke, J. Freund, C. Gebühr, G. Gerdts, K. Stockmann, and A. Wichels. 2010. Helgoland Roads, North Sea: 45 Years of Change. *Estuaries and Coasts* 33:295-310.
- World\_Bank. 2012. Renewable Energy Desalination: An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa. . Washington, DC.