

Université d'Oran

Faculté des sciences économiques, des sciences de gestion et des sciences commerciales

Ecole Doctorale d'Economie et de Management

Mémoire de Magister en Management

**Option : Stratégie**

**Thème :**

**Impact des Arrêts Techniques de L'usine de Dessalement de L'eau de Mer sur L'entreprise et L'environnement**

**Présenté par :**

M<sup>elle</sup> .MORSLI Mebarka Soumia

**Sous la direction de :**

Mr. SALEM Abdelaziz

**Membres du jury : Soutenu le 23/06/2013**

Président: Mr. BENBAYER Habib – Professeur Université d'Oran.

Rapporteur: Mr. SALEM Abdelaziz- Professeur Université d'Oran.

Examineur: Mr. SENOUCI Benabbou - Professeur Université d'Oran.

Examineur : M<sup>elle</sup> . BOUDJANI Malika- Maitre de conférences (A)- Université d'Oran.

Membre Invité : Mr. BOURI Chaouki- Maitre de conférences (B) – Université d'Oran.

**Année Universitaire 2012/2013**

# *Remerciements*

Je remercie avant tout Dieu le tout puissant.

Mes remerciements à mon encadreur M SALEM Abdelaziz pour ses conseils  
inestimables et sa précieuse assistance.

Je remercie profondément mes parents pour leur soutien moral et matériel.

Ma gratitude et ma sincère reconnaissance au staff professoral durant tout mon  
cursus universitaire, ainsi qu'aux très efficaces et compétents cadres de la station de  
Béni Saf Chatt El Hillal pour leur concrète contribution à mon imprégnation au  
sein de leur structure.

## *Dédicaces*

Mes dédicaces très chaleureuses, vont particulièrement à mes parents, frères et sœurs pour leurs encouragements et disponibilité tout au long de mon cursus universitaire, et particulièrement durant la période de recherche et de parachèvement du présent mémoire.

# Table des Matières

<b>Introduction Générale</b> .....	01
<b>Partie 01 : Bilan économique, écologique et technologique de l'option : dessalement de l'eau de mer</b> .....	08
<b>Chapitre 01 : Bilan économique de l'adaptation au changement climatique</b>	
Introduction.....	09
1.1 La théorie économique de l'environnement .....	11
1.1.1 Les grands courants actuels de pensée en économie de l'environnement selon trois dimensions .....	13
1.1.1.1 Un contexte élargi pour l'économie de l'environnement .....	13
1.1.1.2 L'évaluation environnementale .....	16
1.1.1.3 Les externalités et bien publics mondiaux .....	18
1.2 Les efforts d'adaptation doivent reposer sur des bases économiques solides.....	18
1.2.1 Les coûts et les bénéfices de l'adaptation au changement climatique .....	18
1.2.2 l'Incitation à l'adaptation .....	19
1.3 Estimations empiriques des couts et des bénéfices de l'adaptation : une analyse critique des ressources en eau .....	20
1.3.1 Estimations régionales et locales des coûts et bénéfices .....	21
1.3.2 les coûts mondiaux .....	25
Conclusion .....	28
<b>Chapitre 02: Bilan de la situation de l'eau en Algérie</b>	
Introduction .....	30
2.1 Etat des lieux, prospective des ressources en eau et leur utilisation .....	32
2.1.1 Données de base sur les ressources en eau .....	32
2.1.1. 1. Les caractéristiques naturelles .....	32
2.1.1.2. Les ressources en eau .....	33

2.1.1.2.1. Les potentialités globales en eau .....	33
2.1.1.2.2 Capacité de mobilisation .....	33
2.1.1.3 Constat sur la situation actuelle .....	39
2.2: les principaux problèmes hydrauliques en Algérie .....	40
2.2.1 Les problèmes liés au changement climatique .....	41
2.2.1.1 La sécheresse .....	41
2.2.1.2 Le taux de remplissage des barrages .....	42
2.2.1.3 L'évaporation des lacs de barrages .....	43
2.2.2 Les problèmes techniques .....	43
2.2.2.1 L'envasement des barrages en Algérie .....	43
2.2.2.2 la Fuite dans les barrages .....	46
2.2.2.3 Eutrophisation des retenues de barrages .....	47
❖ Préchloration .....	47
❖ Coagulation .....	48
❖ Filtration .....	48
❖ Elimination des goûts et odeurs .....	48
2.3 : Efficience et tarification de l'eau .....	48
2.3.1 L'Utilisation de l'eau par secteur .....	48
2.3.1.1 L'agriculture le principal consommateur d'eau .....	50
2.3.1.2 L'industrie et l'usage domestique .....	52
2.3.1.3 L'énergie .....	53
2.3.2 L'Alimentation en Eau Potable AEP .....	54
2.3.3 L'évolution de la politique tarifaire en Algérie .....	59
➤ Eau potable et industrielle .....	62
➤ Eau agricole .....	63
Conclusion .....	64
<b>Chapitre 03 : Aspects techniques, financiers, institutionnels et</b>	
<b>environnementaux liés au dessalement de l'eau de mer</b>	
Introduction .....	65
3.1 le dessalement : historique, procédés et coûts .....	67
3.1.1 L'historique du dessalement .....	67

3.1.1.1 le dessalement en Algérie .....	68
3.1.1.1.1 Les stations de dessalement et de déminéralisation des années 60 et 80 ....	69
3.1.1.2 un aperçu de la situation et des projets en dessalement d'eau en méditerranée .....	71
3.1.2 les techniques utilisées pour le dessalement de l'eau de mer .....	73
3.1.2.1 L'osmose inverse .....	74
3.1.2.1.1 l'évaluation du procédé par osmose inverse .....	74
3.1.2.1.2 Fabrication, installation et procédé .....	74
3.1.2.1.3 Coût de production, d'utilisation, de disposition .....	75
3.1.2.1.4 Enjeux techniques .....	75
3.1.2.1.5 Vie utile et impact environnemental .....	76
3.1.2.1.6 Considérations sociales et éthiques, application du principe de précaution...	77
3.1.2.1.7 Caractérisation du procédé d'osmose inverse .....	77
3.1.2.2 Procédés par distillation .....	78
3.1.2.2.1 évaluation du procédé par distillation .....	78
3.1.2.2.2 Distillation à détente étagée (Multi-Stage Flash distillation) MSF .....	79
3.1.2.2.3 Distillation multi-effets (Multi-Effect distillation MED) .....	79
3.1.2.2.4 Coût de production, d'utilisation, de disposition .....	80
3.1.2.2.5 Enjeux techniques .....	80
3.1.2.2.6 Vie utile et impact environnemental .....	81
3.1.2.2.7 Considération sociales et éthiques, application du principe de précaution...	81
3.1.2.2.8 Caractérisation du processus de distillation .....	81
3.1.2.3 la congélation .....	83
3.1.2.4 Electrodialyse .....	83
3.1.2.5 Comparaison des techniques entre elles .....	84
3.1.2.5.1 aspects techniques .....	84
A) En eau saumâtre .....	84
B) En eau de mer .....	84
3.1.2.5.2 Comparaison économique .....	86
3.1.3 Le dessalement grâce à des énergies renouvelables .....	87
3.1.3.1 l'énergie éolienne associée au dessalement .....	87

3.1.3.2 : l'énergie solaire photovoltaïque et thermique associée au dessalement .....	88
3.1.3.3 l'énergie nucléaire associée au dessalement .....	89
3.1.4 Les sources d'énergie pour le dessalement .....	90
3.1.4.1 Turbine a gaz et usine de dessalement .....	90
3.1.4.2 Turbine a vapeur et usine de dessalement .....	90
3.1.5- les coûts du dessalement .....	91
3.1.5.1 Aspects techniques .....	91
3.1.5.2 Aspects économiques .....	92
3.1.5.3 les coûts de l'investissement .....	92
3.1.5.3 a) Le coût de l'usine .....	92
3.1.5.3b) Les frais du propriétaire .....	92
3.1.5.4 Tendances des coûts énergétiques pour le dessalement .....	93
✓ Osmose inverse (OI) .....	93
✓ Distillation multi-effets (MED) .....	93
✓ Flash multi-étages, ou système flash (MSF) .....	93
✓ Compression de vapeur .....	93
✓ Distillation par dépression .....	93
✓ Électrodialyse .....	93
3.2 : Présentation de la situation et des projets des unités de dessalement d'eau à travers le monde .....	95
3.2.1. Le Moyen Orient .....	96
3.2.2. L'Amérique .....	97
3.2.3 L'est et le sud méditerranéens .....	98
3.2.3.1 Israël, Chypre et Malte .....	98
3.2.3.2 L'Afrique méditerranéenne : Egypte, Libye et Maghreb .....	102
3.2.4 L'Asie orientale et l'Australie .....	109
3.2.5 L'Union européenne .....	110
3.2.5.1 L'Espagne et ses îles.....	110
3.2.5.2 Le reste de l'Europe occidentale.....	111
3.3 L'aspect juridique du partenariat public- privé dans le domaine du dessalement de l'eau de mer .....	112

3.3.1. Le financement et la gestion publics .....	112
3.3.2. Le financement et la gestion privés .....	113
3.3.3. Le partenariat public-privé (PPP) .....	113
3.3.3. a) Types de partenariat public-privé .....	114
3.3.3. b) Les modalités définissant le partenariat public-privé .....	115
3.3.3. c) Les avantages du recours au partenariat public-privé .....	116
3.3.4 Les expériences en matière de partenariat public-privé dans le domaine du dessalement .....	117
3.3.4.1 Le partenariat public-privé en Israël .....	117
3.3.4.2 Le partenariat public-privé en Arabie Saoudite .....	118
3.3.4.3 Le partenariat public-privé en Perth, Australie .....	121
3.3.4.4 Le partenariat public-privé en Espagne Barcelone .....	122
3.3.4.5 Le partenariat public-privé en Algérie .....	123
Conclusion .....	127

<b>Partie 02 : Conséquences environnementales, économiques et sociales induites par l'implantation de la station de dessalement Chatt El Hillal de Béni –Saf</b> .....	128
--	-----

**Chapitre 04 : Impact environnemental potentiel induit par les usines de  
dessalement et l'encadrement législatif s'y rapportant.**

Introduction .....	129
4.1 Conséquences environnementales et problèmes techniques liées au dessalement de l'eau de mer .....	130
4.1.1 contraintes environnementales .....	131
4.1.1.1 Origine et type des émissions et rejets .....	132
4.1.1.1.1 Émissions atmosphériques .....	132
4.1.1.1.2 Rejets chimiques .....	135
4.1.1.1.2-a) Produits de la corrosion .....	135
4.1.1.1.2-b) Agents antitartre .....	137



4.1.1.1.2-c) Agents antisalissures .....	138
4.1.1.1.2-d) Agents anti mousse .....	138
4.1.1.1.3 La saumure concentrée .....	139
4.1.1.1.4 Rejet des eaux de lavage à contre-courant des membranes dans les usines OI .....	141
4.1.2 Impacts sur l'environnement .....	141
4.1.2.1 Effets dus aux produits de la corrosion .....	143
4.1.2.1.1 Effets dus aux additifs antitartre .....	144
4.1.2.1.2 Effets des additifs antisalissures .....	144
4.1.2.1.3 Effets des additifs antimousse .....	144
4.1.2.1.4 Effets du concentré (saumure) .....	145
4.1.2.1.5 Effets dus à la chaleur .....	146
4.1.2.1.6 Effets dus au prélèvement d'eau de mer .....	146
4.1.3 les problèmes techniques rencontrés en dessalement .....	147
4.1.3.1 La corrosion .....	147
4.1.3.2 L'entartrage (scaling) .....	148
4.1.3.3 Le colmatage (Fouling) .....	149
4.2 : Cadre Législatif régissant la protection de l'environnement.....	149
4.2.1- Législation, conventions et protocoles internationaux Convention-cadre sur les changements climatiques (FCCC) .....	149
4.2.1.1 Accord relatif aux substances nocives pour la couche d'ozone .....	149
4.2.1.2 Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance	150
4.2.1.3 Convention de Barcelone .....	150
4.2.2 Législation relative à l'Impact sur l'Environnement en Algérie .....	151
4.2.2.1 Législation Générale d'EIE .....	151
4.2.2.2 Bruit et Vibration .....	153
4.2.2.3 Réglementation sur les ressources en eau .....	154
4.2.2.4 Réglementations sur les Déchets Liquides .....	155
4.2.2.5 Durabilité du Projet .....	157
4.2.2.6 Emissions dans l'air .....	157
4.3 Réticence des fournisseurs au transfert de la technologie et de la formation....	159

Conclusion .....	161
<b>Chapitre 05 : Répercussions environnementales et économiques de la Station de Dessalement Chatt El Hillal de Béni -Saf</b>	
Introduction .....	162
5.1 Description de la station .....	163
5.1.1-Pourquoi la station de dessalement de l'eau de mer de Béni Saf .....	163
5.1.1.1 Justification économique .....	163
5.1.1.2 Justification technique .....	163
5.1.1.3 Justification environnementale .....	163
5.1.2 Situation géographique de l'usine de dessalement .....	164
5.1.2.1 Principales données techniques de l'usine .....	165
5.1.2.2 Description du fonctionnement de la station .....	166
5.1.2.2.1 Système d'Admission de l'Eau d'Alimentation .....	166
5.1.2.2.2 Pompage de l'eau d'alimentation .....	166
5.1.2.2.3 Séquences de prétraitement .....	166
5.1.2.2.4 L'osmose inverse .....	167
5.1.2.2.5 Le post traitement .....	167
5.1.2.2.6 Les rejets .....	168
5.1.2.2.7 Stockage et livraison .....	168
5.2 Les performances de la station .....	168
5.2.1 La production annuelle de l'usine et son rôle dans la production de l'eau .....	168
5.2.2 Principales causes des arrêts survenus durant le fonctionnement de la station...	171
5.2.2.1 Les arrêts techniques rencontrés durant l'année 2010 .....	171
5.2.2.1.1 Commentaire des écarts de production enregistrés durant l'année 2010...	171
5.2.2.2 les arrêts techniques rencontrés durant l'année 2011.....	177
5.2.2.2.1 Commentaire des écarts de production enregistrés durant l'année 2011....	177
5.2.2.3 les arrêts techniques rencontrés durant la période allant de janvier à août 2012	181
5.2.2.3.1 Commentaire des écarts de production enregistrés de janvier jusqu'à 31 août 2012.....	181
5.2.3 Récapitulatif des principaux arrêts survenus durant le fonctionnement de la station .....	184

5.2.3.1 Les Incidents fortuits .....	184
5.2.3.2 Les conditions météorologiques .....	184
5.2.3.3 Demande de coupure d'électricité de Sonelgaz .....	184
5.2.3.4 Demande du Client .....	184
5.2.3.5 Autres (grève du fournisseur de l'acide sulfurique) .....	185
5.3 Evaluation d'impact sur l'environnement de l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chatt El Hillal .....	185
5.3.1 Evaluation des impacts .....	186
5.3.1.1 Méthodologie de l'étude .....	187
5.3.1.1.1 La valeur socio-économique .....	187
5.3.1.1.2 Degré de perturbation d'une composante .....	187
5.3.1.1.3 l'intensité de l'impact .....	187
5.3.1.1.4 Etendue de l'impact .....	188
5.3.1.1.5 Durée de l'impact .....	188
5.3.1.1.6 L'importance de l'impact .....	188
5.3.1.1.7 Mesure d'atténuation .....	188
5.3.1.2 Les impacts potentiels de l'exploitation de l'usine de dessalement .....	188
5.3.1.2.1 Impact sur l'environnement marin .....	188
5.3.1.2.1-a Impacts sur la flore marine provoqués par le rejet de saumure et de nettoyage des filtres et membranes .....	188
5.3.1.2.1-b Impacts sur la faune marine provoqué par le rejet de saumure et de nettoyage des filtres et membranes .....	190
5.3.1.2.2 Impact sur la qualité de l'eau .....	191
5.3.1.2.3 Captage par contact et entrainement potentiels de la flore et de la faune a la prise d'eau de mer.....	191
5.3.1.2.4 Impact lié aux déchets solides .....	192
5.3.1.2.5 Impact sur le paysage .....	193
5.3.1.2.6 Impact sonore .....	193
5.3.1.2.7 aspects socio- économique .....	194
5.3.2- Mesures d'atténuation des impacts sur l'environnement .....	197
5.3.2.1 l'environnement marin .....	197

5.3.2.2 Bruit .....	197
5.3.2.3 Ressources en eau .....	197
5.3.2.4 Respect du paysage et de l'esthétique .....	198
5.3.2.5 Perte de superficie exploitable dans l'emprise .....	198
5.3.2.6 Déchets .....	199
5.3.2.7 Risque d'incendie .....	199
5.3.2.8 Risques sismiques .....	199
5.3.2.9 Risques d'inondation .....	199
5.3.2.10 Prévention des risques majeurs et intervention en cas d'urgence .....	200
Conclusion .....	201
<b>Conclusion Générale</b> .....	203
Résumé .....	i
Référence Bibliographie .....	ii
Liste des Figures .....	iii
Liste des Tableaux.....	iv
<b>Annexe</b>	
Bulletin d'analyse physico chimique.....	v

## Introduction Générale :

L'être humain, comme tout organisme vivant a besoin d'eau pour vivre, car c'est l'un des composants essentiels de son corps.

Les êtres vivants ont besoin d'eau pour survivre, mais la quantité totale d'eau douce est limitée (seulement 3% de la quantité totale d'eau sur terre). La majorité de cette eau est stockée dans le sol ou existe sous forme de glace. Une infime partie seulement constitue une ressource en eau disponible pour les activités humaines (0,6%).

Les ressources en eau douce de la planète peuvent satisfaire les besoins minimums de 20-25 milliards de terriens. Malheureusement, l'eau se répartit inégalement dans le temps et selon les régions.

La consommation d'eau varie énormément selon les pays. Les pays pauvres manquent d'eau et doivent adapter leur mode de vie en fonction des ressources, tandis que certains pays industrialisés (comme les USA) en font une surconsommation. On constate que la consommation en eau est un bon indicateur du niveau de vie des populations.

Tout le monde n'a pas d'eau en suffisance et cela va aller en s'empirant. L'eau est considérée comme une ressource économique au même titre que les minerais. Elle doit être gérée rationnellement. Maintenant, l'eau coûte donc cher et son entretien aussi. Car en plus des ressources limitées, l'eau est aussi de plus en plus polluée et sous des formes multiples. Il faut donc la traiter et l'épurer pour qu'elle soit suffisante et à l'état consommable par l'être humain.

Chaque année, les hommes prélèvent à l'échelle mondiale environ 4 000 km<sup>3</sup> d'eau douce. Au regard des plus de 10 millions km<sup>3</sup> présents dans les différents réservoirs naturels, la problématique de l'eau ne relève donc pas du volume disponible mais de l'accès local à la ressource, et à une ressource de qualité suffisante.

---

<sup>1</sup>Source : site PNUD et FAO.

L'eau prélevée a trois usages :

- 70% pour l'agriculture, essentiellement à des fins d'irrigation.
- 22% pour la production d'énergie, que ce soit de l'hydroélectricité ou de l'électricité thermique ou nucléaire qui utilise l'eau pour le refroidissement de la vapeur produite par les centrales, et pour la production industrielle si l'eau est fluide de procédés ou intrant dans les produits.
- 8% pour les usages domestiques. Ces ratios varient fortement en fonction du revenu du pays considéré. Par exemple, l'industrie utilise environ 60% de la ressource en eau dans les pays à revenu élevé contre seulement 10% dans les pays à faible revenu ou revenu moyen.

La ressource en eau n'est pas également répartie dans le monde. En effet, 10% des pays possèdent 60% de la ressource, et la disponibilité connue par an et par personne varie de moins de 500 m<sup>3</sup> à plus de 10 000 m<sup>3</sup> selon les régions du monde.

Un pays connaît un stress hydrique en deçà d'une ressource renouvelable en eau douce de 1 700 m<sup>3</sup> par an et par personne, tandis qu'on considère que le développement économique et le bien-être individuel sont affectés négativement en deçà de 1 000 m<sup>3</sup> par an et par personne. A l'heure actuelle, environ 700 millions de personnes réparties dans 43 pays vivent en-dessous du seuil de stress hydrique. Au-delà de sa répartition initiale, l'accès à l'eau potable n'est pas offert à tous de la même manière : 3,3 milliards de personnes disposent d'un point d'approvisionnement privé, 1,9 milliards se fournissent dans une source publique d'eau courante de qualité contrôlée, et 1 milliard de personnes sont sans accès à une source d'eau courante et se fournissent directement dans des sources naturelles (rivières, lacs, etc.) ou auprès de marchands ambulants. L'une des conditions d'accès à une ressource de qualité est aussi l'assainissement, or 2,6 milliards de personnes ne disposent pas d'installations d'assainissement.<sup>2</sup>

En Méditerranée, les problèmes d'insuffisance relative de ressources en eau face à la montée des besoins se sont aggravés ces dernières décennies. Plus difficiles dans les pays du Sud confrontés à une démographie dynamique ces problèmes risquent de s'intensifier encore et de s'étendre à l'ensemble du bassin méditerranéen sous l'effet prévisible du changement du climat. Les conséquences des modifications climatiques se traduiront probablement par une réduction des précipitations, par une aggravation des irrégularités de répartition des ressources

---

<sup>2</sup> Source : FAO-AQUASTAT, Plan Bleu

en eau dans le temps et dans l'espace irrégularités qui caractérisent la région et par une multiplication des phénomènes de sécheresses ou de pluies catastrophiques.

Les disparités de ressources en eau renouvelables naturelles entre les pays du Nord et ceux du Sud et du proche Orient ne vont malheureusement pas s'atténuer bien au contraire, avec le risque de voir s'accroître parallèlement les différences de développement économique et social entre ces deux groupes de pays.

Les pays méditerranéens sont confrontés, et vont l'être encore plus dans les années à venir, à l'enjeu majeur d'assurer leur croissance économique et la satisfaction des besoins vitaux de leurs populations avec des ressources en eau réduites et pour certains déjà insuffisantes.

En effet, la Méditerranée est pauvre en eau si on la compare à d'autres régions du globe de même population. Les pays du Sud ne sont dotés que de 13% du volume total des ressources en eau méditerranéennes estimé à un milliard de m<sup>3</sup> par an, en moyenne, mais dont la moitié seulement est exploitable. On mesure encore mieux l'inégalité des potentialités en eau entre Nord et Sud, quand on prend en compte leurs populations respectives et futures.

Près de 200 millions d'habitants vivent dans les pays de la rive Nord, alors que l'on en compte plus de 240 millions sur l'autre rive. Les évolutions d'ici 2025 vont faire diverger davantage l'écart actuel car si la population dans la région Nord ne devrait augmenter que marginalement, celle de la région Sud et Est s'accroîtra de 100 millions pour atteindre 340 millions d'habitants. Ce qui a fait dire à certains un peu schématiquement que les problèmes de développement sont radicalement opposés des deux côtés de la Méditerranée : alors que les pays de la rive européenne doivent gérer le vieillissement de leurs populations et le financement de leurs retraites, les pays de la rive Sud et Est devront fournir d'intenses efforts pour le développement de leurs économies et l'amélioration des conditions de vie de leurs citoyens.

Les chiffres globaux de populations actuelles et futures (2025) ne traduisent pas suffisamment les pressions qui s'exercent et celles qui vont s'exercer sur les ressources en eau.

En effet, il faut tenir compte de la structure des populations rurales et urbaines.

Au Nord, la population urbaine est de l'ordre de 130 millions d'habitants et croîtra lentement, la population rurale se stabilise à 60 millions. Au Sud et à l'Est, si le nombre de ruraux (90

millions) est relativement stable, en revanche la population urbaine va passer de 150 millions à 250 millions en 2025.<sup>3</sup>

Cette évolution a des conséquences importantes sur les ressources en eau car la demande individuelle en eau urbaine est bien plus importante que celle d'un rural, plus complexe à satisfaire et plus chère en termes d'investissement comme en termes d'exploitation et de gestion. Sous les pressions combinées de l'expansion démographique et du développement économique, les demandes en eau ont rapidement augmenté. Elles ont doublé au cours de la deuxième moitié du XXème siècle et elles s'élèvent maintenant à près de 300 milliards de m<sup>3</sup> annuels dont la plus grande part est consacrée à l'agriculture (65%).

A l'aube du XXIème siècle, ces demandes approchent les ressources mobilisables, voire même les dépassent déjà dans certains pays. C'est le cas de l'Egypte, d'Israël, de la Libye où l'indice d'exploitation des ressources renouvelables dépasse 100%. Dans quelques autres pays (Tunisie, Malte, Syrie) les demandes globales ne sont pas loin d'atteindre les limites de ressources renouvelables et mobilisables dont ils disposent. On estime qu'en 2025, avec une augmentation de 25% principalement située au Sud et à l'Est du Bassin, plus de la moitié des pays méditerranéens se trouveront dans des situations de pénurie d'eau structurelles qui risquent d'être aggravées par le fait que dès à présent, une partie des sources d'approvisionnement sont non durables.

En effet, le capital « ressources en eau » des pays est menacé de réductions dans le temps dont les causes peuvent être dues à des phénomènes naturels, à des conditions d'exploitation, à une absence ou une mauvaise protection, voire même à des risques de pression accrue sur les ressources externes transfrontalières dans les pays d'amont (Euphrate, Nil).

L'envasement des réservoirs de barrages réduit régulièrement et inexorablement les capacités de ces ouvrages et les débits qu'ils régularisent et garantissent. Dans certains pays du Sud, où l'érosion des sols est particulièrement active, les problèmes d'envasement des réservoirs de barrages sont très importants et rapides et menacent, à moyen terme de la perte de 20 à 30% des volumes stockés. Cette perte ne peut quasiment pas être compensée par la création de nouveaux ouvrages de retenue en raison de l'absence de nouveaux sites favorables.

Sous la pression des demandes, la sollicitation intense des ressources souterraines, par la surexploitation des nappes phréatiques ou par l'exploitation minière des eaux fossiles en régime d'épuisement (par exemple les nappes du Sahara septentrional) peuvent conduire là aussi, à une perte définitive de ressources. Très durables aussi peuvent être les pertes de

---

<sup>3</sup>Les statistiques données sont extraites du rapport sur le suivi de la stratégie méditerranéenne de développement durable.



ressources en eau provoquées par les pollutions, très fréquentes dans les pays méditerranéens. On peut mesurer l'ampleur et la gravité de ces « disparitions » de ressources vitales par les coûts énormes des dépenses nécessaires pour les remplacer par des ressources nouvelles soit obtenues à partir de la construction de nouveaux barrages quand cela encore possible (le coût du m<sup>3</sup> d'eau augmente considérablement avec les derniers sites de barrages restant à équiper) Face à l'augmentation tendancielle de la demande en eau, les pays riverains de la Méditerranée sont confrontés à plusieurs défis : gérer durablement des ressources hydriques limitées, assurer l'accès à l'eau potable aux populations non encore desservies et inciter les usagers à des comportements économes en eau. Ces défis sont d'autant plus cruciaux que les tensions sur les ressources en eau risquent d'être exacerbées sous les effets du changement climatique. L'augmentation de température et la baisse des précipitations prévues conduiraient, en effet, à la fois à une réduction des ressources et à une augmentation de la demande. La première réponse à ces évolutions consiste en la mise en place de politiques de gestion de la demande en eau aptes à réduire les pertes et les mauvaises utilisations, à gérer la ressource avec équité tout en veillant à satisfaire les différents usages. Cependant, dans certains pays, une augmentation de l'offre, organisée via une meilleure gestion de la ressource (augmentation du potentiel exploitable, lutte contre la pollution...) ou via des formes non conventionnelles d'approvisionnement, s'avère également nécessaire.

Le dessalement des eaux de mer ou des eaux saumâtres<sup>4</sup> constitue ainsi une des réponses possibles pour s'adapter à la pénurie croissante des ressources en eau.

Le dessalement de l'eau de mer apparaît comme une solution permettant d'augmenter la ressource en eau douce disponible dans certaines régions côtières victimes de la sécheresse. Aujourd'hui, environ 0,05 km<sup>3</sup> d'eau dessalée, dont 15% issus d'eau saumâtre, sont produits chaque jour dans le monde. Cette production, qui représente 0,45% de la consommation mondiale journalière d'eau douce, est en forte croissance, de l'ordre de 10% par an ; son doublement est prévu d'ici 2016, ce qui ferait passer la production à 0,109 km<sup>3</sup> par jour.

Les usines de dessalement se multiplient rapidement à travers le monde, et des unités présentant une capacité de production de 0,001 km<sup>3</sup> par jour sont en projet, ce qui pourrait encore accélérer le rythme de croissance du secteur.

Deux solutions technologiques existent actuellement : le dessalement thermique par vaporisation de l'eau dans des installations de distillation qui permet la séparation des sels qu'elle contient, et le dessalement membranaire (par osmose inverse) qui consiste à faire

---

<sup>4</sup>Une eau saumâtre est une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. Elle contient entre 1 et 10g de sel par litre contre 35g en moyenne pour l'eau de mer.

passer l'eau sous pression à travers une membrane laissant passer l'eau mais retenant les sels, bactéries et virus. Malgré l'engouement de nombreux Etats, notamment les pays du pourtour méditerranéen et du Golfe, la Chine, l'Inde, la Californie, l'Australie et de nombreuses îles comme les Caraïbes, ce procédé de production d'eau douce présente encore des limites nécessitant la poursuite de la recherche dans ces domaines. Bien que le coût énergétique du dessalement varie en fonction de la méthode utilisée (entre 7,5 et 15,5 kWh pour un mètre cube d'eau pour la méthode par distillation, et entre 4 et 5,5 kWh pour l'osmose inverse), il reste dans tous les cas important et a deux conséquences : tout d'abord, le prix de vente reste élevé : entre 0,65 et 1,80 euros le mètre cube pour la première méthode, entre 0,4 et 0,8 euro pour la seconde. Ceci explique que l'on trouve des usines en Arabie Saoudite, pays du golfe, Libye, l'Australie, Algérie, la Grande Bretagne, Espagne, Italie, Grèce et en Israël mais pas dans les pays peu développés et dépourvus de gaz ou de pétrole. Toutefois, des efforts sont actuellement réalisés pour améliorer le rendement de cette solution.

Ensuite, la dépense énergétique a aussi un coût climatique. Les usines de dessalement sont aujourd'hui essentiellement alimentées par des énergies fossiles dont la combustion libère des gaz à effet de serre contribuant au réchauffement climatique. Pour faire face à ce problème, les autorités australiennes encouragent par exemple l'utilisation d'énergies renouvelables pour tous les grands projets de dessalement du pays. Ce procédé de production d'eau douce présente un autre problème d'ordre environnemental : les rejets de saumure affectent localement la faune et la flore marines qui se sont adaptées à une salinité particulière.

Les avantages et inconvénients du dessalement doivent donc être appréciés en termes de coûts et de bénéfices sociétaux et environnementaux, et au regard d'autres ressources en eau douce.

En Algérie La solution du dessalement a été mise en œuvre avec succès, depuis quelques années grâce au partenariat étranger, et à d'ambitieux projets financés sur le budget de l'Etat. Elle est également une option hautement stratégique qui mettra fin, à terme, dans la majorité des villes du nord du pays, selon les prévisions du gouvernement, aux difficultés récurrentes d'approvisionnement en eau, une denrée de plus en plus rare à cause des aléas climatiques et des longues périodes de sécheresse. C'est à l'ouest du pays où la population souffre d'un déficit sévère en eau potable, et où les rationnements pouvaient aller jusqu'à un jour sur cinq que seront installées la plupart des stations de dessalement ce qui permettra à la population de profiter d'une eau de même qualité que l'eau conventionnelle.

Compte tenu de l'accroissement démographique, des changements climatiques, des mutations économiques et sociales, le risque de manque d'eau ne peut plus être écarté.

Le dessalement est considéré comme une solution pour remédier au risque de l'insuffisance voire même de la pénurie d'eau dans le pays.

Quelles seraient donc les conséquences de la solution de dessalement adoptée par le gouvernement sur les plans économique, social, écologique et les retombées induites en terme d'acquisition de savoir faire managérial et de transfert de technologie?

Le travail de recherche entrepris dans le cadre du présent mémoire et qui expose l'expérience algérienne et internationale de l'exploitation des unités de dessalement est développé au sein de deux parties.

La première partie comporte trois chapitres :

Le premier chapitre est une étude bibliographique qui présente une évaluation des coûts et des bénéfices associés à l'adoption de nouvelles technologies face au changement climatique. Les ressources hydriques propres de l'Algérie et la manière dont la distribution de l'eau potable est organisée ainsi que les principaux problèmes hydrauliques seront analysés dans un deuxième chapitre.

Le troisième chapitre sera consacré à une révision des différentes méthodes de dessalement employées de par le monde et en Europe. Une référence au dessalement dans certains pays facilitera la compréhension de l'importance que le dessalement est en train d'acquies en tant que moyen pour garantir l'arrivée de l'élément vital qu'est l'eau potable dans les zones côtières en insuffisance hydrique.

L'aspect juridique du partenariat public- privé dans le domaine du dessalement de l'eau de mer sera également traité dans ce chapitre.

La deuxième partie se compose de deux chapitres :

Les contraintes induites par les usines de dessalement, l'encadrement législatif s'y rapportant et l'importante consommation d'énergie électrique pour leurs fonctionnements seront traités dans le quatrième chapitre.

L'objet du cinquième chapitre concernera l'étude globale de l'usine de dessalement pour évaluer l'envergure réelle de l'impact de son exploitation. L'analyse des arrêts techniques rencontrés durant le fonctionnement de l'usine fera l'objet de considérations spécifiques.

**Partie 01 :**

**Bilan économique, écologique et technologique de l'option :  
dessalement de l'eau de mer**

## **Chapitre 01 :**

### **Bilan économique de l'adaptation au changement climatique**

#### **Introduction :**

Il est aujourd'hui largement reconnu que l'adaptation au changement climatique constitue une réponse aussi importante que complémentaire à la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans la lutte contre le changement climatique. L'adaptation se définit comme l'ensemble des actions menées de manière délibérée, afin de réduire les effets négatifs d'un phénomène, et de mieux en saisir les opportunités. Un large éventail de mesures d'adaptation peut être mis en œuvre pour faire face aux conséquences observées et anticipées du changement climatique. Celui-ci englobe la modification des pratiques agricoles et du choix des variétés cultivées, la construction de nouveaux réservoirs d'eau, la rationalisation de la gestion de l'eau, le changement des normes et des règlements de construction.

Les mesures d'adaptation sont mises en œuvre par divers acteurs publics et privés au moyen de politiques, d'investissements dans les infrastructures et les technologies, et de modifications des comportements.

Les coûts de l'adaptation, et l'ampleur des bénéfices qu'elle pourra procurer, présentent de plus en plus d'intérêt, aussi bien dans le cadre de projets sur le terrain qu'au niveau mondial, où il faudra sans doute arbitrer entre les coûts des politiques climatiques, et les coûts des dommages résiduels dus au changement climatique.

D'un point de vue économique, l'adaptation devrait être évaluée selon si, et de combien, les bénéfices de telles actions sont supérieurs aux coûts engagés. En particulier, les estimations des coûts et des bénéfices de l'adaptation sont pertinents à deux niveaux. D'une part, les coûts et les bénéfices de l'adaptation peuvent être utiles pour les acteurs directement exposés à des risques climatiques particuliers, et qui doivent prendre des décisions sur si, dans quelle mesure, et quand il faut investir dans l'adaptation. Ces acteurs peuvent être des individus et des ménages, des agriculteurs, des directeurs de projet, et des planificateurs sectoriels.

D'autre part, au niveau national et mondial, les estimations des coûts peuvent servir à « donner un prix » global à l'adaptation, qui devrait ensuite trouver des sources de financements internationaux, nationaux ou privés. Pourtant, l'évaluation économique des coûts et des bénéfices de l'adaptation soulève des difficultés importantes d'analyse et

d'action. Une des raisons est que de nombreuses mesures d'adaptation sont vagues par nature. Celles-ci font elles-mêmes partie d'actions mises en place pour faire face à de multiples stimuli sociaux et environnementaux. Par conséquent, il est probablement impossible d'évaluer la part exclusive des coûts du stimulus climatique dans ce type de décisions, qui sont sous l'influence simultanée d'un large éventail d'autres facteurs, souvent plus influents. L'incertitude concernant les conséquences spécifiques du changement climatique, ainsi que le choix du moment de la mise en place des actions menées, auront aussi une influence sur les coûts et les bénéfices de l'adaptation.

Dans des secteurs précis, certaines actions d'adaptation pouvaient offrir des rapports coûts-bénéfices élevés et/ou des possibilités de mise en œuvre à coût modique.

Par exemple, les ajustements au niveau des exploitations agricoles, considérés comme peu coûteux, peuvent apporter beaucoup de bénéfices en compensant les dommages subis, à l'instar des adaptations comportementales, comme une rationalisation accrue de la gestion de l'eau. En revanche, beaucoup d'adaptations nécessiteront des mesures « structurelles » concernant les infrastructures, comme par exemple l'investissement dans des réservoirs d'eau, ou des usines de traitement des eaux usées ou de dessalement dans le cas du secteur de l'eau.

Les coûts de l'adaptation des infrastructures sont aussi primordiaux dans les systèmes qui sont exposés de manière critique aux effets immédiats du changement climatique.

## 1.1 La théorie économique de l'environnement :

La surexploitation des ressources naturelles, les problèmes environnementaux, locaux d'abord, régionaux puis globaux, ont longtemps été gérés par une approche réglementaire. Un double contexte favorise aujourd'hui le recours aux approches économiques, d'une part, le relatif échec, dans plusieurs cas des approches réglementaires et, d'autre part, le souhait de nombreux gouvernements et organisations internationales de faire appel au marché comme instrument principal de gestion.

La qualité environnementale devenant rare, l'économie de l'environnement a pris un essor que nul n'aurait pu prédire jusque dans les années 1960.

Le secteur énergétique se trouve au centre des préoccupations environnementales comme sa consommation augmente avec la croissance économique et la population du globe.

Cette consommation énergétique augmente les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, un commun mondial, qui demande une réponse globale : les instruments économiques du Protocole de Kyoto. Ce sont pourtant les instruments de commande et de contrôle qui ont primé jusqu'ici pour résoudre les problèmes de pollution créés par l'industrie énergétique, tant au niveau local que national. Le secteur énergétique est aussi responsable en partie de l'acidification de l'air, des sols et des eaux, de l'accumulation de déchets solides et de la pollution thermique à l'échelle locale comme planétaire.

La réalisation de ces problèmes durant les années 1960-1970 n'a pas inquiété outre mesure les économistes qui avaient un cadre conceptuel et des outils analytiques prêts à étudier ces problèmes: l'économie néoclassique, en particulier l'économie du bien-être, avec les politiques publiques qui en découlent consistant en instruments de régulation ou de marché (Baumol et Oates, 1988)<sup>1</sup>. La pollution est une externalité liée à une défaillance de marché qui peut être diminuée, voire supprimée, par un éventail d'instruments comme les impôts (taxe de Pigou), les normes, les permis et les interdictions. Avant d'utiliser ces instruments, Coase (1960) argumente de façon convaincante que les externalités peuvent disparaître si les droits de propriété sont bien établis en l'absence de coûts de transactions.

Depuis les années 1990, les instruments économiques ont pris de l'importance. Ces instruments sont calibrés en vue de l'efficacité en utilisant l'analyse coûts avantages et,

---

<sup>1</sup>Economie de l'environnement et des ressources naturelles, les grands courants actuels de pensée en économie de l'environnement 2005. Patrice A. HAROU, Anne STENGER, p 10.

seulement plus récemment, en vue de l'équité. De nouveaux instruments en sus de la régulation et de l'incitant économique du type volontaire sont apparus, comme l'écocertification, et récemment la divulgation de l'information.

L'approche néoclassique est vite apparue limitée devant l'ampleur qu'a prise la question environnementale dans le développement de la planète.

Même s'il reste encore certains écologistes sceptiques (Lomborg, 2004)<sup>2</sup>, l'opinion publique comprend mieux qu'auparavant les tenants et aboutissants du problème créé par l'explosion démographique et la croissance économique. Les objectifs de protection de l'environnement et de développement économique sont plus difficilement conciliables que complémentaires et nécessitent des politiques élaborées. Il existe une relation en «U inversée», une courbe Kuznet<sup>3</sup>, entre certains polluants et le produit brut d'un pays. Un choix s'impose alors souvent entre l'utilisation ou la non-utilisation d'une ressource naturelle. Les réponses des économistes ne donnent pas toujours une solution à ce problème de choix. Dans un modèle à deux périodes, Olson (1990) montre que l'information et l'apprentissage ne permettent pas toujours de faire un choix entre préservation ou utilisation d'une ressource comme *input* dans un processus de production.

Les décisions d'utilisation de ressources environnementales sont souvent effectuées dans un contexte incertain (Neumayer, 1998). L'incertitude peut concerner les bénéfices liés à la non utilisation (ou préservation) d'une ressource dans un processus de production.

Mais elle peut également concerner la productivité de la ressource employée dans un processus de production. Pour chaque option, préservation ou utilisation de la ressource, il existe des effets irréversibles : une consommation réduite de biens produits pour la première option, et une réduction de la ressource naturelle dans le cas de la deuxième option.

Le choix peut parfois être plus évident quand la ressource naturelle considérée a fait l'objet d'une valorisation. Tant que les préférences des individus n'ont pas été révélées, les

---

<sup>2</sup>Economie de l'environnement et des ressources naturelles, les grands courants actuels de pensée en économie de l'environnement 2005. Patrice A. HAROU, Anne STENGER, p 11.

<sup>3</sup>Economie de l'environnement et des ressources naturelles, les grands courants actuels de pensée en économie de l'environnement 2005. Patrice A. HAROU, Anne STENGER, p 11.



recommandations sont celles de la conservation et de l'application du principe de précaution (Henry, 2002)<sup>4</sup>.

Aujourd'hui, l'économie environnementale s'est élargie considérablement pour englober à la fois les aspects transfrontaliers et d'insécurité, mais aussi la dimension intergénérationnelle (temps) et globale (espace) du problème. Enfin, la problématique s'est accrue, liée au développement économique durable et à la qualité de la vie dans les pays en développement et industrialisés. Cependant, même cette économie environnementale élargie ne satisfait pas tout le monde.

### **1.1.1 Les grands courants actuels de pensée en économie de l'environnement selon trois dimensions :**

#### **1.1.1.1 Un contexte élargi pour l'économie de l'environnement :**

Une évolution importante de l'économie de l'environnement est la dimension de durabilité de l'économie dans sa globalité conférée à la Conférence de Rio. La complexité de cette nouvelle dimension est schématisée sur la figure 1.1.

---

<sup>4</sup>Economie de l'environnement et des ressources naturelles, les grands courants actuels de pensée en économie de l'environnement 2005. Patrice A. HAROU, Anne STENGER, p 11.

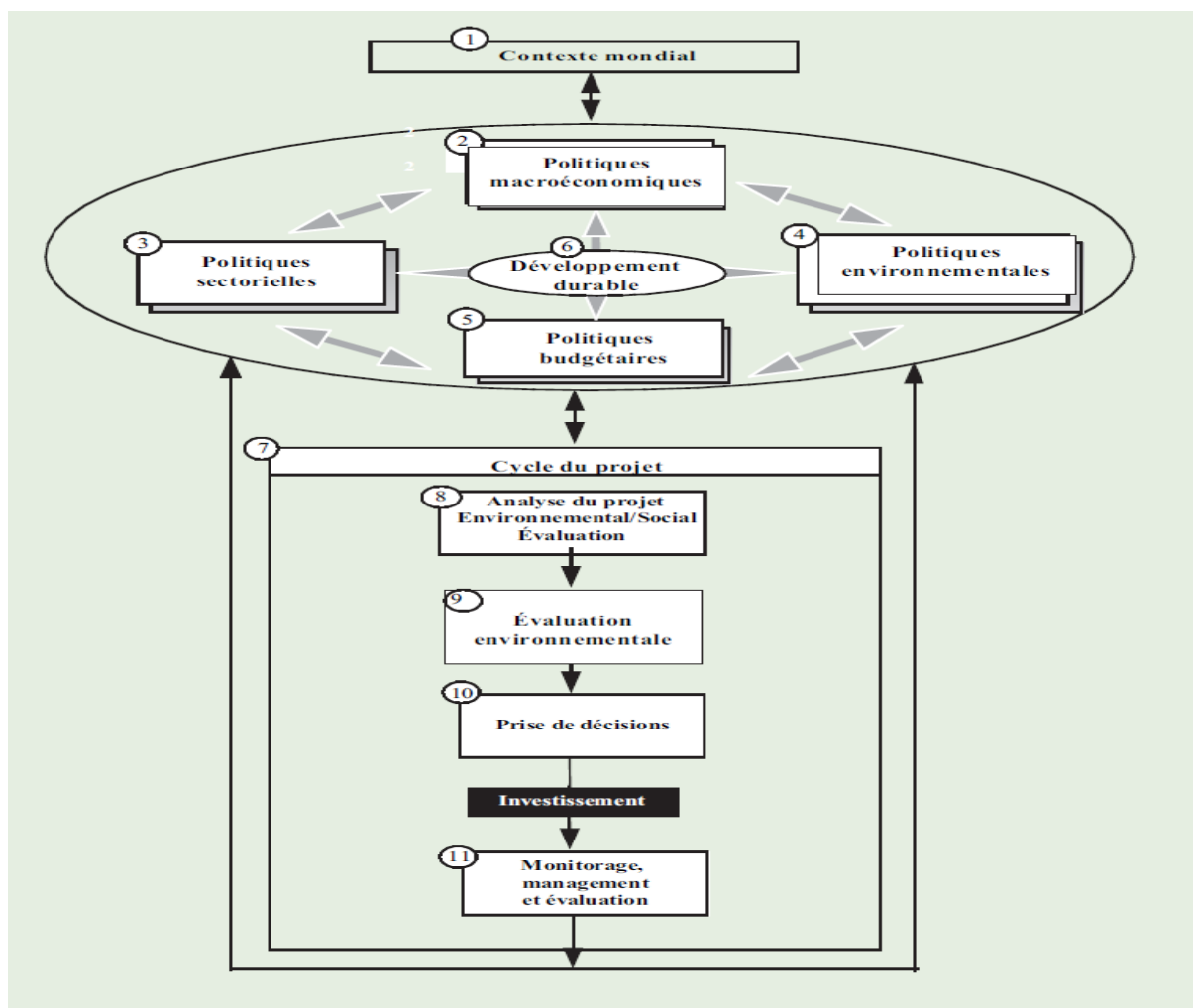


Figure 1.1 : la durabilité de l'économie<sup>5</sup>

Tout d'abord, les problèmes environnementaux importants ne peuvent généralement plus être considérés dans le seul cadre national. Les impacts des émissions de gaz carbonique, la destruction de la couche d'ozone, les pluies acides sont des problèmes qui ne connaissent pas de frontière. Cet aspect est capital tant dans la reconnaissance des problèmes environnementaux que pour leur analyse économique.

Dans l'analyse économique globale, les transferts disparaissent, mais la question de la répartition des coûts et des avantages entre parties prenantes prend une ampleur toute particulière.

L'impact des politiques macroéconomiques sur l'environnement offre tout un champ relativement nouveau à l'économie de l'environnement.

<sup>5</sup>Economie de l'environnement et des ressources naturelles, Patrice A. HAROU, Anne STENGER, p 11.

L'économie de l'environnement et des ressources naturelles trouve son origine dans des problèmes ponctuels utilisant la théorie microéconomique.

Si certains impacts environnementaux ont été considérés au niveau macroéconomique, cela a constitué un lien simpliste basé sur des tables input/output. Aujourd'hui, l'impact des politiques macroéconomiques sur l'environnement est bien reconnu, au point que les réformes de politiques commencent à faire l'objet d'analyses d'impact, comme cela se faisait déjà en ce qui concerne les projets. Le changement du taux de change par exemple peut avoir des répercussions importantes sur l'économie d'un pays basée sur l'exportation de ses ressources naturelles. Cette tendance a créé une nouvelle branche de l'analyse économique environnementale. Les impacts de l'ajustement structurel sur l'environnement sont mieux connus aujourd'hui.

La mesure PNB de l'économie a été remise en question et les comptes nationaux sont modifiés et complétés par une série d'indicateurs appropriés aux dimensions non seulement économique mais aussi environnementale et sociale du développement durable.

L'approche économique environnementale se fait plus spécifique au niveau du secteur. Comme pour les politiques macroéconomiques, les changements de politique économique sectorielle requièrent aujourd'hui, souvent légalement, une étude d'impact à laquelle devra participer l'économiste de l'environnement. La libéralisation d'un secteur, peut avoir un impact déterminant sur les ressources naturelles d'un pays selon les caractéristiques de son économie.

La nouvelle branche de l'écologie industrielle s'intéresse plus particulièrement à cette trilogie «entreprise, environnement et société». Si l'hypothèse de Porter (1995) de situation gagnant-gagnant pour le duo économie/environnement fait des adeptes pour certaines industries dans des circonstances spécifiques, le cas ne peut pas être généralisé. Pour l'industrie énergétique, cette proposition n'est que peu contredite. L'écologie industrielle se préoccupe à la fois de l'économie des ressources et de l'environnement ; l'environnement est considéré comme un capital naturel qui doit être géré comme le capital fait par l'homme. Dans ce cas de figure, la firme démontre une gestion supérieure et le double dividende à la Porter est attendu.

Les énergies renouvelables non polluantes, techniquement fiables et financièrement abordables représentent un élément clé potentiel de développement durable, spécialement pour les pays en développement.

L'économiste de l'environnement s'applique à identifier les problèmes prioritaires, propose des solutions pour y remédier sous la forme d'une panoplie d'instruments, et propose des

outils décisionnels pour choisir le plus efficient d'entre eux. L'outil majeur proposé par l'économiste de l'environnement pour présenter son analyse budgétaire est l'analyse coûts-avantages (Harou, 2000<sup>6</sup>) qui repose sur l'évaluation environnementale.

L'économie de l'environnement, qui a commencé comme une branche de la théorie des externalités et des biens publics, s'est passablement élargie ces dernières décennies à un concept de la qualité de la croissance économique et jusqu'à celui de développement durable, explicite dans une stratégie nationale de développement durable. Pour les pays en développement, cela nécessite une aide bien synchronisée des partenaires au développement.

Les décisions à prendre à l'échelle macro et sectorielle sont importantes, car elles déterminent les prix et donc les allocations dans une économie donnée.

Ces politiques comprennent aujourd'hui une dimension environnementale, même si elles restent encore à améliorer et à mieux combiner avec l'impact social de ces mêmes politiques.

La pollution et la disparition des ressources naturelles affectent davantage les pauvres, puisque ces derniers dépendent souvent de ces ressources pour leur survie. L'outil essentiel pour introduire l'environnement dans ces décisions est l'analyse coûts-avantages qui doit intégrer les valeurs environnementales vers lesquelles nous nous tournons maintenant.

### **1.1.1.2 L'évaluation environnementale :**

L'évaluation environnementale a connu une progression spectaculaire ces deux dernières décennies.

Cette évolution était nécessaire à l'utilisation de l'analyse coûts-avantages non seulement de projet environnement mais aussi des politiques environnementales. La théorie et l'application de l'analyse de l'investissement publique ont été bien développées au début des années 1970 après les manuels d'analyse de projet.

L'évaluation des externalités n'y était cependant pas considérée. Elle consiste à pousser plus loin l'établissement des prix fictifs de l'analyse économique faite du point de vue de la société par opposition à l'analyse financière faite du point de vue de l'intérêt privé qui initie un investissement. La double analyse économique et financière permet de calibrer les instruments environnementaux (Harou, 1985)<sup>7</sup>.

Les méthodes d'évaluation environnementale sont de deux types: celles qui révèlent des préférences directement ou indirectement, comme la méthode hédonique et celle du coût de

---

<sup>6</sup>Economie de l'environnement et des ressources naturelles, les grands courants actuels de pensée en économie de l'environnement 2005. Patrice A. HAROU, Anne STENGER, p 12.

<sup>7</sup>Evaluation économique de la gestion de la demande en eau en méditerranée, Mars 2010. Audrey MOULIERAC. p 17,18

transport, et celles qui sollicitent ces valeurs, comme la méthode contingente et la méthode par expérimentation des choix. Ces deux dernières méthodes sont préférées et utilisées lorsqu'on a affaire à des valeurs de non-usage. La méthode d'évaluation contingente consiste, par des techniques de questionnaires bien étudiés, à obtenir le consentement à payer. Comme pour l'évaluation contingente, la méthode par expérimentation des choix s'effectue par l'administration d'une enquête directe auprès des individus et se déroule en plusieurs étapes : (1) la conception des séries de choix alternatifs ; (2) l'enquête ; (3) l'estimation de la fonction d'utilité aléatoire; (4) l'inférence du CAP<sup>8</sup> des individus. La méthode est nouvelle, mais est une suite logique de l'importance sans cesse grandissante de la théorie des jeux en économie de l'environnement.

Avant de se poser la question de l'acceptabilité de ces méthodes d'évaluation par les décideurs, ce sont les caractéristiques des ressources environnementales qui expliquent la nécessité de révéler et d'intégrer dans la prise de décision les préférences des consommateurs. La multifonctionnalité des ressources, l'incertitude jointe de la demande et de l'offre, l'irréversibilité des utilisations et la sous-estimation de la qualité sont autant de raisons pour évaluer l'ensemble des bénéfices de préservation/conservation des ressources.

L'évaluation des ressources joue un rôle important pour résoudre d'éventuels conflits, pour prévenir les pollutions potentielles et pour internaliser les externalités de l'environnement.

Ces méthodes d'évaluation font l'objet depuis le début des années 1980 de nombreuses applications en Europe et couvrent une variété de cas (qualité de l'air, de l'eau, biodiversité, paysages, déchets...). Ces méthodes permettent aux individus concernés par une question environnementale d'exprimer leur préférence à travers l'indicateur monétaire du consentement à payer. Au-delà des critiques adressées à ces méthodes quant à la mesure obtenue et à ses composantes, la connaissance de la demande pour l'environnement facilite la décision du gestionnaire.

L'application de ces méthodes d'évaluation a conduit à s'interroger sur la fiabilité des indicateurs obtenus et leur intégration dans un processus de prise de décision. Le caractère crédible et fiable des indicateurs (consentement à payer/à recevoir) peut et tend à être testé de plus en plus fréquemment par l'instauration de protocoles expérimentaux dans lesquels les paiements ne sont plus hypothétiques mais réels. La mise en parallèle de l'expérimentation et de l'évaluation (notamment contingente) vise à s'interroger sur l'ampleur du biais hypothétique et de fait sur l'utilisation des indicateurs obtenus par des décideurs publics.

---

<sup>8</sup> CAP : capacité à payer.

L'économie expérimentale a de plus en plus été employée parallèlement à la méthode contingente, soit ex ante dans le but d'améliorer les résultats de la méthode d'évaluation, soit ex post dans un but de contrôle des résultats obtenus par la méthode contingente (X procédure).

Plus généralement, les techniques d'économie expérimentale constituent un autre moyen de tester la réaction du consommateur face à de nouveaux procédés ou biens. Elles semblent efficaces au regard de l'apprentissage.

De plus, les caractéristiques de l'expérimentation sont liées à la maîtrise et au contrôle de l'information donnée aux individus.

Très coûteuse en temps et en ressources, l'application de ces méthodes d'évaluation a également posé le problème de leur financement et de leur efficacité opérationnelle dans le temps. Rapidement, la réponse du transfert de bénéfices est apparue. Compte tenu des contraintes budgétaires et de l'urgence de certaines questions touchant l'utilisation des ressources naturelles, le décideur public est souvent confronté au problème de la prise de décision avec très peu d'information. Il est dès lors tentant de recourir à des données collectées sur d'autres sites, pour lesquels des évaluations ont déjà été réalisées, et dont les caractéristiques sont similaires à celles du site pour lequel des choix publics doivent être effectués.

### **1.1.1.3 Les externalités et bien publics mondiaux :**

L'environnement n'a pas de frontières, et il n'est donc pas surprenant que l'économie environnementale se soit penchée d'emblée à résoudre les problèmes à une échelle globale. La problématique des pollutions en général et le Protocole de Kyoto en particulier en sont des exemples. Les taxes peuvent se prélever au niveau international. L'économie environnementale ne doit plus être pensée au niveau national ou sur le plan des relations internationales entre États-nations, mais plutôt au niveau de l'économie politique transnationale.

L'économie environnementale dans ce nouveau contexte se pratique en grande partie par des études coûts avantages dans un cadre juridique planétaire où les transferts entre nations disparaissent.

## **1.2 Les efforts d'adaptation doivent reposer sur des bases économiques solides**

### **1.2.1 Les coûts et les bénéfices de l'adaptation au changement climatique :**

La comparaison des coûts et des bénéfices, qui peut apparaître simple et directe en théorie, pose cependant un nombre considérable de problèmes méthodologiques, concernant la valeur,

l'actualisation, ou encore les conséquences macroéconomiques par opposition aux effets sur la répartition. Ces questions ne sont pas propres à l'adaptation, mais il est particulièrement difficile de les résoudre dans ce contexte. Ceci peut en partie s'expliquer par le caractère flou de nombreuses actions d'adaptation, souvent intégrées à des mesures mises en place par d'innombrables acteurs publics et privés, en réponse à un large éventail de stimuli sociaux et environnementaux. Par exemple, les pratiques agricoles, l'aménagement du territoire et la conception des infrastructures peuvent prendre en compte certains aspects des impacts observés et anticipés du changement climatique ; mais il est sans doute impossible de déterminer précisément le coût généré exclusivement par la « variable climat » dans la prise de décision afférente, car le processus de décision intègre simultanément une multitude de facteurs supplémentaires (qui sont souvent plus importants).

Séparer ensuite les coûts de l'adaptation à la variabilité du climat des coûts de l'adaptation au changement climatique approfondit encore la complexité de l'analyse.

Les coûts d'adaptation peuvent être multipliés si l'on inclut dans le champ de l'adaptation, non seulement les mesures qui agissent directement en réduisant les dommages causés par les phénomènes météorologiques, mais aussi les actions qui visent à accroître les « capacités d'adaptation » de base – par exemple, des investissements dans la construction d'usines de dessalement pour augmenter les réserves en eau. Il n'est donc pas facile de définir les limites de l'adaptation au changement climatique. Par ailleurs, l'adaptation peut atténuer les effets négatifs du changement climatique, mais il subsistera des dommages résiduels. Le bénéfice brut de l'adaptation est la différence entre les dommages dus au changement climatique avec et sans adaptation. Cependant l'adaptation aura aussi un coût, qu'il faut soustraire des bénéfices bruts pour obtenir les bénéfices nets (Stern, 2006, d'après Fankhauser, 1998)<sup>9</sup>.

### **1.2.2 L'incitation à l'adaptation :**

Le débat sur l'adaptation s'est jusqu'à présent concentré sur les coûts, la mobilisation de financements publics et la répartition des dépenses, mais s'est beaucoup moins intéressé au rôle que pouvaient jouer le Marché et les mécanismes réglementaires qui pourraient faciliter l'adaptation. Cet aspect est particulièrement déterminant, puisque la plus grande partie des actions sont mises en œuvre par des agents privés, et que l'ampleur des objectifs d'adaptation dépassera largement les budgets publics prévus à cet effet.

---

<sup>9</sup> Aspects économiques de l'adaptation au changement climatique. Coûts, bénéfices et instruments économiques – ISBN-978-92-64-04686-3 © OECD 2008. ShardulAgrawala et Samuel Fankhauser. P 25.

Alors qu'un certain nombre d'adaptations offrent des bénéfices collectifs, telle que la protection des littoraux face à l'élévation du niveau de la mer, beaucoup d'entre elles génèrent des bénéfices privés dont peuvent profiter des personnes ou des entreprises, ou des regroupements de personnes et d'entreprises. Théoriquement, ce dernier type d'actions devrait être spontané. L'intérêt individuel devrait constituer une incitation suffisante pour que ces personnes ou ces groupes mettent en place des mesures d'adaptation capables d'atténuer leur vulnérabilité. Comme les activités du marché, ces actions n'ont pas besoin d'être centralisées et dirigées par un organe public. Cependant, comme dans le cas du marché, les pouvoirs publics sont sollicités pour fournir un environnement favorable qui permette aux agents privés de prendre des décisions d'adaptation efficaces, en temps voulu et en connaissance de cause. Lorsque l'action privée échoue du fait d'effets externes ou d'autres déficiences, les pouvoirs publics peuvent être amenés à proposer des mesures d'adaptation sous forme de biens publics. De même, l'envergure et/ou l'efficacité de nombreuses adaptations généralement prises en charge par les pouvoirs publics pourraient être renforcées par la participation du secteur privé. Il faut donc mettre en place des instruments économiques<sup>1</sup> qui permettent d'accélérer cette participation et de veiller à ce qu'elle donne les résultats escomptés. Ces outils peuvent viser à engager le public sur des marchés, à créer des marchés, des réglementations ou des accords légaux. Un grand nombre d'instruments de politiques publiques sont pertinents pour l'adaptation dans plusieurs secteurs, dont les régimes d'assurances, les signaux-prix sur les marchés, des systèmes de financement par le biais de partenariats public-privés (PPP), des mesures réglementaires incitatives, et des mesures encourageant la recherche et le développement.

### **1.3 Estimations empiriques des coûts et des bénéfices de l'adaptation : une analyse critique des ressources en eau :**

Les changements de température et les variations des courbes de précipitations influenceront sur l'approvisionnement en eau. Les effets du changement climatique sur les précipitations sont assez incertains et très différents d'une région à l'autre. Ils affecteront de nombreux secteurs dépendants des ressources en eau, comme l'approvisionnement en eau potable, le traitement des eaux usées et l'agriculture. Les utilisations de la ressource sans prélèvement, comme la navigation ou la production hydroélectrique, en subiront aussi les effets. En outre, la qualité des eaux de rivière pourra aussi souffrir de la baisse des débits des cours d'eau, d'une hausse des températures et d'une plus forte concentration de matière organique due à des précipitations et à une érosion plus intenses. La moins bonne qualité de l'eau ainsi que les



changements dans les débits des cours d'eau auront sans doute des conséquences sur la santé des écosystèmes.

Dans le secteur de l'eau, l'adaptation doit reposer sur une combinaison de mesures agissant à la fois sur l'offre et la demande. Les mesures agissant sur l'offre sont de deux types : (i) renforcement de l'offre, par la construction de nouvelles infrastructures de stockage, la prospection et l'extraction d'eau souterraine, l'élimination des espèces envahissantes des réservoirs d'eau, la collecte d'eau de pluie et le transfert d'eau ; et (ii) exploitation de ressources d'eaux inutilisables grâce au dessalement, à la réutilisation des eaux usées et d'autres mesures. Parallèlement, les mesures concernant la demande visent à la réduire et à promouvoir une utilisation plus efficace de l'eau, par le recyclage, la modification des habitudes d'utilisation, l'importation des produits qui nécessitent d'importants prélèvements d'eau, un recours accru à une agriculture pluviale, une meilleure utilisation des marchés de l'eau et d'autres incitations économiques.

Bien que très limités, les travaux sur l'adaptation dans le secteur de l'eau couvrent un ensemble diversifié d'impacts et de mesures d'adaptation.

Cette section fait le point sur les quelques études consacrées aux coûts et aux bénéfices des mesures d'adaptation en relation avec ces impacts, suivi de l'analyse de l'unique étude sur les coûts des mesures d'adaptation au niveau mondial.

### **1.3.1 Estimations régionales et locales des coûts et bénéfices :**

Des évaluations ont été faites sur les coûts et les bénéfices des mesures d'adaptation destinées à compenser les effets du changement climatique sur la disponibilité, la fiabilité et la qualité des ressources en eau. Aux États-Unis, Kirshen *et al* (2006)<sup>10</sup> ont évalué la fiabilité des systèmes de l'alimentation en eau locaux et régional de l'agglomération de Boston dans des conditions de changement climatique. Pour ce faire, ils ont calculé la demande d'eau à partir de projections de croissance démographique et économique, associées à des scénarios d'alimentation en eau élaborés en fonction des impacts du changement climatique sur les précipitations et l'évapotranspiration. Dans le scénario de référence (absence d'adaptation au changement climatique), ils ont constaté que la fiabilité des systèmes locaux de distribution d'eau serait ramenée du niveau actuel de 100 % à moins de 80% d'ici 2100. Cette baisse pourrait cependant être compensée (modestement) par une gestion de la demande, tandis que

---

<sup>10</sup>Aspects économiques de l'adaptation au changement climatique. Coûts, bénéfices et instruments économiques – ISBN-978-92-64-04686-3 © OECD 2008. ShardulAgrawala et Samuel Fankhauser. P 60.

la connexion des réseaux locaux au réseau régional principal de distribution d'eau permettrait d'améliorer fortement la fiabilité à presque 100 %. Les coûts de ces mesures n'ont pas été évalués. Cependant, la même étude examine les coûts des mesures d'adaptation nécessaires pour maintenir la qualité de l'eau de la rivière Assabet près de Boston. Dans ce cas précis, le changement climatique influe sur la qualité de l'eau en multipliant le nombre de sources diffuses de pollution, en augmentant la température des cours d'eau, et en abaissant encore les flux les plus bas. Les stratégies d'adaptation étudiées tiennent compte du coût supplémentaire nécessaire du traitement des eaux usées pour faire baisser l'apport de nutriments dans la rivière, ainsi que de la création de zones humides et de bassins d'infiltration contribuant à réduire les rejets des sources diffuses. Les résultats montrent que le changement climatique et la croissance démographique entraîneraient des coûts en capital se situant entre 30 millions et 39 millions USD, et des coûts d'exploitation annuels entre 300 000 et 600 000 USD pour le maintien des colonies aquatiques de l'Assabet. Sans ces changements, les coûts en capital nécessaires pour maintenir la qualité de l'eau s'élèveraient à 22.5 millions USD, avec des coûts d'exploitation annuels de 210 000 USD.

La plupart de ces changements sont dus au changement climatique car cette région a déjà atteint un seuil de développement extrêmement élevé.

Il existe aussi des estimations des coûts d'adaptation des équipements de distribution d'eau au Canada. Dore et Burton (2001)<sup>11</sup> ont évalué les coûts d'adaptation aux effets du changement climatique sur la distribution d'eau potable et la capacité de traitement des eaux usées. Le système de distribution d'eau sera probablement affecté par le changement climatique car les périodes et les caractéristiques régionales des précipitations risquent de changer. Comme on prévoit une augmentation des précipitations dans beaucoup de régions, l'approvisionnement en eau potable ne devrait pas être affecté. En revanche, de nombreuses régions devront faire face à des coûts d'adaptation, car les capacités de traitement et de stockage des eaux usées seront dépassées par l'augmentation des précipitations, et par conséquent, devront être augmentées. Les auteurs ont envisagé plusieurs stratégies d'adaptation : construire de nouvelles installations de traitement des eaux usées, améliorer l'efficacité des installations en place, ou accroître le nombre de bassins de rétention. Les résultats montrent que les coûts d'adaptation à Toronto pourraient atteindre 9.4 milliards CAD en tenant compte des phénomènes extrêmes.

---

<sup>11</sup>Aspects économiques de l'adaptation au changement climatique. Coûts, bénéfices et instruments économiques – ISBN-978-92-64-04686-3 © OECD 2008. ShardulAgrawala et Samuel Fankhauser. P 61.

Muller (2007)<sup>12</sup> a utilisé une autre méthode et estimé que les coûts de l'adaptation des infrastructures urbaines de distribution d'eau en Afrique (sub-saharienne) devraient représenter entre 2 et 5 milliards USD par an.

Cette étude repose sur trois hypothèses : (i) Les rendements fiables assurés par les barrages diminueront au même rythme que les débits des cours d'eau : une baisse de 30 % du débit moyen se traduira par une baisse de 30 % du rendement, tandis que le coût unitaire de l'eau augmentera de plus de 40 % ; (ii) dans les endroits où les déchets sont jetés dans les cours d'eau, la charge en polluants devra être réduite de 30 % si le débit baisse de 30 % ; en outre, comme le traitement nécessaire pour aboutir à des niveaux de pollution plus faibles coûte de plus en plus cher, le coût global du traitement des eaux usées pourrait doubler ; (iii) la production d'énergie se réduit proportionnellement au débit : une baisse de 30 % du débit entraîne une baisse de 30 % de la production d'électricité. Ces montants représentent d'une part les coûts d'adaptation des infrastructures existantes, compris entre 1 050 millions USD et 2 650 millions USD ; et les coûts des installations nouvelles d'autre part, qui pourraient s'élever entre 990 millions USD et 2 550 millions USD.

À un niveau plus local, Callaway *et al.* (2006)<sup>13</sup> fournissent des estimations des coûts et des bénéfices de l'adaptation de la gestion de l'eau du bassin de la rivière Berg en Afrique du Sud. Les mesures d'adaptation envisagées incluent la création d'un marché efficient de l'eau, et l'accroissement des capacités de stockage de l'eau par la construction d'un barrage. Compte tenu des effets du changement climatique sur la demande urbaine et agricole, ils ont estimé les coûts et les bénéfices des stratégies d'adaptation concernant le stockage et le marché de l'eau. L'impact actualisé du changement climatique dans les 30 années à venir coûterait selon leurs estimations de 13.5 milliards à 27.7 milliards ZAR<sup>14</sup>. Les gains de bien-être résultant de l'adaptation des capacités de stockage au titre des droits d'affectation en vigueur sont estimés à 0.2 milliard ZAR environ, tandis que le renforcement des capacités de stockage associé à des marchés de l'eau efficients aboutirait à des gains compris entre 5.8 milliards et 7 milliards ZAR. Les auteurs ont évalué la robustesse des mesures d'adaptation prises et montré que, si les marchés de l'eau sont efficients, les coûts réels de l'inaction en

---

<sup>12</sup>Aspects économiques de l'adaptation au changement climatique. Coûts, bénéfices et instruments économiques – ISBN-978-92-64-04686-3 © OECD 2008. ShardulAgrawala et Samuel Fankhauser. P 61.

<sup>13</sup>Aspects économiques de l'adaptation au changement climatique. Coûts, bénéfices et instruments économiques – ISBN-978-92-64-04686-3 © OECD 2008. ShardulAgrawala et Samuel Fankhauser. P 62.

<sup>14</sup>Rand, la monnaie de l'Afrique du sud.

terme de politique d'adaptation au changement climatique sont plus importants que les coûts de l'adaptation à un changement climatique qui ne se réaliserait pas.

Le changement climatique conduira sans doute à un recul rapide des glaciers, qui aura pour conséquence la rupture du cycle de l'eau dans de nombreux bassins fluviaux dépendant des glaciers, ce qui influera sur la régulation de la distribution d'eau et la disponibilité de cette ressource. Vergara *et al.* (2007)<sup>15</sup> ont estimé les coûts éventuels d'adaptation au changement climatique à Quito (Équateur). Ils suggèrent que la ville devra procéder à une dérivation supplémentaire d'eau et à la construction de nouvelles infrastructures à un rythme accéléré pour faire face à une baisse de la disponibilité en eau à partir des sources habituelles, à cause du recul des investissements accélérés à effectuer dans les 20 années à venir s'élèverait à 100 millions USD environ, ce qui représente une hausse de 30 % par rapport aux infrastructures nécessaires dans le scénario « d'absence de changement climatique ».

Enfin, le changement climatique aura aussi des conséquences sur la gestion des inondations fluviales par le biais d'une augmentation des précipitations et des événements extrêmes, qui en toute vraisemblance altéreront les débits des cours d'eau. Une étude de cas a été menée par l'Agence européenne de l'environnement (AEE, 2007) sur les effets du changement climatique sur la gestion des inondations fluviales du Rhin. Il est prévu que le changement climatique ait un effet significatif sur le débit maximal d'un certain nombre de cours d'eau européens comme le Rhin. Des mesures destinées à gérer les inondations fluviales doivent non seulement prendre en compte les développements naturel et socio-économique de long terme, mais aussi les risques induits par le changement climatique. L'étude de l'AEE conclut que l'adaptation pourrait réduire les risques accrus d'inondations fluviales induits par le changement climatique, à des coûts relativement modestes. Les investissements optimaux dans des ouvrages de défense contre les inondations sont estimés à environ 1.5 milliards EUR, et les bénéfices significatifs qu'ils produiraient se chiffrent entre 39.9 milliards et 1.1 milliard EUR au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, notamment en réduisant les dommages matériels provenant des inondations supplémentaires induites par le changement climatique.

Dans l'ensemble, les travaux effectués sur l'adaptation de l'offre et de la demande d'eau aux effets du changement climatique au niveau régional restent trop rares et limités à des contextes particuliers pour permettre une évaluation générale des coûts. Néanmoins, ils permettent de tirer certaines conclusions. Dans les régions où une augmentation des

---

<sup>15</sup>Aspects économiques de l'adaptation au changement climatique. Coûts, bénéfices et instruments économiques – ISBN-978-92-64-04686-3 © OECD 2008. ShardulAgrawala et Samuel Fankhauser. P 62.

précipitations est prévue, ce sont les questions de la gestion des inondations et du traitement des eaux usées qui risquent de devenir problématiques, et d'entraîner d'importantes dépenses supplémentaires d'adaptation. En revanche, dans les régions qui connaîtront une baisse des précipitations ou des ressources en eau résultant du recul des glaciers, il sera très intéressant d'investir pour accroître les capacités de stockage et faire en sorte que la répartition de l'eau soit plus efficace. Il faudra cependant étudier les difficultés d'accès au marché des populations urbaines pauvres et les conséquences sociales qui en résultent. Pour une bonne alimentation en eau potable, la diversification des sources d'approvisionnement par l'interconnexion des réseaux de distribution peut aussi être avantageuse. Le maintien de la qualité de l'eau des rivières risque de présenter des coûts très élevés pour les pouvoirs publics.

### **1.3.2 Les coûts mondiaux :**

Il n'existe qu'une seule évaluation des coûts d'adaptation des ressources en eau à l'échelle mondiale (Kirshen, 2007)<sup>16</sup>. Celle-ci donne une estimation des coûts mondiaux d'adaptation liés aux infrastructures complémentaires liées à la gestion de l'eau qui seront nécessaires en 2030 compte tenu de la demande totale d'eau, actuelle et future, dans quatre secteurs (domestique urbain/commercial, irrigation, domestique rural et industriel), et des ressources en eau de plus de 200 pays. Les coûts ont été évalués sur quatre types d'infrastructures principales de gestion de l'eau : des réservoirs de stockage complémentaire en surface et des puits souterrains pour renforcer la capacité de stockage des réservoirs et puits existants, ainsi que des usines de dessalement et des technologies de récupération d'eau pour faire face aux situations de pénurie d'eau. Cette étude compare la demande d'eau de différents secteurs pour les années à venir aux ressources en eau disponibles.

Puis, elle détermine les infrastructures de production supplémentaires nécessaires, selon une législation internationale qui limiterait les prélèvements d'eau en 2050 à 40 % des ressources domestiques totales et disponibles en eau. Dans le cas où un pays aurait des besoins de prélèvement en eau largement couverts par ses ressources nationales disponibles (et qui se trouverait donc en conformité avec la législation mentionnée), les coûts des réservoirs et puits supplémentaires nécessaires sont évalués. Il est supposé que les besoins en eau doivent être satisfaits dans l'ordre qui suit : besoins domestiques/commerciaux, industriels et agricoles (irrigation). Si une nation ne peut se conformer à la législation internationale parce qu'elle se trouve dans une situation de pénurie d'eau, c'est-à-dire que les prélèvements dépasseraient 40

---

<sup>16</sup>Aspects économiques de l'adaptation au changement climatique. Coûts, bénéfices et instruments économiques – ISBN-978-92-64-04686-3 © OECD 2008. ShardulAgrawala et Samuel Fankhauser. P 64.

% des flux annuels moyens, elle doit recourir (par ordre de priorité) au dessalement pour les besoins domestiques/commerciaux, et à la réutilisation des eaux usées traitées pour les besoins de l'irrigation. Les coûts de mise en œuvre de ces technologies sont ensuite évalués et ajoutés à ceux des réservoirs et des puits complémentaires nécessaires. Mais même en utilisant toutes ces sources possibles, certaines nations devront faire face à des pénuries d'eau, et devront compter sur de l'eau virtuelle pour répondre à leurs besoins.

L'auteur de cette évaluation conclut que les coûts d'adaptation dans le secteur de l'eau atteindront 531 milliards USD environ jusqu'en 2030.

Cependant, ces coûts incluent les mesures d'adaptation aux évolutions économiques aussi bien que climatiques. Les coûts d'adaptation au changement climatique ne sont pas isolés des autres investissements à effectuer. D'après les estimations, l'Amérique du Nord et l'Europe auraient besoin ensemble de 80 milliards USD, soit 15 % des coûts totaux d'adaptation ; dans les pays en développement, c'est-à-dire essentiellement l'Asie et l'Afrique, ce montant atteindrait 451 milliards USD (85 %).

L'analyse de Kirshen (2007) a par conséquent été modifiée et publiée par la CCNUCC (2007)<sup>17</sup>, qui évalue la totalité des coûts d'adaptation mondiaux à 898 milliards USD pour la période jusqu'en 2030. Ces coûts consolidés prennent en compte deux facteurs qui ne l'ont pas été dans l'analyse de Kirshen (2007) : (i) l'augmentation des coûts de stockage de l'eau dans les réservoirs de surface et souterrains, car les meilleurs lieux sont déjà occupés ; et (ii) la demande d'irrigation non satisfaite. La version consolidée de la CCNUCC estime aussi que les coûts des mesures d'adaptations mises uniquement en place afin de répondre aux effets changement climatique représente 25% des coûts totaux, soit 225 milliards USD pour la période jusqu'en 2030, ce qui équivaut à environ 11 milliards USD par an.

La méthode analytique de cette évaluation est logique et assez détaillée, mais elle comporte des limites importantes. Premièrement, les estimations de coûts n'intègrent pas les coûts d'exploitation et d'entretien.

Deuxièmement, les montants des coûts des différentes mesures sont empiriques, et en général fondés sur des situations propres aux États-Unis, et l'extrapolation de ces chiffres à d'autres régions s'appuie uniquement sur les différences régionales des coûts. Troisièmement, et c'est peut-être le point le plus important, l'étude tient compte de l'évolution vers une utilisation plus efficace de l'eau, mais elle ne calcule que les coûts des solutions d'adaptation adoptées

---

<sup>17</sup>Aspects économiques de l'adaptation au changement climatique. Coûts, bénéfices et instruments économiques – ISBN-978-92-64-04686-3 © OECD 2008. ShardulAgrawala et Samuel Fankhauser. P 65.

du côté de l'offre (comme les investissements en infrastructures de stockage) sans estimer explicitement les coûts des mesures destinées à agir sur la demande, comme la promotion des pratiques autochtones d'utilisation durable de l'eau, un recours accru à une agriculture pluviale ou un recours plus important à des marchés de l'eau et autres incitations économiques. La prise en compte de ces mesures pourrait abaisser significativement les coûts d'adaptation.

**Conclusion :**

Les estimations des coûts d'adaptation au niveau mondial sont très récentes. Elles indiquent que l'adaptation au changement climatique à l'échelon mondial coûtera plusieurs milliards de dollars par an. Bien qu'elles puissent être utiles au débat général sur l'adaptation et son financement, les estimations multisectorielles disponibles comportent de très importantes limites. Très rapidement, il y a eu un consensus prématuré autour des estimations initiales, qui sont très sensibles aux hypothèses formulées au départ. Dans la plupart des cas, les estimations des coûts d'adaptation dans le monde ne sont pas directement mises en relation avec des activités spécifiques d'adaptation, et les bénéfices apportés par les investissements d'adaptation ne sont pas expliqués. Il se pose aussi des problèmes de double comptabilisation, et d'extrapolation à l'échelle mondiale à partir de données très limitées (et souvent locales). En même temps, de nombreux secteurs et adaptations n'ont pas été inclus dans ces estimations. Pour toutes ces raisons, il peut être trompeur de s'en tenir aux indications données par les chiffres qui ressortent des rapports coûts bénéfices de l'adaptation sans prêter suffisamment attention aux hypothèses sur lesquelles reposent chacune des études empiriques. L'analyse des coûts et des bénéfices de l'adaptation au niveau sectoriel, national et mondial soulève d'autres problèmes fondamentaux. L'adaptation est un concept assez flou dont les contours n'ont pas encore été clairement définis. Déterminer avec certitude ce qui est ou non du domaine de l'adaptation reste difficile, et cette ambiguïté risque d'affecter sensiblement le calcul des coûts. Par exemple, faut-il inclure dans l'adaptation uniquement les actions qui réduisent le risque climatique, ou envisager aussi celles qui renforcent la capacité d'un système à y faire face ? S'il s'agit à la fois de réduire les risques et de renforcer les capacités, on peut s'attendre à une forte hausse des coûts, car l'ensemble des actions prises en compte sera beaucoup plus vaste.

En outre, il est difficile de distinguer l'adaptation au risque climatique seul de l'adaptation à tous les risques. Les pratiques agricoles, l'aménagement du territoire ou la conception des infrastructures, par exemple, peuvent prendre en compte des considérations climatiques pour le présent et l'avenir, mais en isoler les coûts risque d'être impossible car les décisions prises dépendent aussi de nombreux autres facteurs (souvent plus importants). Dans le secteur de l'eau, les coûts correspondent souvent à des mesures d'adaptation justifiées par l'évolution démographique et économique comme par le changement climatique. En outre, on ajoute un élément supplémentaire de complexité en voulant séparer les coûts de l'adaptation à la variabilité du climat d'une part et au changement climatique d'autre part, car les situations



d'adaptation sont rarement aussi clairement définies que, par exemple, la construction d'une nouvelle usine de dessalement pour augmenter l'approvisionnement en eau en réponse à une sécheresse aigue due au changement climatique.

Les estimations de coûts d'adaptation sont aussi extrêmement sensibles au choix des mesures. Les études s'intéressent pour la plupart à des mesures d'adaptation « structurelles », plus faciles à chiffrer que d'autres mesures, par exemples celles de type « comportemental ». Les études sur les zones côtières, par exemple, sont axées sur les mesures structurelles de protection comme la construction de digues, sans mentionner les possibilités de mesures non structurelles comme la planification de l'utilisation des sols et la mise en place de réglementations de la construction. Dans le secteur de l'eau, les études de coûts sont centrées sur les interventions du côté de l'offre, comme la construction de réservoirs, de barrages et d'installations de traitement des eaux usées, et moins sur les mesures susceptibles d'agir sur la demande, comme la promotion d'une utilisation rationnelle de l'eau par le recyclage, la modification des habitudes de consommation, l'utilisation accrue des marchés de l'eau et d'autres incitations financières et économiques.

De telles adaptations des comportements peuvent sensiblement contribuer à abaisser le coût global de l'adaptation. Elles peuvent aussi favoriser l'internalisation des risques climatiques pour le présent et l'avenir, dans le processus de prise de décision et de choix.

Lors de l'analyse de l'utilisation des ressources en eau, il y a lieu de considérer que les phénomènes hydrologiques sont aléatoires et que certains événements hydro-météorologiques sont imprévisibles, de sorte que les planificateurs et leurs solutions doivent prendre en compte les éléments de risque et d'incertitudes. Une autre source de risque et d'incertitude sont les erreurs de mesure et la variabilité des situations complexes du point de vue social et économique. La question de risque total est abordée à travers le processus d'évaluation et de gestion des risques.

## Chapitre 02:

### Bilan de la situation de l'eau en Algérie

#### Introduction :

L'accès à l'eau douce est devenu aujourd'hui, pour de nombreux pays, un enjeu stratégique essentiel. Bien qu'apparemment inépuisable, l'eau est très inégalement répartie dans le monde. Au vu du développement industriel et de la demande de plus en plus croissante, tous les pays auront, à plus ou moins brève échéance, à faire face aux problèmes du manque d'eau.

Sur les 547 millions de Méditerranéens (dont 258 millions vivent dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée), 20 millions n'ont pas accès à l'eau potable et 47 millions n'ont pas de système d'assainissement adéquat (25 % des ménages d'Afrique du Nord n'ont même pas accès à des latrines et sont particulièrement exposés aux maladies hydriques).

En région méditerranéenne, l'eau est une ressource rare, fragile et inégalement répartie. La demande a doublé dans la deuxième moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, notamment du fait de l'agriculture qui représente 64 % de l'utilisation de l'eau dans le bassin méditerranéen. Or les pertes (fuites et transferts) représentent plus du double de l'accroissement des besoins. Leur limitation permettrait d'éviter la construction de près de 100 barrages d'ici 2015. Le réchauffement climatique induirait une augmentation de la température annuelle moyenne sur cette région de 2,2 à 5,1°C (soit nettement plus que la moyenne planétaire) provoquant un renforcement des phénomènes hydrologiques extrêmes (sécheresses et inondations). Les pays les plus menacés par le manque d'eau sont la Libye, les Territoires palestiniens, la Jordanie, Israël et Malte, suivis par la Syrie, Chypre, la Tunisie et l'Algérie.

La mise en place d'outils pour permettre aux pays en développement de s'adapter aux conséquences du changement climatique est une priorité de l'action internationale. Ainsi, dans le cadre du Protocole de Kyoto, la France et l'Union européenne ont soutenu la création du Fond d'adaptation destiné à financer les projets d'adaptation au changement climatique des pays en développement. Il s'agit dorénavant de veiller à l'utilisation de ce fond en faveur du secteur de l'eau. Les projets attendus peuvent recouvrir diverses formes : développement du potentiel hydroélectrique, meilleure utilisation des eaux en agriculture, développement de ressources alternatives en zones arides, lutte contre les fuites, recyclage d'eaux usées, récupération d'eaux de pluies, dessalement, campagnes d'information du public pour les économies d'eau.

En Algérie, la disparité de la disponibilité des ressources hydriques est frappante. Les ressources potentielles en eau sont limitées et inégalement réparties. Elles ont été évaluées à 19.2 milliards de m<sup>3</sup>, dont 12.4 milliards de m<sup>3</sup> d'eau de surface, 1.8 milliards de m<sup>3</sup> d'eau souterraine du Nord et 5 milliards de m<sup>3</sup> d'eau souterraine exploitables dans le Sud.

L'agriculture irriguée consomme environ 70 % des ressources en eau disponibles du pays, l'alimentation en eau potable 20% et l'industrie 10%. Les problèmes de l'eau revêtent donc en Algérie une exceptionnelle importance étant donné que le pays est essentiellement agricole, sous un climat aride, méditerranéen et steppique, et que les besoins alimentaires sont grandissants pour nourrir une population de plus en plus nombreuse.

Il faudrait, en effet, disposer annuellement de 15 à 20 milliards de m<sup>3</sup>, en allouant 70 % à l'agriculture, pour parvenir à une sécurité alimentaire satisfaisante. C'est dire l'extrême tension exercée sur ces ressources lorsque l'on sait que l'Algérie mobilise à peine au plus 5 milliards de m<sup>3</sup> d'eau par an.<sup>1</sup>

Avec la démographie et le développement industriel sans cesse croissants, l'Algérie est confrontée à une demande en croissance permanente en eau potable, en eau agricole et en eau industrielle.

Face à cette problématique une adaptation s'est donc imposée, et a conduit l'état algérien à envisager la mobilisation de nouvelles ressources en eau par le billet du dessalement de l'eau de mer, la récupération des eaux usées et l'injection des eaux de surface dans les nappes souterraines.<sup>2</sup>

Les données énoncées dans la présente étude sont purement théoriques en l'absence de sources officielles actualisées et ne peuvent dans le cas présent refléter la réalité de la situation

---

<sup>1</sup> Source : Site MRE, mre.gov.dz (ministère des ressources en eau) données publiées.

<sup>2</sup> Site MRE, mre.gov.dz (ministère des ressources en eau) données publiées.

## **2.1 Etat des lieux, prospective des ressources en eau et leur utilisation**

### **2.1.1 Données de base sur les ressources en eau :**

#### **2.1.1.1 Les caractéristiques naturelles :**

Le territoire algérien s'étend sur 2,4 millions de km<sup>2</sup>. Du Nord au Sud, on trouve trois ensembles très contrastés, différents par leur relief et leur morphologie. Tout d'abord, la chaîne du Tell et le littoral, puis la chaîne de l'Atlas qui longe les Hautes Plaines plus au Sud, enfin, le désert saharien qui s'étend au-delà du massif de l'Atlas. C'est cette disposition du relief qui, avec les conditions climatiques, détermine le potentiel agricole et les ressources en eau du pays.

La majeure partie du pays (87%) est un désert où les précipitations sont quasi nulles, mais qui recèle d'importantes ressources fossiles d'eaux souterraines. La partie Nord du pays est caractérisée par son climat méditerranéen ; elle dispose de ressources en eau renouvelables, tant pour les eaux de surfaces que pour les nappes phréatiques. Les 90% des eaux de surface sont situées dans la région du Tell qui couvre environ 7% du territoire. Le pays est également caractérisé par une forte disparité entre l'Est et l'Ouest. La région Ouest est bien dotée en plaines mais est peu arrosée. La partie Est du pays est une zone montagneuse où coulent les principaux fleuves.

Le climat de l'Algérie connu pour sa grande diversité spatiale et sa grande variabilité interannuelle se distingue par :

- une variabilité spatiale et temporelle marquée. S'il pleut uniquement 350 mm en moyenne dans la région Ouest, cette moyenne peut dépasser les 1000 mm à l'Est et atteindre, certaines années, les 2000 mm sur les reliefs élevés.
- une pluviométrie qui décroît rapidement vers le Sud. A la lisière du Sahara, la moyenne devient inférieure à 100 mm.
- une concentration des précipitations en un nombre réduit de mois durant l'année (de décembre à avril représentant les 5 mois les plus productifs).

### **2.1.1.2 Les ressources en eau :**

Les données sur les ressources en eau sont tirées du site du MRE ([www.mre.gov.dz](http://www.mre.gov.dz)).

Le pays est divisé en 5 bassins hydrographiques regroupant les 17 bassins versant. Les ressources en eau ne sont pas réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, de leur quantité ou de leur nature (eaux de surface ou souterraines).

#### **2.1.1.2.1. Les potentialités globales en eau :**

Les potentialités globales en eau sont évaluées à 19.4 milliards de m<sup>3</sup>/an.

Les ressources en eau souterraine contenues dans les nappes du Nord du pays (ressources renouvelables) sont estimées à près de 2 Milliards de m<sup>3</sup>/an. Les ressources superficielles y sont estimées à 12 milliards de m<sup>3</sup>/an.

Le Sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraine considérables provenant des nappes du Continental Intercalaire (**CI**) et du Complexe Terminal (**CT**). Les réserves d'eau y sont très importantes et sont de l'ordre de 60 000 milliards de m<sup>3</sup> dont 40 000 milliards sont situées en Algérie. La particularité de cette ressource est qu'elle n'est pas renouvelable.

#### **2.1.1.2.2 Capacité de mobilisation :**

Les capacités totales de mobilisation sont de 12 milliards de: m<sup>3</sup>/an dont:

- Un volume de 6,8 Milliards au Nord (5 Milliards de m<sup>3</sup>/an pour les eaux de surface, 1.8 Milliards de m<sup>3</sup>/an pour les eaux souterraines).
- Un volume de 5,2 Milliards de m<sup>3</sup>/an dans les régions Sahariennes qui équivaut aux réserves exploitables sans risque de déséquilibre hydrodynamique.

Ces ressources sont principalement mobilisées par :

- Les barrages : La capacité totale des 57 barrages des 5 bassins hydrographiques est de 6 milliards de m<sup>3</sup> en 2008 et un volume régularisable de 3 Milliards de m<sup>3</sup>. Sur la base des projets en cours, l'Algérie disposera en 2013, d'un parc de grands ouvrages de mobilisation de la ressource, composé de 72 barrages faisant passer la capacité de mobilisation à 7,40 milliards de m<sup>3</sup>.

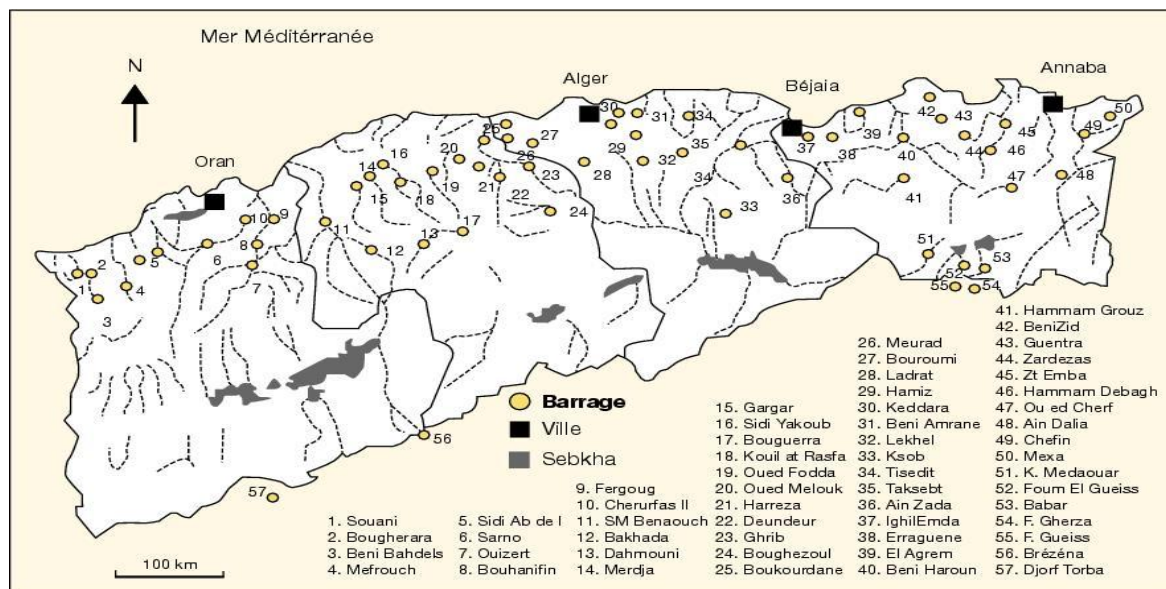


Figure 2.1 : Répartition des barrages en exploitation dans le Nord algérien.<sup>3</sup>

L'exploitation des eaux souterraines atteint actuellement 1.6 milliards de m<sup>3</sup> par forages et 85 millions de m<sup>3</sup> par foggaras.

Tableau 2.1 : Ressources en eaux souterraines : les nappes dont les potentialités > 10 millions de mètres cubes<sup>4</sup>

N°	Nappes	Potentialités(Hm3)	Prélèvements(Hm3)
1	Plaine de Maghnia	15	15
2	Monts de Tlemcen	40	40
3	Plaine de Sidi Bel Abbès	30	30
4	Dj.Murdjadjo-Brédéah	12	12
5	Chott chergui	54	32
6	Plateau Sersou	12	12
7	Plaine de la Mina	17	14
8	Plaine de AinOussera	27	09
9	Zahrez	50	16
10	Plateau Ksar Chellala	14	10
11	Plaine de Bouira	15	15

<sup>3</sup>Source : Site MRE, mre.gov.dz (ministère des ressources en eau) données publiées.

<sup>4</sup>Source : site du MRE (www.mre.gov.dz).

12	Plaine côtière Bejaia	35	17
13	Vallée de la Soummam	100	80
14	Plaine Alluv Oued Djer	20	20
15	Mitidja	328	335
16	Sahel	28	28
17	Boudouaou	12	12
18	Calcaire de Toudja	15	15
19	Calcaire de Bejaia	17	17
20	Sebaou	53	33
21	Chott El Hodna	133	81
22	Synclinal de Dekhla	14	14
23	Plaine de TebessaMorsot	18	18
24	Plateau de Chrea	18	18
25	Plaine de Biskra Tolga	60	60
26	Oued Nil	20	16
27	Oued Djendjen	10	15
28	Plaine de Ain M'lila	22	08
29	Vallée de l'Oued Safsaf	12	12
30	Plaine de O.Kebir Ouest	15	10
31	Plaine de Guelma	17	17
32	Plaine de Annaba	45	45
33	Plaine alluviale Isser	35	12
34	Chellif	80	72
35	Oued M'zi	223	210
36	Chott Gharbi	40	03
37	Plateau de Saida	50	50
38	Plaine de Ghriss	70	70
	<b>TOTAL</b>	1776	1467

• Le dessalement de l'eau de mer est pratiqué dans 33 stations pour une capacité journalière de 2 317 000 m<sup>3</sup>, soit une production annuelle moyenne estimée à 671 930 000 millions de m<sup>3</sup> dont :<sup>5</sup>

- 21 stations monoblocs de dessalement d'eau de mer pour une capacité globale de 57 500 m<sup>3</sup>/j ont été réalisées au titre du programme d'urgence 2002. Le programme a été réalisé par deux entreprises.

**Tableau 2.2** : les 08 stations d'une capacité de 22 500 m<sup>3</sup>/j réalisées par LINDE-KCA / Allemagne <sup>6</sup>

N°	Désignation	Wilaya	Capacité Optimale M3/j
<b>01</b>	Ain Benian 1	Alger	2 500
<b>02</b>	Ain Benian 2	Alger	2 500
<b>03</b>	Bou Ismail	Tipaza	5 000
<b>04</b>	Palm Beach	Alger	2 500
<b>05</b>	Zeralda 1	Alger	2 500
<b>06</b>	Zeralda 2	Alger	2 500
<b>07</b>	Ghazaouet 1	Tlemcen	2 500
<b>08</b>	Ghazaouet 2	Tlemcen	2 500
	<b>TOTAL</b>		<b>22 500</b>

**Tableau 2.3** : les 13 stations d'une capacité de 35 000 m<sup>3</sup>/j réalisées par Hydro Traitement / Algérie<sup>7</sup>

N°	Désignation	Wilaya	Capacité Optimale (M3/j)	Observations
<b>01</b>	Bousfer 1	Oran	3 000	
<b>02</b>	Bousfer 2	Oran	2 500	
<b>03</b>	Skikda 1	Skikda	2 000	
<b>04</b>	Skikda 3	Skikda	5 000	

<sup>5</sup> Site MRE, mre.gov.dz (ministère des ressources en eau) données publiées.

<sup>6</sup>Site du MRE (www.mre.gov.dz).

<sup>7</sup>Site du MRE (www.mre.gov.dz).



<b>05</b>	Tigzirt	Tiziouzhou	2 500	
<b>06</b>	Bateau Cassé 1	Alger	2 500	En cours de transfert vers Chatt El Ward ( W AinTemouchent)
<b>07</b>	Cap Caxine	Alger	2 500	En cours de transfert vers Chatt El Ward ( W AinTemouchent)
<b>08</b>	Corso	Boumerdes	5 000	
<b>09</b>	Les Dunes*	Oran	5 000	
<b>10</b>	Bateau Cassé 2	Alger	2 500	En cours de transfert vers Bouzedjar (W.AinTemouchent)
<b>11</b>	Ain Benian 3	Alger	2 500	En cours de transfert vers Bouzedjar (W.AinTemouchent)
	<b>TOTAL</b>		35 000	

### Transfert des stations monoblocs vers l'Ouest :

Suite à la sécheresse persistante au niveau de la région Ouest, il a été procédé à la délocalisation de certaines stations vers Oran, Ain Temouchent et Ténès.

**Tableau2.4:** les stations monoblocs transférées vers l'Ouest<sup>8</sup>

N°	Stations	Capacité	Affectation initiale	Wilaya	Affectation actuelle	Wilaya
<b>1</b>	Skikda 1	3x 1 000	Ben M' hidi	Skikda	Bousfer	Oran
<b>2</b>	Bateau cassé 3	2 500	Bateau cassé	Alger	Bousfer	Oran
<b>3</b>	Reghaia	2x2 500	Reghaia	Alger	Les Dunes/ Ain turck	Oran
<b>4</b>	Bateau cassé 2	2 500	Bordj El Kifan	Alger	Bouzedjar	Ain Temouchent
<b>5</b>	Ain Benian 3	2 500	Ain Benian	Alger	Bouzedjar	Ain Temouchent
<b>6</b>	Bateau cassé 1	2 500	Bordj El Kifan	Alger	Chett El Ward	Ain Temouchent
<b>7</b>	Cap Caxine	2 500	Cap Caxine	Alger	Chett El Ward	Ain Temouchent
<b>8</b>	Corso	5 000	Corso	Alger	Tenes	Chlef

<sup>8</sup>Site du MRE (www.mre.gov.dz).

➤ Et 13 grandes stations comme le montre le tableau suivant :

**Tableau 2.5** : les stations de dessalement en Algérie :<sup>9</sup>

Nom	Wilaya	Année de mise en service	Capacité (m3/j)
<b>Kahrama Arzew</b>	Oran	2005	90 000
<b>El Hamma</b>	Alger	2008	200 000
<b>Skikda</b>	Skikda	2009	100 000
<b>Beni-Saf</b>	Ain Temouchent	2009	200 000
<b>Mostaganem</b>	Mostaganem	2010	200 000
<b>Honaine</b>	Tlemcen	2010	200 000
<b>Ouled Ben Ayed</b>	Tlemcen	2010	200 000
<b>Douaoud</b>	Alger	2010	120 000
<b>Cap Djenet</b>	Boumerdes	2010	100 000
<b>Mactaa</b>	Oran	En voie d'achèvement	500 000
<b>Oued Sebt</b>	Tipaza	2010	100 000
<b>Tenès</b>	Chlef	2010	200 000
<b>Echatt</b>	Tarf	2011	50 000
<b>TOTAL</b>			226 0000

Depuis 2005, 12 stations, réalisées suivant la formule BOO (Build, Own, Operate), où conception, réalisation et exploitation de l'usine sont à la charge de l'investisseur privé étranger pendant le temps de la concession accordée par l'Etat, sont en service. La construction de 33 nouvelles autres stations est programmée à l'horizon 2019.

- Le recyclage des eaux usées épurées : Le volume annuel d'eaux usées rejetées est estimé à 730 millions de m<sup>3</sup>. La capacité installée d'épuration des eaux usées est de 365 millions de m<sup>3</sup>/an correspondant à 65 stations d'épuration en exploitation.

Cependant, il existe des obstacles à l'introduction de la réutilisation des eaux usées épurées pour la production directe d'eau potable, qui sont de trois ordres :

<sup>9</sup> Source : [www.mre.gov.dz](http://www.mre.gov.dz)

- techniques : le traitement physicochimique d'épuration des eaux usées et d'hygiène (pollution bactérienne ou virale) pour garantir l'obtention des critères de qualité désirés et la sécurité, aujourd'hui faciles à surmonter sans difficulté majeure,
- économiques : la superposition de traitements de l'eau et de procédés physicochimiques entraîne des coûts d'investissement et des frais de fonctionnement, et exige l'emploi d'une main d'œuvre qualifiée,
- psychologiques et culturels : souvent les plus importants ! Car les populations ne sont pas prêtes d'emblée à utiliser leurs eaux usées, même parfaitement régénérées, pour les besoins de leur propre consommation. Ce point important nécessite sensibilisation et information, d'autant que trop souvent les sources ou les puits traditionnels auxquels les populations s'approvisionnent sont contaminés par des rejets incontrôlés.

Ceci nécessitera donc beaucoup d'actions d'information et de formation.

### 2.1.1.3 Constat sur la situation actuelle :

A cet état de fait naturel, la situation d'insuffisance en Algérie est encore exacerbée par plusieurs contraintes :

- **Un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles** : la croissance démographique et le développement économique et social du pays ont induit durant les deux décennies écoulées, un accroissement considérable des besoins en eau potable, industrielle et agricole ;
- **Un déséquilibre géographique entre les besoins et les ressources** : la forte concentration des besoins en eau sur la bande littorale (60%) oblige à une réaffectation, par des transferts de ressources en eau assez coûteux financièrement, pour équilibrer les déficits de régions intérieures du pays, notamment toute la zone des Hauts Plateaux ;
- **La pollution des nappes et des ressources superficielles** : les rejets domestiques, industriels et agricoles dépassent de loin les capacités des systèmes d'épuration, ce qui réduit considérablement les volumes d'eau susceptibles d'être utilisés ;
- **Risque de rupture d'un développement durable** : en sus de la pollution, de sérieux problèmes apparaissent dans les prélèvements effectués dans les nappes souterraines qui dépassent les limites de renouvellement des ressources naturelles et nécessitent de puiser dans les réserves non renouvelables.

La faiblesse des ressources est encore aggravée par :

- la mauvaise répartition spatiale et temporelle de ces ressources ;
- l'érosion des sols et l'envasement des barrages ;
- les pertes dues à la vétusté des réseaux de distribution et à l'insuffisance de la gestion ;
- les coûts sans cesse importants des investissements nécessaires à la mobilisation et au transfert des ressources en eau.

Face à ces contraintes et l'évolution considérable de la demande en eau en Algérie, liée principalement à l'accroissement rapide de la population, au développement de l'urbanisation mais aussi à l'élévation du niveau de vie, le pays a été amené à accroître les capacités de stockage des eaux de surface, augmenter l'exploitation des nappes souterraines et réaliser des adductions et des transferts de volumes importants sur des distances de plus en plus grandes. Les dépenses publiques liées à l'eau ont augmenté régulièrement durant la présente décennie. Les investissements dans le secteur de l'eau qui ont doublé de 1999 à 2006 (1,3 % à 2,6 % du PIB) ont été pour la plus grande part (2/3 environ) consacrés aux grandes infrastructures de mobilisation et aux ouvrages d'adduction et de transfert. La mise en exploitation d'une trentaine de barrages au cours de la décennie a triplé la capacité de stockage d'eaux superficielles.

La volonté des responsables du secteur de l'eau a été, et demeure encore de mobiliser le maximum des potentialités naturelles de ressources en eaux et de développer en parallèle, des ressources nouvelles, notamment à partir du dessalement. Ces efforts considérables ont certes permis de combler des retards accumulés lors des années 90 et de répondre à des situations difficiles. Mais ils ont conduit aussi dans certains cas à un suréquipement et à des capacités insuffisamment utilisées.

## **2.2 Les principaux problèmes hydrauliques en Algérie**

En Algérie, le problème de l'eau a commencé à se poser avec acuité durant cette dernière décennie qui est caractérisée par une sécheresse persistante provoquant la diminution des ressources en eau.

Sur le plan pluviométrique, celui-ci se caractérise par l'insuffisance des précipitations et leur irrégularité dans l'espace et dans le temps (interannuelle et saisonnière). La rareté grandissante des ressources en eau, la dégradation de la quantité et les objectifs de développement économique et social imposent donc l'élaboration et la définition d'une stratégie de gestion de l'eau à moyen et à long terme. Cette ressource vitale est menacée dans

sa qualité et dans sa quantité. Malgré la construction de nouveaux barrages et le recours au dessalement, l'Algérie enregistrera un déficit en eau de 1 milliard de m<sup>3</sup> d'ici l'an 2025<sup>10</sup>.

Nous examinons dans cette étude les principaux problèmes qui affectent la quantité et la qualité des ressources en eau.

### **2.2.1 Les problèmes liés au changement climatique :**

Les données climatiques relevées dans la région du Maghreb durant le 20<sup>ème</sup> siècle indiquent un réchauffement durant ce siècle estimé à plus de 1°C avec une tendance accentuée les trente dernières années, Les modèles de circulation générale convergent pour estimer un réchauffement probable de la région de l'ordre de 2° à 4° durant le 21<sup>ème</sup> siècle.

Par son appartenance géographique à la zone aride et semi-aride, l'Algérie est soumise à des conditions physiques et hydro climatiques défavorables, accentuées par des périodes de sécheresses chroniques. L'Algérie présente une grande sensibilité au climat, notamment dans les hauts plateaux et la steppe qui couvrent environ 60% des terres viables du Nord.

Une modification du climat est donc inéluctable et il en résultera des impacts incontestablement négatifs, liés entre autres à l'augmentation des températures et des précipitations, à la raréfaction des ressources en eau et à la hausse de la fréquence des tempêtes.

#### **2.2.1.1 La sécheresse :**

La sécheresse intense et persistante, observée en Algérie durant les 30 dernières années et caractérisée par un déficit pluviométrique évalué à 30%<sup>11</sup>, a eu un impact négatif sur les régimes d'écoulement des cours d'eau, le niveau de remplissage des réservoirs de barrages, et l'alimentation des nappes souterraines, entraînant des conséquences graves sur l'ensemble des activités socio-économiques du pays. En tenant compte de cette sécheresse, les estimations du potentiel hydrique sont revues à la baisse : 17 milliards m<sup>3</sup>/an avec 10 milliards de m<sup>3</sup> des ressources superficielles dans la région Nord, soit une diminution de 11% par rapport au potentiel en eau estimé initialement à 19,2 milliards de m<sup>3</sup>.

Par ailleurs, l'Algérie est un pays à dominance semi aride à aride où l'agriculture pluviale pérenne ne concerne qu'un territoire de 1,5 millions d'ha, soit 18% de la surface agricole utile (SAU) et 3% de la surface agricole totale (SAT). Cette contrainte climatique vient s'ajouter à la faiblesse du ratio du capital de production, la SAT disponible par habitant, qui passera de 1,5 ha/hab à 1,02 ha/hab à l'horizon 2025.

<sup>10</sup> Source : Rapport CNES.

<sup>11</sup> Source : rapport sur L'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique: les défis du changement climatique.

Ces deux paramètres révèlent toute l'urgence du risque que connaissent et connaîtront particulièrement les petites et moyennes exploitations agricoles. Ce risque concerne plus de 90% des exploitations agricoles. Ils sont, aussi, fondamentalement indicateurs de la vulnérabilité et la fragilité du système de production dans la perspective d'assurer une sécurité alimentaire relativement indépendante limitant de fait le recours à l'utilisation de la politique de l'eau virtuelle.

Les études réalisées en Algérie indiquent à l'horizon 2020 une tendance différenciée selon les régions bioclimatiques. Cependant, l'évolution générale reste marquée par une augmentation de la température de +1°C ainsi qu'une réduction de la pluviométrie de 5 à 10%.

Les études menées sur l'agriculture et son devenir ont montré les risques majeurs accentuant la vulnérabilité des exploitations agricoles. Il s'agit notamment de :

- Ressources en sol fragilisées par les phénomènes de salinisation, en raison de l'augmentation de l'évaporation du sol,
- Aggravation du risque relatif à la sécurité alimentaire avec des réductions moyennes des rendements de céréales (de 7 à 14%) et des légumes (de 10 à 30%) à l'horizon 2030,
- Réduction de la durée de la période de croissance des cultures,
- Activité agricole en zones côtières réduites en relation avec la salification prévue des nappes,
- Réduction de la production agricole liée à une plus grande demande en eau de ce secteur associée à la diminution prévue de cette ressource et à la compétition accrue sur la ressource.

#### **2.2.1.2 Le taux de remplissage des barrages :**

La baisse d'écoulement dans les grands fleuves a eu des conséquences directes sur le remplissage de la plupart des retenues de barrages en Algérie construits dans les années 60 et 70. La région vit des déficits pluviométriques et hydrométriques. Les mauvaises conséquences qui en résultent ont conduit à de sérieuses perturbations socio-économiques des zones touchées. Parmi celle -ci on distingue :

- La diminution du niveau d'alimentation en eau des villes ;
- Les perturbations dans le fonctionnement de barrages hydro-électriques.

### **2.2.1.3 L'évaporation des lacs de barrages :**

Le phénomène de l'évaporation des lacs des barrages en Algérie est considérable ; une perte de volume très élevée est enregistrée annuellement dans les barrages. Les mesures de l'évaporation se font à l'aide d'un bac Colorado installé à proximité de la retenue.

En se basant sur les données extraites dans une étude<sup>12</sup> réalisée sur 39 barrages répartis sur les 04 bassins hydrographiques de l'Algérie du nord, trois zones de sensibilité de l'évaporation se dégagent du nord au sud. La première de faible évaporation dont la perte par évaporation est inférieure à 0,5 m/an et elle s'étend sur une largeur moyenne de 50 km à partir du littoral. Environ 25 barrages sont situés dans cette partie. La deuxième bande de moyenne évaporation, d'une largeur moyenne de 100 km, est située juste après la première dans laquelle 25 barrages sont exploitation; elle est caractérisée par une perte d'eau par évaporation inférieure à 1 m/an. Celle ci est suivie par une troisième bande caractérisée par une forte évaporation dont la perte s'élève à une hauteur d'eau supérieure 1m/an et même jusqu'à 2 m/an. Huit barrages en exploitation sont situés dans cette zone.

## **2.2.2 Les problèmes techniques :**

### **2.2.2.1 L'envasement des barrages en Algérie :**

L'envasement des réservoirs de barrages réduit régulièrement et inexorablement les capacités de ces ouvrages et les débits qu'ils régularisent et garantissent. Dans le cas, où l'érosion des sols est particulièrement active, les problèmes d'envasement des réservoirs de barrages sont très importants et rapides et menacent, à moyen terme de la perte de 20 à 30% des volumes stockés.

Cette perte ne peut quasiment pas être compensée par la création de nouveaux ouvrages de retenue en raison de l'absence de nouveaux sites favorables.

L'envasement des retenues Algériennes constitue sans doute la conséquence la plus grave de l'érosion hydrique, et un défi à surmonter pour l'Algérie. Le potentiel hydraulique perd annuellement environ 30 millions de mètres cubes, ce qui est énorme. Les 37 barrages en fonctionnement en 1990 dont la capacité de stockage initiale était de 3 900 millions de m<sup>3</sup> ont déjà perdu 11% de leur capacité initiale (430 millions de m<sup>3</sup>) et en 2010 l'envasement a atteint

---

<sup>12</sup> Source : Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 04, Juin 2005, pp.81-89.

24% (930 millions de m<sup>3</sup>)! Les barrages les plus anciens portent les marques les plus fortes : le barrage du Fergoug est envasé à 100%, celui du Ksob à 40%, celui du Zardenas à 40%<sup>13</sup>. Pour certaines retenues, la sédimentation annuelle peut représenter des valeurs de l'ordre de 6 % du volume total. Les effets néfastes de ce phénomène sont nombreux, allant de la réduction considérable de la capacité d'emmagasinement et de stockage du barrage, jusqu'à la dégradation nette de la qualité de l'eau du barrage. Parmi les multiples méthodes de lutttes expérimentées sur les barrages algériens, à savoir : le reboisement des bassins versants, la surélévation des digues, la construction de barrages de décantation et l'utilisation du barrage à onde de chasse, il a été fait recours à des opérations de dragage. Toutes ces méthodes restent partielles s' il n'y a pas une vision globale du phénomène et qui nécessite le concours de toutes les compétences scientifiques en la matière.

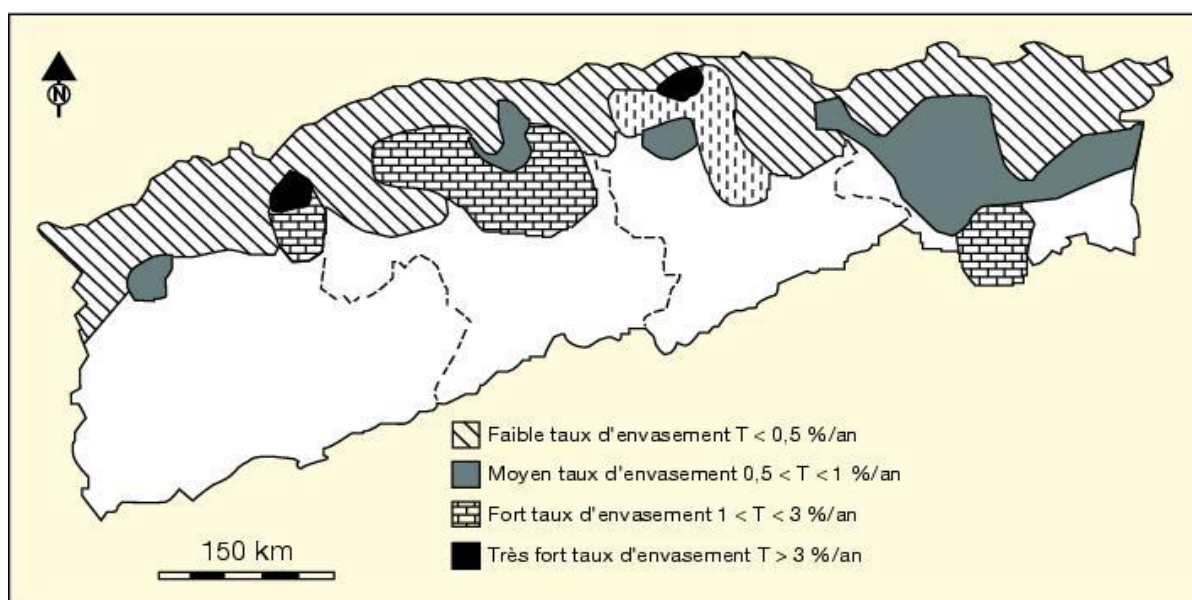


Figure 2.2: Carte de sensibilité à l'envasement des barrages.<sup>14</sup>

<sup>13</sup> Le monde arabe face au défi de l'eau enjeux et conflits. Georges MUTIN, p 151.

<sup>14</sup> Prévission de l'envasement dans les barrages du Maghreb B. REMINI, W. HALLOUCHE. p 78.



**Tableau 2.6** : Les barrages les plus envasés en Algérie <sup>15</sup>

<b>Barrages</b>	<b>Année de mise en eau</b>	<b>Capacité initiale (Mm3/an)</b>	<b>Comblement en 2006 (%)</b>	<b>Dévasement effectué (Mm3)</b>
<b>Fergoug</b>	1970	18	100	7
<b>Beni Amrane</b>	1988	16	80	3
<b>Meurad</b>	1860	1	80	
<b>Foum El Gherza</b>	1950	47	70	4
<b>Foum El Gueiss</b>	1939	3	67	
<b>Ghrib</b>	1939	280	60	
<b>Ksob</b>	1977	30	60	4
<b>Oued Fodda</b>	1932	228	57	45
<b>Bouhanifia</b>	1940	73	57	
<b>Boughezoul</b>	1934	55	56	
<b>Zardezas</b>	1977	27	54	10
<b>IghilEmda</b>	1953	155	35	47
<b>Hamiz</b>	1935	21	27	8
<b>DjorfTorba</b>	1969	350	27	
<b>Sarno</b>	1954	22	24	
<b>Bakhada</b>	1963	56	20	
<b>Beni Bahdels</b>	1952	63	17	
<b>Merdja</b>	1984	55	14	5

[En 2006, le volume total de réservoir est estimé à 1,1 Gm<sup>3</sup>, soit un comblement de 16 % de la capacité totale de 6,8 Gm<sup>3</sup>. L'envasement moyen est donc de 45 Mm<sup>3</sup>/an, ce qui correspond à une perte de capacité de 0,65 % par an.

Le tableau 2.6 des 18 barrages les plus envasés souligne la forte variation de l'envasement d'un site à l'autre, en fonction de l'intensité de l'érosion dans le bassin (liée à la géologie, à la pente, au couvert végétal, etc.), de l'âge de l'ouvrage, mais aussi des éventuelles mesures de protection à l'amont ou des opérations de dévasement déjà effectuées. La figure 2.2 représente la cartographie du taux de comblement moyen (T), qui est la perte annuelle de capacité d'un

<sup>15</sup> Prévission de l'envasement dans les barrages du Maghreb B. REMINI, W. HALLOUCHE. p 79.

barrage (en %) par envasement, selon quatre catégories depuis le comblement faible ( $T < 0,5$  % par an) jusqu'au très fort ( $T > 3$  % par an).

De plus, l'envasement a beaucoup varié durant la dernière décennie. Ainsi, la comparaison des nivellements de 1986 et 2006 montre un doublement des taux d'envasement pour les barrages de DjorfTorba et Ksob, passant de 1,3 à 2,6 Mm<sup>3</sup>/an et de 0,3 à 0,6 Mm<sup>3</sup>/an respectivement. Cette hausse spectaculaire, qui n'est pas observée de manière uniforme, serait une conséquence de la sécheresse des années 1990 : le couvert végétal ainsi diminué et les sols dégradés auraient mal résisté à un retour des pluies et crues violentes des dernières années, causant une forte ablation de la couche superficielle du sol et favorisant une forte érosion.]<sup>16</sup>

### 2.2.2.2 la Fuite dans les barrages :

Le phénomène des fuites d'eau au niveau des barrages se traduit par des pertes considérables en eau précieuse et rare et aussi par des menaces très sérieuses sur la stabilité des ouvrages hydrauliques. De plus, la plus part des barrages sont soumis à une perte de capacité due essentiellement à trois phénomènes à savoir : les fuites d'eau, l'envasement et l'évaporation. Bien que touchant la majorité des barrages à travers le monde, le problème des fuites d'eau est très complexe, ce qui impose des traitements au cas par cas. En Algérie, L'agence nationale des barrages (l'ANB) suit depuis 1992 les fuites dans 22 barrages, mais, jusqu'à ce jour, aucune analyse détaillée n'a été réalisée. Dans certains cas, les fuites sont tellement importantes qu'un réseau de collecte récupère à l'aval les eaux perdues et les réorientent vers les terres agricoles. Selon les années, le volume total perdu par infiltration a varié de 20 à 75 Mm<sup>3</sup>. Les volumes perdus plus faibles sur la période 1998-2002 s'expliquent simplement par l'assèchement de plusieurs barrages durant cette période de pluies déficitaires. Les trois barrages qui perdent le plus d'eau, Ouizert dans l'ouest, DjorfTorba et Foum El Gherza dans le sud, méritent d'être détaillés.

Le barrage de Ouizert, d'une capacité de 100 Mm<sup>3</sup> et mis en exploitation en 1986, est destiné à transférer l'eau vers le barrage de Bouhanifia à l'aval. L'implantation du barrage sur un site fissuré favorise les fuites, notamment à travers la rive gauche. Les pertes dépassent 20 Mm<sup>3</sup>/an en année « humide » et 5 Mm<sup>3</sup>/an en année « sèche », soit un total de plus de

---

<sup>16</sup>Évolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens. Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 20, Numéro 1, 96-103, janvier-février-mars 2009 : Eau et zones arides, Article de recherche.

140 Mm<sup>3</sup> sur la période 1992-2002, ce qui est plus élevé que le volume transféré vers le barrage de Bouhanifia.

Au contraire du barrage d'Ouizert, le barrage de DjorfTorba montre une évolution significative dans le temps. Mis en exploitation en 1963 avec une capacité de 350 Mm<sup>3</sup>, ce barrage a connu sa perte maximale, 18 Mm<sup>3</sup>, en 1994-1995. Depuis lors, la baisse régulière des pertes s'expliquerait par l'augmentation des dépôts dans la retenue, colmatant progressivement les fissures. Une évolution identique, mais de moindre ampleur, est observée dans le barrage de Foug el Gherza (47 Mm<sup>3</sup>, mis en exploitation en 1950) coupant l'Oued El Abiod. Son implantation sur du calcaire maastrichtien fissuré a permis des fuites allant jusqu'à 5 Mm<sup>3</sup>/an. Là encore, il est probable que l'envasement a contribué à ralentir les pertes avec le temps.

L'abondance des séries carbonatées dans tout le nord du Maghreb explique que les réseaux karstiques y soient très nombreux et que les risques de perte des eaux de surface, dans le lit des oueds comme dans les retenues, soient fréquents. S'il est possible dans un certain nombre de cas, comme DjorfTorba et Foug el Gherza, d'espérer un colmatage progressif des fissures fines avec le temps, une telle évolution n'est pas du tout systématique. En particulier, lorsque le réseau karstique comporte des conduits de grande taille, la sédimentation en fond de retenue n'affecte pas réellement les échanges surface-souterrain. C'est le cas à Ouizert.

### 2.2.2.3 Eutrophisation des retenues de barrages :

Ces dernières années les rejets des eaux usées d'origine urbaine et industrielle ont augmenté dans les oueds. Ceci constitue une menace pour la qualité des ressources en eau dans les barrages. Plusieurs tronçons d'oueds sont déjà pollués (Tafna, Mekerra, Chellif, Soummam et Seybouse). L'eutrophisation est l'enrichissement d'une eau en sels minéraux (nitrates et phosphates notamment) entraînant des déséquilibres écologiques comme la prolifération de la végétation aquatique et l'appauvrissement en oxygène dissous. Le processus de vieillissement passera une retenue d'un état de faible niveau nutritif (oligotrophique) à un état intermédiaire (mésotrophique), puis à un état de haut niveau nutritif (eutrophique). Le phénomène de l'eutrophisation rend le traitement de potabilisation des eaux des retenues complexe et coûteux. En effet, le phénomène influe négativement sur l'ensemble de la chaîne de traitement, notamment aux niveaux suivants :

- ❖ **Pré chloration** : le premier effet de l'eutrophisation est l'augmentation de la matière organique endogène et la libération du manganèse et du fer, ce qui augmente la

demande en chlore et accroît la probabilité de la formation de trihalométhanes qui sont soupçonnés d'être cancérigènes pour l'homme.

- ❖ **Coagulation** : l'eau brute provenant des retenues eutrophes favorise, à cause de l'augmentation du pH, la dissolution d'une partie du coagulant qui se reprecipite dans le réseau de distribution dès que les conditions de pH sont modifiées, augmentant ainsi la turbidité de l'eau et favorisant la formation de nids de développement bactérien. L'on se trouve donc contraint, soit d'acidifier l'eau par surdosage de sulfate d'alumine ou par injection d'un acide.
- ❖ **Filtration** : un grand nombre d'algues provoquent le colmatage rapide des filtres à sable, réduisant ainsi la période d'opération entre deux lavages.
- ❖ **Elimination des goûts et odeurs** : l'apparition de mauvais goûts et odeurs dans l'eau est sûrement la conséquence la mieux connue du phénomène d'eutrophisation. Un grand nombre d'algues favorise l'apparition de saveurs diverses dans l'eau. (saveurs d'herbes, de poisson, voire odeur septique).

## 2.3 : Efficience et tarification de l'eau

### 2.3.1 L'Utilisation de l'eau par secteur :

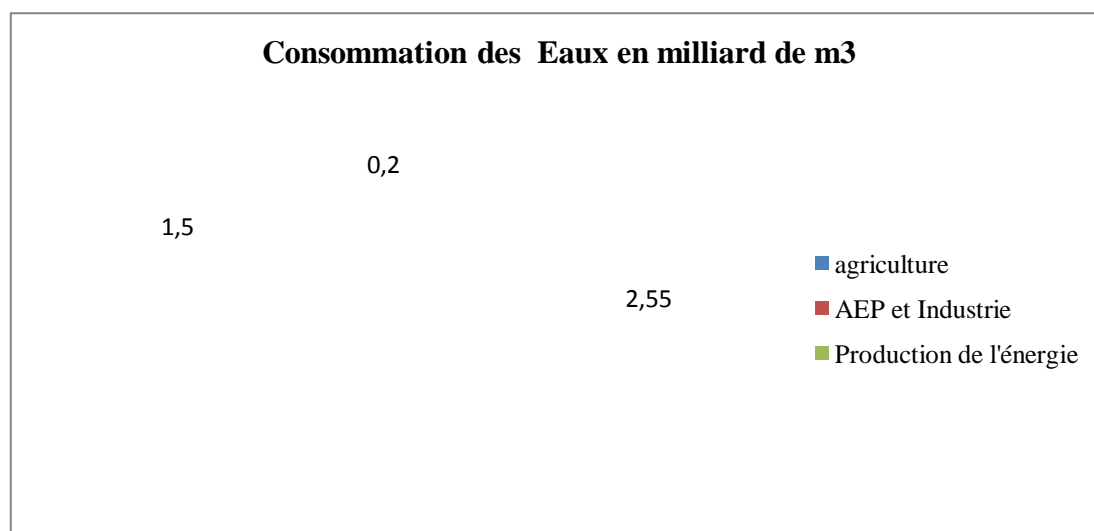
L'eau est une ressource indispensable à l'Homme et à ses activités, ainsi qu'à la flore et à la faune. Parmi les principaux secteurs utilisateurs d'eau douce dans le monde, nous retrouvons en tête de classement l'agriculture, suivie des secteurs industriel et énergétique, et de la consommation domestique. L'incroyable essor démographique du dernier siècle et la pollution grandissante menacent d'une part la disponibilité de la ressource et d'autre part sa qualité.

Les ressources en eau utilisées sont évaluées en Algérie à près de 4,250 milliards de m<sup>3</sup>. La consommation des eaux, par secteur d'activités, se répartit comme suit :

- ❖ l'agriculture consomme 2,550 milliards de m<sup>3</sup>,
- ❖ l'alimentation en eau potable et industrielle s'élève à 1,5 milliards de m<sup>3</sup>,
- ❖ la production d'énergie électrique nécessite 0,2 milliards de m<sup>3</sup>.

**Tableau 2.7** : Répartition de la consommation des eaux par secteur d'activités (hm3)<sup>17</sup>

Type d'activités	Eaux souterraines		Eaux de surface	Total	%
	Nord	Sud			
<b>AEP et Industrie</b>	1000	200	300	1500	35,3
<b>Agriculture</b>					
-Grands périmètres (GP)	-	-	150	150	3,5
-Petits périmètres (PMH)	900	-	200	1100	25,9
-Sud	-	1300	-	1300	30,6
<b>Energie</b>	-	-	200	200	4,7
<b>Total</b>	<b>1900</b>	<b>1500</b>	<b>850</b>	<b>4250</b>	
<b>Pourcentage</b>	<b>44,7</b>	<b>35,5</b>	<b>20,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

**Figure 2.3:** Consommation des en eaux en milliard de m<sup>3</sup>.<sup>18</sup><sup>17</sup> Source : agence national des ressources hydrique ANRH.<sup>18</sup> Source : Agence national des ressources hydrique.

### 2.3.1.1 L'agriculture le principal consommateur d'eau :

En Algérie Le volume d'eau alloué à l'agriculture est de 2,550 milliards de m<sup>3</sup>, l'agriculture irriguée occupe environ 11% des surfaces cultivées et globalement 40% de la production agricole nationale lui sont imputables.

Le potentiel en terres irrigables est de l'ordre de 2,3 millions d'ha dont 1,3 millions d'ha pour les catégories I et II présentant des aptitudes à l'irrigation sans travaux de mise en valeur.

Les superficies irriguées se subdivisent en grands périmètres irrigués (GPI) et en petite et moyenne hydraulique (PMH). Les GPI ont une superficie équipée de 215 000 ha environ. Sur ces 215 000 ha, seule une superficie de 150 000 ha est estimée irrigable ; l'écart de 65 000 ha correspondant en grande partie aux zones abandonnées suite aux programmes d'urbanisation et à l'insuffisance de la ressource suite à la sécheresse prolongée qui a sévi dans la région. Sur ces 150 000 ha irrigables, 43 000 ha seulement ont été effectivement irrigués en 2007, du fait de la sécheresse et de la réaffectation des eaux d'irrigation à l'alimentation en eau potable des populations notamment à l'ouest du pays. Les GPI utilisent principalement les eaux de surface régularisées par des barrages. Ce décalage entre les superficies équipées et irriguées sera progressivement résorbé avec l'achèvement des programmes de mobilisation et de transferts en cours (barrages, transferts, réutilisation des eaux usées épurées, dessalement) et des opérations de travaux de réaménagement des anciens périmètres d'irrigation.

La faiblesse des volumes d'eau vendus, couplée à la limitation du tarif de l'eau d'irrigation et aux faibles taux de recouvrement des factures d'eau a abouti à une situation financière catastrophique pour les

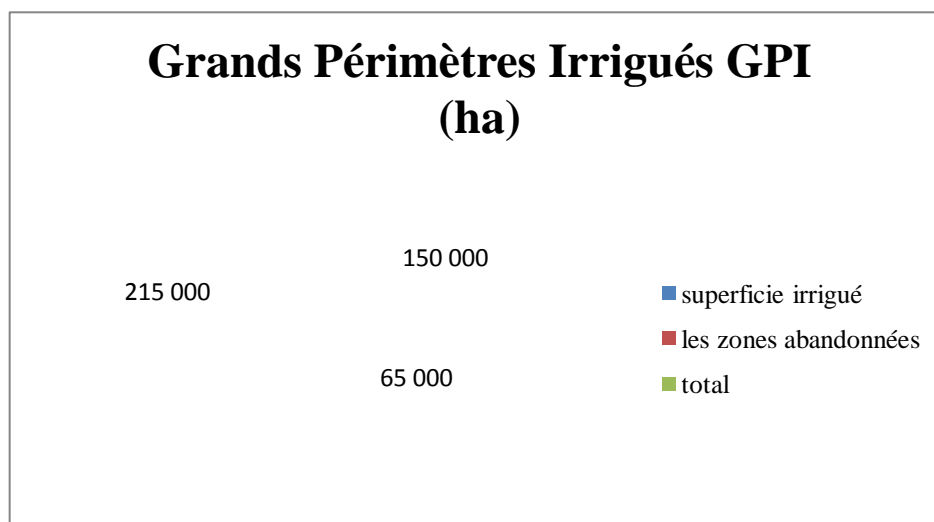
Offices de périmètres irrigués (OPI) qui ne pouvaient plus assurer normalement l'exploitation et l'entretien des réseaux d'irrigation. Cette situation a entraîné la dégradation des équipements.

La superficie irriguée en PMH est de l'ordre de 889 036 ha. Ces installations sont constituées par des périmètres de taille très variable avec une alimentation en eau diversifiée dont 78% provient à partir des eaux souterraines:

- Irrigation à partir des forages : 401 324 ha
- Irrigation à partir des puits : 277 040 ha
- Irrigation à partir des eaux de sources : 30 309 ha
- Irrigation à partir de petits barrages : 11 277 ha
- Irrigation à partir de retenues collinaires : 8 422 ha
- Irrigation à partir des pompages au fil de l'eau : 76 337 ha

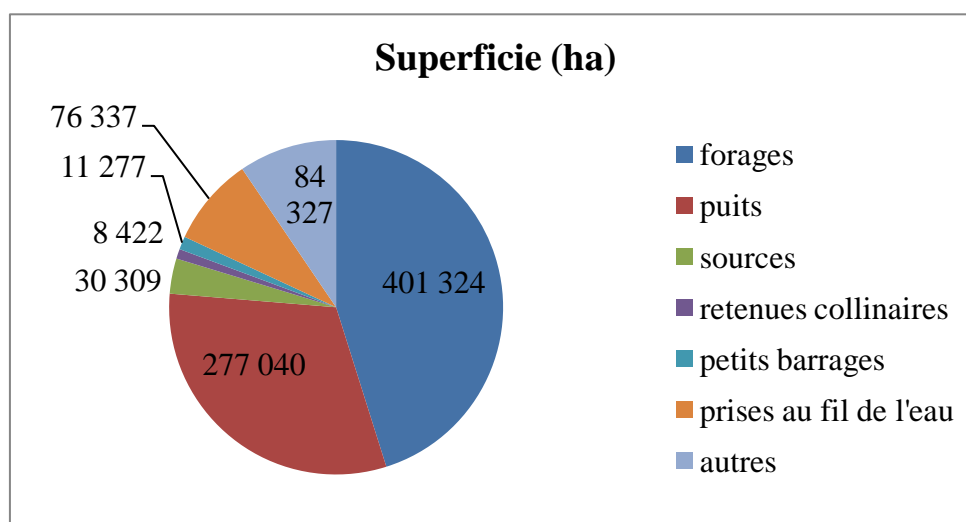
- Autres irrigation (foggaras, plan d'eau...) : 84 327 ha

Le secteur de la PMH est très dynamique et contribue pour une large part à l'approvisionnement en fruits et légumes. Il bénéficie de subventions d'investissement importantes, à hauteur de 80%, octroyées par le Fonds national de développement rural et agricole (FNDRA).



**Figure 2.4 :** Etat des périmètres en exploitation – Année 2007<sup>19</sup>

Les zones abandonnées suite aux programmes d'urbanisation et à l'insuffisance de la ressource suite à la sécheresse prolongée qui a sévi dans la région.



**Figure 2.5 :** L'irrigation De La PMH – Année 2007 -<sup>20</sup>

<sup>19</sup> Source : Site : MRE, mre.gov.dz (ministère des ressources en eau) données publiées.

<sup>20</sup> Source : Site : MRE, mre.gov.dz (ministère des ressources en eau) données publiées.

**Tableau 2.8 : Irrigation des Périmètres en Exploitation.**<sup>21</sup>

Régions	Volume alloué 2007 (Hm3)	Volume alloué 2008(Hm3)
<b>Oranie</b>	9,5	13
<b>Cheliff</b>	109	97
<b>Algérois</b>	28,1	26
<b>Constantinois</b>	92,5	86
<b>Sahara</b>	82,5	135

### 2.3.1.2 L'industrie et l'usage domestique :

L'industrie est l'un des piliers du développement économique. C'est le deuxième secteur, après l'agriculture, qui nécessite le plus d'eau. L'industrialisation massive du XXème siècle a significativement augmenté sa consommation et elle est également à l'origine d'une partie de la détérioration de sa qualité. Actuellement, on estime que 20 à 22% des prélèvements mondiaux sont destinés au secteur industriel. Pratiquement toutes les branches de l'industrie ont besoin d'une quantité d'eau plus ou moins importante. Par exemple, un kilogramme d'acier exige entre 300 et 600 litres d'eau, ou produire un kilogramme de papier nécessite près de 500 litres. Pour un produit fini comme une voiture, sa fabrication a besoin de 120 000 litres d'eau.

L'eau destinée à l'usage domestique, notamment pour les besoins hygiéniques et sanitaires, est celle qui nécessite la meilleure qualité possible. En effet, l'utilisation d'une eau potable de bonne qualité évite la propagation de bactéries et de virus, et donc de maladies. L'eau à usage domestique représente environ 9% des prélèvements mondiaux.

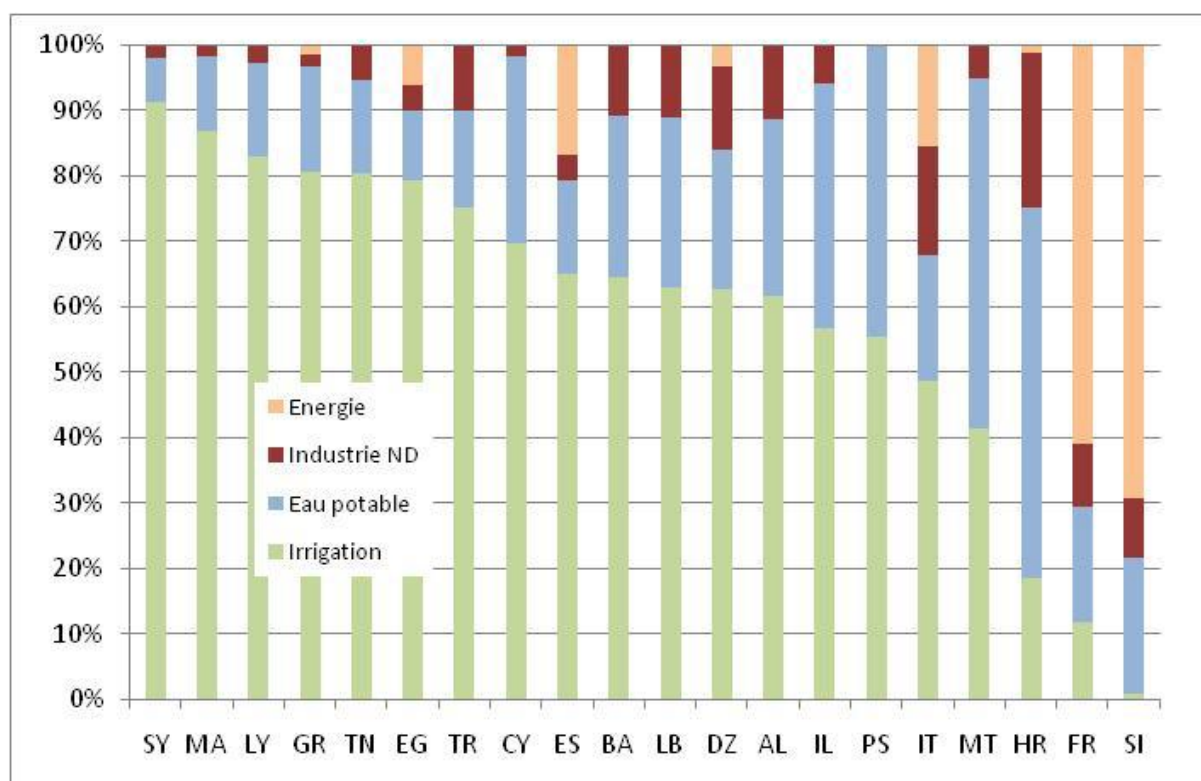
Les pays en voie de développement dont fait partie l'Algérie (AEP et industrie 1,5 milliards de m<sup>3</sup>) utilisent en majorité leurs ressources hydriques à des fins agricoles, contrairement aux pays riches qui consomment environ 60% des leurs dans l'industrie.

<sup>21</sup> Source : Site : MRE, mre.gov.dz (ministère des ressources en eau) données publiées.



### 2.3.1.3 L'énergie :

L'eau et l'énergie peuvent aisément être associées. En effet, la production d'énergie requiert de l'eau dans la plupart des cas. Dans le cas de la production d'électricité dans des centrales thermiques ou nucléaires, l'eau sert entre autres à refroidir les réacteurs. L'eau peut aussi être directement à l'origine de la production d'électricité, comme dans une centrale hydroélectrique où la force de l'eau fait tourner les turbines. Les énergies hydraulique et nucléaire ne représentent que 36% de la production d'électricité dans le monde, la grande majorité provenant de l'énergie fossile non renouvelable telle que le pétrole, le gaz, ou le charbon. Ceci dit, l'épuisement ou la raréfaction d'ici quelques décennies de ces dernières ressources est susceptible d'accroître l'usage de l'énergie hydraulique et d'autres énergies renouvelables comme l'éolien, le solaire et le géothermique. En Algérie la production d'énergie électrique nécessite 0,2 milliards de m<sup>3</sup>.



**Figure 2.6 :** Demande en eau par secteur (période 2005-2010) dans les pays méditerranéens <sup>22</sup>

La part de l'eau agricole dans la demande totale en eau reste importante. Elle est supérieure à 50 % dans la plupart des pays, et proche de 90 % au Maroc et en Syrie.

<sup>22</sup>Suivi de la stratégie méditerranéenne de développement durable : principaux indicateurs, actualisation 2011 (Plan Bleu).

Dans les pays des Balkans et en France, où les précipitations permettent la pratique d'une agriculture majoritairement pluviale, la demande en eau d'irrigation est faible.

Globalement, l'évolution des demandes en eau est préoccupante en Méditerranée au regard des ressources souvent rares.

- La disponibilité de l'eau repose certes sur sa quantité, mais aussi et surtout sur sa qualité. Depuis plus de 50 ans, les prélèvements à des fins d'irrigation par exemple ont causé de nombreux dommages aux cours d'eau et aux nappes souterraines. Dans l'agriculture l'utilisation intensive de fertilisants et pesticides dans les surfaces irriguées a eu un impact nuisible sur les ressources hydriques. Lorsque les pluies tombent, celles-ci emportent des substances dangereuses dans les nappes souterraines et les polluent. En déversant leurs déchets dans les cours d'eau, les industries sont également responsables de la dégradation de la qualité des eaux. En effet, plusieurs des produits chimiques déversés ne sont pas biodégradables, et même s'ils l'avaient été leur abondance surpasserait largement la capacité d'autoépuration des milieux aquatiques. Quant au secteur énergétique, il génère de la pollution thermique.

## **2.2 L'Alimentation en Eau Potable AEP :**

L'eau est au cœur des préoccupations locales, sociales, environnementales et politiques. La gestion de la ressource tant sur le plan quantitatif que qualitatif est devenue un sujet majeur dont les conséquences renforcent une sensibilité déjà forte sur la question du prix et de son évolution.

L'état des finances locales, d'une part, et le Grenelle de l'environnement, d'autre part, conduisent l'ensemble des acteurs de l'eau, publics et privés, à rechercher le meilleur prix pour un service et une eau de qualité et, bien sûr, un moindre impact sur l'environnement.

Le service public de l'eau doit aujourd'hui relever de nombreux défis. Des progrès doivent être réalisés pour préserver la ressource et maîtriser la qualité sanitaire de l'eau potable distribuée. Il s'agit de poursuivre le programme de mise en conformité des installations d'assainissement sur le territoire et de déployer progressivement le traitement des eaux pluviales afin de limiter les flux polluants rejetés directement dans le milieu naturel.

Autre défi majeur, celui de la gestion patrimoniale des équipements. Le renouvellement des réseaux d'eau potable, afin d'améliorer les rendements et de préserver la ressource, va connaître une forte accélération et mobiliser d'importantes ressources financières.

La politique algérienne de gestion de l'eau a été, depuis une dizaine d'années, davantage axée sur la mobilisation de nouvelles ressources que sur la recherche d'une meilleure utilisation des ressources déjà disponibles. Priorité a été donnée au développement de « l'offre » et non à la gestion de la demande. En témoigne la part prépondérante accordée jusqu'à présent dans les budgets d'investissements à l'augmentation des capacités de stockage et au développement des grandes infrastructures de transferts et d'adductions, face à la faiblesse des financements consacrés à l'entretien et à la maintenance des installations, ou à l'amélioration des performances des systèmes de distribution d'eau et d'irrigation.

La demande globale en eau a considérablement et rapidement augmenté. Multipliée par 4 au cours des quarante dernières années, elle dépasse actuellement plus de la moitié du volume des ressources potentiellement mobilisables. A ce rythme, la limite maximum du potentiel hydraulique sera atteinte avant 2050. Dans ce contexte, une forte concurrence se développe entre les grands secteurs d'utilisation, se surajoutant aux déséquilibres de disponibilités de ressources entre les régions, et rendant de plus en plus difficiles les arbitrages de répartition. La part que prend l'alimentation en eau potable s'est considérablement accrue en volume et en proportion. De 16 % de la consommation globale en 1975, elle est passée à 35 % actuellement. Durant la même période, la part de l'eau agricole a chuté de 80 % à 60 %, celle de l'industrie restant égale à 3,5 %.

L'alimentation en eau potable a acquis une nette priorité par rapport aux autres utilisations, priorité qui a été consacrée dans la législation algérienne relative à l'eau.

### **La Loi relative à l'eau (loi 0512 du 4 août 2005) :**

Instrument juridique à double finalité, normative et de politique sectorielle, cette loi fondamentale est issue du Code de l'eau de 1983. Celui-ci a subi des modifications successives pour prendre en compte les évolutions économiques du pays et pour adopter les principes et règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale.

La loi sur l'eau de 2005 consacre le droit d'accès à l'eau et à l'assainissement pour tous et définit les principes sur lesquels se fondent l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau :

- le droit d'accès à l'eau et à l'assainissement pour tous
- le droit d'utilisation des ressources en eau pour tous dans les limites de l'intérêt général
- la planification de la répartition et des aménagements dans le cadre d'unités hydrographiques naturelles
- la prise en compte des coûts réels des services d'approvisionnement en eau à usage domestique, agricole et industriel et des services d'assainissement
- la récupération des coûts d'intervention publique liés à la protection quantitative et qualitative des ressources en eau, à travers des systèmes de redevances d'économie d'eau et de protection de sa qualité
- la systématisation des pratiques d'économie et de valorisation de l'eau par des procédés et des équipements appropriés ainsi que le comptage des eaux produites et consommées ; pour lutter contre les pertes et le gaspillage
- la concertation et la participation de tous les acteurs

Par rapport aux versions précédentes, elle apporte certaines dispositions innovantes et importantes :

- l'obligation d'élaborer un Plan national de l'eau et la planification de la gestion locale dans le cadre des bassins hydrographiques,
- l'établissement de règles régissant les systèmes de tarification de l'eau usages appuyées sur les coûts réels des services d'approvisionnement,
- la possibilité de concession ou de délégation du service public de l'eau à des personnes morales de droit public ou privé.

L'obligation d'une utilisation et d'une gestion économe des ressources en eau et la mise en œuvre de tous moyens appropriés pour lutter contre les pertes et les gaspillages sont désormais nettement affirmés dans la Loi sur l'eau de 2005, et en tout cas bien plus précisément que dans les législations précédentes.

L'ADE intervient directement en principe, au niveau de toutes les agglomérations du pays. Mais, le transfert de responsabilité des services de l'eau des communes à l'ADE, n'étant pas

encore achevé, l'ADE n'est directement concernée que par environ 2/3 des installations et réseaux de distribution d'eau potable.

Les services d'eau des grandes agglomérations (Alger, Oran, Constantine, Annaba) sont confiés à des sociétés publiques (Spa) aidées dans leur gestion technique et commerciale par des entreprises internationales spécialisées dans le cadre de contrats de management.

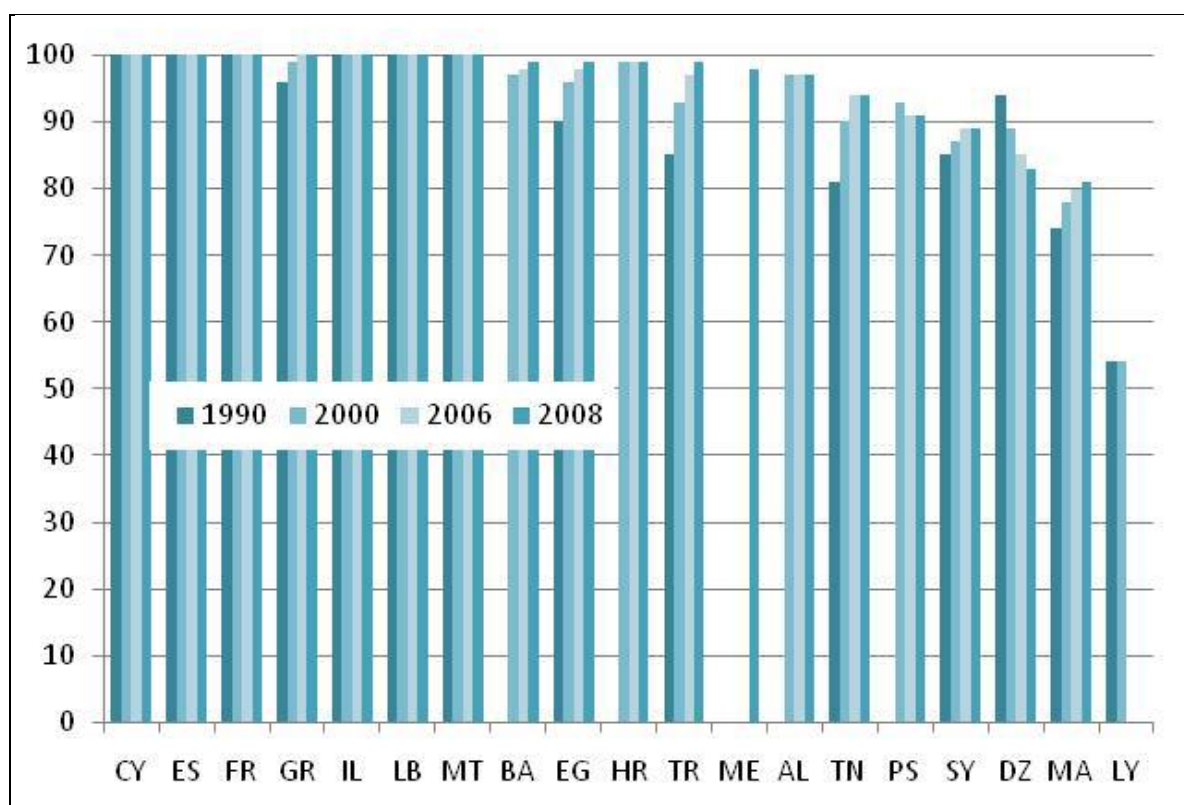
L'ADE et les Sociétés des grandes villes, ont parmi leurs objectifs principaux celui d'améliorer rapidement la gestion technique des installations dans le but de réduire les pertes d'eau. Elles mènent, dans le cadre de plans annuels, des actions de réparation et remplacement de conduites d'adduction et de distribution, remplacement de vannes, remplacement et mise en place de compteurs. Les mesures de réduction des pertes et gaspillages sont d'autant plus nécessaires et importantes dans ces quatre métropoles que leur consommation totale représente environ 30 % de la production nationale d'eau potable.

Dans la nomenclature des projets financés par l'Etat, figurent de nombreux projets de réhabilitation et de rénovation. Parmi ces projets, une opération de 20 milliards de DA, inscrite en 2008 et qui concerne les « Travaux de réhabilitation des réseaux d'AEP de 12 villes.

Des programmes similaires de réparation, réhabilitation et de rénovation des systèmes et installations d'adduction et de distribution d'eau aux irrigants sont conduits et réalisés par l'Office National des Irrigations et du Drainage (ONID) sur les périmètres publics d'irrigation.

Le Ministère de l'Agriculture développe depuis huit ans des actions volontaristes de modification des techniques culturales destinées à réduire la consommation d'eau d'irrigation, notamment au niveau des petites et moyennes exploitations.

En particulier, il a initié une politique d'économie d'eau en subventionnant l'achat par les irrigants d'équipements pour l'utilisation du « goutte à goutte ». Cette opération a connu un grand succès et s'est traduite par une part de plus en plus grande de « l'irrigation localisée » parmi les autres modes d'irrigation.



**Figure 2.7 :** Proportion de la population ayant un accès de façon durable à une source d'eau améliorée 1990- 2008 (%) dans les pays méditerranéens <sup>23</sup>

L'accès de façon durable à une source d'eau améliorée, en d'autres termes l'accès à l'eau potable, est l'un des objectifs du millénaire pour le développement. Il s'agit de diminuer de moitié, d'ici 2015 (par rapport à 1990), la proportion des individus n'ayant pas accès à une source d'eau potable.

En 2008, la proportion de la population disposant d'un accès durable à une source d'eau améliorée est de plus de 80% dans la majorité des pays méditerranéens. Plus de 23 millions de méditerranéens, habitant généralement dans les zones rurales, n'ont pas accès à une source d'eau améliorée.

De nombreux pays (les pays européens, Israël, Liban) ont déjà atteint un taux d'accès à l'eau potable égal à 100 %.

<sup>23</sup> Suivi de la stratégie méditerranéenne de développement durable : principaux indicateurs, actualisation 2011 (Plan Bleu).

Entre 1990 et 2008, le Maroc, la Tunisie, la Syrie et la Turquie affichent des progrès encourageants. En revanche, l'Algérie a vu son taux d'accès à l'eau diminuer.

Dans la plupart des pays, le taux d'accès à l'eau potable en zone urbaine est plus élevé (supérieur à 97 %). Il se situe entre 85% et 95 % en Algérie, dans les Territoires palestiniens et en Syrie.

La situation est moins bonne dans les zones rurales pour lesquelles quatre pays (Algérie, Syrie, Tunisie, Territoires palestiniens) présentent en 2008 des taux d'accès compris entre 79 et 91 %.

L'accès à l'eau potable dans les pays du sud et de l'est de la Méditerranée (93 %) est supérieur à la moyenne mondiale. C'est également le cas pour l'accès en zone urbaine (96 %) et en zone rurale (88%).

### **2.3 L'évolution de la politique tarifaire en Algérie :**

Conformément à un principe économique fondamental, toute ressource rare et pour laquelle il existe une demande, a un prix. L'on admet donc de plus en plus que sa tarification peut constituer un instrument acceptable de la politique gouvernementale, d'autant que des risques de pénurie d'eau peuvent survenir en certaines circonstances (sécheresse, dégradation de la qualité). Pour améliorer la qualité de l'eau, la rendre plus saine et plus durable, il existe déjà toute une panoplie de mesures répressives : redevances sur l'eau gaspillée ou pénalisation de la pollution provoquée, permis négociables de prélèvement d'eau ou d'émission de polluants, amendes, etc. Les pays membres de l'OCDE peuvent y puiser pour réaliser leur objectif d'« internaliser » l'ensemble des coûts marginaux (y compris les coûts environnementaux) lorsqu'ils doivent prendre une décision ayant une incidence sur l'utilisation et la qualité de l'eau.

De fait, le principe de tarification tend de plus en plus à se généraliser dans le domaine des services publics d'alimentation en eau et de traitement des eaux usées. Des systèmes efficaces de tarification favorisent, en effet, l'utilisation rationnelle de cette ressource et la préservation de sa qualité. En générant les recettes nécessaires à la mise en place des infrastructures et leur développement, ils constituent une garantie qu'il sera possible de fournir des services d'eau à un prix abordable à tous les citoyens.

La mise en œuvre de politiques rationnelles de tarification de l'eau passe par le comptage de la consommation. En dépit des vives controverses que cette pratique suscite parfois, plus de 90 % des maisons familiales sont aujourd'hui équipées de compteurs d'eau dans environ les deux tiers des pays membres de l'OCDE.

En Algérie La facturation d'eau comprend une partie fixe (abonnement) et une partie variable fonction de la consommation. Les barèmes de tarifs correspondent à 3 catégories d'utilisateurs : les ménages (4 tranches de consommation), les administrations et secteur tertiaire, les unités industrielles et touristiques. Le tarif de base est fixé pour la 1ère tranche de consommation ( $\leq 25$  m<sup>3</sup>/trim.).

Les autres tarifs sont déduits du tarif de base affecté d'un coefficient de multiplication. Exemple : le coefficient pour les industries est égal à 6,5.

**Tableau 2.9** : Barème de tarif de l'eau potable pour les différentes catégories d'utilisateurs et tranches de consommation trimestrielle <sup>24</sup>

<b>Catégories d'utilisateurs</b>	<b>Tranches de consommation trimestrielles</b>	<b>Coefficients de multiplication</b>
Catégorie I : les ménages	1 <sup>er</sup> tranche Jusqu'à 25m <sup>3</sup> /trim	1,0
	2 <sup>eme</sup> tranche De 26 à 55 m <sup>3</sup> /trim	3,25
	3 <sup>eme</sup> tranche De 56 à 82 m <sup>3</sup> /trim	5,5
	4 <sup>eme</sup> tranche Supérieur à 82 m <sup>3</sup> /trim	6,5
Catégorie II et III : les administrations, les artisans et les services du secteur tertiaire	uniforme	5,5
Catégorie IV : les unités industrielles et touristiques	uniforme	6,5

<sup>24</sup> Source : ADE (algérienne des eaux).



Tableau 2.10 :L'évolution de la tarification de l'eau en Algérie <sup>25</sup>

Périodes de facturation	Catégorie I				Catégorie II	Catégorie III	Catégorie IV	
	T1	T2	T3	T4				
Année 1993	1.65	4.12	7.01	8.25	5.77	7.01	8.25	
Année 1994 au 2° /95	2.20	5.50	9.35	11.00	7.70	9.35	11.00	
Du 3° /95 et 4° /95	3.01	7.52	12.79	15.05	10.54	12.79	15.05	
Du 1°/96 au 2°/96	„	„	„	„	„	„	„	
Du 3°/98 au 4°/97	3.60	11.70	19.80	23.40	16.20	19.80	23.40	
Du 1°/98 au 2°/98	„	„	„	„	„	„	„	
Du 3°/98 au 4°/00	„	„	„	„	„	„	„	
Du 1°/01 au 1°/02	„	„	„	„	„	„	„	
Du 2°/02 au 3°/02	„	„	„	„	„	„	„	
Du 4°/02 au 4°/04	„	„	„	„	„	„	„	
Du 1°/05 à avril 2005	Tarif eau	6.30	20.48	34.65	40.95	34.65	34.65	40.95
	Tarif ass	2.35	7.64	12.93	15.28	12.93	12.93	15.28
De Mai 2005	Tarif eau	„	„	„	„	„	„	„
	Tarif ass	„	„	„	„	„	„	„
De Mai 2005 à ce jour		„	„	„	„	„	„	

La politique tarifaire de l'eau en Algérie, à l'instar des autres politiques alternatives de la gestion de l'eau, a connu une grande mutation depuis le début des années 90. En effet, après les assises nationales de l'eau de 1995, la gestion de l'eau en Algérie a connu une nouvelle orientation connue sous le nom de « la nouvelle politique de l'eau ». Cette nouvelle politique

<sup>25</sup> Source : ADE (algérienne des eaux).

s'appuie sur les principes de l'unicité, de concertation, d'économie, d'écologie et d'universalité de la ressource. Depuis cette date, il est indénombrable le nombre de réformes qui se sont succédé. Pour en citer quelques-unes, il y a eu création du Ministère des Ressources en Eaux, création des agences de bassins, adoption de la gestion intégrée...etc.

Pour ce qui est de la tarification, plusieurs réformes ont également vu le jour. La première est intervenue en 1997. Cette réforme est venue modifier la structure tarifaire. Longtemps facturée à l'année avec des tranches annuelles, cette loi a modifié la structure tarifaire pour devenir trimestrielle et les tranches 2, 3 et 4 sont revues à la hausse. La deuxième intervient en 1998. Cette réforme intègre la notion des zones tarifaires, c'est-à-dire, une tarification différente pour chaque zone. La troisième intervient en 2003. Pour cette année, ce n'est pas la structure tarifaire qui est visée, mais plutôt la partie fixe de la facture.

Enfin, en 2005 une quatrième réforme (décret du 9 janvier 2005) vient modifier de nouveau la tarification et les prix par tranche sont revus à la hausse, dans le but d'inciter les usagers à plus d'économie dans leur consommation d'eau et à éviter les pertes et gaspillages.

En résumé : le tarif de la quatrième tranche (par exemple) qui était à 8.25 DA en 1993 passe à 15.05 DA en 1995, puis à 23.40 en 1998, pour atteindre les 40,95 DA en 2005, ce dernier tarif demeure appliqué à ce jour.

L'eau dessalée, du fait de son coût relativement élevé, ne peut être utilisé que pour la consommation domestique. Quant au consommateur, il ne voit pas la différence sur sa facture. « Le prix du m<sup>3</sup> le plus bas à savoir celui de 0,8182 dollar sur la base d'un prix de l'électricité de 0,04 dollar le kWh ». En tout état de cause, quel que soit le coût de production du m<sup>3</sup> d'eau dessalée, le citoyen continuera de payer le même tarif appliqué actuellement par l'Algérienne des Eaux (ADE).

### ➤ Eau potable et industrielle :

Actuellement, le prix moyen payé par l'utilisateur est de l'ordre de 64 DA/m<sup>3</sup> (comprenant les redevances d'assainissement et les redevances pour l'économie et la protection de l'eau). Ce prix de vente du m<sup>3</sup> d'eau potable est à comparer à son coût de production, estimé en 2005 à 90 DA/m<sup>3</sup> environ et qui doit être actuellement de l'ordre de 125 à 150 DA/m<sup>3</sup> (compte tenu du dessalement d'eau de mer). Le prix de vente est le même pour tout le pays sauf pour les régions du Sud pour lesquelles les redevances pour économie d'eau et la protection contre la

pollution sont respectivement de 2 % du montant de la facture de consommation au lieu de 4 %.

➤ **Eau agricole**

La tarification de l'eau d'irrigation est définie pour les exploitations agricoles approvisionnées à partir d'installations dont la gestion relève de la puissance publique. Elle concerne principalement les grands périmètres, les aires d'irrigation et les périmètres de petite et moyenne hydraulique, équipés par l'Etat ou pour son compte, dont la gestion est concédée à des associations ou des coopératives d'irrigants. Il n'existe pas de redevances particulières pour les exploitations privées alimentées par des installations individuelles réalisées par les propriétaires eux-mêmes (puits, forages, prises en rivières...). Les modalités de tarification de l'eau à usage agricole et les tarifs correspondants ont été fixés en 1998 (décret n° 98-156). Ces dispositions ont été modifiées par deux autres décrets en 2005 (décret n°05-14 du 9 janvier 2005) et en 2007 (décret n°07-270). Ces deux derniers décrets ont précisé les zones tarifaires et procédé à une augmentation des bases tarifaires.

« Le tarif de l'eau à usage agricole, d'après les décrets ci-dessus mentionnés, couvre les frais et les charges d'entretien et d'exploitation des ouvrages et infrastructures d'irrigation et d'assainissement-drainage et contribue au financement des investissements pour le renouvellement et leur extension. » Mais les niveaux des tarifs fixés par décret et appliqués sont loin de répondre à ces exigences d'équilibre des charges dans la presque totalité des périmètres.

Les tarifs dus par l'utilisateur au titre de la fourniture ou du prélèvement d'eau sont calculés suivant une formule binôme sur la base du débit maximum souscrit (partie fixe) et du volume effectivement consommé (partie variable). Actuellement, la partie fixe varie, selon la zone tarifaire, entre 250 et 400 DA par l/s/ha ; la partie variable est calculée sur la base de 2,50 DA par m<sup>3</sup> consommé.<sup>26</sup>

---

<sup>26</sup>L'efficacité d'utilisation de l'eau et approche économique, Plan Bleu Centre d'Activités Régionales PNUE/PAM Mohamed Benblidia, Sophia Antipolis Juin 2011 p 09.

**Conclusion :**

En de nombreuses régions du monde, les populations sont prises en otage leurs besoins en eau, voire leur augmentation, et la diminution de la ressource. Les quantités d'eau prélevées par l'agriculture, l'industrie, la croissance urbaine, sont sans doute en train d'atteindre un pic, au-delà duquel il ne sera pas possible, à l'échelle globale, de les augmenter. Il en est de même pour les capacités des infrastructures spécialisées pour traiter l'eau, la stocker, la distribuer, l'évacuer et la recycler. Le rapport entre les niveaux et les conditions de vie, l'augmentation de la population, les limites propres aux quantités d'eau disponibles, les habitudes de gaspillage, ou les problèmes d'infrastructures mal entretenues, aboutissent aujourd'hui à l'apparition de limites dans l'exploitation de cette ressource.

Dans certains cas de pays riches, où le décalage entre les besoins en eau et la quantité disponible devient critique, le choix est fait d'installer des usines de dessalement de l'eau de mer. Mais ces initiatives ne parviennent pas à couvrir l'intégralité des besoins. Par ailleurs, nombre d'états et de collectivités tentent de répondre à des situations d'urgence, tout en adoptant des pratiques plus économes et efficaces (l'amélioration des stratégies d'économie de l'eau dans les maisons et les appartements sont actuellement explorées. De nouvelles techniques émergent, en termes de robinetterie « intelligente », de plomberie, tandis que les habitudes de consommation d'eau changent, les particuliers, comme les entreprises et les collectivités, commencent à vouloir changer leurs habitudes, par l'apprentissage de gestes qui permettent de diminuer la consommation d'eau).

La gestion de l'eau nécessite désormais, par l'ensemble des usagers, d'adopter des pratiques qui soient plus adaptées aux limites propres à cette ressource.

Les grandes villes algériennes ont connu ces dernières années des pénuries d'eau importantes, d'une part parce que l'Algérie a subi, comme les autres pays de l'Afrique du Nord, les effets d'une succession d'années sèches qui ont contribué à réduire les volumes d'eau stockés par les barrages, et d'autre part, en raison de l'insuffisance des investissements en matière d'infrastructures hydrauliques. Pour les villes situées sur le littoral le gouvernement entreprend actuellement la réalisation de plusieurs stations de dessalement d'eau de mer pour les approvisionner durablement en eau.

## Chapitre 03 :

### Aspects techniques, financiers, institutionnels et environnementaux liés au dessalement de l'eau de mer

#### Introduction :

La plupart, sinon tous les pays méditerranéens, sont confrontés simultanément à plusieurs questions liées à l'eau: comment gérer durablement leurs maigres ressources hydriques, comment assurer l'accès à l'eau potable aux populations non encore desservies et comment habituer les usagers à des comportements économes en eau. Le premier défi appelle des politiques de la demande en eau pour réduire les pertes et les mauvaises utilisations, créer une valeur ajoutée supplémentaire grâce à un emploi plus efficace de l'eau d'irrigation et des eaux industrielles et urbaines, et satisfaire à un coût réduit les besoins économiques et sociaux. Il requiert aussi une gestion intégrée des bassins versants et des écosystèmes humides et une augmentation de l'offre, notamment grâce à des formes non conventionnelles d'approvisionnement en eau, par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre.

Compte tenu de la situation actuelle de pression démographique et de réchauffement climatique, le dessalement est une technique intéressante au vu de l'abondance de la matière première : l'eau de mer et les eaux saumâtres. Le dessalement de l'eau est en très forte croissance dans le monde. La capacité installée augmente chaque année en moyenne de plus de 10%. Cela s'explique en partie par l'abaissement significatif des coûts qui le rend de plus en plus compétitif. Les usines de dessalement se multiplient dans de nombreux pays (Libye, l'Australie, la Grande Bretagne); surtout dans les pays en prise à des pénuries d'eau (Algérie, Libye, pays du golfe) mais aussi dans les pays d'Europe du sud

(Espagne, Italie, Grèce) et aux États-Unis. Il existe plus de 15 000 unités de dessalement dans le monde produisent environ 56 millions de m<sup>3</sup>/j, alors que la capacité mondiale de production en eau potable est de l'ordre de 500 millions de m<sup>3</sup>/j. En Méditerranée, la production des usines de dessalement s'élève à 10 millions de m<sup>3</sup>/j.

Le recours au dessalement de l'eau de mer en Algérie constitue une solution urgente pour satisfaire l'alimentation en eau de villes côtières surpeuplées. Ces dernières années la consommation en eau ne cesse de croître. Pour pallier à cette demande en ressources hydriques engendrée par la situation de sécheresse répétée qu'a connue le pays pendant les dix dernières années, un choix judicieux a été opéré en l'occurrence : la réalisation de 56

stations de dessalement d'eau de mer pour alimenter les populations des villes côtières en eau potable d'une capacité journalière de 146.000 m<sup>3</sup>. Les travaux ont débuté en juin 2002 et confiés à différentes entreprises tel que l'entreprise nationale Hydro-traitement, l'entreprise allemande Linde et la Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger. Le dessalement va ainsi s'imposer comme une ressource alternative essentielle à la pérennité de grandes zones urbaines du littoral où le besoin se fait sentir. Pour illustrer son importance désormais stratégique, le dessalement est devenu une nécessité vitale pour les grands centres urbains algériens du littoral méditerranéen tels que Oran, Alger, Arzew...

### **3.1 Le dessalement : historique, procédés et coûts :**

#### **3.1.1 L'historique du dessalement :**

Le dessalement, qui peut s'appliquer aux eaux salées ainsi que saumâtres, est un procédé de séparation des sels d'une dissolution aqueuse ou de séparation de l'eau des sels afin d'obtenir de l'eau douce propre à la consommation humaine. Pour cela, il faut appliquer de l'énergie on peut déterminer l'énergie nécessaire pour l'obtention de l'eau selon un chemin inverse, en mesurant l'énergie dégagée par la dissolution de sels dans de l'eau pure.

L'énergie minimum nécessaire pour le dessalement dépend de la concentration de l'eau : pour l'eau brute de mer de 35.000 ppm au total de solides dissous, l'énergie, à 25° C, est de 0,88 kWh/m<sup>3</sup> et de 0,3 kWh/m<sup>3</sup> dans le cas d'une concentration de 15.000 ppm. Mais la technique actuelle ne permet de dessaler qu'à un coût énergétique cinq fois plus élevé.

Mis à part la technologie actuelle, le dessalement est un phénomène naturel qui se développe dans le cycle hydrologique de l'eau : l'évaporation des eaux de mer. Annuellement, environ 502.800 Km<sup>3</sup> d'eau des océans s'évaporent.

L'histoire du dessalement parte déjà de l'époque grecque. Durant le XVI<sup>e</sup> siècle, on constate aussi des essais rudimentaires. C'est à partir du XIX<sup>e</sup> siècle qu'apparaît au Chili la première usine par distillation solaire dont la production de 20m<sup>3</sup> permet de fournir de l'eau à un village minier dans une zone aride.

Par la suite, pendant la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, les processus de dessalement ont employé les techniques d'évaporation. La dépendance et la haute consommation énergétique vont promouvoir la recherche d'autres méthodes, par exemple, les membranes dont les premières recherches à succès se localisent dans les années 60 aux États Unis. Les matériaux se développent : des membranes plates à acétate de cellulose à celles à polyamide aromatique qui augmentent l'imperméabilité aux sels jusqu'à 99%. On s'est également concentré sur la réduction de la pression nécessaire pour le dessalement.

Dans les années 70, la capacité mondiale n'était que de 1,7 hm<sup>3</sup>/j, ce qui correspondait aux usines d'évaporation de construction à très bon marché mais à consommation élevée. Après la crise pétrolière de 1973, les pays exportateurs de pétrole, ainsi que ceux ayant une plus grande pénurie en eau, commencent à installer une grande quantité d'usines d'évaporation avec production d'électricité.

Dans les années 80, les usines d'osmose inverse commencent à prendre place ailleurs le Golfe Persique. Ainsi dans les années 90, l'évaporation continue à être employée dans le Moyen-Orient mais l'osmose inverse est dominante dans le reste du marché mondial.

Actuellement, et d'après l'inventaire mondial de l'Association Internationale de Dessalement (IDA), Il existe plus de 15 000 unités de dessalement dans le monde produisent environ 56 millions de m<sup>3</sup>/j, dans 120 pays. 60,6% de l'eau employée dans ces usines est de l'eau de mer, 22,8% est saumâtre et le pourcentage restant correspond aux eaux superficielles et résiduelles. Les pays du Moyen-Orient, et principalement ceux du Golf Persique, atteignent 12 millions de m<sup>3</sup>/j : l'Arabie Saoudite dispose de 23,6% du total et est suivi par les Etats Unis avec 16,7%, les Émirats Arabes Unis avec 16,3% et le Koweït, 6,4%.

Au niveau du nombre des installations, le premier poste revient aux États-Unis (il s'agit de petites installations) et le deuxième, l'Arabie Saoudite. Le cinquième est occupé par l'Espagne qui est le quatrième en dessalement d'eau de mer après l'Arabie Saoudite, les Pays du golfe et les USA. Et le deuxième en dessalement par osmose inverse (OI). Le rapport avec les technologies, 42,9% de la capacité des usines est MSF et 38,9% d'OI (les usines de plus de 400 m<sup>3</sup>/j représentent 57,5% et 27,6% respectivement). Le pourcentage restant s'applique à d'autres technologies (ED, CV et MED).<sup>1</sup>

#### **3.1.1.1 le dessalement en Algérie :**

L'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie pétrolière et sidérurgique. Le recours au dessalement en vue d'un usage exclusivement à l'alimentation de la population en eau potable est quasi inexistant. Néanmoins une seule expérience a été tentée dans une situation où il n'existait aucune autre solution. Il s'agit de l'unité de déminéralisation de Ouled Djellal dans la Wilaya de Biskra (Sud-Est –Algérie).

Dans l'industrie, la déminéralisation et le dessalement sont utilisés pour assurer la fourniture de l'eau de chaudière, de refroidissement, de traitement. En 1964, trois petits blocs de 8 m<sup>3</sup>/h chacun ont été installés au complexe Gaz liquéfié d'Arzew (ville côtière à l'Ouest du pays). Le procédé utilisé est « à tubes submergés » travaillant à basse pression. Au cours de la même année, une autre installation a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de 4560m<sup>3</sup>/ J. Le procédé utilisé est MSF.

Dés lors de nombreuses installations de dessalement et de déminéralisation ont été mises en place en parallèle avec les nouveaux complexes. D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté nécessaires à l'activité des complexes de production d'électricité (Cap Djenet à l'est d'Alger) et de l'industrie de liquéfaction (Arzew

---

<sup>1</sup> Les statistiques données sont extraites du Rapport sur le suivi de la stratégie méditerranéenne de développement durable.



et Skikda). D'autres petites unités ont été installées principalement dans le sud en vue de fournir de l'eau de qualité pour la consommation humaine dans les bases pétrolières.

### **3.1.1.1.1 Les stations de dessalement et de déminéralisation des années 60 et 80 :**

**Tableau3.1:** Les stations de dessalement et de déminéralisation existantes dans les années 60 et 80. <sup>2</sup>

<b>Site</b>	<b>Nombre d'unités</b>	<b>Débit (m3/j)</b>	<b>Procédé</b>	<b>Mise en service</b>
<b>Skikda</b>	1	1440	Flash	1971
<b>Skikda</b>	2	720	Flash	1971
<b>Skikda</b>	/	1440	Echangeurs d'ions	1971
<b>Annaba</b>	2	960	Echangeurs d'ions	1971
<b>Annaba</b>	2	3600	Echangeurs d'ions	1973
<b>Ghazaouat</b>	1	840	Echangeurs d'ions	1974
<b>Arzew</b>	6	3880	Electrodialyse	1975
<b>Arzew</b>	/	960	Echangeurs d'ions	1975
<b>Hassi Messaoud</b>	6	1000	Electrodialyse	1975
<b>Hassi Messaoud</b>	2	110	Electrodialyse	1976
<b>Hassi Touil</b>	1	55	Electrodialyse	1977
<b>Arzew</b>	1	350	Thermo compression	1978
<b>Annaba</b>	3	14180	Multiflash	1978
<b>Hassi Messaoud</b>	2	350	Electrodialyse	1978
<b>Bel Abbes</b>	/	1500	Echangeurs d'ions	1978
<b>HaoudBercaoui</b>	1	55	Electrodialyse	1979
<b>Hassi Messaoud</b>	2	300	Electrodialyse	1979
<b>Rhoud El Baguel</b>	1	25	Electrodialyse	1979
<b>Arezw</b>	1	960	Multifash (5 étages)	1979
<b>Annaba</b>	2	144	Echangeurs d'ions	1979
<b>Annaba</b>	2	576	Echangeurs d'ions	1979
<b>HassiRmel</b>	3	792	Osrose inverse	1979
<b>Annaba</b>	2	6240	Echangeurs d'ions	1980

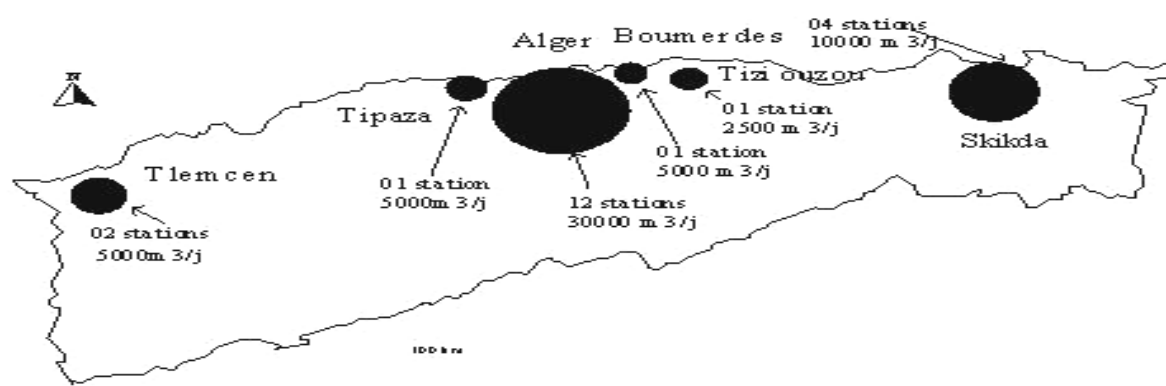
<sup>2</sup> Dessalement d'eau de mer : Etude de trois stations du littoral Algérois, Bessénasse Mohamed 2006.

<b>Ghardaïa</b>	/	960	Osmose inverse	1980
<b>Arzew</b>	1	960	Multiflash (6 étages)	1980
<b>Mostaganem</b>	/	57600	Osmose inverse (6 lifnes)	1980
<b>Rhourd El Baguel</b>	2	300	Electrodialyse	1981
<b>Biskra</b>	/	864	Osmose inverse	1981
<b>Annaba</b>	1	1800	Echangeurs d'ions	1981
<b>Reghaia</b>	/	160	Echangeurs d'ions	1982

\*Mostaganem – unité de dessalement d'eau saumâtre par osmose inverse utilisée pour les besoins d'une papeterie (52000m<sup>3</sup>/j-1994) ;

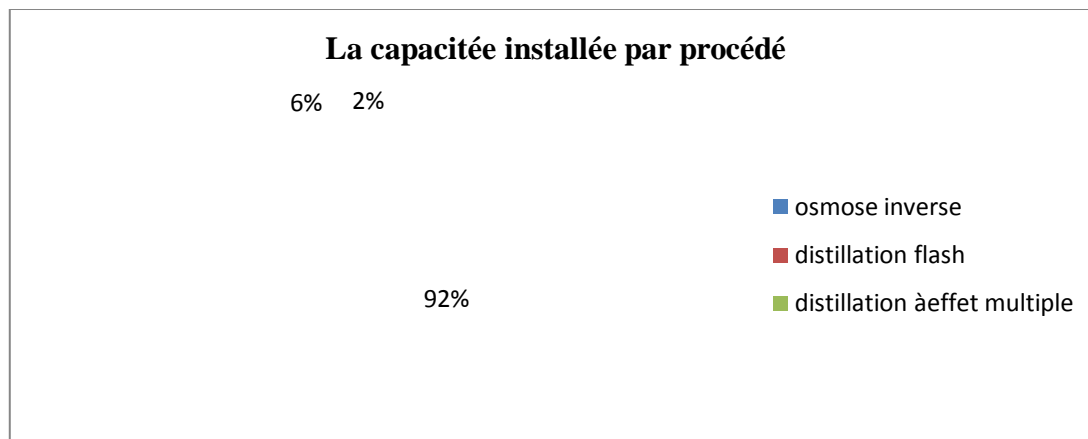
\*Annaba – unité de dessalement d'eau de mer par osmose inverse de 5184 m<sup>3</sup> /j utilisée par ASMIDAL (1996).

\*Depuis 2005. 12 usines sont déjà en service, et 33 nouvelles sont prévues d'ici 2019, les 12 principales étant réalisées suivant la formule BOO (Build, Own, Operate), où conception, réalisation et exploitation de l'usine sont à la charge de l'investisseur privé étranger pendant le temps de la concession accordée par l'Etat. (Voir tableaux 1.2. 1.3, 1.5).



**Figure 3.1:** Répartition des stations de dessalement.<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, p 47.La problématique de l'eau en Algérie du nord Remini B.



**Figure3.2:** La capacité installée par procédé en Algérie d'une capacité globale de 2 317 000  $m^3/j$ <sup>4</sup>

### 3.1.1.2 un aperçu de la situation et des projets en dessalement d'eau en méditerranée :

Les pays méditerranéen subissent des pressions croissantes sur leurs ressources en eau. Certains d'entre eux (Egypte, Israël, Libye, Malte, Syrie, Gaza...), leurs prélèvements en eau approchent voire dépassent le niveau limite des ressources renouvelables. Les pénuries d'eau, conjoncturelles ou structurelles, sont appelées à s'aggraver. La baisse des précipitations, déjà constatée, réduit les ressources en eau mobilisables et les tensions sur ces ressources vont être exacerbées par les effets du changement climatique, la croissance démographique, et aussi au développement économique (industrie). En effet, le dessalement des eaux de mer ou des eaux saumâtres constitue l'une des réponses possibles pour faire face aux crises et pénuries d'eau.

Sur 70 villes de plus d'un million d'habitants sans accès direct à des ressources supplémentaires en eau douce, 42 sont situées sur la côte. De plus, 39% de la population mondiale, soit 2,4 milliards d'habitants, vit à moins de 100 km de la mer. Ces deux facteurs font du dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres une vraie ressource alternative. Il peut constituer une solution contre la surexploitation des aquifères dans les zones côtières, une réponse à certains risques stratégiques, comme des épisodes de forte sécheresse ou des ruptures de l'alimentation en eau.

Il existe, plus de 15 000 unités de dessalement dans 120 pays produisant environ 56 millions de  $m^3/j$ , dont les trois quarts issus de l'eau de mer et un quart des eaux saumâtres. Sur ces 56

<sup>4</sup> M.A. Sanz, Technologies de dessalement : l'énergie comme moteur du développement, Séminaire international sur le dessalement des eaux. P 78.

millions, 75% sont destinés à la consommation humaine, 25% à un usage industriel ou agricole.

Les prévisions faites par les experts estimaient que la capacité de dessalement d'eau de mer mondiale augmenterait de 100% d'ici à 2015, or ces estimations semblent sous-estimées puisque l'Inde et la Chine à titre d'exemple ont largement dépassé ces prévisions)

L'Arabie Saoudite génère à elle seule 17,4% de la production mondiale. Mais, le dessalement ne concerne plus seulement les riches et désertiques États du Golfe, où fonctionnent les plus importantes installations. En Australie, un tiers de l'eau douce consommée par la ville de Perth provient de cette technique. En Méditerranée, la production artificielle d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre souterraine a débuté principalement dans des situations d'isolement insulaire (Malte, Baléares, Chypre...), littorales (Libye) et désertiques (Algérie). Ces productions industrielles d'eau ont progressé régulièrement en volume et en performance. L'Algérie et l'Espagne ont clairement opté pour cette option pour résoudre leur problème de pénurie.

L'Algérie, prévoit de disposer en 2019 de 43 usines de dessalement pour approvisionner les villes, et réservera les eaux traitées et de barrage à l'agriculture et l'usage industriel (800 000 m<sup>3</sup>/j installés, 2 000 000 M<sup>3</sup>/j programmés).

La Méditerranée représente environ un quart du dessalement mondial. Les experts estiment que Vers 2030, la région pourrait approcher le chiffre du dessalement mondial actuel (soit environ de 30 à 40 millions de m<sup>3</sup>/j).

Au Maroc : 20 000 M<sup>3</sup>/j installés, des projets lancés dont Agadir et Tan Tan.

En Tunisie : 95 000 M<sup>3</sup>/j installés.

En Libye : 900 000 M<sup>3</sup>/j thermiques installés, et un projet de dessalement nucléaire.

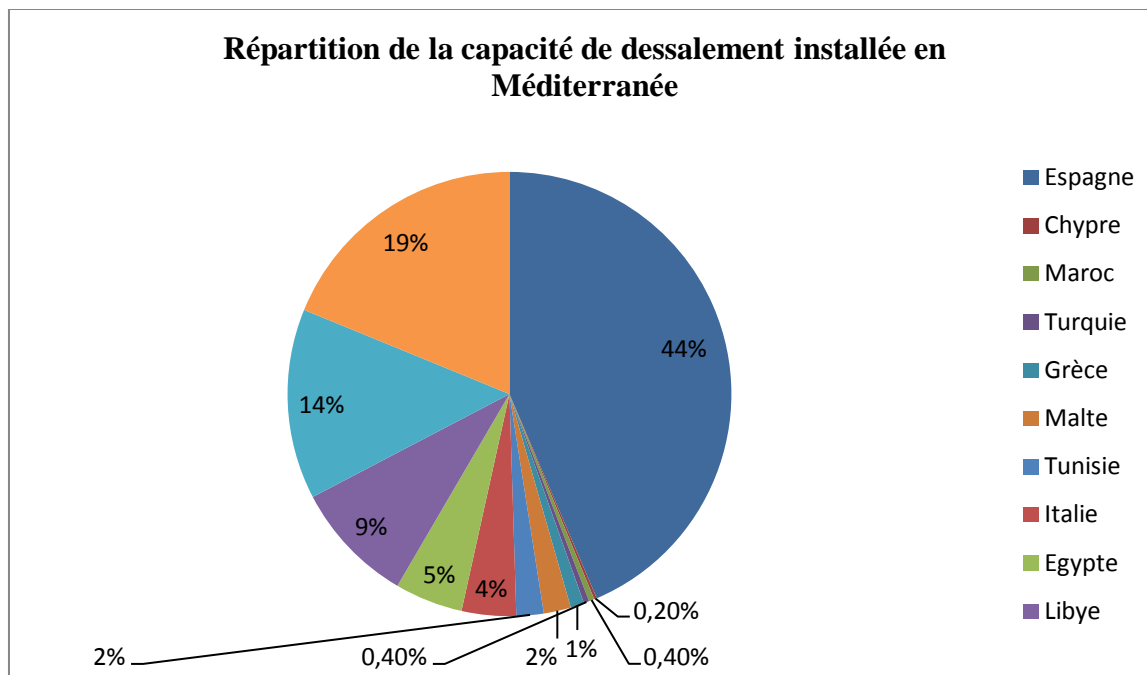
En Egypte : dessalement sur la mer rouge.

A Malte, le dessalement représente 60% de l'eau potable de l'île.

A Chypre, 2 usines de dessalement sont opérationnelles.

En Israël : plus de 800 000 M<sup>3</sup>/j installés, dont une grande unité d'osmose inverse de 320 000 M<sup>3</sup>/j à Ashkelon.

L'Espagne est au 4<sup>ème</sup> rang mondial, après l'Arabie Saoudite, les Pays du golfe et les USA.



**Figure3.3:** Répartition de la capacité de dessalement installée en Méditerranée<sup>5</sup>

### 3.1.2 Les techniques utilisées pour le dessalement de l'eau de mer :

Les usines de dessalement actuellement en service font appel à deux grandes familles de procédés, les procédés thermiques et les procédés membranaires. Le procédé thermique de distillation à détente étagée et le procédé de séparation par membranes appelé osmose inverse sont les plus répandus.

Toutes ces méthodes permettent d'obtenir de l'eau dessalée à partir de l'eau de mer (salinité comprise entre 30 et 50 g/L) et de l'eau saumâtre souterraine ou de surface (salinité comprise entre 1 et 10 g/L). Cette eau dessalée est utilisée pour des besoins domestiques, industriels et agricoles. Selon la salinité de l'eau, l'utilisation des technologies de dessalement varie légèrement. Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes : une prise d'eau de mer avec une pompe; un prétraitement; le procédé de dessalement lui-même; le post-traitement.

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre.

<sup>5</sup> Source : Le dessalement de l'eau de mer : une réponse aux besoins d'eau douce en Méditerranée ? Les Notes du Plan Bleu Environnement et Développement en Méditerranée .N° 16 Juillet 2010.

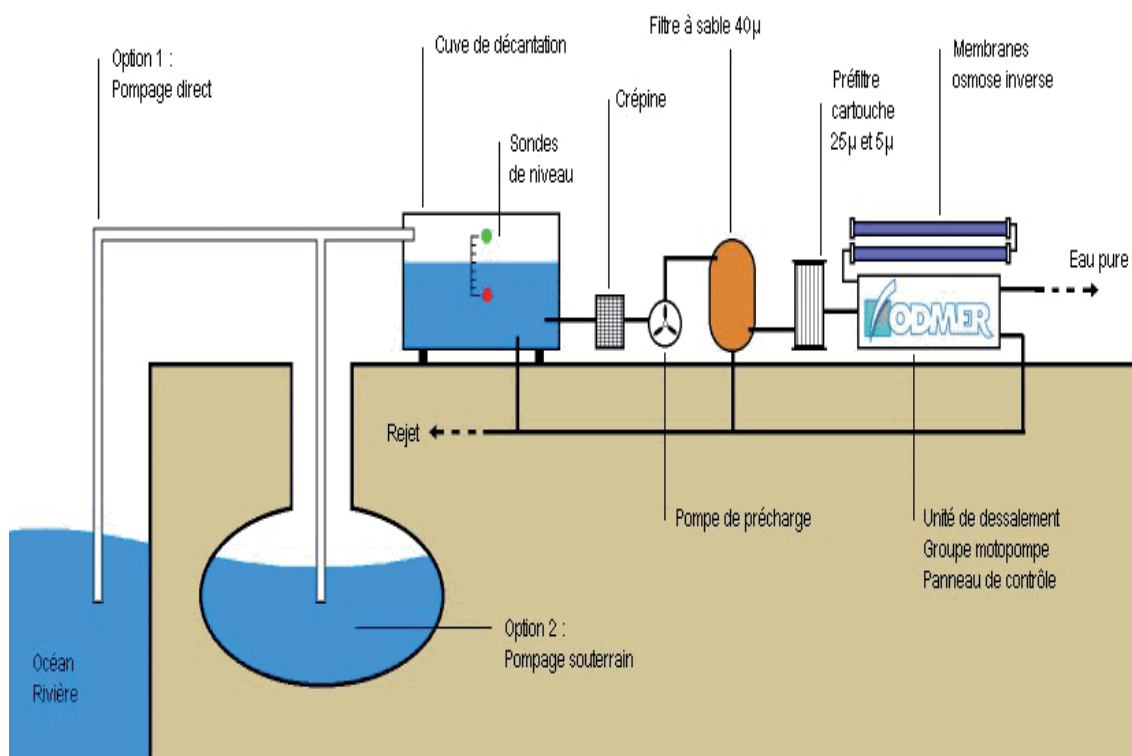


Figure 3.4 : L'organisation des stations de dessalement<sup>6</sup>

### 3.1.2.1 L'osmose inverse :

#### 3.1.2.1.1 L'évaluation du procédé par osmose inverse :

L'osmose inverse est un procédé de purification de l'eau contenant des matières en solution par un système de filtrage très fin qui ne laisse passer que les molécules d'eau. Il permet de filtrer toutes les particules dissoutes ou en suspension dans l'eau et peut être utilisé pour le dessalement de l'eau de mer. L'eau brute pré-épurée est poussée à haute pression au travers d'une membrane semi-perméable. Il en résulte d'une part un flux d'eau avec une très faible concentration en sel et d'autre part un flux rejeté à haute teneur en sel, appelé saumure.

#### 3.1.2.1.2 Fabrication, installation et procédé :

L'osmose inverse est utilisée pour le dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre. Il s'agit du procédé nécessitant la plus basse mise de fond et les coûts d'opération les plus faibles puisque sa consommation d'énergie est plus basse, sa construction plus facile et le procédé plus simple que la distillation.

Le procédé d'osmose inverse est largement répandu, bien connu, étudié et maîtrisé ce qui élimine une partie de l'incertitude liée à sa mise en place et son opération.

<sup>6</sup>Source : veoliaeau.com

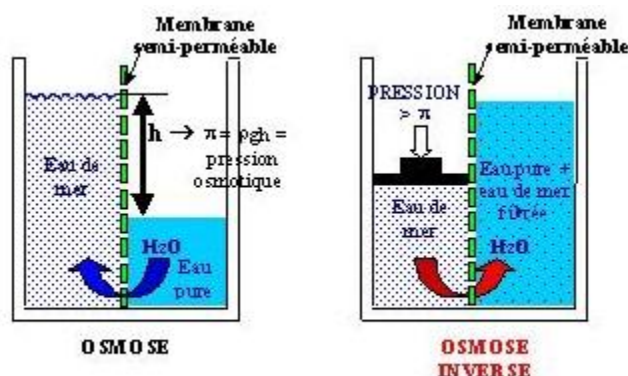


Figure 3.5 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse<sup>7</sup>

### 3.1.2.1.3 Coût de production, d'utilisation, de disposition :

Quoique la quantité d'énergie nécessaire soit inférieure à ce qui est requis pour la distillation, elle demeure importante étant donné qu'il faut appliquer à l'eau salée une pression suffisante pour la faire passer à travers une membrane semi-perméable afin de recueillir l'eau potable de l'autre côté. La principale dépense de production lors de l'utilisation de ce procédé est donc associée à l'énergie nécessaire pour son opération.

Selon la qualité de l'eau qui entre dans le procédé, une autre dépense importante est associée aux systèmes de prétraitement. En effet, l'osmose inverse nécessite de traiter l'eau de mer en la filtrant et en la désinfectant afin de la débarrasser des éléments en suspension et des micro-organismes qu'elle contient avant de procéder à sa filtration. Le prétraitement variera en fonction de la turbidité de l'eau et de la quantité d'algues présentes et de solides dissous. Ainsi, la source d'approvisionnement en eau qui peut avoir une influence importante sur ces facteurs devra être sélectionnée en conséquence. En effet, un approvisionnement à partir d'un puits réduit de beaucoup la problématique de turbidité comparé à une prise d'eau directement en mer.

Des coûts importants sont aussi liés à l'achat des membranes de polymères semi-perméables qui ont une durée de vie limitée. Quoique moindres que les deux dépenses décrites précédemment, ils doivent tout de même être considérés puisqu'ils sont récurrents et qu'ils peuvent fluctuer en raison du marché ou de la technologie sélectionnée.

### 3.1.2.1.4 Enjeux techniques :

Le principal problème rencontré lors de l'utilisation de l'osmose inverse est le colmatage des membranes. Les membranes d'osmose arrêtent toutes les matières en suspension. Il en résulte

<sup>7</sup> Source : veoliaeau.com

un colmatage rapide, qui les rend impropres à l'usage. Pour conserver l'efficacité de celles-ci, il est indispensable de rendre l'eau de mer aussi limpide que possible avant leur utilisation.

Le pré traitement constitue donc un point critique pour ce procédé puisqu'une eau de mauvaise qualité réduit la durée de vie des membranes et augmente les coûts de fonctionnement. Cependant tous les matériaux utilisés pour la fabrication des membranes ont une tolérance limitée aux oxydants tels que le chlore et l'ozone utilisés lors du prétraitement. Il est donc nécessaire d'éliminer ceux-ci avant le dessalement, ce qui complique le procédé.

De plus, les membranes sont sujettes à la dégradation chimique par les ions chlorures et lors de l'atteinte de valeur de pH limite. Selon le matériel utilisé, acétate de cellulose, polycarbonate ou autre matériau composite, la résistance de la membrane aux variations de pH, à la dégradation bactérienne ou chimique ainsi que la perméabilité varie. A titre indicatif, la durée de vie d'une membrane d'acétate de cellulose passe de 5 ans à quelques jours selon le pH.

En ce qui à trait à la consommation d'eau du procédé, il est estimé que 2 m<sup>3</sup> d'eau sont nécessaires pour produire 1m<sup>3</sup> d'eau de consommation par osmose inverse. Il s'agit donc d'une solution qui consomme moins d'eau que la distillation.

#### **3.1.2.1.5 Vie utile et impact environnemental :**

Comme pour les autres technologies de dessalement, le rejet d'eau et la consommation d'énergie constituent les principaux impacts environnementaux. La nature de l'eau rejetée varie selon l'étape de traitement correspondant à sa provenance. Ainsi, l'eau rejetée suite au prétraitement lors du nettoyage des unités de filtration a une haute teneur de matières en suspension biologique, organique et minérale tandis que l'eau de rinçage du procédé a une salinité et une acidité plus grande et que l'eau provenant du nettoyage des membranes est alcaline ou acide avec une grande charge de matières en suspension. C'est sans compter les rejets d'eaux saumâtres suite au dessalement qui ont elles aussi une très grande salinité comparée au milieu récepteur.

De plus, les usines d'osmose inverse utilisent des pompes à haute pression et des turbines qui sont bruyantes et qui contribuent à la pollution sonore.

D'un autre point de vue, les membranes de filtration ont une durée de vie limitée et il faut prendre en considération que celles-ci deviennent des déchets à la fin de leur vie utile.



### 3.1.2.1.6 Considérations sociales et éthiques, application du principe de précaution :

L'osmose inverse est une technologie connue et déjà utilisée par de nombreuses installations de dessalement ce qui facilite son acceptation lorsque le besoin de recourir au dessalement est justifié.

### 3.1.2.1.7 Caractérisation du procédé d'osmose inverse :

L'osmose inverse présente les avantages suivants par rapport à la distillation: faible consommation énergétique, coût d'investissement plus faible, gamme étendue de capacités allant jusqu'à la production de plus de 100 000 m<sup>3</sup> d'eau par jour, salinité de l'eau produite qui convient bien aux usages domestiques. Le Tableau 3.2 présente l'évaluation des impacts associés à ce procédé.

**Tableau 3.2:** Les Procédés d'osmose inverse<sup>8</sup>

Aspect	Critère	Description	Evaluation de l'impact
Economique	Coûts initiaux	Moindre que la distillation	+
	Coûts de maintenance et d'opération	Nécessite un prétraitement	-
Technique	Consommation Energétique	Moindre que pour la distillation	+
	Capacité de Traitement	Le procédé consomme moins d'eau de mer que la distillation pour produire la même quantité d'eau potable.	+
	Membrane : fabrication, perméabilité, colmatage, dégradation, vie utile	Susceptible au colmatage et à la dégradation	-

<sup>8</sup> Annie Bissonnette, 2008. Utilisation de nano membranes pour le dessalement de l'eau et comparaison avec l'osmose inverse et la distillation, p 34.

<b>Environnement</b>	Écosystème marin	Les produits chimiques utilisés lors du prétraitement peuvent contaminer le rejet.	-
	Bruit	Utilisation de turbines et de pompes à haute pression bruyantes.	-
	Source d'énergie	Consommation moindre	+
	Gestion des résidus	Les membranes ont une courte durée de vie et constituent des déchets.	-
<b>Sociaux</b>	Réponse au besoin	Possibilité d'usine à grande capacité.	+
	Main d'œuvre	Procédé répandu et bien connu	+
	Acceptation	Procédé le plus populaire	+
	Santé humaine	Eau produite convient bien aux usages Domestiques	+

**+ : impact positif, - : impact négatif, \* impact inconnu.**

### **3.1.2.2 Procédés par distillation :**

#### **3.1.2.2.1 évaluation du procédé par distillation :**

La distillation consiste à faire évaporer l'eau de mer, soit en utilisant la chaleur des rayons solaires, soit en la chauffant dans une chaudière. Seules les molécules d'eau s'échappent, laissant en dépôt les sels dissous et toutes les autres substances contenues dans l'eau de mer. Il suffit alors de condenser la vapeur d'eau ainsi obtenue pour obtenir une eau douce consommable.

L'inconvénient majeur de ces systèmes est qu'ils sont très coûteux. Les installations sont peu rentables parce que les quantités d'énergie nécessaires au chauffage ou à la compression de l'eau sont très élevées, et les volumes d'eau produits faibles.

L'utilisation de cette technique de production d'eau potable reste donc encore très marginale. Cette technologie de dessalement est principalement utilisée au Moyen Orient ou des pays suffisamment riches, comme le Koweït et l'Arabie Saoudite, l'utilisent pour produire de l'eau douce destinée à la consommation humaine. Les deux procédés de dessalement thermiques sont décrits dans les paragraphes suivants.

### 3.1.2.2 Distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation) MSF :

Cette technologie de dessalement est fondée sur un principe simple : la reproduction du cycle naturel de l'eau. Ainsi, dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer. La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide. Pendant qu'une pompe évacue les gaz incondensables, un groupe de pompes soutire l'eau condensée et un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure. Il faut approximativement un kilogramme de vapeur pour produire un kilogramme d'eau. La quantité d'énergie thermique devient donc gigantesque dès qu'il s'agit de répondre aux besoins de la population d'une ville.

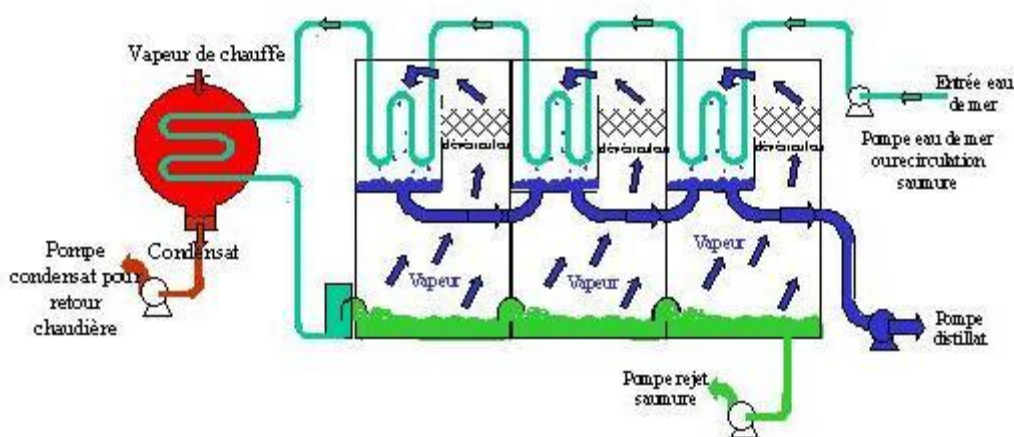


Figure 3.6: Principe de fonctionnement d'un système par détente successive (MSF)<sup>9</sup>

### 3.1.2.2.3 Distillation multi-effets (Multi-Effect distillation MED) :

Une installation de distillation à effets multiples est constituée par la juxtaposition de cellules fonctionnant selon le principe de la distillation à effet simple. Le fluide de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule, qui est aussi la cellule où règne la température la plus haute. La vapeur émise par l'ébullition de l'eau de mer est transférée dans la cellule voisine, où on maintient une pression légèrement inférieure. La température d'ébullition diminuant avec la pression, on vaporise l'eau de mer présente dans la deuxième cellule. C'est le deuxième effet. On peut évidemment répéter l'opération plusieurs fois, la limite basse étant donnée par la température de l'eau de mer froide. Dans ce procédé, la

<sup>9</sup> Source : veoliaeau.com

consommation d'énergie est approximativement celle de la distillation simple divisée par le nombre d'effets.

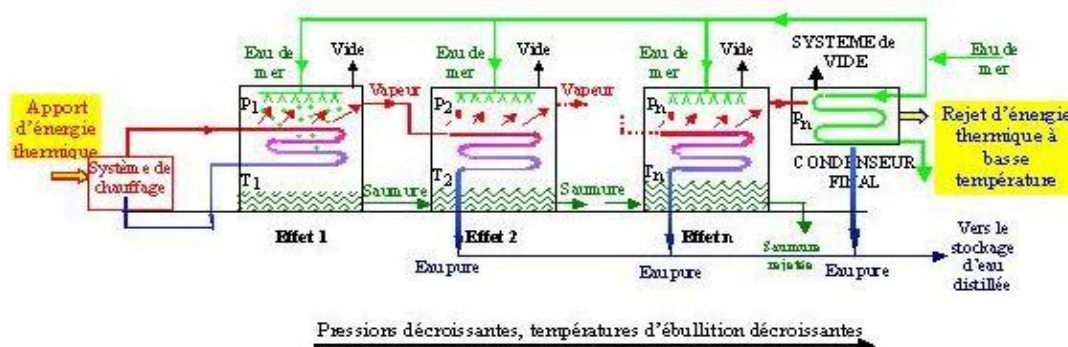


Figure 3.7 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).<sup>10</sup>

#### 3.1.2.2.4 Coût de production, d'utilisation, de disposition :

Le coût d'une installation de distillation a diminué de 50% au cours des vingt dernières années et ce malgré l'augmentation du coût des matières premières et de la main d'œuvre. Ceci s'explique entre autre par la présence de technologies alternatives sur le marché, par l'optimisation technique du procédé et par l'ajustement des spécifications. Même s'il demeure plus élevé que pour l'osmose inverse, l'investissement initial pour la distillation peut-être intéressant en raison de la fiabilité des installations, de la performance du procédé et des coûts récurrents plus faibles.

#### 3.1.2.2.5 Enjeux techniques :

Le procédé de dessalement par distillation présente certains avantages en particulier pour les eaux très salines puisque sa performance et ses coûts sont indépendants de la salinité. Un autre des avantages de la distillation est que contrairement à l'osmose inverse, son efficacité ne dépend pas de la qualité de l'eau qui entre dans le procédé. De plus la distillation produit une eau contenant peu de solides dissous totaux ce qui est intéressant pour les industries ayant recours à l'eau dans leur procédé. Par contre, en raison de sa très grande consommation, toute usine de dessalement par distillation doit être couplée à une source d'énergie importante.

Les autres problématiques dont il a été question dans le volet sur l'osmose inverse telles que le colmatage et la dégradation des membranes ne posent pas problème dans ce cas puisque la distillation n'utilise pas de membranes. De plus, il s'agit d'un procédé beaucoup moins

<sup>10</sup> Source : veoliaeau.com

sensible aux matières en suspension qui ne requiert qu'une filtration grossière telle un dégrillage pour la protection des pompes et des échangeurs.

#### **3.1.2.2.6 Vie utile et impact environnemental :**

Outre l'augmentation de la salinité, de la turbidité et la création de courants d'eau non naturels associés aux rejets d'une usine de dessalement, un des effets pervers est la pollution thermique qui résulte de la distillation à détentes étagées. La température de l'eau rejetée étant plus élevée à la sortie du procédé, elle modifie l'environnement marin en augmentant la température de l'écosystème.

De plus, dans ce procédé, de grandes quantités de carburant sont consommées pour effectuer le dessalement. Lors de leur combustion, ceux-ci rejettent des polluants dans l'air tels que le monoxyde de carbone et des hydrocarbures. Par contre, contrairement à l'osmose inverse, ce procédé est moins bruyant et il n'utilise pas de membranes. Il produit donc moins de déchets.

#### **3.1.2.2.7 Considération sociales et éthiques, application du principe de précaution :**

La distillation fait simplement appel à un changement d'état de l'eau qu'on retrouve tel quel dans la nature, le procédé théorique est donc acceptable d'emblée.

Malheureusement, la consommation d'énergie élevée qui lui est associée suscite le questionnement et l'opposition de certains groupes. Son utilisation populaire dans les pays producteurs de pétrole est associée à la création de besoins sans cesse grandissants associés à la croissance de certaines industries.

Loin de répondre au simple besoin de la population, la production d'eau repousse les limites de ce qui est envisageable comme développement dans la région du Moyen- Orient.

#### **3.1.2.2.8 Caractérisation du processus de distillation :**

Une usine de dessalement faisant appel à la distillation est plus coûteuse initialement et demande une plus grande quantité d'énergie qu'une installation d'osmose inverse. Cependant puisqu'il ne requiert pas de prétraitement complexe ou de membrane, le procédé est moins compliqué et produit moins de rejets tangibles. Le Tableau 3.3 présente l'évaluation des impacts associés au dessalement par distillation.

Tableau 3.3: Les Procédés de distillation<sup>11</sup>

Aspect	Critère	Description	Evaluation de l'impact
Economique	Coûts initiaux	Les coûts de démarrage sont plus élevés que pour l'osmose inverse.	-
	Coûts de maintenance et d'opération	Procédé très fiable et sans membrane.	+
Technique	Consommation Energétique	Très élevée due à la nécessité de chauffer l'eau pour l'évaporation.	-
	Capacité de Traitement		+
	Membrane : fabrication, perméabilité, colmatage, dégradation, vie utile	Non évaluée puisqu'il s'agit d'un procédé thermique.	S/O
Environnement	Écosystème marin	Rejet d'eau ayant une température plus élevée que le milieu récepteur.	-
	Bruit	Ne nécessite pas l'utilisation de pompe à haute pression et de turbine, il est donc moins bruyant.	+
	Source d'énergie	Très énergivore	-
	Gestion des résidus	Aucune membrane donc moins de déchets produits.	+
Socia	Réponse au besoin	Possibilité d'usine à grande capacité.	+
	Main d'œuvre	Procédé répandu et bien connu	+

<sup>11</sup> Annie Bissonnette, 2008. Utilisation de nano membranes pour le dessalement de l'eau et comparaison avec l'osmose inverse et la distillation, p 38.

	Acceptation	Procédé populaire et accepté	+
	Santé humaine	La production d'énergie pollue et a un impact sur la santé	-

**+ : impact positif, - : impact négatif, \* impact inconnu, S/O : non évalué.**

### 3.1.2.3 la congélation :

Le procédé fait recours à la glace pour dessaler l'eau de mer, il s'agit du procédé de congélation sous vide. Notamment en l'Israël et aux Etats-Unis Lorsqu'on fait geler de l'eau salée, les cristaux qui se forment consistent sous forme de glace pratiquement déminéralisée, le sel étant chassé de l'eau lors de la cristallisation se déposant à la surface du cristal. Ce procédé implique des phénomènes trop onéreux de point de vue commercial : tout d'abord, la congélation de l'eau salée sous vide, ensuite le lavement des cristaux et enfin la fonte pour obtenir de l'eau douce.

### 3.1.2.4 Electrodialyse :

L'électrodialyse est une méthode électrochimique dans laquelle le sel est séparé de l'eau par transfert d'ions, appliquant un courant continu à deux électrodes plongées dans une solution aqueuse saline. Les ions positifs sont attirés alors par la cathode tandis que les anions migrent vers l'anode.

Dans l'électrodialyse, des membranes filtrantes imperméables pour les cations ou pour les anions, sont interposés alternativement entre les électrodes. La membrane qui laisse passer les cations a la propriété d'arrêter les anions ; celle qui est imperméable aux anions oppose évidemment une barrière aux cations. Ainsi, des cellules où l'eau contient une concentration de sel alternent avec d'autres où l'eau a été déminéralisée. De point de vue financier, cette méthode n'étant rentable qu'avec une salinité qui n'excède pas 1%, l'eau de mer n'est donc pas susceptible d'être traitée à grande échelle de cette façon.

### 3.1.2.5 Comparaison des techniques entre elles :

#### 3.1.2.5.1 Aspects techniques :

##### A) En eau saumâtre :

**Tableau 3.4** : Comparaison des procédés (osmose inverse et électrodialyse).<sup>12</sup>

Comparaison des procédés	Osmose inverse	Electrodialyse
Température de fonctionnement (C°)	< 45	< 45
Energie utilisée	Mécanique (via électricité)	Electrique
Consommation électrique (kWh/m <sup>3</sup> )	4-7	1
Salinité de l'eau brute (g/l)	1 – 45	0,1 – 3
Salinité de l'eau traitée (mg/l)	< 500	< 500
Capacité d'un train (m <sup>3</sup> /j)	1 – 10.000	1 – 12.000
Avantages	Modularité	

L'électrodialyse n'est compétitive avec l'OI qu'en dessous de 3mg/L de sels.

##### B) En eau de mer :

Le dessalement est un processus grand consommateur d'énergie. Pour le MED et les usines MSF, l'énergie principale est utilisée sous forme de chaleur, les pompes et les auxiliaires exigent par contre l'énergie électrique. Il en est également de l'osmose inverse qui utilise exclusivement de l'énergie électrique.

<sup>12</sup> Farid TATA-DUCRU, Janvier 2009. Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes. p 11.



Tableau 3.5 : Comparaison des procédés (distillation et osmose inverse).<sup>13</sup>

Comparaison des Procédés	MSF	MED	OI
Température de fonctionnement (°C)	< 120	< 70	< 45
Principale source d'énergie	Thermique	Thermique	Mécanique (via électricité)
Consommation thermique (kWh/m <sup>3</sup> )	12	6	Pas applicable
Consommation électrique (kWh/m <sup>3</sup> )	3.5	1.5	4-7
Salinité de l'eau brute (g/l)	30 – 100	30 – 100	1 – 45
Salinité de l'eau traitée (mg/l)	< 10	< 10	< 500
Capacité d'un train (m <sup>3</sup> /j)	5.000 – 60.000	500 – 12.000	1 – 10.000
Avantages	Technique éprouvée	20 % moins cher que le MSF	Modularité
Inconvénients	Investissement, consommation	Capacité plus faible que MSF	Fragilité

Chaque technique a une particularité technique qui la fera adopter dans un cas plutôt que dans l'autre. Ainsi, les techniques thermiques sont adaptées aux fortes salinités et aux hautes températures alors que les techniques à membranes sont meilleur marché dans des conditions de salinité moyenne et de température peu élevée (autour de 25°C).

D'autre part, le coût de l'énergie est très différent d'un pays à l'autre. Ainsi, dans les pays pétroliers, le baril de pétrole est très bon marché et les autorités préfèrent les techniques thermiques. L'absence de ressources fossiles favorisera l'osmose inverse.

<sup>13</sup> Farid TATA-DUCRU, Janvier 2009. Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes. p 11.

### 3.1.2.5.2 Comparaison économique :

Les tableaux suivants permettent de comparer le coût de l'eau produite selon la technique, à une capacité donnée (Indépendamment de la source d'énergie). On voit nettement l'effet de la capacité sur le coût final. L'effet d'échelle est important.

**Tableau 3.6 : Comparaison économique des procédés.<sup>14</sup>**

<b>Pour une capacité de 10 000 (m<sup>3</sup>/jour)</b>				
<b>Technologie</b>	<b>OI (eau saumâtre)</b>	<b>OI (eau de mer)</b>	<b>MSF</b>	<b>MED</b>
<b>Investissement (€/m<sup>3</sup>/jour)</b>	575	1427	3408	2023
<b>Coût de l'eau (€/m<sup>3</sup>)</b>	0.27	0.67	1.40	0.83

<b>Pour une capacité de 50 000 (m<sup>3</sup>/jour)</b>				
<b>Technologie</b>	<b>OI (eau saumâtre)</b>	<b>OI (eau de mer)</b>	<b>MSF</b>	<b>MED</b>
<b>Investissement (€/m<sup>3</sup>/jour)</b>	376	1050	2122	1539
<b>Coût de l'eau (€/m<sup>3</sup>)</b>	0.18	0.50	0.87	0.63

<b>Pour une capacité de 275 000 (m<sup>3</sup>/jour)</b>				
<b>Technologie</b>	<b>OI (eau saumâtre)</b>	<b>OI (eau de mer)</b>	<b>MSF</b>	<b>MED</b>
<b>Investissement (€/m<sup>3</sup>/jour)</b>	241	756	1286	1153
<b>Coût de l'eau (€/m<sup>3</sup>)</b>	0.11	0.36	0.53	0.48

<b>Pour une capacité de 500 000 (m<sup>3</sup>/jour)</b>				
<b>Technologie</b>	<b>OI (eau saumâtre)</b>	<b>OI (eau de mer)</b>	<b>MSF</b>	<b>MED</b>
<b>Investissement (€/m<sup>3</sup>/jour)</b>	206	676	1078	1042
<b>Coût de l'eau (€/m<sup>3</sup>)</b>	0.10	0.32	0.44	0.43

\*Le cout de dessalement des eaux saumâtres est nettement inférieur à celui du dessalement de l'eau de mer, la différence est de plus de 40% ;

\*Le cout de l'eau dessalée diminue en fonction de la taille de l'unité de dessalement. Plus la taille est importante plus le cout est minime, d'où l'intérêt de construire des installations à grande capacité si la demande le permet.

<sup>14</sup>Farid TATA-DUCRU, Janvier 2009. Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes. P 12.

### 3.1.3 Le dessalement grâce à des énergies renouvelables :

Le grand potentiel des pays méditerranéens en énergie solaire et éolienne peut servir au dessalement sans émission de carbone. Cependant, l'utilisation des énergies renouvelables pour le dessalement conventionnel souffre de deux contraintes : leur coût élevé et la discontinuité de la production (alternance jour/nuit pour le solaire et aléas climatiques pour l'éolien) :

\*Pour pallier la première, l'utilisation de procédés de dessalement à très hautes performances énergétiques est impérative. Le procédé d'osmose inverse, utilisant uniquement de l'énergie électrique ou mécanique, est le plus performant du point de vue énergétique (2,5 à 3 kWh/m<sup>3</sup> dans le cas de l'eau de mer).

\*Pour pallier la seconde, il y a une nécessité d'un stockage d'énergie ou de connexion au réseau.

Au niveau mondial, environ une centaine d'unités de dessalement associées aux énergies renouvelables ont été construites ces 20 dernières années. La plupart sont des petites installations expérimentales ou de démonstration (0,5 à 200 m<sup>3</sup>/j). Plusieurs sont localisées en Méditerranée (Egypte, Algérie, Tunisie, Espagne). Elles fonctionnent avec un stockage d'énergie par batteries, entraînant des coûts élevés et pâtissent du manque de compétence locale en particulier pour la maintenance. Cependant, l'expérience montre que les unités de dessalement solaire et éolien de petite capacité, bien conçues et exploitées, peuvent permettre d'alimenter en eau de bonne qualité des sites isolés, à des coûts dès aujourd'hui intéressants. Mais si l'on veut éviter des difficultés de fonctionnement dans la durée et assurer bonne maintenance et durabilité, les installations doivent être les plus simples et les plus fiables possibles.

#### 3.1.3.1 l'énergie éolienne associée au dessalement :

- ✓ En Australie, à Kwinana (près de Perth), une nouvelle grande usine de dessalement de 200 000 m<sup>3</sup>/j, mise en service en 2007, est combinée avec une centrale éolienne qui produit en « énergie verte » l'équivalent annuel de l'énergie électrique consommée. L'unité de dessalement consomme 20 MW électriques en base, et 50 MW d'éolien ont été installés (48 éoliennes, au parc éolien d'Emu Downs au nord de Perth). Il n'y a donc, en équivalent énergie, aucune émission de carbone additionnelle du fait du dessalement de l'eau de mer de l'usine de Perth.

- ✓ En Espagne à Gáldar-Gran Canaria, l'unité de dessalement (Aragua S.A) mise en service en 1990 et agrandie en 1998 a une capacité de 15 000 m<sup>3</sup>/j et une consommation annuelle estimée de 25 000 MWh. Le parc éolien, mis en service en mars 2001, a une capacité de 4,62 MW. Il comporte 7 aérogénérateurs de 660 kW d'un fonctionnement équivalent à 2900 heures annuelles. L'énergie produite est principalement « autoconsommée » pour les besoins du dessalement, avec équilibre par le réseau électrique.
- ✓ La ville de Murcie a installé la première usine flottante de dessalement par osmose inverse. Elle est alimentée par l'énergie éolienne d'une puissance de 2,5 MW. Implantée dans des eaux de 40 à 80 m de profondeur, des conduites sous marines transféreront l'eau dessalée sur la côte. Selon les premières estimations, le générateur devrait assurer une production de 2500 heures à l'année et permettre de produire 2 Mm<sup>3</sup> d'eau potable par an, pour l'approvisionnement d'une population de 30 000 habitants. Parallèlement à son avantage énergétique, ce projet présente également un intérêt important pour l'environnement.

En effet, l'élimination des saumures se fera dans des eaux plus profondes, favorisant ainsi leur dilution et minimisant la pollution.

- ✓ Au Maroc, L'Office National de l'Eau Potable prévoit la réalisation d'une station de dessalement de 9000 m<sup>3</sup>/j couplée à un parc éolien de 10 MW. Ce projet, de plus de 20 millions de dollars, prévoit une sous-traitance de l'exploitation à un opérateur privé pour une durée de 20 ans. Il est éligible au MDP<sup>15</sup>.
- ✓ En Libye, la Compagnie générale d'électricité prévoit d'installer une usine-pilote d'une capacité de 300 m<sup>3</sup>/j pour le dessalement par osmose inverse de l'eau de mer, alimentée à partir de sources d'énergie renouvelables (éolienne et photovoltaïque).

Divers projets éoliens sont étudiés pour le dessalement, en Mer Rouge, en Jordanie, en Tunisie dans le gouvernorat de Kébili.

### **3.1.3.2 l'énergie solaire photovoltaïque et thermique associée au dessalement**

Le solaire photovoltaïque est utilisé très largement et depuis longtemps pour le pompage de l'eau. Par exemple, sur le site d'El Hamrawin en Egypte, a été mise en service en 1981 une réalisation utilisant l'énergie mécanique d'une pompe solaire thermodynamique Sofretes, remplacée aujourd'hui par un générateur photovoltaïque. En revanche, pour le dessalement il

<sup>15</sup>MDP : Mécanisme pour un Développement Propre.

existe assez peu de réalisation en photovoltaïque, sans doute du fait des coûts élevés. On peut toutefois citer en Algérie, l'unité d'Hassi-Khebi, en osmose inverse, qui est associée à un générateur photovoltaïque. Le solaire thermique est économiquement plus compétitif, et il y a déjà un nombre significatif de réalisations. Le dessalement par distillation solaire thermique produit de quelques litres d'eau, jusqu'à plus de 30 m<sup>3</sup>/j (quantité qui permet de fournir 60 l/j et par habitant à un village de 500 habitants). En Méditerranée, il existe des distillateurs solaires, notamment du type serre, en Grèce, en Espagne et en Tunisie. Cette dernière prévoit le recours à l'énergie solaire dans 45 nouvelles stations de dessalement dans des régions du Sud, dont Médenine, Tataouine et Kébili. Dans le Sud tunisien à la station de Ksar Ghilane dont la capacité atteint 20 m<sup>3</sup>/j.

Une technique de distillation d'eau sans ébullition paraît bien adaptée au solaire ou à l'utilisation d'une source de chaleur à basse température. Le pôle technologique et scientifique de dessalement par solaire et éolien de Borj-Cédria(Tunisie) est une plate-forme d'actions de démonstration, recherche et développement et formation, avec diverses technologies : distillateurs à effet de serre par rayonnement solaire direct, osmose inverse, électrodialyse, un aérogénérateur éolien de 4 kW pour une vitesse de vent de 7 m/s, un générateur photovoltaïque de 4 kWc avec batteries de stockage. Les objectifs visés sont multiples : formation de spécialistes tunisiens en dessalement, actions de démonstration sur le terrain, conduite d'activités de recherche et développement pour résoudre des problèmes spécifiques (entartrage par la silice, problèmes posés par les eaux chaudes à plus de 70°C), études socio-économiques du dessalement comme solution alternative au problème de l'eau potable, contribution à la promotion d'une activité industrielle tunisienne en dessalement, avec transfert de technologie.

### **3.1.3.3 l'énergie nucléaire associée au dessalement**

A moyen terme, nombre d'experts considèrent que le nucléaire aura sa place en Méditerranée, en fournissant sans émissions de carbone des kWh nécessaires à une production très compétitive et en grand volume à la fois d'eau et d'électricité. Il y a une demande répétée et un intérêt politique certain de plusieurs pays du Sud de la Méditerranée. En particulier, l'Algérie, la Libye et le Maroc souhaitent de l'énergie nucléaire pour le dessalement.

**Tableau 3.7 : Avantages et obstacles de l'énergie nucléaire**

<b>Avantages du nucléaire</b>	<b>Obstacles au nucléaire</b>
Compétitivité économique	Investissement élevé
Protection de l'environnement, pas d'émission de émissions SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> pas de CO <sub>2</sub> et de gaz à effet de serre	Acceptation de public : déchets nucléaires, sécurité, aspects psychologiques....
Stabilité des prix du KWh dans la durée	Nécessité de mettre en place un système administratif et réglementaire
Indépendance énergétique accrue	Problème de taille, nécessité d'un réseau d'une capacité suffisante et bien interconnecté
Forte valeur ajoutée dans le pays qui l'utilise	Délais longs pour le choix des sites, la formation des personnels, les questions de sûreté, la construction

### **3.1.4 Les sources d'énergie pour le dessalement :**

La plupart du temps et en particulier pour de grandes usines, le coût le plus bas est obtenu par l'accouplement d'une centrale électrique et d'une unité de production d'eau, les vapeurs d'échappement des turbines étant utilisées pour alimenter les unités de dessalement.

#### **3.1.4.1 Turbine a gaz et usine de dessalement :**

La puissance électrique est produite par une turbine à gaz (alimentée en énergie fossile). La chaleur générée par l'usine est utilisée pour produire de la vapeur à pression moyenne grâce à un échangeur de chaleur. Cette vapeur est ensuite utilisée dans l'usine de dessalement pour la production d'eau douce. On produit alors 1000 MW d'électricité pour 450 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau douce.

#### **3.1.4.2 Turbine a vapeur et usine de dessalement :**

Cet arrangement associe une chaudière à haute pression avec une turbine à vapeur pour produire l'électricité et fournir la vapeur à basse pression pour l'unité de dessalement. Typiquement les proportions Puissance/eau produite sont de 500MW d'électricité pour 450,000 m<sup>3</sup>/jour d'eau douce produite.

### 3.1.5 Les coûts du dessalement :

Les coûts du dessalement exprimés en USD/m<sup>3</sup> d'eau douce produite dépendent de la technologie, de la taille de l'installation et de la teneur en sel de l'eau traitée. Les technologies membranaires peuvent produire de l'eau de bonne qualité à partir d'eau saumâtre avec un coût de 0,50 USD/m<sup>3</sup>. Les coûts, toutefois, sont plus élevés pour traiter l'eau de mer, le mètre cube produit coûte de 0,5 à 1,1 USD pour l'osmose inverse et de 0,65 à 1,8 USD pour la distillation. Les technologies thermiques tendent à être plus onéreuses que les technologies membranaires.

Actuellement, les coûts des deux technologies affichent une tendance à la baisse. Elles peuvent bénéficier toutes les deux des économies d'échelle mais les coûts des technologies membranaires diminuent aussi en raison de leur développement incessant qui conduit à des gains d'efficacité.

Pour évaluer le coût de dessalement de l'eau il faudrait prendre en considération plusieurs aspects : économiques et techniques.

#### 3.1.5.1 Aspects techniques :

- Les conditions techniques non négligeables lors du dessalement de l'eau sont :
- Le degré de salinité de l'eau à traiter (eau de mer ou saumâtre) ; il est différent d'une mer à une autre<sup>16</sup> ;
- La salinité de l'eau produite, elle diffère selon l'usage domestique ou industriel ;
- Les caractéristiques physiques de l'eau (turbidité, matières en suspensions) qui peuvent, en particulier dans le cas de l'osmose inverse, imposer un prétraitement très complexe si l'eau est très polluée ou au contraire l'absence de prétraitement si l'on a une eau très propre (cas de sous marin en haute mer) ;
- La composition chimique de l'eau à traiter dans le cas des eaux saumâtres (dureté, teneur en sulfate) ;
- Le degré d'automatisation et de contrôle, en particulier pour une petite unité de dessalement. La mise en place d'une mesure d'enregistrement de pH, de la température, de la résistance de l'eau produite, peut augmenter le coût de l'investissement ;

<sup>16</sup>Mer méditerranée : 36 à 39g/l, Mer rouge : 40g/l, mer baltique : 7g/l, mer caspienne : 13g/l, mer morte : 270g/l, Golf Arabo-persique : 40 à 70 g/l, mer noire : 20 g/l.

- La source d'énergie disponible ;
- La taille de l'installation.

### **3.1.5.2 Aspects économiques :**

Les conditions économiques sont toutes aussi importantes pour l'installation d'une usine de dessalement, à savoir :

- Le coût de l'énergie. Il est nul sur une plate forme offshore, peu élevé au Moyen Orient et très élevé dans les sites isolés ;
- Le prix de revient peut ne pas avoir de rapport avec le prix à payer par le consommateur suites aux subventions étatiques.
- Le coût des produits chimiques utilisés dépend du lieu de fabrication du produit (locale ou importé) ;
- La fluctuation de la monnaie dépend du procédé utilisé pour la dessalination de l'eau. dans le cas de l'osmose inverse qui provient exclusivement des Etats-Unis, la variation du cours du dollar américain ne nous donne pas un coût bien précis ;
- L'inflation est variable en fonction du pays ;
- Les conditions du financement (le taux d'intérêt) ;
- Le coût de la main d'œuvre.

### **3.1.5.3 les coûts de l'investissement :**

L'investissement spécifique peut être scindé en deux parties à savoir le coût de l'usine et les frais du propriétaire.

#### **3.1.5.3 a) Le coût de l'usine :**

Le coût de l'usine est le coût du montage de l'usine sur site où la vapeur et l'électricité sont évidemment disponibles.

#### **3.1.5.3b) Les frais du propriétaire :**

Les frais du propriétaire sont relatifs :

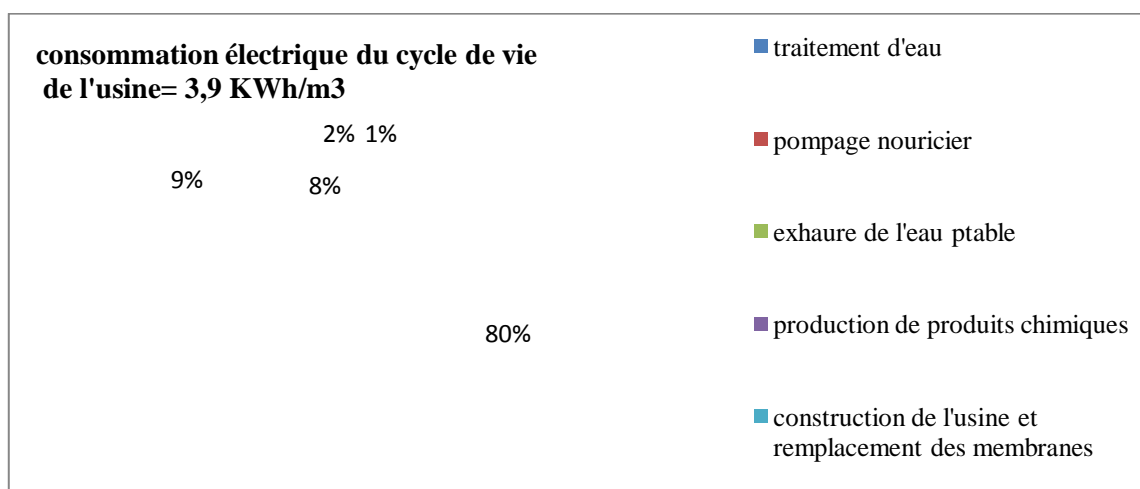
- Aux études préliminaires ainsi que les frais d'ingénieur conseil ;
- A L'achat éventuel de terrain et l'aménagement du site (frais de génie civil, route d'accès, clôtures,...) ;
- A La prise d'eau de mer (frais de pompage, filtration, chloration,...) ;
- Aux rejets de saumures, le lieu de rejet doit être situé à une distance importante du site de pompage ;
- A La tuyauterie ainsi que le stockage de l'eau ;



- Aux magasins pour pièces détachées, outillages, etc.
- Au démarrage de l'usine et la formation du personnel.

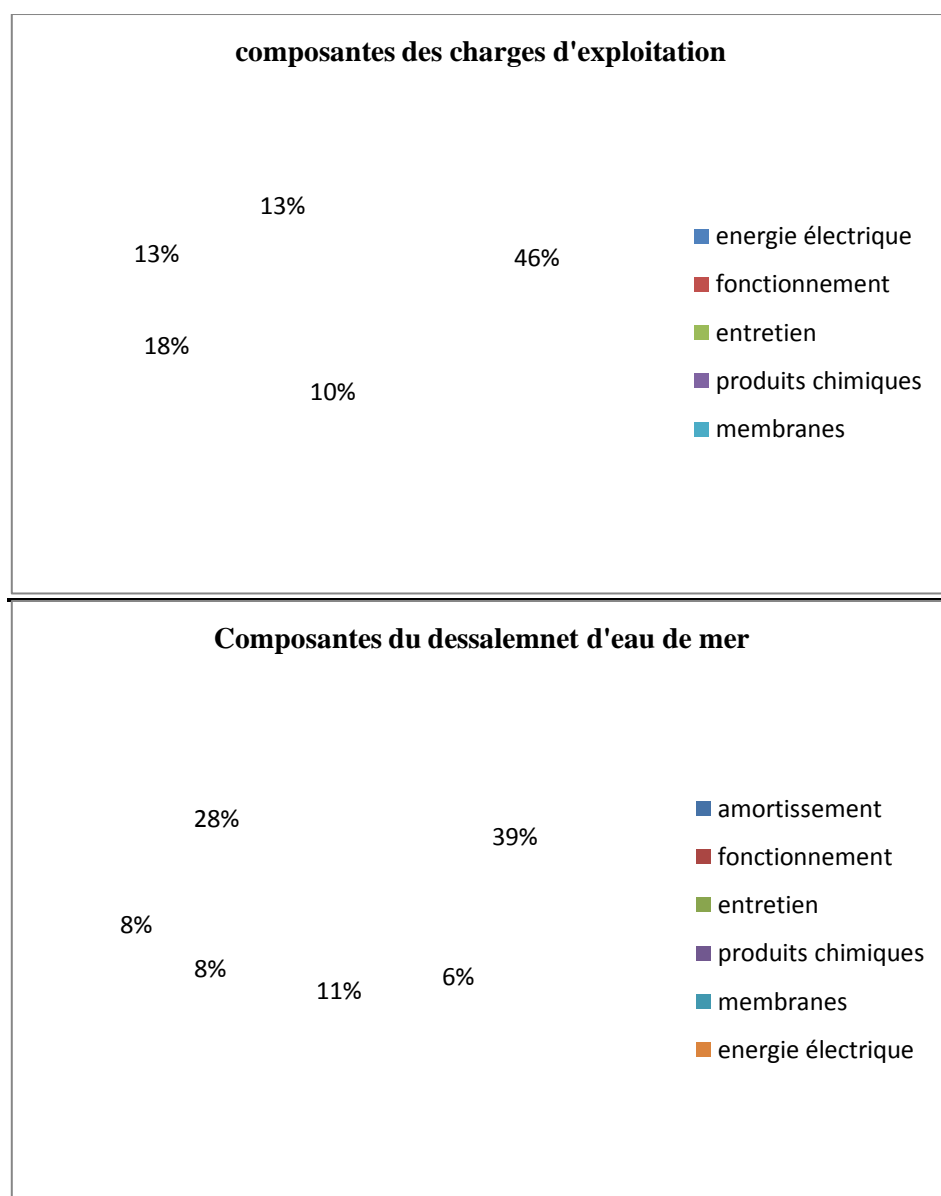
### 3.1.5.4 Tendances des coûts énergétiques pour le dessalement :

- ✓ **Osmose inverse (OI)** : Cette technique en plein essor, dont le coût énergétique moyen est relativement faible, ( $\approx 4-5 \text{ kWh/m}^3$ ) est actuellement un système éprouvé ayant montré sa fiabilité.
- ✓ **Distillation multi-effets (MED)** : ce système fournit une eau très pure mais avec un coût énergétique élevé ( $15 \text{ kWh/m}^3$ ).
- ✓ **Flash multi-étages, ou système flash (MSF)** : il est utilisé dans les pays du Golfe, fournissant une eau dont le taux de sel résiduel est non négligeable. Le coût énergétique reste élevé ( $10 \text{ kWh/m}^3$ ).
- ✓ **Compression de vapeur** : il fournit une eau pure pour un coût énergétique moyen ( $5 \text{ kWh/m}^3$ ).
- ✓ **Distillation par dépression** : ce système, basé sur le fait que la température d'évaporation dépend de la pression, fournit une eau très pure à un coût énergétique faible ( $2 \text{ à } 3 \text{ kWh/m}^3$ ). Il est utilisé pour de petites unités.
- ✓ **Électrodialyse** : un courant électrique fait migrer les ions vers les électrodes. L'énergie à mettre en jeu étant fonction de la concentration en sel ( $1 \text{ kWh/kg}$  de sel extrait), ce système est très rentable pour les eaux de faible salinité, mais le coût est prohibitif pour l'eau de mer.



**Figure 3.8** : Répartition de la consommation électrique au cours du cycle de vie d'une filière de dessalement.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Source : [www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.html](http://www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.html)



**Figure3.9 :** Composante du coût du dessalement d'eau de mer et répartition des charges<sup>18</sup>

<sup>18</sup>Selma Jariri, 01 octobre 2009. Le dessalement d'eau : un levier du développement durable au Maroc.

### 3.2 Présentation de la situation et des projets des unités de dessalement d'eau à travers le monde :

La répartition des usines de dessalement dépend de trois facteurs : une forte pénurie d'eau liée à l'aridité climatique, la proximité de la mer avec une altitude pas trop élevée, enfin la possibilité d'assumer financièrement un fort coût énergétique ce qui exclut pratiquement les régions pauvres (Fig.3.10).

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

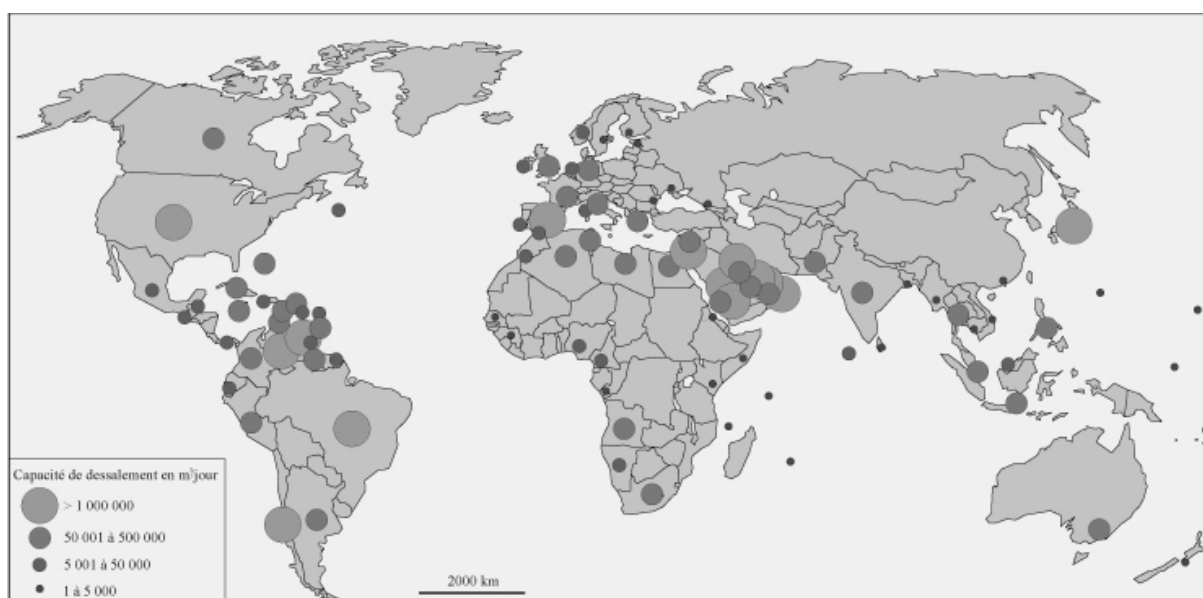
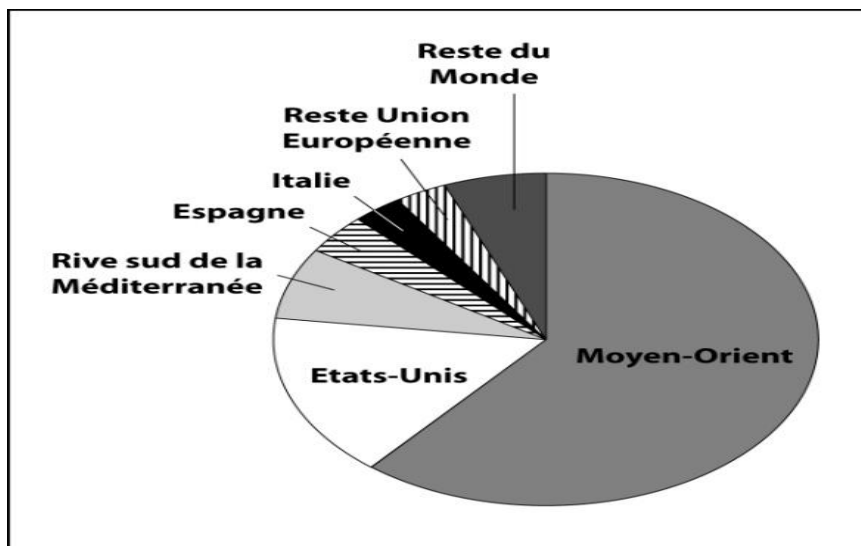


Figure 3.10 : Le dessalement par pays<sup>19</sup>

<sup>19</sup>Source : ([www.unesco.org/water/wwap/index\\_fr.shtml](http://www.unesco.org/water/wwap/index_fr.shtml)).



**Figure 3.11** : Répartition mondiale de la production d'eau de dessalement (en millions de m<sup>3</sup>/jour ; 2008)<sup>20</sup>

Les principaux pays producteurs (Fig10) sont l'Arabie Saoudite (25 %), les États- Unis (15 %), les Émirats Arabes Unis (10 %) et le Koweït (5 %). L'Europe représente 12,9 % dont 3,4 millions en Espagne et 0,8 en Italie et l'Asie 15,1% dont 1,5 million au Japon, 1 en Corée du Sud, 1,1 en Chine, 0,8 en Inde, 0,6 à Taiwan et 0,5 à Singapour.

### 3.2.1. Le Moyen Orient :

Les premières usines produisant de l'eau douce en distillant de l'eau de mer sont apparues en 1960 et aujourd'hui 60% des besoins en eau douce des pays du Golfe Persique sont satisfaits par cette technique. Avec une production de 7,7 millions de m<sup>3</sup>/j, l'Arabie saoudite est le champion mondial du dessalement. C'est là que se trouvent les plus grandes stations de dessalement, parfois anciennes comme le grand complexe d'Al-Jubail (910.000 m<sup>3</sup>/j.) qui est en exploitation depuis 1982, ou nouvelles : cas de la plus grande usine thermique au monde qui fournit pas moins de 800 000 m<sup>3</sup>/j d'eau douce. Au Qatar l'usine de Ras Laffan avec une capacité de 286 000 m<sup>3</sup>/j. Aux Emirats Arabes Unis, Suez a installé en 2003 à Fajaraih une usine de dessalement de 455 000 m<sup>3</sup>/j.

Pour le Sultanat d'Oman, le port de Sohar possède une usine de dessalement couplée à une centrale de 150 000 m<sup>3</sup>/j de capacité, et une autre à Sûr, avec 80 000 m<sup>3</sup>/j.

Finalement, les États du Golfe ont collectivement dépensé plus de 33 milliards d'euros pour la construction de 550 stations de dessalement au cours des 25 dernières années.

<sup>20</sup>Source : ([www.unesco.org/water/wwap/index\\_fr.shtml](http://www.unesco.org/water/wwap/index_fr.shtml)).

Cinq usines de plus de 500 000 m<sup>3</sup>/j sont en construction et l'Arabie saoudite doit mettre en service avant la fin de l'année 2012 une usine de 1 million de m<sup>3</sup>/j. Au total, le Moyen-Orient produit la moitié de l'eau douce issue du dessalement produite dans le monde.

### **3.2.2. L'Amérique :**

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

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

Le Texas vient en tête avec près d'une quarantaine d'usines de dessalement, les plus importantes étant celles de Fort Stockton (180 000 m<sup>3</sup>/j), Brownville (150 000 m<sup>3</sup>/j), Abilène (110 000 m<sup>3</sup>/j) et Shernan (110 000 m<sup>3</sup>/j).

La raison en est l'aridité de son climat et la rareté des ressources de surface comme souterraines.

Puis c'est la Californie qui est logiquement concernée avec un peu plus d'une trentaine de réalisations.

Son agriculture est florissante mais pâtit d'un grave problème d'eau (irrigation) car les précipitations sont trop rares. Le mode de vie américain étant très gros consommateur d'eau (pelouses, golfs, piscines, douches, etc.) au point que désormais des lois sévères sont progressivement mises en place pour limiter la consommation (lavage des voitures, chasses d'eau « écologiques », etc.). Mais tout cela est loin de suffire car la demande augmente beaucoup plus vite que la ressource.

La solution du dessalement a donc été envisagée relativement tôt dans l'histoire de l'État, mais ce n'est que ces dernières années que les réalisations et les projets se sont multipliés.

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

Les principales unités actuelles sont les suivantes :

- Californie du Nord : Crockett (20 000 m<sup>3</sup>/j) ; San Rafaël (de 35 000 à 60 000 m<sup>3</sup>/j); San Francisco Bay Regional Plant (75 000 m<sup>3</sup>/j) et Montara (20 000 m<sup>3</sup>/j) ;
- Californie centrale : Santa Cruz (20 000 m<sup>3</sup>/j) ; Moss Landing 1 et 2 (75 000 m<sup>3</sup>/j) ; Sand City 1 et 2 (de 20 000 à 75 000 m<sup>3</sup>/j) ; Marina (20 000 m<sup>3</sup>/j) CanneryRov (20 000 m<sup>3</sup>/j), Monterey (20 000 m<sup>3</sup>/j) ; Cambria (20 000 m<sup>3</sup>/j) et Oceano (20 000 m<sup>3</sup>/j)
- Californie du Sud : Playadel Rey (20 000 à 75 000 m<sup>3</sup>/j) ; El Segundo (75 000 m<sup>3</sup>/j) ; Long Beach (20 000 à 75 000 m<sup>3</sup>/j) Dara Point (75 000 m<sup>3</sup>/j) ; Camp Pendelton (75 000 m<sup>3</sup>/j), enfin Carlsbad 1 et 2 et Huntington (190 000 m<sup>3</sup>/j chaque), toutes deux au nord de San Diego. La Floride suit la même voie d'autant que la volonté, récente, de protéger les Everglades, oblige à préserver l'aquifère karstique de cette région. La plus grande unité, Tampa Bay (107 900 m<sup>3</sup>/j), a longtemps été la plus importante des États-Unis.

La côte Est n'est pas en reste, en dépit de meilleures conditions de pluviosité, car la demande ne cesse de croître ; par exemple un Etat comme la Caroline du Nord envisage la construction de 5 nouvelles centrales.

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

### **3.2.3 L'Est et le Sud méditerranéens :**

En temps normal 150 millions de personnes vivent sur le pourtour méditerranéen.

Première destination touristique du monde avec 250 millions de visiteurs estivaux, le littoral méditerranéen est confronté à une pénurie croissante en eau.

Chaque touriste consomme en moyenne 300 l/j et la demande pourrait doubler d'ici 20 ans, entraînant des conflits d'usages notamment avec les agriculteurs.

Plusieurs pays se sont donc tournés vers le dessalement pour y remédier, du moins en partie. La production industrielle d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre est en plein essor à Malte, en Algérie, en Libye et en Israël, pays qui ont fait des investissements importants dans ce domaine.

#### **3.2.3.1 Israël, Chypre et Malte :**

En Israël, une capacité de dessalement de plus de 800 000 m<sup>3</sup>/j est installée. La pluviométrie moyenne est de 250 mm/an (700 mm/an dans le Nord contre 20 mm/an dans le Sud), avec de courtes périodes de pluie et des années de grande sécheresse. D'autres facteurs tels que le

faible relief et la rareté des réservoirs naturels contribuent à accentuer la complexité de l'approvisionnement en eau. Les 2/3 du potentiel annuel en eau potable proviennent de 3 principaux réservoirs : le lac de Tibériade, seule réserve en surface (1/4 des ressources), et les deux principales nappes phréatiques (la nappe côtière qui s'étend sur 120 kilomètres du Carmel jusqu'à la bande de Gaza et la nappe montagneuse à l'est de la plaine côtière qui s'étend des Monts Carmel au sud de Beersheva (1/5 des ressources chacune). Les sources naturelles, spécialement dans le nord du pays, sont la troisième ressource principale d'eau potable. Outre son problème crucial de manque d'eau, Israël est confronté à une détérioration de la qualité des ressources en eau.

Une consommation croissante d'eau globale annuelle est d'environ 2000 Mm<sup>3</sup>. La répartition par secteur est de 56% pour l'agriculture, 38% pour l'usage domestique et 6% pour l'industrie. L'alimentation en eau par Israël de la Jordanie et des Territoires palestiniens est prévue dans le cadre des accords de paix. La consommation devrait continuer d'augmenter en raison de l'arrivée massive de nouveaux immigrants, de la croissance naturelle de la population et de l'accroissement du niveau de vie.

Le programme national initialement prévu pour surmonter en 10 ans l'insuffisance à venir des ressources, ainsi que pour renflouer les aquifères surexploités, a été repensé pour privilégier dans l'immédiat de grandes usines de dessalement - à Ashkelon et à Hadera - en faisant appel notamment à l'investissement privé. Par ailleurs, les autorités israéliennes poursuivent leur politique d'encouragement au développement des nouvelles ressources telles que la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation, l'utilisation d'eaux saumâtres et salines dessalées en agriculture et la collecte des eaux de pluies. L'entreprise publique Mekorot est le principal producteur des ressources en eau. Les grands projets sont le transfert d'eau RedSea - Dead Sea et le dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre. L'usine de dessalement d'Ashkelon, plus grande unité en osmose inverse au monde, produit 320 000 m<sup>3</sup>/j, soit 108 millions de mètres cubes par an, l'usine de dessalement d'Ashkelon dessert 1,4 million de personnes dans le sud de l'Israël. (Le sixième de la consommation domestique de l'état hébreu). Pour Veolia, l'entreprise française qui prend part au projet, c'est une vitrine technologique : l'usine produit une eau non seulement de très haute qualité mais en plus à un prix très compétitif puisque le coût du mètre cube à la sortie n'est que de 0,5 €/m<sup>3</sup>. Pour Israël, l'usine répond à un double objectif. Il s'agit d'abord de diminuer la dépendance en eau du pays : la consommation d'Israël provient de ressources naturelles limitées, peu sûres (fortes variations annuelles) et disputées (comme le Jourdain). L'acheminement d'eau douce

depuis l'étranger (Turquie) est également à l'étude. Au-delà de sa propre consommation, Israël compte également sur ce projet pour développer son savoir-faire dans le marché d'avenir des technologies liées à l'eau. Depuis Ashkelon, qui s'est avérée être une véritable réussite économique, 3 autres géantes du dessalement se sont construites en Israël.



**Figure3.12:** L'usine d'Ashkelon Israël

Ile au climat semi-aride en pénurie croissante d'eau, Chypre a toujours été confrontée au problème de l'inadéquation de ses ressources en eau pour répondre à la fois aux besoins domestiques et d'irrigation. La situation tend à empirer : en mars 2008, l'île connaît déjà une grave crise (du fait de sécheresses répétées) nécessitant le rationnement d'eau. Les autorités de la partie grecque ont décidé l'importation d'eau depuis la Grèce. Pour la partie nord de l'île, les besoins sont déjà couverts à 60 % par la Turquie (transport par d'énormes ballons de 30000 et 35000 m<sup>3</sup>). Deux usines de dessalement sont opérationnelles et produisent 94 000 m<sup>3</sup>/j. L'usine de Larnaca, inaugurée en avril 2001, a une capacité de production théorique de 54 000 m<sup>3</sup>/j. Elle a été construite sur la base d'un contrat de type BOOT (Build, Own, Operate and Transfer) de 10 ans par le consortium israélien IsraeliDesalination Engineering (IDE)/Oceania qui, avec ses partenaires locaux (Epiphaniou), a constitué la société de droit local "Larnaca Water Partners". L'eau est destinée surtout à alimenter les agglomérations de Larnaca et de Nicosie, dont les besoins s'accroissent au rythme de 4% par an. Celle de Dhekalia a une capacité de 40 000 m<sup>3</sup>/j. Réalisée par le consortium hispano-chypriote Catagua - Caramondani en BOOT, elle a été mise en service en avril 1997 avec une capacité de 20.000 m<sup>3</sup>/j portée à 40.000 en 1998, et modernisée et rendue beaucoup plus efficiente avec une réduction de la consommation d'énergie. Des efforts importants ont été faits pour améliorer



les ressources et la gestion de l'eau : - par l'augmentation des capacités de stockage car Chypre dispose de 106 barrages et retenues d'eau, et figure au premier rang des pays européens en termes de stockage d'eau avec un ratio de 50 grands barrages pour 10.000 km<sup>2</sup>, et une capacité totale de stockage d'eau près de 400 millions de m<sup>3</sup>. - grâce au « Southern Conveyor Project » qui assure un transfert interrégional de ressources en eau, avec plusieurs barrages, une conduite principale sur 110 km, le tunnel de diversion de Dhiazizos (14,5 km), ainsi que les stations de traitement de Limassol et de Tersephanou. Il permet l'irrigation de près de 14 000 ha.

La république de Malte, État insulaire situé au centre de la Méditerranée, à 80 km au sud de la Sicile, comprend les îles de Malte, Gozo, Comino et Filfolà, environ 96 km au Sud de la Sicile italienne, et

290 km au Nord de la Tunisie. La surface totale est de 316 km<sup>2</sup>. Malte est constituée par un plateau karstique de faible altitude (son point culminant s'élève à 239 m) et très aride. Le climat, de type méditerranéen, présente des étés chauds et secs et des hivers froids et humides. Les précipitations annuelles sont d'environ 560 mm. La population de l'archipel maltais est estimée à 400 000 habitants, soit une densité moyenne de 1 250 habitants au km<sup>2</sup>, l'une des plus élevées au monde, et en croissance vers 425 000 habitants d'ici les 15 prochaines années. Les ressources en eau de l'île étant très limitées, cette densité de population est une donnée fondamentale qui pèse sur le développement du pays. La population est citadine à 90%. Pour faire face aux besoins de la population, l'eau est obtenue de deux façons : les eaux souterraines et le dessalement. Les installations de dessalement ont été introduites dans les années 80 en réponse à un manque d'eau provenant d'une demande croissante et d'une insuffisance d'eau naturelle. Aujourd'hui, le dessalement contribue jusqu'à 60% à la fourniture en eau potable de Malte, avec 150 000 m<sup>3</sup>/j installés. Il y a trois usines de dessalement, et beaucoup de petites installations, notamment dans les hôtels. Malte a une des plus anciennes expériences en dessalement d'eau de mer de toute la région méditerranéenne. Les 3 plus anciennes unités d'osmose inverse, datant de 1982, 1989 et 1994, sont : Ghar Lapsi, mise en service 1982, capacité 20 000 M<sup>3</sup>/j, Cirkewwa mise en service 1988/89, capacité 18 600 M<sup>3</sup>/j et Pembroke mise en service 1991/94, capacité 54 000 M<sup>3</sup>/j.

Des améliorations sensibles de l'efficacité énergétique des unités de dessalement ont été réalisées. Une technologie moderne de récupération de l'énergie a été incorporée aux usines existantes par le Water Service Corporation: - des roues Pelton installées sur 6 trains utilisant

des pompes pour osmose inverse à Phase Pembroke II, remplaçant un équipement plus ancien. Ce projet a contribué à une réduction de la consommation d'énergie de 4,5 KWh/m<sup>3</sup> à 3,6 KWh/m<sup>3</sup>. - des échangeurs de pression incorporés à Lapsi, avec un changement complet de l'équipement ainsi qu'un remplacement de la pompe à haute pression. La consommation énergétique spécifique a été réduite de 4,8 KWh/m<sup>3</sup> à 3,2 KWh/m<sup>3</sup>. Cela a participé à une économie annuelle en électricité d'environ 13 millions de KWh. Aujourd'hui, près de 10 % des eaux usées de Malte sont traitées, et rendues disponibles pour une réutilisation dans les secteurs agricoles et industriels, soit un volume annuel total de près de 1,5 hm<sup>3</sup>. A partir de 2008, la construction programmée de trois nouvelles stations de traitement permettra la production de près de 14 hm<sup>3</sup> d'effluents retraités par an. 25% des lits hôteliers de Malte dépendent d'eau dessalée en autoproduction, ce chiffre devrait croître dans le futur du fait qu'un nombre croissant d'hôtels 4 et 5 étoiles situés sur la côte installent leur propre installation d'osmose inverse, 50% des hôtels 5 étoiles, et 20% des hôtels 4 étoiles consomment de l'eau dessalée autoproduite. Cependant très peu d'hôtels s'intéressent au traitement et la réutilisation des eaux usées.

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

Les ressources en eau de l'Égypte viennent principalement du Nil. Face aux besoins d'une population croissante et de l'irrigation, le dessalement de l'eau de mer et saumâtre est de plus en plus envisagé. Les projets semblent pour l'instant limités à des zones isolées, éloignées du Nil et des adductions d'eau qui souffrent d'une grande pénurie d'eau. Des études ont déjà été menées pour les gouvernorats du Nord Sinaï, Sud Sinaï et de Matrouh. Le problème se pose aussi pour le gouvernorat de la Mer Rouge (20% de la superficie du pays pour seulement 0,2% de la population) qui est particulièrement isolé et enclavé et qui n'est pas raccordé au réseau électrique. Heureusement certains sites sont dotés d'un potentiel éolien local intéressant, stable toute l'année, à valoriser. Ils seraient adaptés à des systèmes de dessalement à compression mécanique de vapeur (MVC).

La Libye, pays aride, manque d'eau, mais est très riche en pétrole et gaz. Les besoins en eau sont en forte croissance avec une ressource en eau totalement « non durable » (eaux fossiles, dessalement). Une capacité de dessalement de 900 000 m<sup>3</sup>/j est installée. Le dessalement se fait essentiellement par distillation bien qu'une trentaine de petites unités utilisent l'osmose inverse. Le principal concurrent du dessalement en Libye est le projet de rivière artificielle, the Great Man-Made River (GMMR), considéré comme le plus grand projet de transfert d'eau dans le monde, sur une distance de 1600 km, en 3 phases, pour un débit de plus de 5 millions

de  $m^3/j$ . Ce grand transfert d'eau n'est pas « durable », car il s'agit d'eau d'une grande nappe aquifère fossile dans le Sud de la Libye, profonde de 3000 à 6000 m, dont l'origine remonte à 3000 ans et qui ne se renouvelle pas. Il est probable, qu'à partir de 2050, ces ressources aquifères fossiles non renouvelables vont décroître puis disparaître. La Libye se trouvera alors en situation de pénurie d'eau très aigue et devra donc recourir au dessalement à très grande échelle. Dans le court terme, il est prévu la mise en place d'usines de dessalement pour un volume supplémentaire de 1 million de  $m^3/j$  dans les 5 prochaines années. Pour les prochaines années, un accroissement très rapide de la demande en énergie électrique est attendu. Les usines de dessalement de l'eau constitueront les principaux moteurs de la demande. Pour y répondre, différentes sources d'électricité non émettrices de CO<sub>2</sub> sont analysées : énergies renouvelables et énergie nucléaire. La compagnie d'électricité GECOL (General Electricity Company of Libya) étudie l'installation d'une unité pilote de dessalement d'eau de mer, avec des sources d'énergie renouvelable. L'énergie éolienne et photovoltaïque sera utilisée pour le fonctionnement d'une unité utilisant la technologie de l'osmose inverse avec récupération d'énergie. La production nominale sera de 300  $m^3/j$  pour l'alimentation d'un village en eau potable.

Au Maroc, les ressources en eau sont limitées et en grande partie déjà mobilisées grâce aux ouvrages de stockage et de transfert actuels. Les écoulements superficiels sont faibles. Ils sont l'effet de quelques crues, souvent brèves et intenses. Les précipitations connaissent une grande disparité régionale. Les bassins du Bou Reg Reg, de l'Oum Er Bia, du Tensift, du Souss-Massa et de la Moulouya qui concentrent l'essentiel des demandes en eau du pays, accusent un déficit en eau important. Sur l'ensemble des ressources en eau disponibles, résultant de la pluie efficace, seulement 16 milliards de  $m^3$  sont mobilisables dans des conditions techniques et économiques acceptables. En effet, les précipitations atteignent près de 2000 mm/an dans les zones les plus arrosées au Nord et descendent en deçà de 100 mm dans les zones arides du Sud du pays. Au total, le Maroc dispose d'un potentiel naturel de ressources en eau, estimé en année moyenne à près de 20,7 milliards de  $m^3$ , soit une dotation moyenne par habitant de près de 691  $m^3/an$ . Outre ces caractéristiques naturelles, le potentiel hydrique est fortement sollicité avec une surexploitation de la quasi-totalité des nappes du pays. Ce potentiel est également menacé par la pollution des rejets urbains et industriels et par l'usage des engrais chimiques et des pesticides en agriculture. Il en résulte la baisse des niveaux piézométriques, la diminution des débits voire le tarissement des sources, la perturbation et la régression de l'irrigation traditionnelle et des oasis. L'augmentation de ce

potentiel est mobilisé dans le développement de l'agriculture irriguée à grande échelle sur près de 1,6 millions d'hectares qui consomme beaucoup et est encore loin d'être performante. Pour pallier ses problèmes de pénurie d'eau, la mobilisation des ressources en eau non conventionnelles au Maroc, notamment le dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre est une option à ajouter aux actions de gestion de la demande. Plus de la moitié la population urbaine vivant au bord ou à proximité de la mer, le dessalement de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre peut en effet constituer une solution appropriée non seulement pour les villes du Sud mais également pour des grandes villes. Des projets sont d'ailleurs lancés à Agadir (44 000 m<sup>3</sup>/j en première phase, suivi d'une deuxième phase dans les 5 ans), Layoune (13 000 m<sup>3</sup>/j) et Tan Tan (90 000 m<sup>3</sup>/j). Le Maroc a accumulé une expérience de 30 années dans le domaine du dessalement de l'eau de mer et de l'eau salée, ce qui lui permet de disposer d'une capacité installée de 20 000 m<sup>3</sup>/j, soit 2% de la capacité nationale de production d'eau potable. Les principales stations sont installées dans les provinces du Sud (Laâyoune, Boujdour, Tarfaya et Tan Tan) en raison de la quasi-absence des ressources en eau conventionnelles dans ces régions. Le dessalement est ainsi appelé à jouer un grand rôle à l'avenir dans ce pays, il pourrait s'accélérer avec la baisse progressive des coûts, qui le rend compétitif par rapport à l'eau conventionnelle. Il peut représenter la seule issue pour résorber les déficits observés dans beaucoup de bassins et pour résoudre les conflits entre les différents usages qui sont apparus dans des bassins où le dessalement n'a jamais été envisagé auparavant (Tensift, Oum Erbia et Bou Regreg).

**Tableau 3.8** : Installations de dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre existantes ou en construction au Maroc<sup>21</sup>

Centre	Process	Eau brute et capacité (m3/j)	Date de mise en service	Observations
Tarfaya	Electrodialyse	Eau saumâtre 75m3/j	1976	Hors service
Boujdour	Distillation MED-MCV	Eau de mer 250m3/j	1977	Réhabilitée en 1997 et en 1998
Tarfaya	OI	Eau saumâtre 120 m3/j	1983	Réhabilitée 1988 Hors service
Smara	OI	Eau saumâtre 330m3/j	1986	Hors service depuis 1994
Boujdour	OI	Eau de mer 800 m3/j		1 <sup>er</sup> phase
Boujdour	OI	Eau de mer 2400m3/j		2 <sup>ème</sup> phase
Laayoune	OI	Eau de mer 7000m3 /j 6000m3/j	1995 2005	1 <sup>er</sup> phase 2eme phase
Tarfaya	OI	Eau saumâtre 800m3/j	2001	
Tan Tan	OI	Eau saumâtre 1700m3/j	2003	
<b>Total production en service</b>		20 000m3/j		
<b>Projets</b>				
Agadir	OI	Eau de mer 44000m3/j 2 <sup>ème</sup> phase 44000m3/j	1 <sup>er</sup> phase pour 2010	En appel d'offres
Laayoune	OI	Eau de mer 13000m3/j	Extension 2009	Consultation en cours
Tan Tan	OI	Eau de mer 90000m3/j		En projet

<sup>21</sup>Selma Jariri, 2010le dessalement d'eau : un levier du développement durable au Maroc P 29.

La Tunisie est en situation de pénurie d'eau, avec des tensions croissantes.

Plusieurs grands transferts d'eau potable sont en service. Une part croissante de la ressource en eau est saumâtre, avec détérioration des réserves aquifères du pays, puisque 50% des ressources en eau mobilisables ont un taux de salinité dépassant 1,5 g/l. Le gouvernement tunisien a donc envisagé, à partir des années 1980, l'option du dessalement des eaux saumâtres. Quatre principales stations ont été installées dans les régions de Kerkennah, de Gabès, de Djerba et de Zarzis et assurent le dessalement de 60 000 m<sup>3</sup>/j, sur une capacité totale, de l'ordre de 100 000 m<sup>3</sup>/j. Pour continuer à améliorer la qualité -et la quantité- de l'eau potable, un programme national de dessalement a été arrêté. En première étape, l'objectif fixé est de réduire la salinité de l'eau distribuée sur tout le territoire à 1,5 g/l dans les régions où celle-ci dépasse les 2 g/l.

A cet effet, dix stations de dessalement d'eaux saumâtres seront installées, avec une capacité cumulée de 40 000 m<sup>3</sup>/j, dans les zones de Kébili, Douz, Souk El Ahad, Tozeur, Nafta, Matmata et Béni Khedache. Dans un second temps, un programme de cinq usines dessalera de l'eau de mer dans les régions où les réserves hydriques sont limitées. Ainsi, sur l'île de Djerba est prévue une station de dessalement de 50 000 m<sup>3</sup>/j.

Pour réduire le coût du dessalement et économiser l'énergie, l'Etat envisage le recours aux énergies renouvelables pour le dessalement des eaux saumâtres et de l'eau de mer, pour trois projets déjà identifiés : - le solaire photovoltaïque pour la station de Ksar Ghilane (2 m<sup>3</sup>/j), le recours à l'énergie solaire dans 45 nouvelles stations de dessalement, mises en service en 2011 dans des régions du Sud, dont Médenine, Tataouine et Kébili, - à titre d'expérience pilote, l'énergie éolienne dans l'une des stations de dessalement des eaux saumâtres du gouvernorat de Kébili. La Tunisie a déjà sur son territoire plusieurs projets pilotes et des plateformes de démonstration comme celle de Borj-Cédria. Par ailleurs, la France et la Tunisie ont paraphé le 28 avril 2008 un accord-cadre de partenariat dans le nucléaire civil pour une durée de 20 ans.

A Alger et pour l'ouest du pays, la sécheresse oblige à diminuer la plage horaire de distribution dont bénéficie 70% de la population. Un grand programme de forages est lancé à l'Ouest du pays et concerne Tiaret, Chlef, Mascara, Aïn Temouchent, Sidi Bel Abbès. Le grand projet d'acheminement de l'eau de Aïn-Salah vers Tamanrasset sur plus de 70 km, assure depuis son achèvement une alimentation en eau potable de l'ordre de 100 000 m<sup>3</sup>/j participant au plan du développement du Grand-Sud. En outre, pour pallier le manque d'eau potable dans le pays et ne plus dépendre des aléas climatiques, l'Algérie a décidé de miser sur

des usines de dessalement. 45 unités seront opérationnelles d'ici 2019, pour approvisionner les grands centres urbains, en réservant les eaux traitées et les eaux de barrage à l'agriculture et l'usage industriel (1 000 000 m<sup>3</sup>/j installés, 2 000 000 m<sup>3</sup>/j programmés).

Le dessalement est ainsi appelé à répondre aux besoins de plus d'un cinquième de la population.

Les agriculteurs sont appelés à utiliser le goutte-à-goutte pour l'irrigation, plusieurs unités d'épuration des eaux usées sont en cours de réalisation pour couvrir les besoins de l'agriculture.

Les citoyens sont sensibilisés à rationaliser la consommation de l'eau et à mettre un terme aux déperditions d'eau qui avoisinent à Alger le taux de 40%. Cependant, le gouvernement a annoncé que malgré le développement des usines de dessalement, le prix de l'eau restera inchangé pour les consommateurs algériens (grâce aux subventions).

Les 12 principales stations sont réalisées suivant la formule BOO (Build, Own, Operate), où conception, réalisation et exploitation de l'usine sont à la charge de l'investisseur privé étranger pendant le temps de la concession accordée par l'Etat. C'est le cas d'El Hamma, 200 000 m<sup>3</sup>/j soit le tiers de l'eau potable d'Alger, inaugurée le 24 février 2008 par le Président Bouteflika. Ce projet de 245 millions de dollars a pour partenaires l'AEC et l'ADE (30%) et le groupe américain IONICS (70%). C'est le groupe Hyflux de Singapour qui a remporté ce projet, en BOO après appel d'offres, pour un prix de cession du m<sup>3</sup> d'eau de 0,5577 dollar/m<sup>3</sup> devant cinq compagnies et consortiums concurrents, pour un coût total d'investissement d'environ 468 millions de dollars. Hyflux a devancé deux consortiums espagnols Befesa-Sadyt Somague (0,62 dollar/m<sup>3</sup> et 587 millions de dollars), Inima-Aqualia (0,64 dollar/m<sup>3</sup> et 498 millions de dollars), un consortium anglo-algéro-japonais Biwater-Toray-Arcofina (0,797 dollar/m<sup>3</sup> et 619 millions de dollars), un autre groupe espagnol Acciona-Agua (0,798 dollar/m<sup>3</sup> et 709 millions de dollars) ainsi qu'un groupement américano-égyptien GE Water-Orascom (0,85 dollar/m<sup>3</sup> et 870 millions de dollars).

Actuellement le volume dessalé mobilisé est: 111,45 millions de mètre cube par an dont :

- 105,85 Hm<sup>3</sup>/an sont produits par les grandes stations de dessalement de l'eau de mer;
- 5,60 Hm<sup>3</sup>/an sont produits par les stations monoblocs de dessalement de l'eau de mer.

Les stations monoblocs au nombre de 21 de dessalement d'eau de mer pour une capacité globale de 57.500 m<sup>3</sup>/Jour ont été réalisées au titre du programme d'urgence (sécheresses répétées dans l'ouest et centre du pays). Ce programme d'urgence a été réalisé par deux entreprises Dans le cadre de ce programme de stations monoblocs et suite à la persistance de

la sécheresse au niveau de la région ouest du pays, le recours à la délocalisation des stations monoblocs vers d'autres localités où le manque d'eau se fait sentir (priorité à l'alimentation en eau potable) le cas par exemple de la station de Skikda 3 (Est) vers Bousfer (Oran, Ouest), un des avantages de ce type de station.

Les stations à grande capacité sont au nombre de sept, l'une est fonctionnelle (en 2008) celle d'El Hamma à Alger produit 200 000 m<sup>3</sup>/jour (plus grande usine de dessalement d'Afrique). Elle permettra de couvrir le tiers des besoins en eau de la capitale Alger. C'est la société américaine IONICS, spécialiste du dessalement dans le monde qui fournira les équipements et assurera l'exploitation et la maintenance de l'usine pendant 25 ans.

La station de dessalement d'Oran, Mactaa près de Mers El Hadjadj, d'une capacité estimée à 500 000 m<sup>3</sup> par jour est considérée comme l'un des plus grands projets dans le monde. Installé sur une surface de 18 hectares. La station d'El Mactâa est détenue à hauteur de 51% par le groupement singapourien Hyflux et 49% par l'AEC.

La station de dessalement de Beni Saf, Chatt El Hillal, d'une capacité de 200 000 m<sup>3</sup>/jour, a été conçue pour assurer l'approvisionnement en eau potable des Wilayas d'Oran et Ain Témouchent. Elle a été réalisée dans le cadre d'un partenariat public privé entre le groupe espagnol Geida qui détient 51% et la partie algérienne (AEC) avec 49% des parts.

La station de dessalement de Ténès, située à 150 km à l'ouest d'Alger a été conçue pour assurer l'approvisionnement en eau potable de toute la région de Chleff. Fonctionnelle depuis 2010 avec une capacité de 200.000 m<sup>3</sup>/j.

La station de dessalement de l'eau de mer de Fouka (Tipasa) dont la capacité de traitement journalier est de 270 000 m<sup>3</sup> et des rejets estimés à 150 000 m<sup>3</sup>/jour. Le montant de l'investissement est de 180,17 millions de dollars. L'eau dessalée par cette usine, utilise le procédé de traitement par l'osmose inverse.

En se référant à l'expérience des 10 dernières années, et quelle que soit l'évolution de la pluviométrie et les améliorations attendues par les ouvrages en cours de réalisation, il a été retenu de faire appel au dessalement de l'eau de mer. Les caractéristiques de l'Algérie du Nord avec un littoral de 1200 km, le long duquel est concentré la plus grande partie des besoins en eau, conduit naturellement à mettre en œuvre le dessalement d'eau de mer pour garantir le service minimum en toutes circonstances, tout en bénéficiant d'apports nouveaux permanents permettant de combler les déficits.



**Tableau 3.9:** Programme dessalement eau de mer et capacités production en m<sup>3</sup>/j <sup>22</sup>

Région	Nombre d'unités à réaliser	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030
<b>Oranie</b>	7 unités	1 090 000	1 090 000	1 090 000	1 090 000	1 090 000
<b>Cheliff</b>	1 unité	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000
<b>Algérois</b>	4 unités	450 000	450 000	450 000	450 000	450 000
<b>Constantinois</b>	5 unités	150 000	150 000	320 000	470 000	470 000
<b>Total programme Algérie en m3/j</b>		1 890 000	2 060 000	2 130 000	2 210 000	2 210 000
<b>Total programme Algérie en Mm3/an</b>		690	752	778	807	807

### 3.2.4 L'Asie orientale et l'Australie :

La Chine et l'Inde pour lesquels on prévoyait une activité de dessalement d'environ 650.000 m<sup>3</sup>/j d'ici 2015, ont déjà dépassé ces prévisions.

En Chine les installations de dessalement traiteraient 1 million de m<sup>3</sup> d'eau de mer par jour et prévoit jusqu'à 3 millions de m<sup>3</sup>/j en 2020.

Des projets de taille analogue ont été lancés : ceux de Tianjin (mer Jaune) et de Zhejiang (mer de Chine orientale) devraient ainsi fournir respectivement 100 000 et 200 000 m<sup>3</sup>/j jour.

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

Le dessalement par l'énergie nucléaire est fortement envisagé.

Singapour s'est dotée, depuis 2005, d'une unité située à Sing Spring fournissant 136 000 m<sup>3</sup>/j. Enfin l'Indonésie a inauguré, à Banda Aceh, sa première unité de dessalement.

En Australie, les sécheresses sont récurrentes (celle de 2003 a fait baisser la production agricole de 20%) et les besoins sont immenses. Aussi un tiers de l'eau douce consommée par la ville de Perth provient-il du dessalement, avec une usine (Kwinana) dont l'énergie est

<sup>22</sup> Source : Site : MRE, mre.gov.dz (ministère des ressources en eau) données publiées.

fournie par des éoliennes. Avec une capacité de 140 000 m<sup>3</sup>/j c'est la plus grande de l'hémisphère Sud. Dans l'Etat du Queensland, une autre a été ouverte à Tugun en 2008, pour la grande région touristique de la Gold Coast (25 000 m<sup>3</sup>/jour).

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

### **3.2.5 L'Union européenne :**

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

#### **3.2.5.1 L'Espagne et ses îles**

L'Espagne, avec plus de 2 500 000 m<sup>3</sup>/j de capacité installée, est en 4ème position mondiale derrière l'Arabie Saoudite, les pays du Golfe et les USA, avec près de 1500 unités en fonctionnement (dont l'essentiel de petite capacité). Les premières unités ont été installées dès les années 80 aux Canaries, puis aux Baléares, en particulier pour répondre aux besoins liés au tourisme.

#### **Les îles Baléares : de l'eau pour le tourisme :**

A Majorque, l'eau contenue dans les nappes phréatiques a un taux de salinité trop élevé pour être utilisée en l'état. Un problème d'autant plus important que les besoins en eau sont amplifiés par le tourisme, activité vitale pour l'île. En effet, le tourisme représente 80% du produit intérieur brut de la Communauté. Palma de Majorque s'est dotée de 3 usines, dont la plus importante fournit 68 000 m<sup>3</sup>/j, permettant d'alimenter une dizaine de millions de touristes et une vingtaine de golfs. En outre, 2 autres usines sont construites à Palma et à Ibiza. Dans les années cinquante ou soixante, les îles s'auto-alimentaient, et n'avaient quasiment aucune capacité de régulation des eaux de surface. Tout reposait sur des sources et l'exploitation des nappes phréatiques. La décision de construire une usine de dessalement sur l'île d'Ibiza a été prise en 1989. Cette usine est entrée en service à l'été 1994, ouvrant la voie à la gestion du dessalement de l'eau de mer par le gouvernement des Baléares. L'accueil de la population a été favorable en dépit d'une légère augmentation des tarifs. L'eau fournie était parfaitement potable. Barcelone, possède la plus grande usine de dessalement d'Europe; 200 000 m<sup>3</sup>/j, ce qui permet d'alimenter 1,3 millions d'habitants.

L'Espagne a la particularité d'affecter une part importante de l'eau dessalée aux besoins de l'agriculture, en particulier pour la production de légumes sous serre destinés à être exportés « à contre-saison » sur le marché européen afin de concurrencer des produits cultivés sous serres chauffées au gaz aux Pays Bas. L'usine de Carboneras, 121 000 m<sup>3</sup>/j dans la province aride d'Almeria, alimente à la fois l'agriculture et le tourisme, mais ne fonctionne qu'à 15% de sa capacité, faute de clients. Destinée à l'origine à approvisionner la région de Mojacar, elle devait aussi fournir les immenses cultures sous serre de la région. Mais le coût plus élevé de l'eau dessalée incite les agriculteurs à continuer de puiser, souvent illégalement, dans la nappe phréatique.

### **3.2.5.2 Le reste de l'Europe occidentale :**

Et la France dans tout cela ? Elle fait déjà partie des majors dans le domaine de la construction des usines, les leaders étant les Américains et les Britanniques.

La France qui rencontre pourtant d'importants et récurrents problèmes de sécheresse en été, n'a pas encore vraiment sauté le pas en matière de dessalement et de réutilisation des eaux usées. Même si quelques projets pourraient se concrétiser en Normandie, en Provence, Alpes, Côte d'Azur et en Languedoc Roussillon, le dessalement demeure marginal. Il est surtout utile là où le transport de l'eau est compliqué. La première installation au monde utilisant l'osmose inverse fut ouverte sur l'île de Houat en Bretagne. Une autre unité est installée sur l'île de Sein, dans le phare. Elle est petite (environ 50 m<sup>3</sup>/j) et subvient en été, aux besoins d'eau supplémentaires liés à l'afflux de touristes. Montée en 1975, elle fonctionne depuis 2003 par osmose inverse. Par ailleurs, une unité de 500 m<sup>3</sup> d'eau potable par jour est installée sur le port de Rogliano sur le Cap Corse.

Belle-Île va se doter de deux installations de dessalement d'eau de mer. Une première unité mobile, en cours d'installation à proximité de la plage des Grands Sables, sera opérationnelle en 2013.

D'une capacité de 25 m<sup>3</sup>/h, cette unité va augmenter la quantité d'eau disponible sur l'île de 100.000 m<sup>3</sup> supplémentaires. Une seconde station d'une capacité identique viendra compléter ce dispositif, portant la capacité d'approvisionnement en eau potable à 1.000 m<sup>3</sup>/j.

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

Mais force est de constater qu'aujourd'hui, le dessalement n'est pas envisagé à grande échelle car l'Europe est relativement bien alimentée en eau de pluie par son climat.

Cependant le réchauffement climatique qui se profile risque de changer la donne.

### **3.3 L'aspect juridique du partenariat public- privé dans le domaine du dessalement de l'eau de mer :**

Avec la raréfaction des ressources en eau douce dans plusieurs régions du monde, conséquence inévitable des changements climatiques, le dessalement des eaux, notamment des eaux marines, prend de plus en plus d'importance et devient progressivement une solution prometteuse pour l'avenir, notamment avec le développement impressionnant des techniques et des technologies de dessalement.

Les projets de dessalement, malgré les développements enregistrés, restent relativement coûteux nécessitant des investissements élevés et des charges d'exploitation et de gestion importantes (énergie, produits, équipements et autres), ce sont aussi des projets qui exigent un haut niveau de technicité et de gestion. C'est pourquoi, leur réalisation et leur mise en œuvre nécessitent un choix judicieux du cadre institutionnel et financier pour garantir leur réussite et surtout leur durabilité.

D'après les expériences existantes de par le monde, le montage institutionnel et financier pour la construction des infrastructures de dessalement des eaux ainsi que leur gestion, leur exploitation et leur maintenance peuvent être de trois types: public (100%), privé (100%) ou partenariat public-privé, ce dernier peut prendre plusieurs formes, à savoir contrats de management, régie intéressée, affermage, concession, contrats de type Build Operate Transfer,... De tels partenariats permettent à chaque collectivité publique d'accéder à une expertise de haut niveau dans le domaine des services d'eau et d'assainissement, de bénéficier de l'efficacité et des savoir-faire qu'apporte un opérateur professionnel, tout en gardant le contrôle des orientations stratégiques et la maîtrise de la politique de l'eau. Le choix du type approprié du PPP dépend du contexte politique, économique, social et culturel de chaque pays, région et zone du projet.

#### **3.3.1 Le financement et la gestion publics :**

C'est pratiquement l'unique mode de financement utilisé dans le passé, les pouvoirs publics assurent le financement, la construction et la gestion des infrastructures publiques. Tous les risques financiers et techniques sont supportés par les pouvoirs publics et par conséquent par les collectivités à travers le paiement des impôts soit directement ou indirectement.

Pour les projets de dessalement, ce mode de financement était pratiqué du temps des premiers projets, notamment dans les pays du Golf et autres pays. Actuellement, ce mode exclusif devient de plus en plus abandonné au profit du partenariat public-privé. En Espagne par exemple, seulement 16% des projets de dessalement existants ont été réalisés et sont gérés par les Services publics.

### **3.3.2 Le financement et la gestion privés :**

Dans ce genre de montage, le secteur privé apporte les fonds nécessaires pour réaliser le projet, il se charge ensuite de la gestion et l'exploitation et la maintenance des équipements. Ce type de montage dans les projets de dessalement est très peu rencontré, il est pratiqué dans certains cas précis comme la production de l'eau dessalée pour usage industriel notamment.

En Espagne par exemple, seule une usine de dessalement sur 57 a été construite et gérée exclusivement par un opérateur privé.

### **3.3.3 Le partenariat public-privé (PPP) :**

Le constat de l'impuissance de l'Etat à assumer seul le coût d'infrastructures lourdes est aujourd'hui universel. Les contraintes budgétaires et techniques imposent la recherche de financements ailleurs que dans les caisses de l'Etat et le recours à des spécialistes de plus en plus pointus hors de l'Administration. Mais parallèlement, il paraît non raisonnable de remettre entièrement la tâche de construire et de gérer des infrastructures et des services publics au seul secteur privé. La gestion des services publics doit continuer à relever, ne serait-ce qu'en partie, de l'autorité publique qui est le seul garant de l'intérêt public et de la stabilité sociale et économique du pays. Le partenariat public-privé apparaît donc comme la voie médiane entre une gestion d'Etat, difficile et dépassée, et une privatisation pure et simple, risquée et porteuse d'émiettement des responsabilités.

Les contrats de type PPP représente la formule la plus adéquate pour la réalisation des projets de dessalement puisqu'ils permettent d'améliorer les conditions d'investissement, d'exploitation et de maintenance des équipements, ainsi que la compétitivité et la qualité du service rendu aux usagers.

La réussite de PPP dépend de plusieurs conditions dont notamment l'établissement d'un contrat définissant le cadre d'accueil et les obligations des parties, un partage équitable des risques, un encadrement juridique stable et cohérent et une structure adéquate de financement. L'importance grandissante qu'a pris l'implication des opérateurs privés dans la construction et la gestion des infrastructures stratégiques et des services dans plusieurs pays, notamment ceux développés et certains en voie de développement, a permis un développement soutenu du

partenariat public-privé qui est devenu une solution privilégiée et très convoitée grâce à ses nombreux avantages, notamment le soulagement des budgets publics, plus d'efficacité et de compétitivité, l'amélioration substantielle de la qualité des services rendus aux usagers, et la promotion des investissements et de la croissance économique. Dans ce contexte, les projets de dessalement des eaux, de par leur importance pour les régions où les ressources en eau sont limitées et le degré élevé de technicité qu'ils exigent en termes de gestion et de maintenance, ainsi que les investissements importants qu'ils nécessitent, affichent une tendance de plus en plus accélérée vers des montages institutionnels et financiers public-privé pour leur réalisation et leur gestion.

### **3.3.3. a) Types de partenariat public-privé :**

Le partenariat public-privé englobe différentes modalités d'association entre l'autorité publique et les entreprises privées, notamment les concessions, la gestion déléguée de services, les contrats de service et de gérance, l'affermage et les BOT.

Le partenariat public-privé fonctionne sur des principes simples: deux partenaires, des règles préétablies, un rythme d'avancement, un contrat à respecter, un équilibre mutuel et en conclusion, la satisfaction des deux parties.

Les projets de dessalement des eaux, vue leur importance sur les plans technologique, technique, d'investissement et de gestion, comptent parmi les projets qui s'adaptent le mieux au partenariat public privé.<sup>23</sup>

Les formes de PPP adoptées dans ce cadre diffèrent d'un pays à l'autre. En Espagne, l'affermage est le montage qui a été adopté pour 28 projets (près de 50% des projets de dessalement). Pour l'Algérie, Israël et l'Australie par exemples, ce sont plutôt des options de BOT qui ont été retenues. Dans les pays de Golf, ce type de PPP prend aussi de l'importance. La tendance actuelle tend fortement vers des formes de PPP de type BOT pour les projets de dessalement pratiquement partout dans le monde. C'est la voie la plus efficace en termes d'investissement, d'efficacité de gestion, de qualité de service et de partage des risques.<sup>24</sup>

#### **➤ La technique BOT :**

L'utilisation de la technique de "Concession-BOT" a pour but de réaliser par une société privée des projets industriels, d'infrastructure ou d'équipement publics qui auraient été

<sup>23</sup>Source : Brochure Partenariats public-privé dans le secteur des infrastructures.

<sup>24</sup>Source : articleRevue HTE N°142 • Mars - Juin 2009,Financement des projets de dessalement des eaux M. Ouhssain& el M. Arrifi.

réalisés et gérés par des établissements publics ou des sociétés du secteur public. La société privée bénéficie d'une concession pour financer, réaliser et assurer l'exploitation du projet pendant la durée de la concession. A la fin de la durée de la concession le projet revient au Gouvernement. La période de concession est déterminée en fonction de la durée nécessaire pour que les revenus générés permettent à la société de rembourser sa dette avec un retour sur investissement compensant ses efforts et ses risques, ainsi que les transferts de technologie qu'elle a pu fournir.

### **3.3.3. b) Les modalités définissant le partenariat public-privé :**

- Un contrat définissant le cadre d'accueil et les obligations des parties : Le partenariat public-privé doit reposer sur des montages appropriés à chaque projet, et non sur des modèles rigides et préétablis.

Le contexte juridique et institutionnel doit être pris en compte dans la définition des rôles de chacun des partenaires. Ceux-ci doivent s'assurer préalablement de l'acceptation politique et sociale du projet.

Le contrat doit permettre d'intégrer les événements imprévus survenant en cours de réalisation. La régulation peut reposer sur un organisme tiers indépendant.

- Un partage équitable des risques : La concession et en général toutes les activités économiques et financières comprennent une prise de risque. Les projets font toujours intervenir plusieurs acteurs et des risques de différentes origines. Le principe est de ne pas faire reposer tous les risques sur le même acteur, mais au contraire de les répartir en fonction des compétences de chacun d'eux.

Les risques sont de plusieurs natures en fonction de leur origine :

- le risque politique, lié à l'attitude du gouvernement à l'égard du secteur privé notamment dans le contrôle de la tarification, problème particulièrement aigu dans le cas des services publics donnant lieu à la facturation aux usagers-électeurs ;
- le risque monétaire, car les recettes sont parfois perçues en monnaie locale, d'où une sensibilité importante surtout sur la durée de vie d'une concession ;
- le risque économique et commercial, lié à la croissance économique et au développement urbain, dont les variations par rapport aux prévisions engendrent des incertitudes sur l'utilisation du service et les revenus du concessionnaire ;
- le risque financier, lié à l'incertitude sur les taux d'intérêt qui évoluent entre le premier financement et les phases de refinancement qui interviennent ultérieurement ;

- les risques techniques, quand des surcoûts de construction ou d'exploitation apparaissent, soit à cause d'ouvrages mal adaptés, soit à cause de mauvaises estimations économiques.

Chaque intervenant doit donc mesurer les paramètres techniques ou socio-économiques qui décrivent les risques qu'il prend pour fournir une réponse adaptée et s'engager en toute connaissance de cause. Ensuite, débute une phase de négociation juridico-financière sur les termes et clauses du contrat qui, " sur la base d'une étude reconnue par le concédant et le concessionnaire pressenti ", détermine notamment la fréquentation par les usagers, les modalités de financement, les éventuels problèmes juridiques ou fiscaux, la sensibilité de la rentabilité financière aux aléas (surcoûts, fréquentation réelle, taux d'intérêt réels). C'est dans la détermination de ces clauses qu'apparaissent les différences de financement entre les projets. Elle requiert le soin le plus important. Un partenariat public-privé réussi repose sur la confiance réciproque des partenaires, ainsi que sur le respect du contrat dans la durée, tant sur les dépenses initialement prévues que sur les obligations incombant à chacun des acteurs.

La rémunération du concessionnaire doit prendre en compte les risques qu'il assume, tant dans les phases de conception que de réalisation et d'exploitation du projet.

La puissance publique doit alors veiller lors de la rédaction des clauses du contrat à identifier ces risques, évaluer leur impact, et pallier les effets négatifs en intégrant leur possible survenue. Le contrat doit être un outil évolutif pour répondre à des circonstances nouvelles prévisibles.

### **3.3.3. c) Les avantages du recours au partenariat public-privé :**

Le partenariat public-privé permet d'assurer des services publics de qualité à un moindre coût pour la société et répondre, ainsi, à la demande de la population d'un maillage étroit du territoire en services modernes et adaptés. L'autorité publique peut ainsi favoriser la création et la modernisation d'infrastructures et de services publics sans augmenter la fiscalité ou la dette publique.

Mais le partenariat public-privé n'est pas une simple question de financement. Il est aussi un moyen d'utilisation optimale des compétences propres aux entreprises privées et englobe la notion de prestation de service. L'appel à des sociétés privées permet de bénéficier de technologies modernes respectueuses de l'environnement.

Le partenariat public-privé permet aussi un partage optimal des risques entre l'autorité publique et les prestataires privés. Il favorise une évaluation réaliste des coûts et le respect des délais agréés par les partenaires en début de contrat.



Enfin, il préserve le rôle de décideur, de force d'impulsion et de contrôle de l'autorité publique, qui ne perd pas l'ensemble de ses prérogatives. A l'inverse, le partenariat protège les opérations de construction et d'aménagement des aléas politiques liés aux changements de majorité ou aux effets d'annonce électoraux.<sup>25</sup>

### **3.3.4 Les expériences en matière de partenariat public-privé dans le domaine du dessalement :**

#### **3.3.4.1 Le partenariat public-privé en Israël :**

De grandes multinationales étrangères sont fortement implantées dans le secteur en Israël et offrent des possibilités de projets collaboratifs avec les PME du secteur :

► Siemens Water Technology et Veolia ont des projets de R&D avec des PME locales ainsi que des accords commerciaux et de sous-traitance. New TECH a notamment pour objectif de mettre en relation ces grands acteurs privés étrangers avec les PME du territoire. Par exemple, la construction de l'usine de dessalement d'Ashkelon a été réalisée par VID Desalination Company Ltd, consortium franco-israélien entre Veolia Water, IDE Technologies et Elran Infrastructures.

#### **Ashkelon – Israël Le dessalement membranaire, une solution économiquement compétitive :**

La région d'Ashkelon est confrontée à une sévère pénurie d'eau. À cause des changements climatiques et de la surexploitation des ressources, le niveau des nappes souterraines n'a jamais été aussi bas. Afin de satisfaire les besoins croissants en eau, les autorités locales ont décidé de s'approvisionner dans la mer. Le dessalement permet en effet de disposer d'une ressource d'eau alternative en grande quantité. Avec une capacité de 320000 m<sup>3</sup> par jour, l'usine d'Ashkelon est l'une des plus grandes références au monde dans le domaine du dessalement par osmose inverse. En 2002, Veolia Water et ses deux partenaires israéliens (Le consortium VID et Le consortium OTID) ont remporté le contrat B.O.T de l'usine de dessalement d'Ashkelon, située dans le sud de Tel-Aviv. Ce contrat porte sur le financement, la construction et l'exploitation d'une usine de dessalement d'une capacité de 108 millions m<sup>3</sup> par an, la durée du contrat est de 25 ans. L'usine d'Ashkelon a été livrée au cours de l'année 2005 en 2 tranches successives (dont la seconde, en décembre 2005) pouvant produire chacune 54 millions m<sup>3</sup>.

<sup>25</sup>Source : article Revue HTE N°142 • Mars - Juin 2009, Financement des projets de dessalement des eaux M. Ouhssain & el M. Arrifi.

Le coût de production par dessalement est équivalent au coût de prélèvement dans les nappes souterraines, et à la moitié du coût des importations d'eau pour l'irrigation de certaines régions de l'est de la Méditerranée.

La concentration en sels dissous de l'eau produite est de 30 mg/l contre 35 000 mg/l dans l'eau brute servant à alimenter l'usine de dessalement (les normes pour les eaux destinées à la consommation humaine sont de 400 mg/l).

L'eau de mer alimentant l'usine est fournie par trois canalisations posées en fond de mer. Après une première étape de prétraitement (filtration bicouche), l'eau de mer est progressivement dessalée au travers de 32 unités d'osmose inverse pouvant traiter chacune 10 000 m<sup>3</sup>/jour (30 000 modules de membranes au total). Outre la réduction de la salinité totale, l'osmose inverse permet d'éliminer les bactéries, les virus et le bore.

Les économies d'échelle, la baisse continue du prix des membranes (il a été divisé par 2 en 10 ans), l'efficacité énergétique des usines utilisant le processus conçu par Veolia Water Solutions & Technologies et la maîtrise des coûts d'exploitation sont les conditions réunies pour assurer une production d'eau par dessalement à un coût compétitif.<sup>26</sup>

#### **3.3.4.2 Le partenariat public-privé en Arabie Saoudite :**

L'Arabie Saoudite ne possède en effet aucun cours d'eau permanent naturel. Compte tenu des conditions climatiques, les eaux de surface ne représentent en outre qu'un apport très limité. Il aura fallu construire un nombre considérable de retenues d'eau (plus de 225 barrages en activité en 2006), afin de conserver au mieux les eaux de pluie et d'essayer tant bien que mal de protéger les nappes phréatiques. Car l'épuisement des nappes, y compris des nappes fossiles, est désormais arrivé à un stade critique.

D'où la nécessité impérieuse pour le Royaume d'Arabie Saoudite de privilégier l'exploitation de ressources alternatives comme l'eau dessalée. La part du dessalement sera ainsi devenue majoritaire dans l'alimentation en eau des principales villes du Royaume. Avec ses 30 usines de dessalement d'eau de mer, produisant 45 % de son eau à usage domestique et urbain, l'Arabie Saoudite est le plus grand producteur d'eau par dessalement au monde depuis les années 2000. Sa part dans la production mondiale d'eau dessalée se situait à 17,4 %, plaçant le Royaume devant les États-Unis (16,2 %) et devant un autre acteur majeur du Golfe qui sont les Émirats Arabes Unis (14,66 %). Dans un cercle plus restreint, celui du Conseil de Coopération du Golfe (CCG), la part de l'Arabie Saoudite atteignait 45,5 % de la production régionale d'eau dessalée, plaçant également le pays devant les Émirats Arabes Unis

---

<sup>26</sup>Les données sont extraites du rapport Veolia dans le monde 2010, p04.

(38,15 %).<sup>27</sup>

Les solutions comme le dessalement d'eau de mer et la réutilisation des eaux usées, deux techniques nécessitant un savoir-faire technologique spécifique, s'imposent.

De nombreux projets associant le secteur privé ont été lancés au travers de BOT (Build, Operate, Transfer) ou de DBO (Design, Build, Operate) permettant de combiner des financements compétitifs et une optimisation des investissements et une exploitation performante.

Degrémont une filiale de SUEZ Environnement, spécialiste mondial du traitement de l'eau construit des usines de réutilisation des eaux usées selon ce modèle de contrat, notamment au Qatar. Les projets d'usines de dessalement d'eau de mer combinées à des unités de production d'électricité sont de plus en plus nombreux.

En Arabie Saoudite, 240 milliards de dollars US de projets ont ainsi été identifiés, pour les 10 prochaines années, dans la production d'électricité et le dessalement d'eau de mer.

SUEZ qui dispose des doubles compétences et savoir-faire en matière de production d'énergie et de dessalement d'eau de mer, via SUEZ Energie International et SUEZ Environnement, possède l'avantage compétitif de pouvoir présenter une offre duale, en qualité d'opérateur unique. C'est ainsi qu'en décembre 2006, le Groupe a remporté le projet Barka II/Rusail, au Sultanat d'Oman, un contrat portant sur la production d'électricité couplée à une usine de dessalement d'eau de mer utilisant la technologie de Degrémont, filiale de SUEZ Environnement.

En Arabie Saoudite suite à la réforme du cadre réglementaire, de nombreux contrats de Partenariats Public-Privé (PPP) voient le jour et ouvrent de nouvelles perspectives aux opérateurs. Cette réflexion autour des services se traduit dans un premier temps par l'identification des pistes d'amélioration, une prestation qu'un contrat d'assistance technique (ingénierie, conseil) peut remplir. C'est le rôle de Safège, la filiale de SUEZ Environnement pour ce qui concerne l'ingénierie de l'environnement. Safège a ainsi réalisé l'audit des systèmes d'adduction d'eau potable et d'assainissement de la ville de Jeddah.

D'autres besoins importants se font sentir notamment pour l'apport d'un cadre structuré et d'un savoir-faire technique. Fort de son expertise, SUEZ Environnement peut y apporter une réponse dans le cadre de contrats O&M<sup>28</sup> ou de contrats de management en l'accompagnant

---

<sup>27</sup>Source : Eau. Note de Franck Galland pour capmena, mars 2010

<sup>28</sup>Operation and maintenance.

d'un changement de culture, d'une restructuration des tarifs, d'une amélioration des performances ainsi que le transfert de savoir-faire et de personnel.

L'Arabie Saoudite s'est lancée dans un vaste programme visant à confier le management de ces services publics à des opérateurs privés, avec de forts objectifs d'amélioration de la qualité de service. Le contrat de gestion de service décroché par SUEZ Environnement pour la ville de Jeddah illustre bien les changements en cours dans l'Arabie Saoudite dans les domaines de l'eau potable et de l'assainissement.

C'est Sefage qui, dans les années 1950, a posé les toutes premières pierres de SUEZ Environnement dans ce pays à travers une action d'ampleur "historique" : la découverte d'un gisement d'eau potable à Ryadh qui a permis d'y maintenir la capitale du jeune Etat saoudien.

Dans ce même pays, Degremont a construit, entre 1975 et 1986, une vingtaine d'installations dont une moitié pour l'eau potable urbaine. Les réalisations les plus significatives sont :

Cinq des six stations de dessalement d'eaux saumâtres à Ryadh (osmose inverse), d'une capacité totale de 200 000 m<sup>3</sup>/j. (1975-76) ;

Trois autres stations de dessalement (osmose inverse) à Al Birk, Rafh et Zulfi (1980-1983) ;

La station de traitement des eaux usées à Taïf d'une capacité de 100 000 m<sup>3</sup>/jour (1982).

En 2003, le Groupe a mis en service à Fujairah la partie osmose inverse de la première usine hybride de dessalement, qui associe, pour la première fois au monde à grande échelle des technologies membranaires (osmose inverse) et thermique (évaporation). Conçue et construite par Degremont, elle est capable de traiter 170 500 m<sup>3</sup> d'eau de mer par jour et produit 62 millions de m<sup>3</sup> d'eau par an.

A Oman, SUEZ a remporté en décembre 2006 le projet Barka II / Rusail pour la construction de la centrale de co-génération électricité et dessalement de 678 MW. La partie dessalement de l'eau de mer est assurée par SUEZ Environnement. L'usine de dessalement d'eau de mer a fait l'objet d'une réflexion particulière en matière de protection du milieu marin. La saumure résultant de la filtration de l'eau de mer sera ainsi recyclée dans le système de refroidissement de la centrale thermique afin d'obtenir une qualité de rejet en mer sans impact pour l'environnement.<sup>29</sup>

Fin 2007, Veolia Eau a signé un contrat d'exploitation et de maintenance de l'usine de dessalement par osmose inverse de l'Independent Water & Power Project (F2IWPP) de Qidfa,

---

<sup>29</sup>Source : les données sont extraites du Dossier de presse mai 2008, p 14, la problématique de l'eau au Moyen-Orient : quand suez environnement met sa technologie au service de projets de développement d'envergure.

à Fujairah. La production de l'usine d'osmose inverse est de 136 500 m<sup>3</sup> par jour d'eau dessalée. Ce contrat a été attribué pour une durée de 12 ans.

En juillet 2008, Veolia Eau a signé avec l'Abu Dhabi Water and Electricity Authority (ADWEA) un contrat pour le financement, la construction et l'exploitation de deux nouvelles usines de traitement des eaux usées des villes d'Abu Dhabi (300 000 m<sup>3</sup>/jour) et d'Al Ain (130 000 m<sup>3</sup>/jour).

Après une période initiale de construction, Veolia Eau aura en charge, pendant 22 ans, l'exploitation des deux stations de traitement des eaux usées.

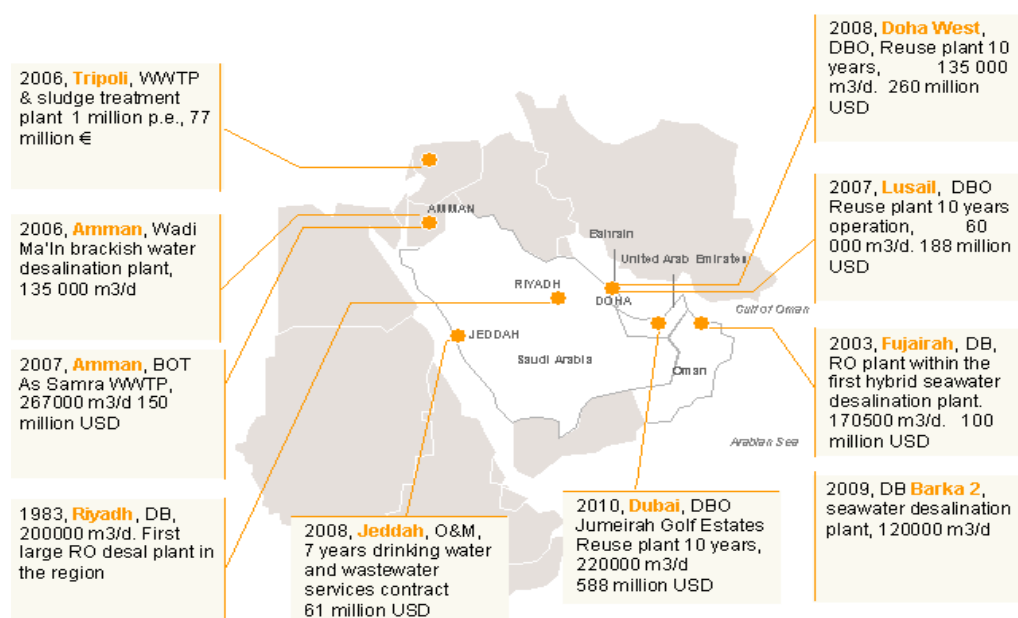


Figure 3.13: Carte des implantations eau de suez environnement au Moyen-Orient<sup>30</sup>

### 3.3.4.3 Le partenariat public-privé en Perth, Australie :

Ces dernières années, l'Australie a été soumise à des sécheresses répétées, impactant l'ensemble du réseau d'approvisionnement d'eau potable du sud de ce pays. Dans ce contexte de stress hydrique, la production d'eau douce à partir d'eau de mer est apparue comme une solution de ressource alternative pouvant intégrer le système d'alimentation en eau potable déjà existant, fait de pompage d'eaux souterraines et de réservoirs de stockage d'eau de surface.

<sup>30</sup>Source : les données sont extraites du Dossier de presse mai 2008, p 14, la problématique de l'eau au Moyen-Orient : quand suez environnement met sa technologie au service de projets de développement d'envergure.

Le projet de dessalement de Perth a débuté en 2005, et a été mené en urgence. L'usine de dessalement est localisée au sud de Perth, capital et plus grande ville de l'état d'Australie de l'ouest. Avec un climat méditerranéen (850 mm de pluie par an) et une population de 1.6 millions d'habitants, l'agglomération de Perth est le lieu d'un développement rapide, avec une prévision de 2.9 millions d'habitant d'ici 2060. Le contrat de réalisation de l'usine est un projet de DBO (Design Build Operate) développé avec Western Australian Water Corporation sur la base d'un contrat en alliance public-privé. L'installation a été dimensionnée et construite par une Joint Venture 50-50% Degrémont& Multiplex avec un contrat d'exploitation de 25 ans assuré par DegrémontAustralia.

L'installation PSDP (Perth SeawaterDesalination Plant) a une capacité de production de 143.700m<sup>3</sup>/j (45 millions de m<sup>3</sup> par an), ce qui représente 17% de la demande d'eau potable de l'agglomération de Perth (IWSS pour Integrated Water Supply System). PSDP forme une partie clé dans la stratégie du distributeur d'eau, la Water Corporation, organisme publique assurant gestion et distribution de l'eau potable de l'agglomération.<sup>31</sup>

#### **3.3.4.4 Le partenariat public-privé en Espagne Barcelone :**

ATLL (Aigües Ter Llobregat) est une société publique, dépendant du département environnement du gouvernement de Catalogne. ATLL a en charge l'alimentation en eau potable de plus de 100 municipalités de l'agglomération de Barcelone (plus de 4.5 millions d'habitants). L'approvisionnement en eau est principalement assurée par deux installation de production d'eau potable : Cardedeu et Abrera (respectivement 8 et 4 m<sup>3</sup>/sec, production à partir des rivières Ter et Llobregat). La région de Barcelone fait face depuis plusieurs années à une baisse de sa ressource d'eau disponible pour la production d'eau potable. Le fleuve Llobregat voit son débit baisser, alors que la salinité et la dureté de son eau augmentent. La salinité de l'eau de nappe augmente. ATLL a des difficultés à approvisionner en eau l'agglomération et à faire face à l'augmentation de la demande liée à un développement économique intense. Plusieurs solutions ont été étudiées, comme de transport d'eau de régions du Nord de l'Espagne, voir de France, le transport d'eau en barge, et la construction d'une installation de dessalement. C'est cette dernière solution qui a été retenue, avec pour objectifs :

- Une augmentation de la ressource en eau potable,

---

<sup>31</sup>Les données sont extraites du rapport : Le dessalement des eaux: une opportunité pour les régions en pénurie d'eau? Tanger 8-10 mai 2009.

- Garantir l'approvisionnement en eau potable de la population : l'installation, avec une capacité de 60 millions de m<sup>3</sup>/j (2.3 m<sup>3</sup>/sec. au maximum) représentera 15 à 20% de la demande en eau de la région,
- Une amélioration de la qualité de l'eau distribuée en termes de salinité et de concentration de matières organiques.

L'installation de l'usine de dessalement d'eau de mer est située dans la zone industrielle El Prat, à côté de l'aéroport de Barcelone, en bordure de l'installation d'eau résiduaire de la ville. La prise d'eau est sous influence du port de Barcelone et du fleuve Llobregat. L'usine a été conçue et construite par une joint venture Degremont, Aigües de Barcelona et Dragados-Drace, contrat de construction associé à 2 ans d'exploitation assurée par Degremont.

La station de dessalement de Cartagena est dédiée à la production de l'eau potable pour la municipalité de Cartagena et d'autres communes riveraines. Elle est située au port industriel de Cartagena. D'une Capacité de 63 000 m<sup>3</sup>/j extensible à 72 000 m<sup>3</sup>/j. Il s'agit d'une concession BOOT. Dans ce cas, l'entreprise TEDAGUA assure le financement, la construction et l'exploitation de la station moyennant une garantie de l'Etat et une concession pour une durée de 25 ans.

La station de dessalement d'Almeria est conçue pour assurer l'alimentation en eau potable de la municipalité d'Almeria. D'une Capacité de 50 000 m<sup>3</sup>/j. La réalisation du projet de la station d'Almeria a été faite dans le cadre d'un BOT « Build Operate Transfer » (Construction, Exploitation et Transfert). Dans ce cas, le financement de la construction de la station a été mis en place par les autorités publiques et la réalisation et la gestion a été confiée aux groupements entrepreneurs privés PRIDESA et BEFESA.<sup>32</sup>

#### **3.3.4.5 Le partenariat public-privé en Algérie :**

Le recours au dessalement de l'eau de mer en Algérie constitue une solution urgente pour satisfaire l'alimentation en eau de ces villes côtières surpeuplées. Ces dernières années la consommation en eau toujours croissante, pour pallier à cette demande en ressources hydriques engendrée par la situation de sécheresse répétée que connaît le pays pendant les dix dernières années. A cet effet, le choix de réaliser 56 stations de dessalement d'eau de mer

---

<sup>32</sup>Les données sont extraites du rapport : Le dessalement des eaux: une opportunité pour les régions en pénurie d'eau? Tanger 8-10 mai 2009.

pour alimenter les populations des villes côtières en eau potable d'une capacité journalière de 146.000 m<sup>3</sup> est une solution judicieuse. Les travaux ont débuté en juin 2002 par différentes entreprises tel que l'entreprise nationale Hydro-traitement, l'entreprise allemande Linde et la Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (la réalisation des stations monoblocs au nombre de 21 de dessalement d'eau de mer pour une capacité globale de 57 500 m<sup>3</sup>/Jour). Plusieurs projets de stations seront réalisés sous forme de "BuildOwn and opérate". Qui signifie que sa conception, sa réalisation et son exploitation sont à la charge de l'investisseur qui en sera le propriétaire durant la période du contrat.

Fonctionnelle depuis 2008, la station d'El-Hamma, (d'une capacité de 200 000 m<sup>3</sup>/jour plus grande usine de dessalement d'Afrique). Permet de couvrir le tiers des besoins en eau de la capitale : Alger. Le coût de cette réalisation s'est élevé à 250 millions de dollars, dont 185 millions à travers un prêt de la société américaine Overseas PrivateInvestment Corporation (OPIC). Le projet a été réalisé par la société américaine IONICS, spécialiste du dessalement dans le monde, qui détient 70% du capital de Hamma Dessalination Water (HDW), en charge de l'exploitation et de la maintenance de la station pendant 25 ans, en partenariat avec la compagnie pétrolière nationale Sonatrach, la compagnie publique d'électricité et de gaz Sonelgaz et l'Algérienne des eaux.

Construite en partenariat avec le canadien SNC Lavalin et une entreprise espagnole Accina Agua sur un site de 8 ha, La station de dessalement de l'eau de mer de Fouka (Tipasa) dont le maître d'ouvrage est Myah Tipasa a une capacité de traitement journalier de 270 000 m<sup>3</sup>/j et des rejets estimés à 150 000 m<sup>3</sup>/jour. Le montant de l'investissement est de 180,17 millions de dollars répartis entre Algeria Water InvestmentInc (100% SNC Lavalin) qui détient 51% des parts et Algerian EnergyCompany (49%). Elle est alimentée en énergie électrique à partir de deux postes sources, celui de Ahmer El Aïn et celui de Mazafran avec une capacité de 30 MW chacun. L'eau dessalée par cette usine, utilise le procédé de traitement par l'osmose inverse, et est vendue à la compagnie pétrolière nationale Sonatrach et l'Algérienne des Eaux (ADE) qui alimentent leurs clients respectifs d'Alger et de Tipasa. L'entreprise canadienne est en charge de son exploitation suivant un contrat de 25 ans.

construite en partenariat avec Bahrein, BiwaterConsortium,La station de dessalement de l'eau de mer Oued Sebt (Gouraya) qui a pour maître d'ouvrage : Myah Oued Sebt est installée sur une superficie de 6 ha. Sa capacité de traitement est de 100 000 m<sup>3</sup>/jour. Inscrite en 2004



comme une petite station monobloc, elle fut érigée par la suite en grande structure. Le montant de l'investissement est de 115 millions de dollars américains, L'eau dessalée par cette usine, utilise le procédé de traitement par l'osmose inverse, et est vendue à la compagnie pétrolière nationale Sonatrach et l'Algérienne des Eaux (ADE) pendant 25 ans. La station est desservie en électricité à partir de deux postes sources situés à El Khemis et Kherba, dans la wilaya de AinDefla.

La station de dessalement de Ténès, située à 150 km à l'ouest d'Alger a été conçue pour assurer l'approvisionnement en eau potable de toute la région de Chleff. Fonctionnelle depuis 2010 avec une capacité de 200.000 m<sup>3</sup>/j. elle a été réalisée dans le cadre d'un partenariat public privé entre L'entreprise AEC, filiale du groupe algérien public des hydrocarbures détenant 49% des parts , et l'entreprise Befesa Agua, filiale du groupe espagnol Abengoa (solutions innovantes dans le développement durable) majoritaire avec 51 % des parts .Le montant de l'investissement s'est élevé à 291 M \$.

La station de dessalement d'Oran, Mactaa près de Mers El Hadjadj, d'une capacité estimée à 500 000 m<sup>3</sup> par jour est considérée comme l'un des plus grands projets dans le monde. Installé sur une surface de 18 hectares. La station d'El Mactâa est détenue à hauteur de 51% par le groupement singapourien Hyflux et 49% par l'AEC.

La station de dessalement de Beni Saf, Chatt El Hillal, d'une capacité de 200 000 m<sup>3</sup>/jour, a été conçue pour assurer l'approvisionnement en eau potable des Wilayas d'Oran et Ain Témouchent. Elle a été réalisée dans le cadre d'un partenariat public privé entre le groupe espagnol Geida qui détient 51% et la partie algérienne (AEC) avec 49% des parts, composée de Sonatrach, de l'ADE et de la Sonelgaz regroupés dans une société créée en novembre 2004 et dénommée Beni Saf Water Compagnie (BWC Spa). La station utilise le système d'osmose inverse, qui constitue le moyen le plus rentable au plan consommation d'énergie.

**Tableau 3.10:** Le partenariat en Algérie dans le domaine du dessalement de l'eau de mer :<sup>33</sup>

Nom du projet	Partenaire (s)	Situation du projet
KAHRAMA (Oran) 90.000 m3/j	Black and Veatch (Afrique du Sud) à 5%/ AEC 95%	En exploitation depuis février 2006
HAMMA (HWD) 200.000 m3/j	GE Water (USA) 70% / AEC 30%	En exploitation depuis le 24 février 2008
SKIKDA (ADS) 100.000 m3/j	GEIDA (Espagne) 51%/ AEC 49%	En exploitation depuis 2009
BENI SAF (BWC) 200.000 m3/j	GEIDA (Espagne) 51%/ AEC 49%	En exploitation depuis 2009
TLEMCEN HONAINA (MBH) 200.000 m3/j	GEIDA (Espagne) 51%/ AEC 49%	En exploitation depuis 2010
TIPAZA FOUKA (MT) 120.000 m3/j	SNC-Lavalin/Acciona (Canada /Espagne) 51% AEC 49%	En exploitation depuis 2011
MOSTAGANEM (STMM) 200.000 m3/j	OHL INIMA/ AQUALIA (Espagne) 51% AEC 49%	En exploitation depuis 2010
TLEMCEN Souk Tlata (AAS) 200.000 m3/j	Hyflux/Malakoff (Singapour/Malaisie) 51% ; AEC 49%	En exploitation depuis 2010
BOUMERDES Cap Djinet (SMD) 100.000 m3/j	OHL INIMA/ AQUALIA (Espagne) 51% ; AEC 49%	En exploitation depuis 2010
ORAN Mactaa (TMM) 500.000 m3/j	Hyflux (Singapour) 51% ;AEC 49%	En exploitation depuis 2010
CHLEF Ténés (TL) 200.000 m3/j	BEFESA (Espagne) 51% AEC 49%	En exploitation depuis 2010
TIPAZA OuedSebt (TOS) 100.000 m3/j	Biwater (Anglais) 51% AEC 49 %	En exploitation depuis 2010

<sup>33</sup> Source : Site : MRE, mre.gov.dz (ministère des ressources en eau) données publiées.

**Conclusion :**

Aujourd'hui, les avantages du dessalement de l'eau de mer pour la production d'eau douce pour les différents usages ne sont plus à démontrer. Cette technique constitue l'unique solution pour beaucoup de pays et de régions qui souffrent de manque d'eau, et pourra même s'ériger dans l'avenir, avec la tendance inquiétante des changements climatiques, en solution salubre dans plusieurs endroits du monde.

Certes, à l'image des autres types des grands projets d'infrastructures, les projets de dessalement peuvent être réalisés moyennant divers montages institutionnels et financiers, mais tenant compte de l'importance des investissements qu'ils nécessitent, du haut niveau de technicité auquel font appel et de l'importance des charges d'exploitation et de maintenance qu'ils exigent, ces projets ont beaucoup plus de chance de réussite lorsqu'ils sont réalisés et gérés dans le cadre de partenariat public-privé.

En effet, l'implication du secteur privé permet une amélioration de l'efficacité opérationnelle par la maîtrise des coûts d'exploitation et de la productivité, l'amélioration de la qualité du service et l'amélioration de la planification et l'efficacité des investissements.

Le développement de nouvelles technologies de récupération d'énergie, associés à une amélioration continue des caractéristiques des membranes et des équipements annexes (pompe, inox) ont fait du dessalement par osmose inverse un procédé de choix en matière de dessalement d'eau de mer.

L'eau de mer demeure une ressource alternative fortement consommatrice d'énergie, qui devra être explorée comme alternative aux autres ressources, eaux continentales de surface ou souterraines, réutilisation des eaux résiduaires ou dans un souci de diversification et de sécurisation de l'approvisionnement en eau d'une communauté.

## **Partie 02 :**

**Conséquences environnementales, économiques et sociales induites par l'implantation de la station de dessalement Chatt El Hillal de Béni -Saf**

## **Chapitre 04 :**

### **Impact environnemental potentiel induit par les usines de dessalement et l'encadrement législatif s'y rapportant**

#### **Introduction :**

Le choix du dessalement de l'eau de mer s'est imposé progressivement dans les régions soumises au stress hydrique et dont les ressources en eau sont limitées en qualité et en quantité. En raison du climat, des sécheresses récurrentes et des besoins grandissants en eau de la population, notamment pour les cultures, les usages domestiques et le tourisme, de nombreuses solutions ont été évoquées mais une seule, à savoir le dessalement de l'eau de mer, a été prise en compte par le gouvernement qui l'a incluse dans son programme d'urgence en 2005. Depuis, l'Algérie a construit 13 usines de dessalement qui lui permettent de subvenir à une demande qui ne cesse de progresser.

Comme l'Algérie, les pays méditerranéens utilisent majoritairement l'osmose inverse pour dessaler l'eau de mer. La technique du dessalement de l'eau de mer est répandue dans les pays arides comme ceux du Proche et Moyen-Orient, qui fournissent la moitié de la production mondiale d'eau dessalée. Dans certains pays qui ont souvent des pénuries d'eau durant les périodes chaudes, cette technique est la seule à disposition pour pouvoir se procurer de l'eau potable.

De petits pays comme Israël produisent également beaucoup d'eau douce (430 000 m<sup>3</sup>/j). Aujourd'hui, en Israël, l'insuffisance des ressources naturelles en eau est compensée par le dessalement de l'eau de mer au point que le pays vend de l'eau douce à son voisin la Jordanie. A ce jour, les trois techniques principalement utilisées pour dessaler l'eau de mer, qui consiste en, l'osmose inverse, la distillation et l'électrodialyse possèdent des avantages certains mais présentent également de nombreuses contraintes tant économiques qu'écologiques. Ainsi, ces limites amènent des controverses au niveau politique, scientifique et industriel.

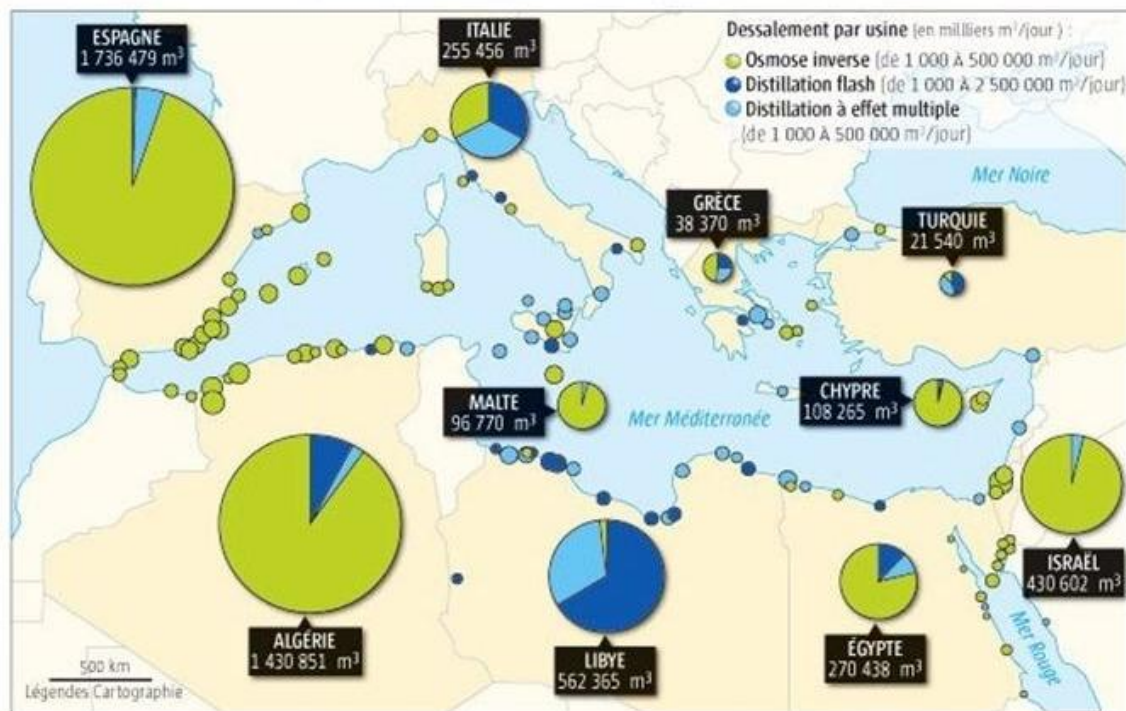


Figure 4.1 : Le dessalement en méditerranée<sup>1</sup>

#### 4.1: Conséquences environnementales et problèmes techniques liés au dessalement de l'eau de mer

Les techniques de dessalement les plus courantes sont la distillation thermique et la technologie des membranes, l'électrodialyse inverse et l'osmose inverse. La distillation thermique permet de transformer l'eau salée en vapeur qui est alors condensée pour obtenir de l'eau dessalée. Avec le procédé d'électrodialyse inverse, les sels sont séparés de l'eau sous l'action d'une charge électrique. L'osmose inverse prévoit quant à elle l'application d'une pression sur l'eau de mer introduite dans le système. Elle est ainsi forcée à travers une membrane semi-perméable qui retient la plupart des sels.

Quelle que soit la technologie utilisée, le dessalement n'est pas exempt d'impact sur l'environnement représenté par : l'émissions de gaz à effet de serre liées à la consommation d'énergie des processus industriels, l'impact visuel des usines, le bruit mais surtout l'évacuation de la saumure ou des eaux résiduelles produites par le dessalement, car installées le plus souvent sur les côtes, les usines rejettent ces résidus dans l'océan.

<sup>1</sup> Le dessalement de l'eau de mer : une réponse aux besoins d'eau douce en Méditerranée ? Les Notes du Plan Bleu Environnement et Développement en Méditerranée .N° 16 Juillet 2010.

#### **4.1.1- contraintes environnementales :**

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

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

Les différents procédés mis au point pour le dessalement de l'eau de mer entre autre l'osmose inverse, la distillation, l'électrodialyse, la congélation sous vide ect ..., ont tous pour finalité technique l'élimination de l'eau de mer, la presque totalité des substances minérales qui y sont dissoutes et non pas uniquement les sels. Il en résulte donc, dans tous les cas, un effluent (concentré) qui a une composition chimique similaire à l'eau de mer d'alimentation mais dont la concentration est de 1,2 à 3 fois plus élevée, avec en plus les produits chimiques utilisés au cours des phases de prétraitement et de post-traitement.

Toute une série de produits chimiques et d'additifs servent en effet, lors du dessalement, à prévenir ou combattre l'entartrage ou la prolifération de microorganismes dans les circuits, faute de quoi la bonne marche de l'exploitation serait entravée.

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

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

éliminée et par des rejets thermiques et des émissions atmosphériques (GES) associées à la production d'électricité.

#### **4.1.1.1 Origine et type des émissions et rejets :**

##### **4.1.1.1.1 Émissions atmosphériques :**

###### ➤ **La part de l'énergie nécessaire pour l'alimentation des usines de dessalement**

Energie et eau sont liées, les besoins en énergie pour l'eau augmentent fortement, pour le pompage, les transferts, les traitements et le dessalement. Ils sont sur une pente de doublement en 10 ans et dépasseront en 2025, 20% de la demande globale d'électricité pour les PSEM (10% pour l'ensemble des pays riverains de la Méditerranée). Cette tendance spécifique amplifie la tendance générale à la croissance de la demande d'énergie dans les PSEM alors même que les tensions du côté de l'offre sont croissantes. La détérioration climatique est déjà sensible. Au Maroc, on constate dans les 20 dernières années une baisse de 20% des précipitations et des apports d'eau dans les barrages hydroélectriques. Cela engendre un déficit supplémentaire allant jusqu'à 45% de la production d'électricité.

Ce déficit doit être compensé par de l'électricité d'origine thermique, ce qui aura pour conséquence négative l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre amplifiant ainsi le « cercle vicieux » climatique. Les besoins en eau sont fortement croissants, pour les sous-régions du Sud (Maghreb et Egypte), et de l'Est de la Méditerranée (Proche-Orient avec Turquie, et Israël). Entre 1998 et 2030, les superficies irriguées augmenteraient de 38% au Sud et de 58% à l'Est, et les demandes en eau

- tous secteurs confondus - croîtraient de plus de 15% d'ici à 2025 pour l'ensemble des pays méditerranéens, avec un net contraste entre le Nord à croissance nulle et le Sud et l'Est à croissance significative (+ 32% d'ici à 2025).

Les besoins actuels ont déjà nécessité de grands ouvrages, barrages et pompes (77 m<sup>3</sup>/s dans l'aquifère du Delta du Nil, 60 m<sup>3</sup>/s dans les environs de Milan, au cœur de la plaine du Pô, plus de 10 m<sup>3</sup>/s dans la plaine de Mitidja pour l'alimentation d'Alger,) et nécessiteront à l'avenir encore plus d'investissements et de consommation d'énergie. Ainsi, la dépendance en énergie pour la mobilisation de l'eau est particulièrement forte dans les pays arides. Le niveau des prélèvements d'eau y est très important, d'abord pour les besoins d'irrigation. Pompage et transfert génèrent une dépendance extrêmement forte à l'énergie électrique, qui croît à mesure que les besoins s'amplifient et se reportent de plus en plus sur des ressources plus coûteuses en énergie (ressources souterraines, transfert de ressources lointaines, traitement, dessalement).



La consommation d'électricité pour la mobilisation et le traitement de l'eau varie selon les pays et les régions. Elle se situe à environ 5% de la consommation d'électricité dans les pays du Nord de la Méditerranée et entre 8,5 et 13% (soit environ 10%) dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (elle avoisine 15% en Israël). Ces ratios croîtront dans les pays en développement qui auront, pour faire face à la croissance de leur population, à recourir à des forages plus profonds, barrages et transferts plus complexes et à un appel grandissant au dessalement de l'eau de mer. Pour le dessalement seul, si l'on raisonne en termes de puissance électrique, un volume d'eau dessalée de 30 millions de m<sup>3</sup>/j en Méditerranée à l'horizon 2030, avec un ratio de 3,3 kWh/m<sup>3</sup>, équivaut à une puissance électrique dédiée au dessalement de 5000 MWe, soit 8 à 10 centrales à cycle combiné gaz, ou 4 à 5 tranches nucléaires. Les pompages et transferts d'eau consomment beaucoup d'énergie comme le prouvent quelques grandes réalisations comme le projet « Great Man-Made River » en Libye ; en Tunisie, la Sonede a comptabilisé environ 200 GWh en 2004 pour la gestion de l'eau, en Espagne, l'élévation initiale du "Trasvase Tago-Segura" (66 m<sup>3</sup>/s, prélevés au barrage d'Altomira) consomme une puissance de 202 MWe. Le coût énergétique de transport de l'eau en Israël a été chiffré à 1,3 GWh annuels. En France, la consommation d'électricité pour la mobilisation et le traitement de l'eau était de 15 TWh en 2003, soit 3,4% de la consommation nationale d'électricité. En 2000, pour l'ensemble des pays méditerranéens, la consommation d'électricité pour l'eau peut être estimée entre 5,6% et 6,7% de la demande d'électricité. En 2030, pour les PSEM, il y aurait 48 km<sup>3</sup> d'eau supplémentaire à gérer, soit au total 200 km<sup>3</sup>. La consommation électrique pourrait atteindre (en prenant un ratio de 1 kWh/m<sup>3</sup>) 250 TWh pour la gestion de l'eau, soit environ 20% de la consommation d'électricité. Pour les PNM, la consommation d'électricité pour l'eau pourrait se situer, en adoptant un ratio de 0,7 kWh/m<sup>3</sup>, pour 133 km<sup>3</sup>/an, à 93 TWh, ce qui représente environ 5% de la consommation électrique totale. Pour l'ensemble des pays méditerranéens, la consommation d'électricité pour l'eau pourrait donc être de 250 + 93 = 343 TWh, ce qui représenterait environ 10% de la consommation électrique totale vers 2030.

Actuellement les transferts d'eau se font de l'intérieur des pays, des zones montagneuses et des barrages vers les zones littorales plus arides ou urbanisées. A l'avenir, il pourra y avoir également des transferts d'eau dessalée depuis les zones côtières vers l'intérieur des pays. Le dessalement par grandes unités implantées en zone littorale avec transfert d'eau dessalée à longue distance peut augmenter les consommations d'énergie pour les transferts. Il faut donc

une optimisation énergétique et économique au cas par cas, en fonction des besoins des utilisateurs et des transferts.

En général, les émissions atmosphériques des usines de dessalement consistent seulement en azote et oxygène provenant d'usines de distillation qui utilisent des procédés de désaération pour réduire la corrosion<sup>2</sup>, en rejets des éjecteurs (usines MSF) ou des dégazeurs (usines osmose inverse).

En outre, la production d'énergie destinée à être utilisée dans les usines de dessalement accroît les émissions atmosphériques. Des augmentations substantielles des émissions atmosphériques peuvent également se produire si une centrale thermique ou une installation de production couplée est construite dans le cadre d'un projet de dessalement.

La comparaison des besoins respectifs en énergie des procédés de dessalement montre que l'osmose inverse a une consommation d'équivalent énergie plus réduite que la distillation MSF.

Comme les émissions atmosphériques dues à un procédé de dessalement sont directement en rapport avec ses besoins respectifs en énergie, il va de soi que les émissions dues à l'osmose inverse sont moindres que celles dues à la Multi-Stage Flash distillation (MSF).

Les usines de dessalement sont essentiellement alimentées par des énergies fossiles. Or, les combustibles fossiles - et partants, le dessalement - présentent pour l'environnement l'inconvénient d'émettre des polluants atmosphériques, notamment du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), des oxydes de soufre et d'azote et des particules solides. Les émissions autres que celles de CO<sub>2</sub> dépendent du type de centrale électrique alimentant les usines et sont donc difficiles à quantifier globalement, mais celles de CO<sub>2</sub>, déterminées par la teneur en carbone du combustible, peuvent en revanche être estimées avec une certaine précision. Le système de production rejetterait ainsi 680 grammes de CO<sub>2</sub> par mètre cube d'eau dessalée. Une capacité de 2,7 millions de mètres cubes par jour se traduirait donc par l'émission dans l'atmosphère de 5 476 tonnes de CO<sub>2</sub> par jour, ce qui accroîtrait de 0,6 % les émissions de CO<sub>2</sub>. Cette contribution à l'effet de serre est loin d'être négligeable dans le contexte actuel de lutte contre le réchauffement climatique.

---

<sup>2</sup> La corrosion des métaux et de leurs alliages témoigne de leur tendance à revenir à leur état originel de minerais (oxydes, sulfures, carbonates, ...) sous l'action des agents atmosphériques.

#### **4.1.1.1.2 Rejets chimiques :**

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

Ces produits chimiques ne sont pas les mêmes pour les principaux procédés de dessalement, à savoir MSF et l'osmose inverse. Les phases de pré- et de post-traitement des procédés de production d'eau potable sont exposées sur le tableau 4.1.

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

##### **4.1.1.1.2-a) Produits de la corrosion**

Les usines de dessalement à procédé thermique rejettent du cuivre, du nickel, du fer, du chrome, du zinc et d'autres métaux lourds en fonction des alliages présents dans la filière de production, comme par ex. le titane. En termes de concentrations, celles du cuivre et du fer sont les plus élevées.

Pour la Méditerranée, les niveaux de cuivre dans l'eau de mer couvrent une large gamme de valeurs: l'intervalle des concentrations dans les eaux du large est de 0,04-0,70 ppb, alors que pour les eaux côtières l'intervalle est de 0,01-50 ppb. Si l'on admet une valeur de 20 ppb de cuivre dans l'effluent de saumure d'une usine de dessalement ayant une capacité de 50 000 m<sup>3</sup> par jour et un taux de conversion de l'eau de 10%, alors plus de 10 kg de cuivre seront rejetés sur le site avec les 500 000 m<sup>3</sup> de saumure par jour.

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

Les produits de la corrosion ne sont pas si importants dans le procédé d'osmose inverse puisque celui-ci se déroule à des températures ambiantes et que les parties métalliques du système sont surtout en acier inoxydable.

**Tableau 4.1:** Résumé des phases de pré et post traitement au cours de la production d'eau potable par dessalement<sup>3</sup>

<b>Phase de pré et post traitement</b>	<b>Objet</b>	<b>Produits chimiques ajoutés</b>	<b>Devenir des produits</b>
<b>Ajustement du pH à 7</b>	Diminue la concentration de carbonate (et la précipitation de carbonate). Protège la membrane contre l'hydrolyse	Acide (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Modifie le pH de l'eau produite et de la saumure concentrée, le sulfate est retenu dans la saumure concentrée
<b>Antitartre</b>	Prévient la formation de tartre sur les membranes	Agents chélateurs et dispersants	Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée
<b>Coagulation-filtration</b>	Prévient les salissures et l'encrassement des membranes	Coagulants-floculants	Les agents floculants formés se séparent par décantation et sont éliminés par filtration
<b>Désinfection</b>	Prévient l'encrassement biologique et l'élimine les microorganismes qui se nourrissent des matières des Membranes	Chlore (ou biocides, UV)	Chlore également réparti dans le perméat et la saumure concentrée
<b>Déchloration</b>	Protège les membranes sensibles au chlore	Bisulfate de sodium ou charbon actif granulaire (CAG)	Réagit avec le chlore pour former du sulfate et du chlorure qui sont retenus dans la saumure concentrée
<b>Élimination des gaz dissous</b>	Élimine les gaz nauséabonds, C, le radon et HS	Aération, Dégazage	Oxyde HS et nH <sub>4</sub> dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
<b>Ajustement du</b>	Prévient la corrosion du système de	Naoh,	Accroît le niveau de

<sup>3</sup> Henri Boyé, 2010. Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens, p 71.

<b>pH à 7</b>	distribution, protège la flore et la faune aquatiques en cas de rejet en surface	carbonate de sodium anhydre, chaux	sodium dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
<b>Désinfection</b>	Prévient la prolifération bactérienne dans le système de distribution, protège la flore et la faune aquatique si nécessaire	Chlore (ou Chlorométrie)	Le chlore est retenu dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
<b>Réduction du niveau de chlore</b>	Élimine le chlore et d'autres oxydants	Bisulfite de sodium ou CAGE	Accroît les niveaux de sulfates et de chlorures dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
<b>Oxygénation</b>	Accroît l'oxygène dissous à un niveau concourant au développement de la flore et de la faune aquatique	Aération	Accroît l'oxygène dissous dans la saumure concentrée
<b>Élimination d'autres formes chimiques</b>	Diminue tous les polluants susceptibles d'être présents dans l'eau produite et dans la saumure concentrée	Est fonction des formes chimiques	

#### 4.1.1.1.2-b) Agents antitartre :

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

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

Les additifs antitartre le plus largement utilisés semblent être des polymères de l'acide maléique. Ces polymères empêchent les matières dissoutes de précipiter, décanter et former une croûte sur les surfaces et ils entravent la formation de cristaux en altérant la structure

réticulaire, permettant ainsi la formation d'une boue molle qui n'adhère pas ou ne se développe pas sur les surfaces métalliques.

Bien que le taux d'application de cet acide soit de 1 à 3 ppm, la concentration habituelle dans le rejet est de 0,53 ppm. Dans les usines utilisant le procédé d'osmose inverse, l'acide sulfurique est utilisé avec des adjuvants polymères pour prévenir la formation de tartre.

#### **4.1.1.1.2-c) Agents antisalissures**

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

Depuis longtemps, les composés de chlore sont utilisés pour désinfecter les systèmes d'apport d'eau de mer et l'usine située en amont, afin de prévenir les salissures.

Habituellement, on ajoute du chlore à raison de 2ppm. Un procédé bien conduit vise à obtenir une concentration de chlore nulle à l'émissaire. .

D'autres biocides comme les sels de cuivre ont été essayés avec un succès variable et, en de nombreux sites, le rejet de cuivre dans la saumure est très inférieur à 1 mg/l.

Cependant, ce niveau est encore peu satisfaisant en raison du dommage qui peut en résulter pour l'environnement par suite de l'accumulation du métal.

#### **4.1.1.1.2-d) Agents anti mousse :**

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

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

#### 4.1.1.1.3 La saumure concentrée :

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

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

Avec le procédé osmose inverse, le facteur de conversion varie de 30 à 70%. Dans ce cas, la salinité du concentré est de 1,3 à 1,7 fois plus élevée que celle de l'eau d'alimentation. Si l'on admet une salinité type de 39 ‰ pour la Méditerranée orientale, cela signifie que la saumure issue des usines utilisant le procédé d'osmose inverse varie en moyenne d'environ 51 à 66 ‰. Les études qui ont été menées sur le rendement et les données environnementales d'une usine utilisant le procédé d'osmose inverse démontrent que la concentration de la saumure est significativement plus élevée par comparaison avec une usine MSF.

La composition chimique de la saumure rejetée par rapport à celle de l'eau de mer d'alimentation dans le cas des unités de dessalement utilisant le procédé d'osmose inverse est reproduite sur le tableau 4.2 . La salinité totale de la saumure est de 63,8, contre 38,95 pour l'eau d'alimentation, soit un rapport saumure/eau alimentation de 1,64. Des progrès récents intervenus dans le procédé d'osmose inverse avec des taux de récupération beaucoup plus élevés se traduisent par des concentrés présentant une salinité très supérieure (dépassant 70 ‰).

**Tableau 4.2:** La composition chimique de la saumure rejetée par rapport à celle de l'eau de mer d'alimentation dans le cas des unités de dessalement utilisant le procédé d'osmose inverse .<sup>4</sup>

Analyse	Eau d'alimentation mg/l	Saumure mg/l	Rapport (saumure/eau d'alimentation)
Ca <sup>++</sup>	962	1.583	1.64
Mg <sup>++</sup>	1.021	1.09	1.87
Na <sup>+</sup>	11.781	19.346	1.64
K <sup>+</sup>	514	830	1.61
Nh <sup>4+</sup>	0.004	0.005	1.25
Hco <sup>3-</sup>	195	256	1.31
CO <sup>3-</sup>	Nil	Nil	
SO <sup>4</sup>	3.162	5.548	1.75
Cl <sup>-</sup>	21.312	43.362	2.03
F <sup>-</sup>	1.5	1.9	1.26
No <sup>3-</sup>	2.6	4	1.54
Po <sup>4-</sup>	0.08	0.4	5
No <sup>2-</sup>	0.03	0.05	1.67
Dureté totale en CaCo <sup>3</sup>	6.600	11.800	1.78
Salinité totale	38.951	63.840	1.64
Fe <sup>+++</sup>	0.04	0.05	1.25
Al <sup>+++</sup>	0.001	0.007	7
PH	6.33	6.26	NA
Conductivité	46,200 Is	75,300 Is	NA

<sup>4</sup> Henri Boyé, 2010. Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens, p 77.



**4.1.1.1.4 Rejet des eaux de lavage à contre-courant des membranes dans les usines OI :**

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

**4.1.2 Impacts sur l'environnement :**

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

Une grille présentant les impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés de dessalement est reproduite sur le tableau 4.3. Selon ce tableau, les impacts les plus prononcés sont dus aux produits chimiques qui favorisent les phénomènes d'eutrophisation dans les eaux réceptrices ainsi qu'aux désinfectants.

**Tableau 4.3 : Les impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés de dessalement<sup>5</sup>**

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

**E : impact de degré élevé, M : impact de degré moyen, F : impact de degré faible.**

<sup>5</sup> Henri Boyé, 2010. Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens, p 118.

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

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

De fait, les principaux procédés de dessalement distillation, osmose inverse et électrodialyse, diffèrent quant à leur impact sur l'environnement en raison des différences dans les technologies appliquées.

De nombreux chercheurs ont évalué les considérations «sécurité-santé environnement» pour les procédés OI, MSF and ED en recourant à des techniques d'étude d'impact. Il en ressort de leurs résultats que OI et ED ont un impact moindre sur l'environnement.

En vue d'évaluer les considérations « sécurité-santé environnement », pour les procédés du dessalement de l'eau de mer à savoir : osmose inverse, distillation et électrodialyse. Des études ont été menées en recourant à des techniques d'impact, il en ressort des résultats que les procédés d'osmose inverse et électrodialyse ont un impact moindre sur l'environnement.

#### **4.1.2.1 Effets dus aux produits de la corrosion :**

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

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

Une étude d'impact sur l'environnement, menée à une usine de dessalement MSF, a montré que les concentrations de cuivre, qui étaient souvent 5 à 10 plus élevées que les concentrations ambiantes, s'avéraient toxiques pour les organismes marins.

Il convient de bien préciser qu'il est encore difficile d'établir une corrélation entre des concentrations de métaux lourds dans l'eau de mer et les sédiments, d'une part, et les conséquences écologiques de l'autre. Cependant, dans l'ensemble, des concentrations de

métaux lourds dépassant significativement les concentrations naturelles de base sont considérées comme une pollution de l'environnement, même si des effets biologiques n'ont pas été démontrés. Il n'est pas encore possible de fixer une limite en deçà de laquelle la pollution serait inoffensive et au delà de laquelle elle serait nocive.

#### **4.1.2.1.1 Effets dus aux additifs antitartre :**

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

Il convient de prendre en compte le recours à l'acide sulfurique pour faciliter l'action des agents antitartre sur les membranes d'usines utilisant le procédé d'osmose inverse.

#### **4.1.2.1.2 Effets des additifs antisalissures :**

La chloration est un bon auxiliaire mais un mauvais maître en ce sens qu'elle est très économique et efficace mais qu'elle n'est pas correctement maîtrisée; elle donne naissance à des dérivés tels que des thiolométhanés qui sont soumis à réglementation en raison de leurs effets cancérogènes.

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

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

#### **4.1.2.1.3 Effets des additifs antimousse :**

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

#### **4.1.2.1.4 Effets du concentré (saumure) :**

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

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

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

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

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

Dans cette optique une étude sur trois années de l'impact du concentré sur le macro benthos marin a révélé que les salinités élevées causaient des dommages importants aux communautés de l'algue macroscopique *Cystoseira barbata* à proximité de l'émissaire du concentré, alors que d'autres espèces d'algues microscopiques disparaissaient de la zone environnante (à une distance de 100 m du point de rejet). En outre, il en est résulté une diminution importante de la diversité et de l'abondance de la macrofaune benthique au site de rejet du concentré, par

comparaison avec celles relevées avant la mise en service de l'usine de dessalement. Surtout, les modifications de la salinité de l'eau ont induit des changements dans la composition des formations macro faunistiques à proximité du point de rejet. Alors que la communauté benthique avant la mise en place de l'émissaire se composait pour 27% de polychètes, pour 27% d'échinodermes, pour 26% de scaphopodes et pour 20% de gastropodes, au bout de trois années d'exploitation de l'usine, les seuls taxons observés étaient les polychètes et les crustacés représentant respectivement 80 et 20% de l'ensemble de la macrofaune.

Des impacts ont également été signalés, où l'effluent a affecté la croissance des algues à proximité de l'émissaire de saumure.

#### **4.1.2.1.5 Effets dus à la chaleur :**

Normalement, les usines de distillation rejettent la saumure à une température qui est environ supérieure de 10 à 15°C à celle de l'eau de mer. On obtient 1°C de plus que la température ambiante dès que le concentré est dilué de dix fois son volume par l'eau de la zone marine réceptrice. Ce 1°C de plus que la température ambiante n'a pas d'importance écologique et n'est pas significativement démontrable.

Ce cas se présente lorsqu'il existe un brassage et un échange suffisants avec l'eau de mer du concentré.

#### **4.1.2.1.6 Effets dus au prélèvement d'eau de mer :**

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

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

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

Il est notoire que le prélèvement et le tamisage de volumes relativement importants d'eau de refroidissement provoque le heurt du poisson et d'autres organismes sur les tambours tamiseurs, avec pour conséquences des dommages physiques comme l'écaillage et des

troubles tels qu'une désorientation. Ce phénomène entraîne une augmentation de la mortalité par maladie et une vulnérabilité accrue à la prédation.

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

#### **4.1.3 les problèmes techniques rencontrés en dessalement :**

Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse est une solution qui a prouvé son intérêt pour subvenir au besoin en eau potable dans certaines régions. Ses performances et son coût énergétique la rendent aujourd'hui compétitive face aux procédés « historiques » de dessalement thermique.

Cependant, ce procédé possède encore des limitations. La principale limitation est due à la pression de travail qui doit être appliquée pour vaincre la pression osmotique. Cette pression osmotique est d'autant plus importante que la concentration en sels augmente ce qui limite les taux de conversion pouvant être obtenus avec l'osmose inverse. Cela entraîne deux problèmes majeurs : un problème économique en limitant la production d'eau et un problème environnemental en empêchant de minimiser les volumes de concentrats. Ces concentrats sont actuellement majoritairement rejetés sans traitement dans l'eau de mer dont il modifie fortement l'équilibre et la biodiversité.

Parmi les autres limitations de l'osmose inverse, il faut noter le phénomène de polarisation de concentration qui contribue à réduire les flux produits et les phénomènes de corrosion, entartrage et colmatage, qui rendent le procédé très sensible à la qualité des prétraitements.

##### **4.1.3.1 La corrosion :**

La corrosion des matériaux par l'eau de mer (ou des solutions salines concentrées) est un phénomène important qui conditionne la durée de vie des installations, donc leur coût. Elle dépend d'un certain nombre de facteurs, comme :

- la teneur élevée en chlorures la teneur en oxygène dissous la présence de H<sub>2</sub>S
- la présence de particules solides, de bactéries, d'organismes marins (algues) et
- la conductivité.

Cette dernière, très élevée en eau de mer, peut conduire à des effets galvaniques si les matériaux ne sont pas judicieusement choisis. L'utilisation dans le circuit haute pression d'osmose inverse d'aciers austénitiques ou ferritiques voire de titane (coût élevé) est recommandé malgré des surcoûts importants. Il en est de même pour les évaporateurs dans lesquels circulent de l'eau de mer à haute température.

La production d'eaux trop agressives par distillation ou par osmose inverse implique une remise à l'équilibre de ces eaux avant injection dans les réseaux d'eau potable et parfois une reminéralisation lorsque la teneur en sels dissous est insuffisante. Dans le premier cas une simple neutralisation peut être suffisante par exemple à la chaux ou la soude, mais dans le second l'ajout de chaux doit être combiné à celui de gaz carbonique.

#### **4.1.3.2 L'entartrage (scaling) :**

L'entartrage correspond à la formation d'un dépôt de sels minéraux. C'est un phénomène qui se produit sur les surfaces d'échanges aussi bien thermiques que membranaires qui sont des zones de concentration ionique élevée. L'entartrage est lié à la formation de solides amorphes ou cristallisés qui est fonction de la température (diminution de la solubilité quand la température augmente) et de la composition de l'eau.

La formation de tartre doit être évitée pour maintenir un fonctionnement correct des installations. Une première solution consiste à jouer sur le procédé même : apport d'énergie calorifique supplémentaire dans le cas des procédés de distillation, application d'une pression supérieure dans celui des procédés membranaires. Une deuxième solution consiste à prétraiter l'eau par :

- l'ajout d'acide qui induit une décarbonatation du milieu par dégazage du gaz carbonique formé à partir des hydrogénocarbonates ;
- L'ajout de chaux et de germes de cristallisation qui favorise la précipitation du carbonate de calcium ;
- l'emploi d'inhibiteurs d'entartrage : polyphosphate, organophosphate, polymères polycarboxyliques.

Le traitement va dépendre de la nature de la ou des espèces susceptibles de provoquer l'entartrage et du procédé de dessalement utilisé.

Quelle que soit la solution adoptée, elle augmente le coût du dessalement.



#### **4.1.3.3 Le colmatage (Fouling) :**

Les eaux brutes naturelles peuvent également contenir des substances organiques, des microorganismes. En osmose inverse ces organismes qui sont retenus par les membranes peuvent les encrasser et trouver des conditions favorables à leur développement. Elles forment alors un biofilm qui peut conduire au colmatage des membranes. Ce phénomène a des conséquences directes sur la capacité de production des installations et le coût du process.

Comme pour les autres problèmes il est possible de réduire le colmatage par un prétraitement adéquat : dans certains cas une étape de coagulation-floculation suivie d'une filtration sera indispensable.

#### **4.2 : Cadre Législatif régissant la protection de l'environnement.**

Cette section résume la législation environnementale, les normes et les directives pour l'environnement.

##### **4.2.1- Législation, conventions et protocoles internationaux Convention-cadre sur les changements climatiques (FCCC) :**

La convention-cadre sur les changements climatiques a été approuvée lors de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED, Conférence de la Terre) qui a eu lieu au Brésil, en 1992. Elle est entrée en vigueur le 21 Mars 1994. En vertu de la convention, les pays développés sont tenus de prendre des mesures visant à ramener les émissions des gaz à effet de serre (en particulier l'acide carbonique) aux niveaux de 1990 et de prêter assistance aux pays en voie de développement.

Le protocole de Kyoto a été conclu en décembre 1997 au titre de la Convention-cadre sur les changements climatiques. Il impose des cibles juridiquement contraignantes aux pays industrialisés en vue de réduire les émissions totales des gaz à effet de serre à au moins 5 % au-dessous des niveaux 1990 au cours de la période budgétaire de 2008 à 2012.

##### **4.2.1.1 Accord relatif aux substances nocives pour la couche d'ozone :**

Le protocole de Montréal, qui a été signé en Septembre 1987 et ratifié ultérieurement, a été rédigé en réponse aux inquiétudes soulevées par la dégradation de la couche d'ozone. Le protocole engageait les nations industrialisées à réduire de 50 % la consommation de CFC dès 1999 et à bloquer la production d'Halon dès 1992. Les réexamens du protocole en 1990 et en 1992 l'ont renforcé de sorte qu'il impose désormais aux pays d'éliminer progressivement les chlorofluorocarbures et d'autres alcanes halogénés. Les pays industrialisés sont tenu d'arrêter la production plus rapidement que les pays moins développés.

#### **4.2.1.2 Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance :**

Cette convention, qui a été adoptée à Genève en 1979, a été conclue sous les auspices de la Commission Economique des Nations Unies pour l'Europe et est entrée en vigueur en 1983. Elle traduit le souci exprimé par certains pays de voir le transport longue distance de certains produits polluants (principalement le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote) réduire l'effet néfaste sur l'environnement de leur territoire.

La Convention stipule que les pays feront de leur mieux pour limiter et, dans la mesure du possible, réduire progressivement et empêcher la pollution de l'air, y compris la pollution atmosphérique transfrontière longue distance. La Convention traite également du transport longue distance des composés d'azote et de chlore, des hydrocarbures aromatiques polycycliques, des particules et métaux lourds. Des protocoles associés ont été adoptés, dans le but de réduire les émissions de soufre, d'oxydes d'azote et de composés organiques volatiles (VOC - Volatile Organic Compounds) et des Protocoles sont en cours d'élaboration pour les métaux lourds (cadmium, plomb et mercure) et les produits organiques persistants (pour inclure les pesticides, les dioxines et les furanes).

#### **4.2.1.3 Convention de Barcelone :**

La Convention for the Protection de the Mediterranean Sea against Pollution - Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution (Convention de Barcelone) a été amendée en 1995 pour former la nouvelle Convention for the Protection of the Marine Environment and the Coastal Région of the Mediterranean - Convention pour la protection de l'environnement marin et de la région côtière de la Méditerranée. La convention amendée n'est pas encore entrée en vigueur. Un certain nombre de protocoles a été convenu dans le cadre de la convention d'origine ou de son amendement traitant dans le détail les différents aspects de la protection de l'environnement marin, aspects convenus aux termes des Conventions. Comme l'Algérie est signataire de la Convention de Barcelone, chaque nouveau projet devra respecter les sept protocoles de référence suivants, élaborés dans le cadre de la Convention.

- Protocol for the Prévention and Elimination of Pollution of the Mediterranean Sea by Dumping from Ships and Air crafts or Incinération at Sea, 1976 - protocole relatif à la prévention de la pollution en mer Méditerranée par opérations d'immersion effectuées par les navires et les aéronefs ou l'incinération en mer - (version amendée adoptée par les parties contractantes en 1995).

- Protocole Concerning Coopération in Combating Pollution of the Mediterranean Sea by Oil and Other Harmful Substances in Cases of Emergency, 1976 - protocole relatif à la coopération dans la lutte contre la pollution de la mer Méditerranée provoquée par le pétrole et autres substances nocives en cas d'urgence.
- Protocol Concerning Specially Protected Areas and Biological Diversity in the Mediterranean, 1995 - Protocole relatif aux zones spécialement protégées et la diversité biologique en Méditerranée (annexes adoptées en 1996).
- Protocol on the prévention de Pollution of the Mediterranean Sea by Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal, 1996 - protocole relatif à la prévention de la pollution de la mer Méditerranée par les mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination.
- Protocol the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution Resulting from the Exploration and exploitation of the Continental Shelf and the Seabed and the subsoil, 1994 Protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution résultant de l'exploration et de l'exploitation du plateau continental, du fond de la mer et du sous-sol.
- Protocol for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution from Land-Based Sources and Activities, 1980 - Protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution tellurique.

Protocol on Pollution from Exploration and exploitation of the Continental Shelf and Seabed - Protocole relatif à la pollution provoquée par l'exploration et l'exploitation du plateau continental et du fond de mer.

#### **4.2.2 Législation relative à l'Impact sur l'Environnement en Algérie :**

##### **4.2.2.1 Législation Générale d'EIE :**

L'EIE a été introduite dans la législation algérienne par la Loi 83-03<sup>6</sup> en 1983 qui fixait le cadre initial, avec pour objectifs l'évaluation et la sensibilisation de la population aux impacts

---

<sup>6</sup> Loi algérienne No. 83-03 du 5 février 1983 sur la protection de l'environnement

directs et indirects des projets de développement sur les équilibres écologiques, l'environnement et la qualité de vie.

La mise en application réelle de la législation se fait par le biais du Décret 90-78<sup>7</sup> en 1990, qui nécessite une EIE pour toute activité susceptible d'affecter directement ou indirectement l'environnement, la santé publique, l'agriculture, les zones naturelles, la faune, la flore ou les monuments et sites historiques.

Le Décret 90-78 spécifie également la méthodologie à adopter pour effectuer une EIE acceptable, à savoir :

- Décrire les conditions dans lesquelles il faut tenir compte des questions environnementales dans les procédures réglementaires actuelles pour les projets de développement :

L'étendue de l'évaluation EIE doit comprendre :

- Une analyse de l'état des lieux à l'origine et de son environnement, avec la valeur écologique et les zones agricoles, forestières, maritimes, hydrauliques ou de loisirs affectées par les travaux, développements ou entreprises.
- Une analyse des effets sur l'environnement et en particulier, sur les sites, les paysages, la faune, la flore, les équilibres environnementaux et biologiques, le voisinage du site (bruit, vibrations, odeurs, fumée et lumière) et sur l'hygiène et la santé publiques ;
- Les motifs pour lesquels le projet est acceptable.
- Les mesures envisagées par le propriétaire du projet ou par le candidat pour supprimer, réduire et compenser les conséquences néfastes du projet sur l'environnement, ainsi qu'une estimation des coûts correspondants.
- Les conditions dans lesquelles les études sur l'impact sur l'environnement ont été publiées ; et

---

<sup>7</sup> Décret n° 90-78 – Décret sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement

- Les dispositions permettant au Ministère de l'Environnement d'agir ou d'être sollicité pour agir en vue d'obtenir une opinion sur l'étude de l'impact.
- A l'appui de cette législation, le Ministère pour l'Environnement et le Développement Régional a publié un document intitulé « Directives pour la Production d'un Rapport d'Evaluation Environnementale », qui a pour intention de :
  - Normaliser la mise en œuvre d'études d'EIE ;
  - Fournir des informations aux personnes qui y participent ;
  - Expliquer la méthodologie générale ; et Faciliter l'examen des rapports d'EIE devant être rédigés par les différentes autorités.

Les Directives expliquent la base juridique de l'EIE, le processus administratif et les rôles des différents organismes et personnels concernés. Elles donnent également des conseils sur l'identification et l'évaluation des impacts et sur la portée prévue de la Déclaration sur l'Environnement. Même si cette assistance est généralisée, elle est essentiellement compatible avec les pratiques qui ont cours sur le plan international, aussi une Evaluation de l'Impact sur l'Environnement aux normes habituelles des grandes Institutions de Financement International devrait-elle généralement satisfaire aux besoins de l'Algérie.

#### 4.2.2.2 Bruit et Vibration :

Les émissions sonores sont régies par le Décret 93-184<sup>8</sup> qui vient renforcer l'Article 121 de la Loi 83-03. Ce décret fixe les limites des émissions sonores décrites dans le Tableau 4.4 et présentées ci-dessous :

**Tableau 4.4** : Limites des Emissions de Bruit de la Réglementation Algérienne<sup>9</sup>

<b>Zone</b>	<b>0600 – 2200</b>	<b>2200 – 0600</b>
<b>Zone 1 - Zones résidentielles d'accès publics et privés</b>	70 db A	45 db A
<b>Zone 2 – Proximité des hôpitaux, établissements d'enseignement, et maisons de repos</b>	45 db A	40 db A

<sup>8</sup> Décret n° 93-184 – Décret sur la réglementation des émissions de bruit, qui renforce l'Article 121 de la Loi 83-03.

<sup>9</sup> Journal officiel.

Selon l'Article 6 de ce décret toutes les personnes ayant directement ou indirectement des activités nécessitant l'utilisation de moteurs, d'outils, de machines, d'appareils produisant du bruit à des niveaux plus élevés que ceux qui figurent ci-dessus, doivent prévoir des dispositifs d'insonorisation ou mettre en place des méthodes appropriées pour éviter toute nuisance ou tout risque pour la santé. A noter qu'il n'y a aucune directive sur les émissions de bruit dans les zones industrielles.

Marteaux piqueurs, générateurs de courant et compresseurs doivent être équipés de dispositifs d'insonorisation lorsqu'ils sont utilisés à moins de 50 m. des habitations ou des lieux de travail.

#### **4.2.2.3 Réglementation sur les ressources en eau :**

Les dispositions de la Loi 83-03 portent sur le contrôle de la pollution de l'eau et sa régénération, afin de réconcilier les demandes d'approvisionnement en eau potable et de la santé publique avec celles de l'agriculture, de l'industrie, des transports et de toute autre activité humaine, et sur l'état biologique du système de réception, en particulier la faune aquatique, les loisirs, les sports nautiques, et la protection des ressources en eau.

Ces dispositions (qui concernent les eaux de surface, les eaux souterraines et les eaux du littoral) couvrent la décharge, le dragage, l'élimination, et les dépôts directs ou indirects de substances de toute nature. Elles s'étendent d'une manière plus générale à tout ce qui peut représenter une menace pour la qualité de l'eau, en modifiant ses caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et bactériologiques.

Outre la législation sur l'EIE (Loi n° 83-03), les systèmes d'eau sont également réglementés par la Loi n° 83-17<sup>10</sup> sur le code de l'eau. Cette loi met en place une politique de l'eau pour répondre aux besoins de la population et du secteur économique. La législation a pour but de garantir la protection des eaux contre la pollution, les rejets d'eaux usées et la sur-extraction. Cette loi définit les priorités d'utilisation de l'eau (réserve en eau potable, agriculture et industrie). Elle définit les droits et obligations des usagers de l'eau. Les Articles 73 et 74 stipulent que tout projet impliquant des développements de sites ou l'extension d'unités

---

<sup>10</sup> Loi algérienne n° 83-17 – sur le code de l'eau.

industrielles utilisant de l'eau, doivent tenir compte des critères d'économie d'eau et des priorités d'utilisation de l'eau mentionnées ci-dessus. En outre, les industries doivent recycler leurs eaux usées dans la mesure du possible du point de vue technique et économique. De même, les industries doivent prévoir des installations de traitement des eaux usées (Art 102) pour les déchets polluants. Le déversement, l'épandage ou la pulvérisation de substances risquant de polluer le système aquatique sont également interdits (Art. 104).

Les Articles 110 et 111 stipulent que la limite de la zone de protection est un périmètre délimitant la zone géographique à l'intérieur de laquelle toute activité risquant d'affecter la qualité des ressources en eau est interdite ou réglementée. Parmi les activités soumises à la réglementation et à l'interdiction, on compte les exploitations de carrières, la construction, et le rejet de toute substance susceptible d'affecter la qualité de l'eau.

#### **4.2.2.4 Réglementations sur les Déchets Liquides :**

La réglementation de la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines est issue de la Loi 83-03 sur la protection de l'environnement et de la Loi 83-17 sur le code de l'eau. Le Décret 93-160<sup>11</sup>, conformément aux deux lois susmentionnées, réglemente l'élimination des effluents industriels liquides. Le rejet dans un système de réception n'est autorisé que s'il ne dépasse pas les valeurs limite maximales à la source imposées par ce décret, et s'il est conforme aux conditions techniques définies par le décret ministériel. Ces conditions techniques tiennent compte du débit et du degré de pollution dans les systèmes de réception, et de leurs capacités naturelles de régénération, des conditions d'utilisation des eaux de réception, des besoins de réserve en eau de la population, de la protection de la flore et de la faune, et des besoins sanitaires, économiques et touristiques. Ce décret impose également les moyens par lesquels s'appliquent les permis d'habilitation à décharger des déchets industriels.

---

<sup>11</sup> Décret n° 93-160 – Réglementation des déversements d'effluents industriels liquides.

**Tableau n 4.5:** Décret 93-160 Article 4 : Tolérances de rejet des effluents industriels algériens<sup>12</sup>

<b>Paramètre</b>	<b>Unités</b>	<b>Valeurs maxi</b>
<b>Température</b>	C	30
<b>PH</b>	Mg/l	5,5-8,5
<b>Mes</b>	Mg/l	30
<b>Demande en oxygène biochimique (BOD5)</b>	Mg/l	40
<b>Demande en oxygène chimique (COD)</b>	Mg/l	120
<b>Azote</b>	Mg/l	40
<b>Phosphates</b>	Mg/l	0.2
<b>Cyanure</b>	Mg/l	0.1
<b>Aluminium</b>	Mg/l	5
<b>Cadmium</b>	Mg/l	0.2
<b>Chrome 3+</b>	Mg/l	3
<b>Chrome 6+</b>	Mg/l	0.1
<b>Fer</b>	Mg/l	5
<b>Manganèse</b>	Mg/l	1
<b>Mercure</b>	Mg/l	0.01
<b>Nickel</b>	Mg/l	5
<b>Plomb</b>	Mg/l	1
<b>Cuivre</b>	Mg/l	3
<b>Zinc</b>	Mg/l	5
<b>Huile et graisse</b>	Mg/l	20
<b>Hydrocarbures</b>	Mg/l	20
<b>Phénols</b>	Mg/l	0.5
<b>Solvants organiques</b>	Mg/l	20
<b>Chlore</b>	Mg/l	1
<b>PCB</b>	Mg/l	0.001
<b>Détergent</b>	Mg/l	2
<b>Tensioactifs anioniques</b>	Mg/l	10

<sup>12</sup> Décret 93-160 Article 4.



#### **4.2.2.5 Durabilité du Projet :**

Une législation de grande portée a été introduite sous la forme de la Loi 03-10<sup>13</sup> du 19 juillet 2003 sur la protection de l'environnement dans un contexte de développement durable. Cette législation est très complète et porte sur tous les milieux de l'environnement ; l'air, la terre et l'eau, dont la mer. Cette nouvelle loi consolide et étend la législation sur l'environnement, y compris celle qui porte sur l'Evaluation de l'Impact sur l'Environnement de propositions de développements industriels. Tout en restant en phase avec les pratiques internationales, elle définit la durabilité comme « l'Intégration de considérations environnementales dans les décisions de développement visant à répondre aux besoins des générations à venir et des générations actuelles. Particulièrement pertinente pour le développement de l'installation des usines de dessalement, elle met donc l'accent sur la conservation des ressources énergétiques et sur la réduction des émissions « de gaz de l'effet de serre » et sur la minimisation de la production de déchets, en faisant appel à des technologies plus propres en tant que telles. Elle adopte aussi le principe des MTD<sup>14</sup>, en faisant appel à des sponsors du projet, pour démontrer que le développement fera appel aux Meilleures Techniques Disponibles à des coûts économiquement acceptables.

#### **4.2.2.6 Emissions dans l'air :**

Il y a eu plusieurs décrets algériens portant sur les normes ou les directives en matière de qualité de l'air ambiant. Plus récemment, il y eu le Décret 2000-73 et le Décret 93-165. Le Décret 93-165 définit les émissions atmosphériques (la fumée, le gaz, la poussière, les odeurs et les particules solides), et le décret exécutif N° 06-02 du 7 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique.

Ce dernier décret indique dans son article 6, les valeurs limites ainsi que les objectifs de qualité de l'air fixés comme suit :

---

<sup>13</sup> Décret n° 93-160 - Réglementation des déversements d'effluents industriels liquides

<sup>14</sup> Meilleures Technologies Disponibles.

**Tableau 4.6:** Valeurs limites et objectifs de qualité de l'air<sup>15</sup>

<b>Polluant</b>	<b>Objectif de qualité micro grammes/ Nm3</b>	<b>Valeur limite micro grammes/ Nm3</b>
<b>Dioxyde d'azote</b>	135	200
<b>Dioxyde de soufre</b>	150	350
<b>Ozone</b>	110	200
<b>Particules fines en suspension</b>	50	80

**Tableau 4.7 :** Seuils d'information et d'alerte<sup>16</sup>

<b>Polluant</b>	<b>Seuil d'information micro grammes/ Nm3</b>	<b>Seuil d'alerte micro grammes/ Nm3</b>
<b>Dioxyde d'azote</b>	400	600
<b>Dioxyde de soufre</b>	350	600
<b>Ozone</b>	180	360

**Tableau 4.8 :** Directives sur la qualité de l'air ambiant (ug/ m<sup>3</sup>)

<b>Polluant Période de Moyennage</b>	<b>Directive de la Banque Mondiale / générales IFC<sup>17</sup></b>	<b>Directive de l'organisation Mondiale de la Santé<sup>18</sup></b>
<b>Dioxyde d'azote 1 heure</b>	-	200
<b>(NO2) 24 heures</b>	150	-
<b>1 an</b>	-	40
<b>Dioxyde de soufre 10 minutes</b>	-	500
<b>(SO2) 24 heures</b>	125	125
<b>1 an</b>	50	50
<b>Particules (PM10) 24 heures</b>	-	-
<b>1 an</b>	-	-
<b>Total de particules 24 heures en suspension 1 an (TSP)</b>	70 50	- 50
<b>Oxyde de carbone 15 minutes</b>	-	100 000
<b>(CO) 30 minutes</b>	-	60 000
<b>1 heure</b>	-	30 000
<b>8 heures</b>	-	10 000

<sup>15</sup> Décret exécutif N° 06-02 du 7 janvier 2006.<sup>16</sup> Décret exécutif N° 06-02 du 7 janvier 2006.<sup>17</sup> Banque Mondiale, Pollution Prévention and Abatement Handbook (General Environmental Guidelines), 1998 - Manuel de Pollution, prévention et réduction (directives générales en matière d'environnement).<sup>18</sup> Organisation Mondiale de la Santé, Directives de qualité de l'air 1999.

### **4.3 Réticence des fournisseurs au transfert de la technologie et de la formation :**

Dans le domaine du dessalement et du traitement de l'eau, qui sont liés, un développement industriel important est possible dans les PSEM, sous réserve de transfert de technologie, de formation et de coopération. L'accent pourrait être mis sur le décentralisé en énergies renouvelables. Malheureusement et à ce jour, ce n'est pas le cas, les investissements qui se réalisent sont de simples achats « clé en main » de technologies importées et utilisant une énergie d'origine fossile.

Le développement du dessalement en Méditerranée peut apporter des bénéfices significatifs pour la région, en termes d'emplois, de développement de filières industrielles, de création d'entreprises de services. Ces bénéfices peuvent varier sensiblement selon les options retenues pour le dessalement (taille des infrastructures, type d'énergie). Les grandes unités de dessalement à osmose inverse sont aujourd'hui construites « Clé en main », avec peu de fabrication locale. La technologie vient des pays développés du Nord, il y a donc encore assez peu de transfert de technologie et de savoir faire des partenaires européens vers les partenaires méditerranéens. Les récupérateurs d'énergie (Energy recovery) sont protégés par des brevets élaborés. Les membranes ne sont pas fabriquées dans les pays méditerranéens du Sud et de l'Est (sauf Israël, qui développe beaucoup les technologies liées à l'eau, et les entreprises israéliennes sont aujourd'hui compétitives pour de nouveaux marchés d'exportation).

A noter le modèle institutionnel de la concession de dessalement à un opérateur privé, comme investisseur constructeur opérateur en BOO, choisi après appel d'offres international et souvent étranger (Alger El Hamma, Oran Magtaa, Ashkelon en Israël, Fujairah aux Emirats, Agadir dans l'appel d'offres ONEP au Maroc) qui est basé sur le seul critère du plus bas coût du m<sup>3</sup> et ne privilégie pas le transfert de technologie, le développement d'une filière industrielle dans les PSEM et l'absence de formation en raison de l'absence de volonté voire le refus des fabricants de ces usines de concéder ne serait ce qu'une part de la technologie de fabrication.

Pour tous les investissements futurs en dessalement et en traitement de l'eau dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée, les orientations proposées devraient être d'encourager le développement dans les PSEM, et en particulier les pays arides pour lesquels la bonne gestion de l'eau est cruciale, d'un vrai tissu industriel et de services liés à l'eau. Les besoins des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée en termes de recherche-développement,

d'investissements et de formation relatifs au dessalement, sont considérables, notamment dans le domaine de la gestion de l'eau, de la formation en membranes et de retraitement d'eau. Il faut encourager et utiliser les écoles d'ingénieurs, universités et centres de formation dans ce sens.

En favorisant le transfert de technologie et la formation pour la création d'emplois Une véritable stratégie industrielle est donc à mettre en place dans le domaine du traitement de l'eau (par exemple : technologies membranaires, efficacité énergétique, distillateurs solaires thermiques...). Il s'agit d'un enjeu très important et d'un travail de longue haleine qui devrait être entrepris en partenariat avec les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée, de poursuivre le travail sur le dessalement et la réutilisation des eaux usées, dans un esprit de développement industriel dans le domaine de l'eau en Méditerranée. Un recensement des savoir-faire et des besoins dans les PSEM, en équipements et en services de maintenance pour les technologies et les métiers du traitement de l'eau, du pompage, des prélèvements et de l'irrigation, est à établir dans cette perspective de développement d'un vrai projet industriel, pour lequel il y aura complémentarité entre les deux rives de la Méditerranée.

La gestion de l'eau douce est un secteur très important en Méditerranée, mais les techniciens, gestionnaires et exploitants sont encore souvent trop peu nombreux. La formation initiale des techniciens et administratifs est souvent plus théorique que réellement pratique, et celle des agriculteurs et des irrigants est à développer. La formation professionnelle continue reste à organiser. Il faut donc former du personnel qualifié dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée, pour la bonne utilisation de l'eau, les techniques membranaires, les prétraitements et les traitements physico-chimiques pour les problèmes d'entartrage, de colmatage des surfaces d'échange, de dépôts et d'encrassement, de corrosion, de conditions de fonctionnement, de pression, de température, de vitesse d'eau, de type de pompes et de dimensionnement, de nettoyage, de filtration... Des plateformes de démonstration sont à utiliser pour ces actions de formation et de sensibilisation, en particulier dans les zones rurales dispersées et semi-arides pour des solutions décentralisées par énergies renouvelables. Formation et information peuvent répondre aux aspects psychologiques et culturels de l'eau qui constituent souvent des obstacles à l'utilisation durable de l'eau recyclée. Il faudrait introduire ces questions dans la formation (y compris pour sensibiliser le grand public) ou dans les programmes scolaires.

**Conclusion :**

Tous les procédés de dessalement présentent des inconvénients ; besoins énergétiques importants, rejets de saumures concentrées chaudes dans le cas de la distillation, en mer ou injectées dans le sol, emploi de produits chimiques pour nettoyer les membranes, traces de métaux lourds échappés des installations, et bruit généré par les pompes haute pression et certains systèmes de récupération d'énergie tels que les turbines. Il en est de même pour les émissions de gaz à effet de serre qui sont plus fortes si l'énergie électrique du dessalement est produite à partir de combustibles fossiles.

Les rejets de saumures à forte concentration (environ 70 g/l) et la dilution insuffisante peuvent appauvrir ou détruire les écosystèmes aquatiques et dégrader la qualité de l'eau.

Afin de limiter cet impact sur l'environnement, la solution adoptée aujourd'hui est la mise en place de systèmes de diffuseurs permettant de maîtriser la dilution de la saumure avec l'eau de mer et de limiter spatialement la zone impactée.

Un bilan et un suivi des rejets de saumures et produits chimiques doivent, en outre, être accompagnés d'un suivi des répercussions sur la faune et la flore, terrestres et surtout marines.

## **Chapitre 05 :**

### **Répercussions environnementales et économiques de la Station de Dessalement Chatt El Hillal de Béni -Saf**

#### **Introduction :**

L'objectif de ce chapitre est la mise en pratique des thèses théoriques développées lors de l'étude du thème de notre mémoire intitulé :

L'impact des arrêts techniques de l'usine de dessalement de l'eau de mer sur l'entreprise et l'environnement.

Le choix s'est porté sur la station de dessalement Chatt El Hillal de Béni Saf Wilaya de Ain-Témouchent.

L'étude sur site a consisté dans un premier temps en mon imprégnation au sein de l'unité de dessalement et la prise de contact avec les cadres dirigeants qui m'ont accordé les interviews que j'ai sollicités et fourni la documentation nécessaire à la collecte des informations liées aussi bien au fonctionnement de la station : mode de management de la station, moyens humains, cadre juridique du partenariat, présentation de la structure, processus technologique utilisé, volume de production, arrêts techniques et pannes imprévues. Une étude simulatrice de l'impact de l'exploitation de la station sur l'environnement a été également mise à ma disposition.

## **5.1 Description de la station**

### **5.1.1-Pourquoi la station de dessalement de l'eau de mer de Béni Saf :**

#### **5.1.1.1 Justification économique :**

- La réalisation de la station fait partie intégrante de la stratégie de développement de la ressource en eau en Algérie. En effet pour faire face au manque d'eau l'Algérie complète ses ressources en eau par le traitement des eaux usées et le dessalement de l'eau de mer. La station de Béni Saf fournit 200 .000 m<sup>3</sup>/j d'eau pour subvenir aux besoins de la région de Ain Témouchent et d'Oran.
- Optimisation de la gestion de l'eau potable des barrages au profit de l'agriculture ;
- Une fourniture directe garantie et indépendante des aléas climatiques à la population de Ain Témouchent et d'Oran d'un volume 200.000 m<sup>3</sup>/j.
- Faible coût de production d'eau par rapport aux autres techniques (osmose inverse).

#### **5.1.1.2 Justification technique :**

- L'usine de dessalement de Béni Saf utilise la technologie d'osmose inverse, en raison de sa grande efficacité, de sa fiabilité et de la qualité de l'eau produite, technique recommandée par l'IDA (International Desalination Association).
- La technique utilisée est moins énergivore par rapport aux autres techniques de dessalement de l'eau de mer.
- La conception des équipements tient compte des normes acoustiques.
- L'usine de dessalement se trouve dans une situation idéale pour les divers raccordements et accès : réseau électrique, assainissement, rejets, captage, réseau de distribution.
- La maintenance et le management de l'usine sont assurés par une filiale GEIDA Beni Saf O&M, qui est une référence en matière d'exploitation d'usine similaire dans le monde.

#### **5.1.1.3 Justification environnementale :**

- L'usine de dessalement est exploitée conformément aux normes actuelles en matière de pollution et de rejet. En effet pour les rejets de saumure, une étude de dispersion de

la saumure a été élaborée et actuellement mise en œuvre afin de minimiser les impacts sur l'écologie marine.

- La construction de l'usine a été effectuée conformément à la législation concernant l'hygiène et la sécurité.
- Il n'existe pas de rejets atmosphériques engendrés par l'usine.

### 5.1.2 Situation géographique de l'usine de dessalement :

Le site de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chaat El Hillal est localisé sur la côte méditerranéenne d'Algérie dans la wilaya de Ain Témouchent daïra d'El Malleh commune de Ouled El Kihel au niveau de la ZET Chatt El Hillal sur une superficie de 65 700 m<sup>2</sup>, avec une capacité de production de 200 000m<sup>3</sup>/j (avec 10 modules de dessalement).



Figure 5.1 : Site de l'usine <sup>1</sup>

L'usine a été réalisée par une société de projet « Beni Saf Water Company Spa » constituée à partir du consortium GEIDA, de l'ADE et de l'AEC.

Grupo Español de Instaladoras de Desaladoras para Argelia (GEIDA) est un consortium qui a été constitué au début de l'année 2003 à partir de quatre importantes compagnies espagnoles d'études, de construction et d'expert -conseils spécialisées dans le développement des infrastructures dans le domaine d'énergie et de l'eau dénommées:

- ✓ COBRA
- ✓ BEFESA
- ✓ CODESA

<sup>1</sup> Source : étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chatt El hillal p 33.



## ✓ SADYT

Sonatrach, la société nationale de pétrole et de gaz d'Algérie et Sonelgaz, la régie de production et de distribution de gaz et d'électricité de l'état algérien ont été incorporées dans l'AEC en mai 2001. Chacune détient 50% du capital-actions d'AEC.

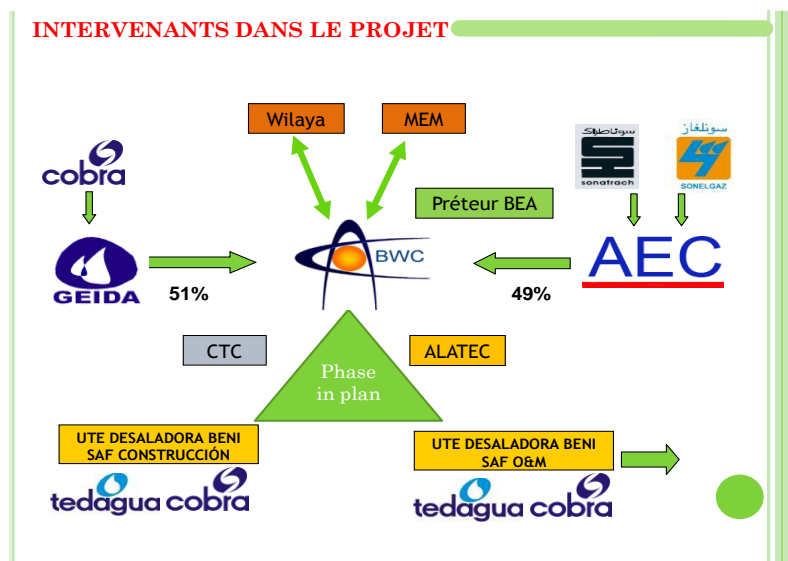


Figure 5.2: Les différents collaborateurs de la station BWC <sup>2</sup>

### 5.1.2.1 Principales données techniques de l'usine :

Tableau 5.1: Données techniques de la station de Beni Saf <sup>3</sup>

Paramètre	unité de mesure	valeur
Production d'eau	m <sup>3</sup> /j	200.000
Superficie	m <sup>2</sup>	65700
Débit de captation	M <sup>3</sup> /j	432 000
Salinité de l'eau de mer	Ppm	36.700
Température de prise d'eau de mer	°C	17
Volume d'eau rejetée	m <sup>3</sup> /h	7.083
Qualité de l'eau	Ppm	<400
Température de l'eau rejetée	°C	17
Taux de rendement de dessalement	%	47
Durée de la construction	Mois	24
Montant du projet	Million \$	240

<sup>2</sup> Source : étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chatt El hillal p 32.

<sup>3</sup> Source : étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chatt El hillal p 26.

### **5.1.2.2 Description du fonctionnement de la station :**

#### **5.1.2.2.1 Système d'Admission de l'Eau d'Alimentation :**

Les prises d'eau d'alimentation sont placées dans la mer, de sorte qu'environ 432.000 m<sup>3</sup>/j d'eau de mer brute coulent par gravité dans deux pipelines de 2400 mm de diamètre nominal, jusqu'au bassin de pompage situé sur le rivage. Les entrées des chambres d'admission sont placées pour que l'eau de mer soit amenée de la mi-profondeur jusque dans la colonne d'eau, assurant ainsi une source d'eau de mer sans aucune turbulence, sans contamination des eaux de surface et des variations de température, et où ni sable ni débris du fond de la mer ne soient entraînés. L'émissaire de captation est placé à environ 1km au large à 18 m de profondeur.

#### **5.1.2.2.2 Pompage de l'eau d'alimentation :**

A l'arrivée au bassin de pompage placé sur terre, bien au-dessous du niveau du sol pour permettre au flux sous gravité de passer dans le pipeline d'admission, l'eau de mer brute passe à travers un système de filtrage composé par deux ensembles de grille amovible et de grille mobile pour se débarrasser des petits objets non filtrés par le filtre à gros barreaux. Les débris recueillis doivent être éliminés lorsque les filtres seront occasionnellement retirés pour être nettoyés. De là, l'eau sera alors pompée vers les installations de prétraitement.

#### **5.1.2.2.3 Séquences de prétraitement :**

Avant dessalement dans les unités d'osmose inverse, l'eau d'alimentation passe par quatre stades de prétraitement :

1- Le premier stade de prétraitement est la clarification, par décantation gravitaire : un agent coagulant (en principe du chlore ferrique), est ajouté pour aider la sédimentation des matières en suspension.

2- Après clarification, l'eau d'alimentation va subir un traitement secondaire consistant à supprimer les corps solides résiduels et les résidus de la floculation, par un passage à travers une batterie de filtres à sable, l'eau étant ensuite prête à passer par les filtres à anthracite.

Il faudra nettoyer les filtres périodiquement en les rinçant. Le flux salin provenant des jeux de membranes sera utilisé à ces fins, réduisant ainsi la quantité globale d'eaux usées rejetées suite au traitement.

3- L'eau filtrée sera ensuite pompée à travers deux rangées de filtres à cartouche pour supprimer les éventuelles fines particules restantes, jusqu'à 5 microns. Les cartouches sont de type jetable en polypropylène enroulé.

4- Les stades 1 à 3 ci-dessus consistent d'abord à éliminer les éventuelles matières et particules en suspension. Mais il faudra également soumettre l'eau d'alimentation à un traitement chimique pour protéger les membranes d'osmose inverse, par l'injection de :

- l'hypochlorite de sodium (6001/h) afin d'empêcher le développement de la faune marine, des algues et des micro-organismes dans l'ouvrage de prise d'eau de mer sous-marin et dans la chambre d'aspiration des pompes ;
- Le chlorure ferrique (1080 l/h) pour éliminer les matières en suspension et les colloïdes dans des filtres de sables ;
- Le bisulfite sodique (427 l/h) pour éliminer le chlore résiduel dans les filtres à cartouche ;
- Le Dispersante (permatreat -100) pour la coagulation ;
- L'acide sulfurique (254 l/h) pour la correction du PH.

Les produits chimiques sont stockés dans des réservoirs équipés de cuvettes de rétention, dont la capacité peut contenir tout le volume du réservoir plus 10%.

L'installation d'un équipement de réserve a été prévue dans le cas de maintenance ou autre.

#### **5.1.2.2.4 L'osmose inverse :**

L'installation d'osmose inverse comprend 10 modules identiques, contenant 246 tubes de pression en fibre de verre, équipée chacun de 8 membranes en polyamide composite enroulé en spirale. Le système transforme environ 40% du flux d'eau d'alimentation en eau potable avec une pression de 63 bar , La transformation des 60% restants est assurée par l'énergie récupérée de la saumure qui conserve une haute pression (près de 63 bars) avant les pompes à haute pression . D'où un gain d'énergie. Le PH doit être constamment surveillé et réglé pour respecter les limites de contrôle requises.

Malgré le procédé de prétraitement de l'eau d'alimentation, les membranes de l'installation d'osmose inverse devront être nettoyées de temps à autre.

Après utilisation, le pH des fluides de nettoyage usagés sera neutralisé avant leur rejet avec le flux principal d'effluents salins provenant de l'installation d'osmose inverse.

#### **5.1.2.2.5 Le post traitement :**

L'eau produite est stockée dans deux réservoirs d'une capacité de 2500 m<sup>3</sup> chacun.

L'eau produite sera de nouveau traitée pour qu'elle soit potable avant d'être envoyée vers le réseau de distribution.

Le traitement est constitué d'une injection de CO<sub>2</sub> et de la dissolution de calcaire pour augmenter la dureté, suivi d'une injection de soude caustique pour le PH et d'une injection d'hypochlorite de sodium (113 l/h) pour la stérilisation.

#### **5.1.2.2.6 Les rejets :**

La totalité des eaux rejetées après dessalement et des eaux usées provenant des nettoyages sont recueillies dans le bassin collecteur où elles seront neutralisées. De là, les eaux usées se déversent par gravité dans le pipeline déversoir jusqu'au point de rejet submergé, à un débit de 230.000 m<sup>3</sup>/j et d'une salinité pratiquement double de celle de l'eau de mer ambiante.

Outre l'eau rejetée provenant des membranes, de légers écoulements des chambres du décanteur, du rinçage des filtres, et de l'eau du nettoyage des membranes se jetteront également dans le bassin de neutralisation.

Le lieu de déversement a été déterminé par les résultats de l'étude marine afin d'atténuer les impacts.

#### **5.1.2.2.7 Stockage et livraison :**

Après le post-traitement, l'eau sera conservée dans un réservoir d'une capacité de 5000 m<sup>3</sup> qui sert de réservoir d'attente pour réguler les fluctuations de la demande de la compagnie des eaux et pour prévoir également un temps de contact nécessaire à la désinfection, avant le pompage de l'eau vers le système de distribution de l'eau.

## **5.2 Les performances de la station**

### **5.2.1 La production annuelle de l'usine et son rôle dans la production de l'eau :**

L'usine de dessalement a commencé à fonctionner partiellement avec un seul module d'une capacité de 20 000 m<sup>3</sup>/j le 09 novembre 2009. La mise en œuvre des autres modules au nombre de neuf a été progressive dans les mois qui ont suivi et ce conformément au protocole d'essai.

Depuis le début de la livraison d'eau commerciale, le 09 novembre 2009, le cumul de livraison d'eau de la SDEM de Beni Saf a atteint, à fin août 2012 : 148 696 020 m<sup>3</sup>.

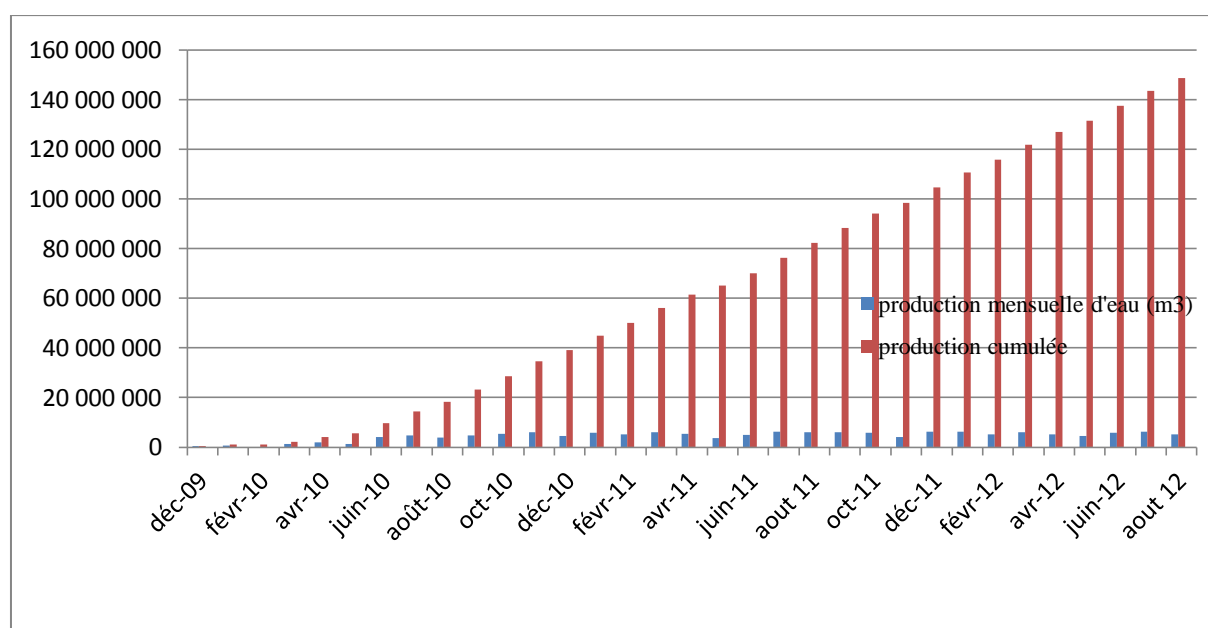
Le tableau qui suit donne la livraison d'eau pour chaque mois depuis la mise en service de l'usine ainsi que le cumul à la fin du mois d'août 2012 :

**Tableau 5.2 : Production d'eau potable par l'usine mensuelle et cumulée depuis la mise en service<sup>4</sup>**

<b>Mois/Année</b>	<b>Production mensuelle d'eau (M<sup>3</sup>)</b>	<b>Production cumulée</b>	<b>production en pourcentage(%)</b>
<b>Décembre-09</b>	361 952,00	361 952,00	5,9
<b>janvier-10</b>	656 784,00	1 018 736,00	10,6
<b>février-10</b>	-	1018 736 ,00	
<b>mars-10</b>	1 246 336,00	2 265 072,00	20,1
<b>avril-10</b>	1 941 923,00	4 206 995,00	32,36
<b>mai-10</b>	1 414 208,00	5 621 203,00	22,8
<b>juin-10</b>	4 040 967,00	9 662 170,00	67,33
<b>juillet-10</b>	4 765 000,00	14 427 170,00	74,45
<b>août-10</b>	3 948 227,00	18 375 397,00	63,69
<b>septembre-10</b>	4 828 000,00	23 203 397,00	80,47
<b>octobre-10</b>	5 334 438,00	28 537 835,00	86,04
<b>novembre-10</b>	5 999 978,00	34 537 813,00	99,99
<b>décembre-10</b>	4 621 236,00	39 159 049,00	74,5
<b>Janvier -11</b>	5 770 094,00	44 929 143,00	93,06
<b>février-11</b>	5 234 455,00	50 163 598,00	95,17
<b>Mars-11</b>	5 974 449,00	56 138 047,00	96,36
<b>Avril-11</b>	5 341 875,00	61 479 922,00	90,54
<b>Mai-11</b>	3 638 904,00	65 118 826,00	58,69
<b>Juin-11</b>	4 907 337,00	70 026 163,00	81,79
<b>Juillet-11</b>	6 200 385,00	76 226 548,00	100
<b>Août-11</b>	6 094 070,00	82 320 618,00	98,29
<b>Septembre-11</b>	5 945 571,00	88 266 189,00	99,09
<b>Octobre-11</b>	5 921 759,00	94 187 948,00	95,51
<b>Novembre-11</b>	4 113 639,00	98 301 587,00	68,56
<b>Décembre-11</b>	6 200 534,00	104 502 121,00	100
<b>Janvier-12</b>	6 200 744,00	110 702 865,00	100

<sup>4</sup> Source : la station de dessalement de Béni Saf.

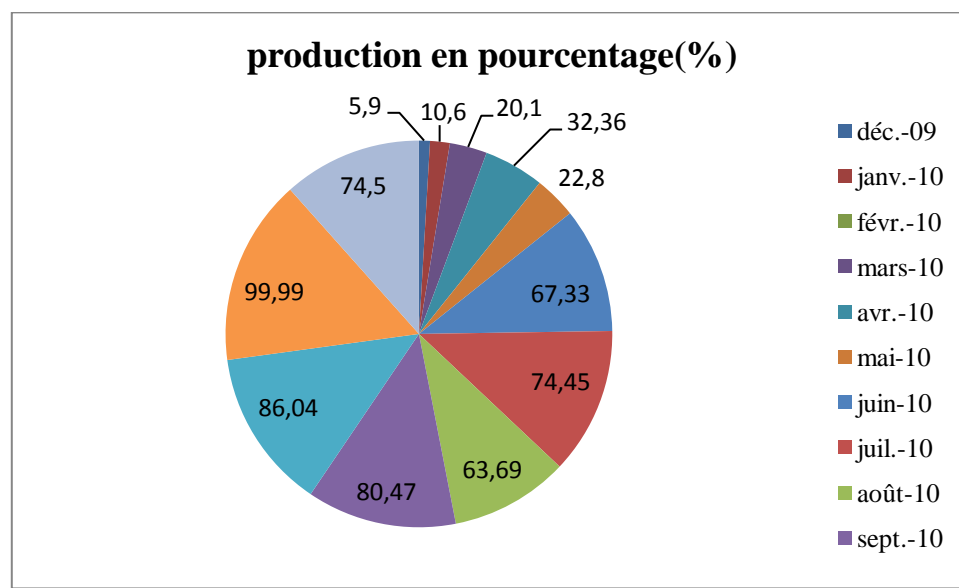
<b>Février-12</b>	5 162 702,00	115 865 567,00	89,00
<b>Mars-12</b>	5 936 446,00	121 802 013,00	95,75
<b>Avril-12</b>	5 113 243,00	126 915 256,00	85,22
<b>Mai-12</b>	4 633 084,00	131 548 340,00	74,73
<b>Juin-12</b>	5 858 231,00	137 406 571,00	97,64
<b>Juillet-12</b>	6.147.597,00	143 554 168,00	99.15
<b>Août-12</b>	5 141 852,00	148 696 020,00	82,93



**Figure 5.3:** Production d'eau potable par l'usine mensuelle et cumulée depuis la mise en service

## 5.2.2 Principales causes des arrêts survenus durant le fonctionnement de la station :

### 5.2.2.1 Les arrêts techniques rencontrés durant l'année 2010 :

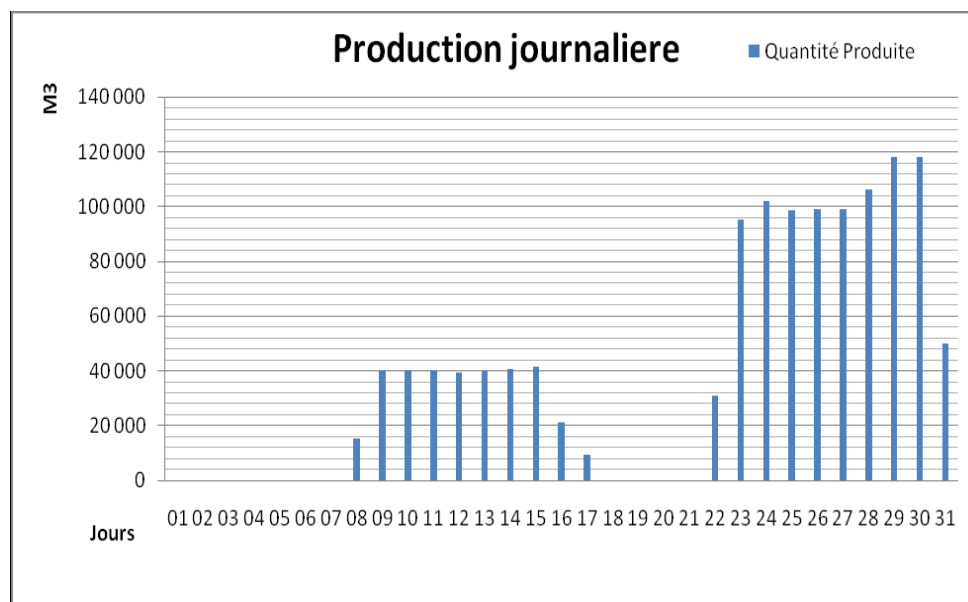


**Figure 5.4 :** Eau produite par la SDEM durant l'année 2010

#### 5.2.2 .1.1 Commentaire des écarts de production enregistrés durant l'année 2010 :

Cette figure nous montre les pourcentages de production d'eau potable par la station de dessalement

- Les taux de production faibles durant les mois décembre 2009 (5.9 %), janvier 2010 (10,06 %) et l'arrêt total durant le mois de février 2010 sont justifiés par le fonctionnement partiel (test des 10 modules) de la station de dessalement.
- La livraison d'eau commercialisable a repris à partir du 08 mars 2010 soit après la fin des tests et la réalimentation en énergie de la sous station électrique suite à la coupure faite par Sonelgaz le 07 mars 2010. La production d'eau a été progressive avec deux unités de 20 000 M<sup>3</sup>/j chacune, avant d'atteindre 06 unités à la fin du mois.



**Figure 5.5 :** La production d'eau potable durant le mois de mars

L'histogramme ci-dessus présente la production d'eau du mois de mars 2010. On constate que la production s'est arrêtée du 17 au 22 mars 2010 pour permettre au constructeur de faire le lavage des filtres avant d'entamer le test de l'usine prévu pour le 22 mars 2010.

Durant le mois de mars 2010 un cumul de 1 246 336 M<sup>3</sup> est livré à l'ADE pour sa distribution au niveau des wilayas de Ain temouchent et d'Oran.

- Le taux de production de 32% durant le mois d'avril 2010 est justifié par l'installation d'un équipement procuré par l'ADE qui a nécessité un arrêt de 20 jours.
- Durant le mois de Mai 2010, la livraison d'eau était perturbée pour les raisons suivantes:

1. Travaux de dessablage du bassin de captage : une diminution de la quantité d'eau livrée, 120 000 M<sup>3</sup>/J, était préconisée afin de permettre le nettoyage du bassin d'eau de mer sans causer un préjudice aux équipements de pompage.

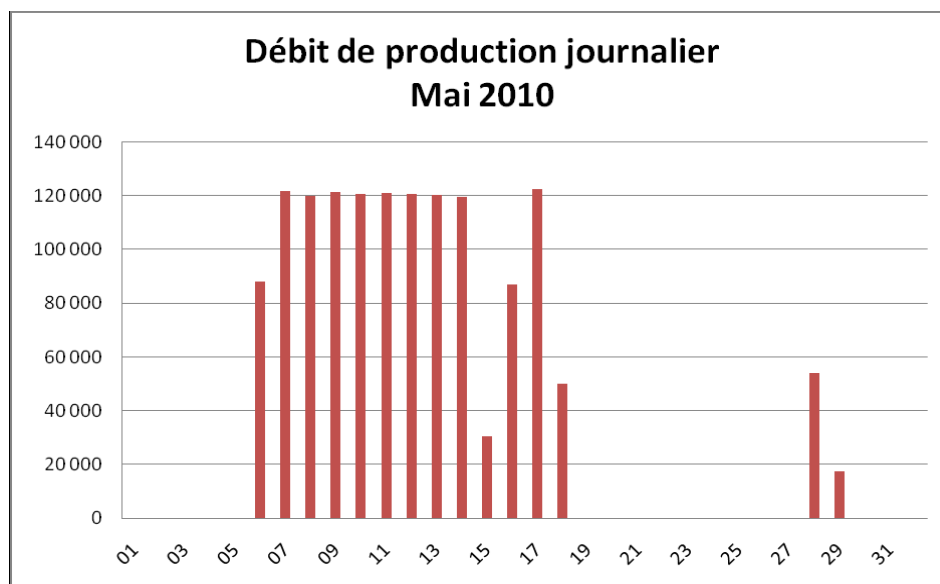
2. Rupture du collecteur en PRFV d'eau de mer : en date du 17 mai 10, le collecteur d'eau de mer, au niveau du bâtiment de captage, a rompu ce qui a causé l'arrêt de la livraison d'une durée de 11 jours (du 17/05/10 à 19h30 au 27/05/10 à 17h30).

3. Rupture du collecteur en PRFV (une seconde fois) : après réparation de l'incident ci-dessus, une deuxième rupture a eu lieu sur le collecteur d'eau de mer ce qui a causé un autre arrêt de la livraison de 5 jours (du 28/05/2010 à 15h00 au 01/06/10 à 16h20).



Néanmoins, un total de 1 414 208 M<sup>3</sup> d'eau est produite et livrée à l'ADE durant le mois de mai 2010.

L'histogramme ci-dessous représente la production d'eau du mois de mai 2010.



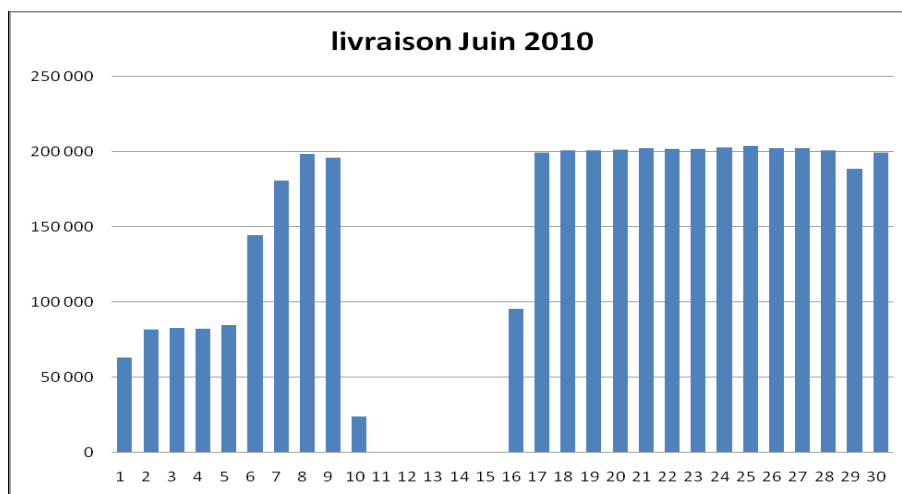
**Figure 5.6 :** La production d'eau potable durant le mois de mai

- ✓ Durant le mois de juin 2010 la livraison d'eau était perturbée pour les raisons suivantes :

\*Rupture du collecteur en PRFV (une troisième fois) : lors du test de performance de l'usine, le collecteur de captage a cédé une troisième fois, en l'espace d'un mois, le 10/06/10 à 12h45. L'opération de réparation et de renforcement a duré 5 jours pour reprendre la livraison.

Par ailleurs, le mois de juin 2010 se distingue par l'atteinte de la SDEM à produire en plein régime les 200 000 M<sup>3</sup>/J durant plusieurs jours.

La barre de 4 040 967 M<sup>3</sup> d'eau livrée est atteinte pour la première fois durant le mois de juin 2010 soit 67.33 % de la capacité maximale mensuelle de l'usine. L'histogramme ci-dessous représente la production d'eau du mois de juin 2010.



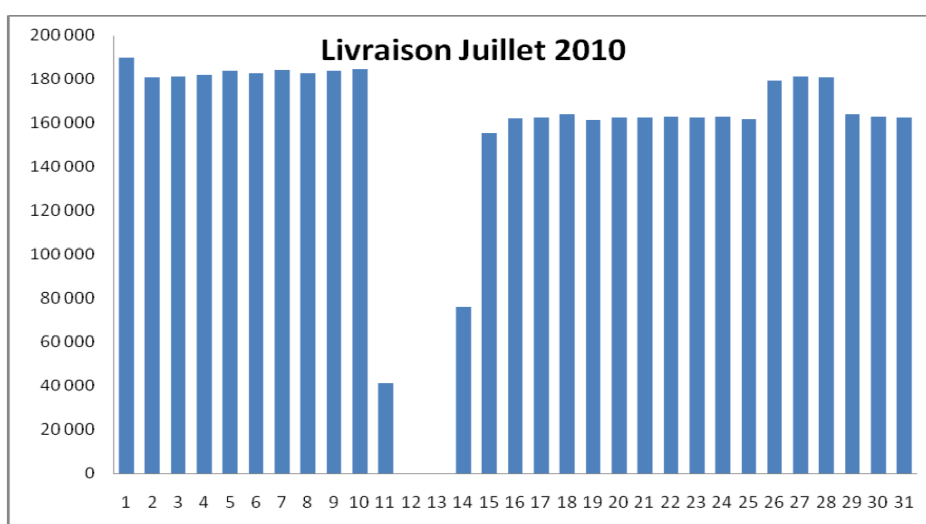
**Figure 5.7:** La production d'eau potable durant le mois de juin

✓ La livraison d'eau produite durant le mois de juillet 2010 s'est interrompue durant 03 jours, du 11 au 14 juillet 2010, pour permettre à l'exploitant de nettoyer la sous station électrique de toute impureté pouvant engendrer des dégâts importants.

Cependant, la SDEM a fonctionné avec une moyenne journalière de 183 725 M<sup>3</sup> jusqu'au 11 juillet 2010, sachant que la demande de l'Acheteur durant cette période n'excédait pas les 180 000 M<sup>3</sup>/J (l'ADE/SEOR souhaitait 190 000 M<sup>3</sup>/j qui ne pouvait être satisfait par la SDEM du fait que chaque unité produit 20 000 M<sup>3</sup>/J).

La production a diminué du 14 au 31 juillet 2010 faute de panne des pompes HP N°09 et 02, ce qui a obligé l'intervention des équipes pour y remédier.

Néanmoins, l'eau livrée a atteint 4 765 000 M<sup>3</sup> durant le mois de juillet 2010 soit 74.45% de la capacité maximale mensuelle de l'usine. L'histogramme ci-dessous représente le détail de la livraison d'eau du mois de juillet 2010.



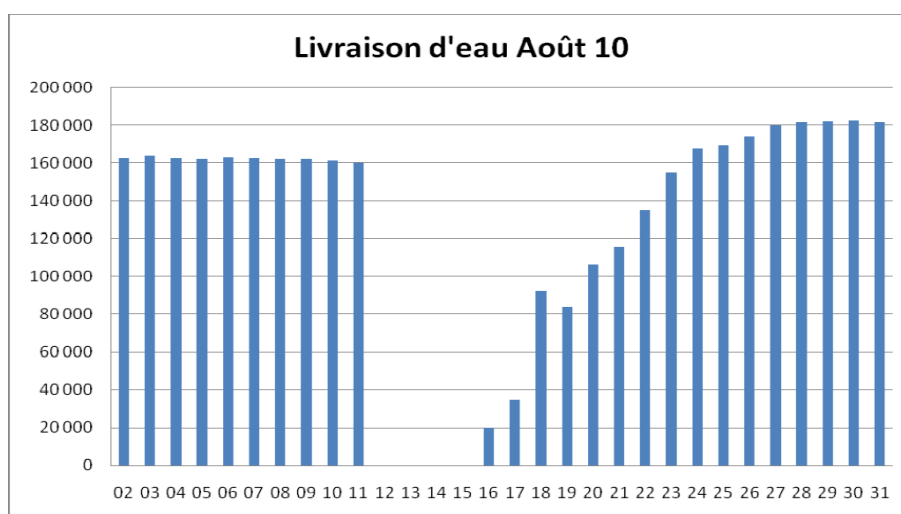
**Figure 5.8 :** La production d'eau potable durant le mois de juillet

✓ La livraison d'eau produite durant le mois d'Août 2010 est caractérisée par :

- Indisponibilité de deux unités de production pour maintenance fortuite.
- Arrêt total de la SDEM pour le lavage de la sous station électrique et la vérification des pompes HP par l'expert de Sulzer. (Du 11 au 15/08/10).

Les causes citées ci-dessus ont baissé la moyenne journalière d'eau livrée à 127 362.16 M<sup>3</sup>/J alors que la demande d'ADE/SEOR était de 200 000 M<sup>3</sup>/J. les réparations et corrections des pompes HP sont terminées le 31 août 10.

Toutefois, l'eau totale livrée durant le mois d'Août 2010 est de 3 948 227 M<sup>3</sup> soit 63.69% de la capacité maximale mensuelle de l'usine. L'histogramme ci-dessous représente le détail de la livraison d'eau du mois d'Août 2010.



**Figure 5.9** : la production d'eau potable durant le mois d'août

✓ La production et livraison d'eau à plein régime a repris durant le mois de septembre sauf que la demande d'ADE/SEOR a baissé à 180 000 m<sup>3</sup>/j, ce qui a justifié l'arrêt d'une unité de production pour satisfaire la demande du Client.

Durant le mois de septembre la production totale est de 4 828 000.00 m<sup>3</sup>.

Le taux de productivité du mois est de 80.47 %, la baisse de production d'eau est due essentiellement à :

- ✓ La demande de ADE/SEOR (180 000 M<sup>3</sup>/J) ;
- ✓ Déclenchement de la sous station électrique le 01/09/10, suite à une pollution avancée.
- ✓ Arrêt suite à une perturbation de l'énergie électrique le 14/09/10 ;
- ✓ Arrêt programmé les 24 et 25/09/10 suite à la demande de Sonelgaz.

Les causes sus citées représentent les 19.53 % de la production manquante.

- ✓ Durant le mois d'octobre 2010 la production totale est de 5 334 438.00 m<sup>3</sup>

Le taux de production du mois est de 86.04 %, la baisse de production d'eau est due essentiellement à :

- ✓ Une panne Fortuite du 11 au 17 octobre 2010 : rupture du collecteur de la ligne N°2 à la sortie des filtres à sable et anthracite. La production a été réduite de 50% durant cette période pour la réparation du collecteur.
- ✓ Arrêt programmé le 26/10/10 (coupure d'énergie électrique) : suite à la demande de Sonelgaz l'énergie électrique a été interrompue durant la journée du 26/10/10 de 7h30 à 19h30 pour permettre d'intervenir sur la ligne HT (Déroutage de câble).

Les causes sus citées représentent les 13.96 % de la production manquante.

- ✓ Durant le mois de novembre, la production d'eau est de 5 999 978.00 m<sup>3</sup>

Le taux de production du mois est de 100.00 %. Aucun incident n'est à signaler durant ce mois.

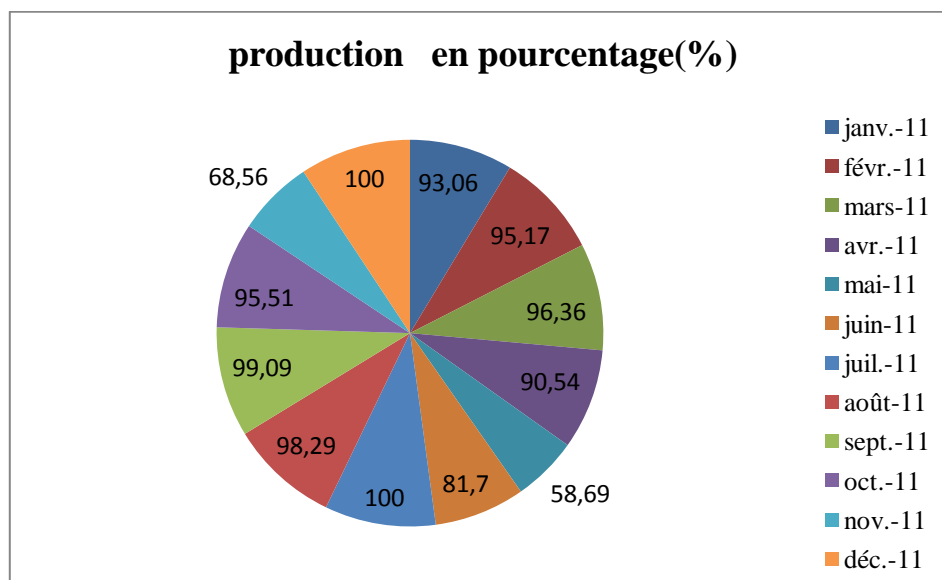
Par ailleurs, une baisse de livraison d'eau a été provoquée volontairement le dernier jour de ce mois pour respecter l'engagement de BWC de ne pas dépasser les 6 000 000 m<sup>3</sup> par mois.

- ✓ Durant le mois de décembre la production d'eau est de 4 621 236.00 m<sup>3</sup>

Le taux de productivité du mois est de 75.54%, la baisse de production d'eau est due essentiellement à :

Une panne fortuite du 24/12/10 : Rupture du collecteur d'eau de mer de la ligne N°02 à l'entrée des filtres à sable. La production a été arrêtée du 24 décembre 2010 au 02 janvier 2011 pour réparer la conduite.

### 5.2.2.2 les arrêts techniques rencontrés durant l'année 2011 :



**Figure 5.10** : Eau produite par la SDEM durant l'année 2011

#### 5.2.2.2.1 Commentaire des écarts de production enregistrés durant l'année 2011 :

- ✓ Durant le mois de janvier 2011, l'eau Totale Livrée est de 5 770 094,00 m<sup>3</sup>

Le taux de production a atteint 93.06%, la baisse de production d'eau est due essentiellement à:

- ✓ Redémarrage de la SDEM : reprise de la production progressivement à partir du 02 janvier 2011 pour comptabiliser la production maximum le 05/01/11 à 10h00, suite à l'incident enregistré en date du 24/12/2010.
- ✓ Coupure d'électricité : suite à la demande de Sonelgaz et à l'accord du Client, une coupure d'électricité est effectuée le 16/01/11 pour exécuter des travaux sur la ligne HT.

Ce qui justifie les 6.94% de la production manquante.

- ✓ Durant le mois de février, l'eau totale livrée est de 5 234 455.00m<sup>3</sup>

Le taux de production a atteint 95.17%, la baisse de production d'eau est due essentiellement à:

- ✓ L'augmentation des MES de l'eau de mer : suite aux mauvaises conditions météorologique, les Matières En Suspension (MES) de l'eau de mer ont atteint les conditions limites le 18/02/11.

A cet effet, l'exploitant était contraint d'arrêter une unité de production pour sécuriser et maîtriser la pression d'entrée aux racks d'osmose Inverse.

- ✓ Coupure d'électricité : suite à la demande de Sonelgaz et à l'accord du Client, une coupure d'électricité est effectuée le 27/02/11 pour exécuter des travaux sur la ligne HT.

Ce qui justifie les 4,83% de la production manquante.

- ✓ Durant le mois de mars, l'eau totale livrée est de 5 974 449.00 m<sup>3</sup>

Le taux de production a atteint 96.36%, la baisse de production d'eau est due essentiellement au :

- ✓ Redémarrage de l'usine : suite à l'arrêt programmé du 27/02/11 à la demande de Sonelgaz, l'usine a repris sa production maximale durant la journée du 02 au 03 mars à 10h00.
- ✓ Défaillance du Système de Contrôle : durant la journée, du 09/03/11 à 9h40, le système de contrôle (DCS) de la SDEM a connu une défaillance au niveau d'un automate qui a engendré le déclenchement du système d'arrêt d'urgence de l'usine. Après vérification du système, l'usine a repris la production progressivement à partir de 14h50 de la même journée, pour atteindre le débit maximum à 19h20.
- ✓ Rupture de stock d'acide Sulfurique : suite à la rupture de stock de l'acide sulfurique, BWC a demandé à l'O&M de réduire la production de 200 000 M<sup>3</sup>/J à 160 000 M<sup>3</sup>/J du 28 au 31 mars 2011, pour éviter un arrêt total pénalisant le Client. En effet, suite au manque de matière première et une grève au niveau de l'unique Usine d'acide sulfurique en Algérie, en l'occurrence Alzinc de Ghazaouet, l'approvisionnement s'est interrompu du 09 au 31 mars 2011 épuisant ainsi le stock de la SDEM.
- ✓ Etalonnage du Débitmètre : pour l'étalonnage du débitmètre d'expédition le 27 mars 2011, l'arrêt du système de mesure d'eau était nécessaire. Durant cette période, 25 minutes environ, l'eau livrée n'a pas été quantifiée donc non comptabilisée.

- ✓ Durant le mois d'avril, l'eau totale livrée est de 5 341 875.00 m<sup>3</sup>

Le taux de production a atteint 90.54 %, la baisse de production d'eau est due essentiellement à :

- ✓ Incident Fortuit : la SDEM a enregistré un incident fortuit causé par un court circuit au niveau de la ligne d'alimentation du captage le 08 avril 2011. L'incident a engendré un arrêt total de la SDEM du 08 au 11 avril 2011.

- Durant le mois de mai, l'eau totale livrée est de 3 638 904.00 m<sup>3</sup>

Le taux de production a atteint: 58,69 %, la baisse de production d'eau est due essentiellement à :

- ✓ La demande d'ADE : le client a demandé de baisser la production de 80%, pour intervenir sur leur réseau suite à un incident. A cet effet, la SDEM a fonctionné durant 16 jours avec une capacité de 40 000M<sup>3</sup>/J.

- Durant le mois de juin, l'eau totale livrée est de 4 907 337,00 m<sup>3</sup>

Le taux de production a atteint: 81,79%, la baisse de production d'eau est due essentiellement à :

- ✓ Incident Fortuit : durant la période allant du 04 au 12 juin 2011, la SDEM a fonctionné à 50 % de sa capacité suite à un incident au niveau du collecteur en PRFV d'eau de mer.
- ✓ Demande Sonlegaz : à La demande de Sonelgaz, la SDEM s'est arrêtée totalement durant la journée du 27 juin 2011 de 9h35 à 17h45 pour permettre à la Sonelgaz de faire une coupure d'énergie afin de réaliser des travaux sur la ligne haute tension.

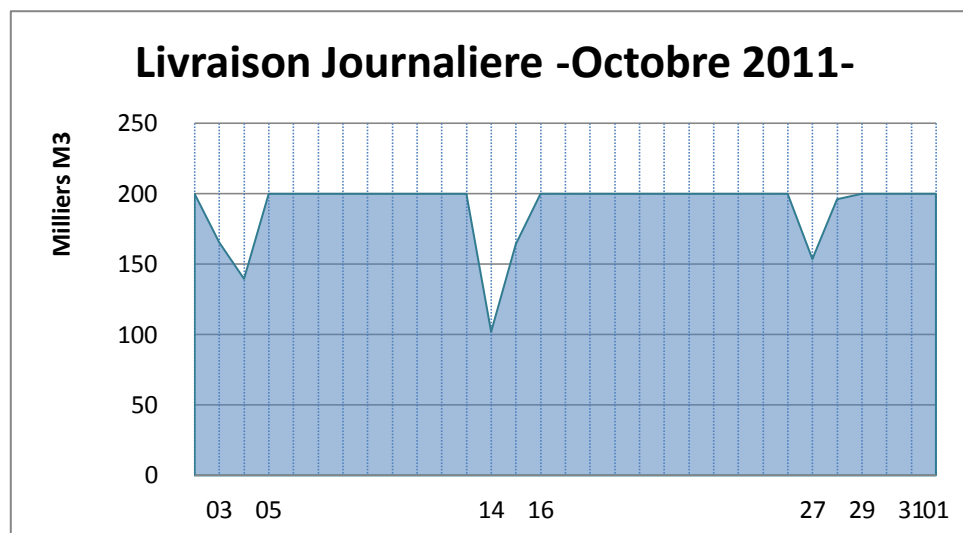
La SDEM a repris la livraison à plein régime à partir du 28 juin 2011 à 23h39.

- Durant le mois d'octobre, l'eau totale livrée est de 5 921 759 m<sup>3</sup>.

Le taux de production a atteint 95.51%, la quantité manquante non produite est due à trois incidents fortuits sans gravité qui ont perturbé la livraison d'eau, à savoir :

- 1- Déclenchement de la sous station électrique à cause de la haute densité du brouillard le 03 et 14 octobre 2011.
- 2- Déclenchement de la sous station électrique à cause d'une chute de tension sur la ligne Sonelgaz le 27/ 10/11.

L'histogramme ci-dessous représente le détail de la livraison d'eau du mois d'octobre 11:



**Figure 5.11** : La production d'eau potable durant le mois d'octobre

- Durant le mois de novembre, l'eau totale livrée est de 4 113 639.00 m<sup>3</sup>.

Le taux de production a atteint: 68,56%, la quantité manquante non produite est due à :

- ✓ Baisse de la production de la SDEM, 02 unités en arrêt, le 07 novembre 2011, suite à l'augmentation des MES de l'eau de mer.
- ✓ L'incident fortuit survenu le 13 novembre 2011 au niveau de la conduite en PRFV d'amenée d'eau de mer du captage à la zone de production.
- ✓ L'arrêt de la SDEM le 28 novembre 2011 suite aux intempéries qui ont augmenté les MES de l'eau de mer au delà du seuil requis contractuellement.

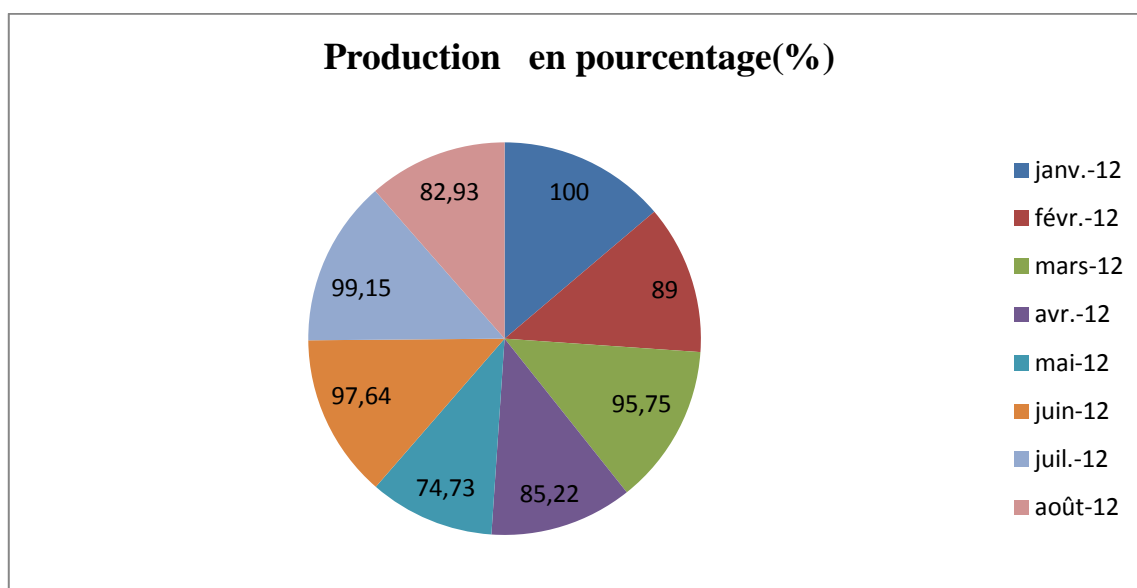
L'histogramme ci-dessous représente le détail de la livraison d'eau du mois de novembre 2011:



**Figure 5.12** : La production d'eau potable durant le mois de novembre



### 5.2.2.3 les arrêts techniques rencontrés durant la période allant de janvier à août 2012 :



**Figure 5.13** : Eau produite par la SDEM au 31 août 2012

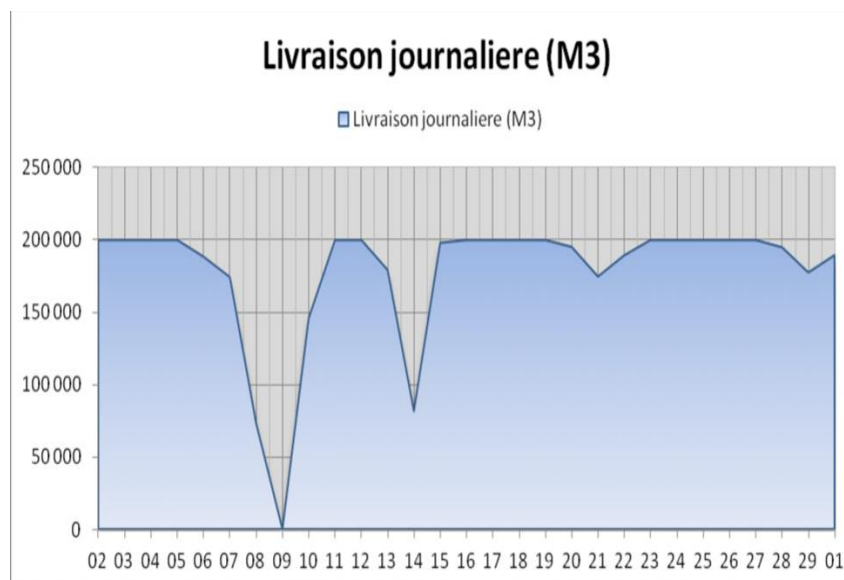
#### 5.2.2.3.1 Commentaire des écarts de production enregistrés de janvier jusqu'à 31 août 2012 :

- Durant le mois de février, l'eau totale livrée est de 5 162 702,00 m<sup>3</sup>.

Le taux de production a atteint: 89 %, l'écart est justifié par :

- ✓ L'arrêt de la station du 08 au 10 février 2012 suite à une augmentation des matières en suspension dans l'eau de mer soit > 25mg/l.
- ✓ L'arrêt de la station le 13 février 2012 pour permettre à la SONELGAZ/GRTE de faire une coupure d'électricité afin d'intervenir au niveau de leur réseau.
- ✓ La vérification du débitmètre le 13 février 2012, après midi, soit après la remise en marche de l'Usine.
- ✓ Le lavage chimique des membranes des unités 1, 2 et 10 qui s'est déroulé respectivement pour chaque unité les 06, 20 et 28 février 2012.

L'histogramme ci-dessous représente le détail de la livraison d'eau du mois de février 2012 :

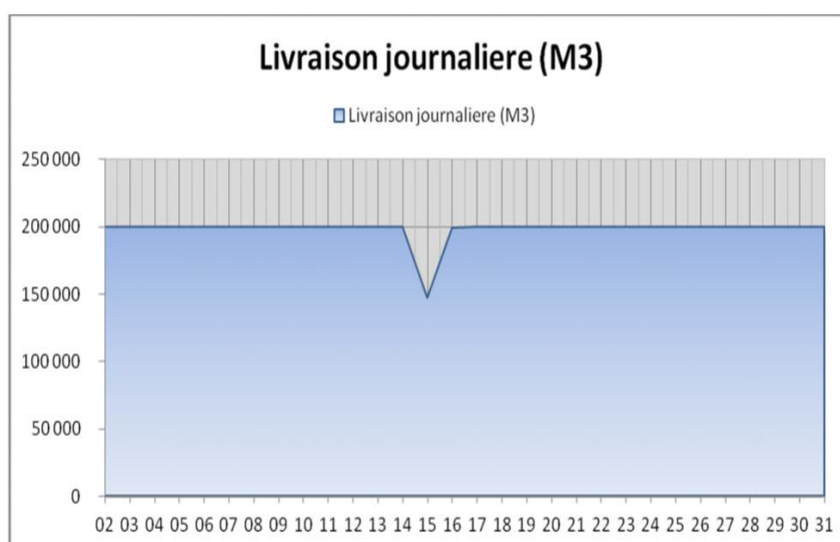


**Figure 5.14 :** La production d'eau potable durant le mois de février

- Durant le mois de Mars 2012, la livraison totale d'eau est de : 5 936 466 m<sup>3</sup>, soit un pourcentage de production de 95.75%. Le manque à produire durant ce mois est de 263 597 m<sup>3</sup> et il est justifié par l'arrêt de 7 unités de production pour le lavage chimique des membranes.
- Durant le mois d'Avril 2012, la livraison totale d'eau est de : 5 113 243 m<sup>3</sup>, soit un pourcentage de production de 85.22%. Le manque à produire durant ce mois est justifié par :
  - ✓ Les mauvaises conditions Météorologiques qui ont augmenté considérablement les MES (matières en suspension) de l'eau de mer pendant plusieurs jours.
  - ✓ Incident Technique sur un équipement DCS (Court circuit)
  - ✓ Panne d'une pompe haute pression HP.
- Durant le mois de Mai 2012, la livraison totale d'eau est de : 4 633 084 m<sup>3</sup>, soit un pourcentage de 74.73%. Le manque à produire durant ce mois est justifié par :
  - ✓ Incident Fortuit: Rupture du collecteur d'eau de mer en PRFV ;
  - ✓ Maintenance programmée ;
  - ✓ Augmentation des matières en suspension MES ;
  - ✓ la demande de l'ADE (160 000 m<sup>3</sup>/J).
- Durant le mois de Juin 2012, la livraison totale d'eau est de : 5 858 231 m<sup>3</sup>, soit un pourcentage de 97.64%. Le manque à produire durant ce mois est justifié par :

- ✓ La coupure d'électricité sur la ligne HT N°01 le 18 juin 2012 suite aux conditions météorologiques.
- Durant le mois de Juillet 2012, la livraison totale d'eau est de : 6.147.597.m<sup>3</sup>, soit un pourcentage de 99.15%. Le manque à produire durant ce mois est justifié par :
  - ✓ L'arrêt de la SDEM suite à une chute de tension enregistrée le 14 juillet 2012 à 16h04 sur le réseau HT de Sonelgaz.

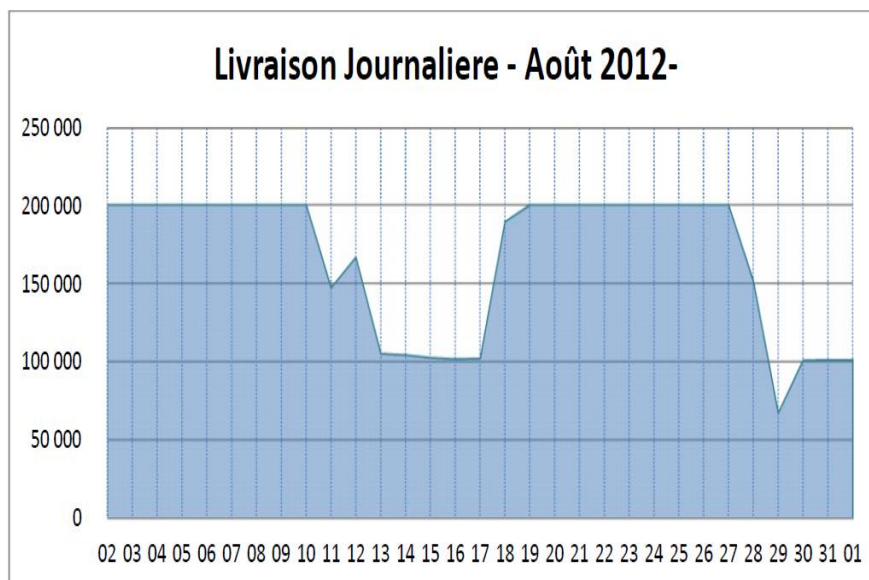
L'histogramme ci-dessous représente le détail de la livraison d'eau du mois de juillet 2012 :



**Figure 5.15** : La production d'eau potable durant le mois de juillet

- Durant le mois d'Août 2012, la livraison totale d'eau est de : 5 141 852 m<sup>3</sup>, soit un pourcentage de 82.93%. Le manque à produire durant ce mois est justifié par :
  - ✓ Le déclenchement de la sous station électrique le 11/08/12 ;
  - ✓ L'incident fortuit du 13 août 2012 causant la cassure de la conduite PRFV ;
  - ✓ Le sinistre du 28/08/12 concernant un feu dans la salle électrique de la SDEM.

L'histogramme ci-dessous représente le détail de la livraison d'eau du mois d'août 2012 :



**Figure 5.16** : Bulletin d'analyse physico-chimique de la saumure

### **5.2.3 Récapitulatif des principaux arrêts survenus durant le fonctionnement de la station :**

Le manque à produire enregistré depuis la mise en service de la station, est dû aux causes suivantes :

#### **5.2.3.1 Les Incidents fortuits :**

Les incidents fortuits sont dus essentiellement aux cassures survenues sur les conduites et aux pannes des automates.

#### **5.2.3.2 Les conditions météorologiques :**

Les conditions météorologiques ont provoqué l'arrêt total ou partiel de la SDEM plusieurs fois de suite, soit pour des raisons de forte humidité, qui a incité le déclenchement de la sous station électrique, ou pour des raisons de forte houle en mer, qui a provoqué l'augmentation des MES (matières en suspension) dans l'eau brute.

#### **5.2.3.3 Demande de coupure d'électricité de Sonelgaz :**

Suite au retard du raccordement de la 2eme ligne électrique, initialement prévu, le fournisseur d'électricité (Sonelgaz) a demandé plusieurs fois à BWC, l'autorisation de couper l'électricité pour réaliser sa propre maintenance sur la ligne HT.

#### **5.2.3.4 Demande du Client :**

Le Client a demandé un arrêt pour remédier aux problèmes survenus dans son réseau.

### 5.2.3.5 Autres (grève du fournisseur de l'acide sulfurique) :

Le mois de mars 2011, la SDEM a été contrainte de baisser la production suite au manque d'acide sulfurique en stock. Cette rupture de stock est causée par une grève du personnel du fournisseur d'acide en Algérie, ALZINC. Les pertes sont estimées à 1 240 880 M3.

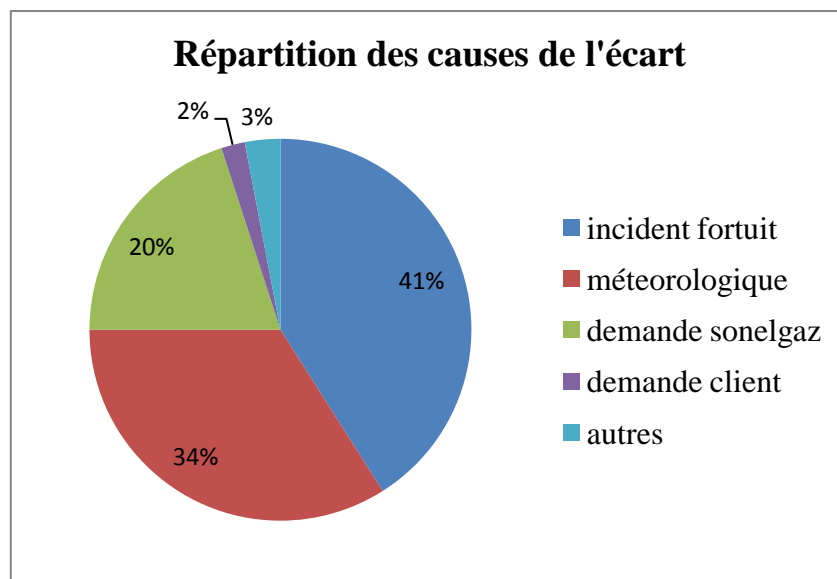


Figure 5.17 : Répartition des causes des écarts enregistrés

### 5.3 Evaluation d'impact sur l'environnement de l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chatt El Hillal :

Antérieurement à la construction de l'usine de dessalement d'eau de mer Chatt El hillal, une étude simulatrice d'évaluation d'impact sur l'environnement lors des phases de réalisation et d'exploitation a été réalisée par un bureau d'étude spécialisé.

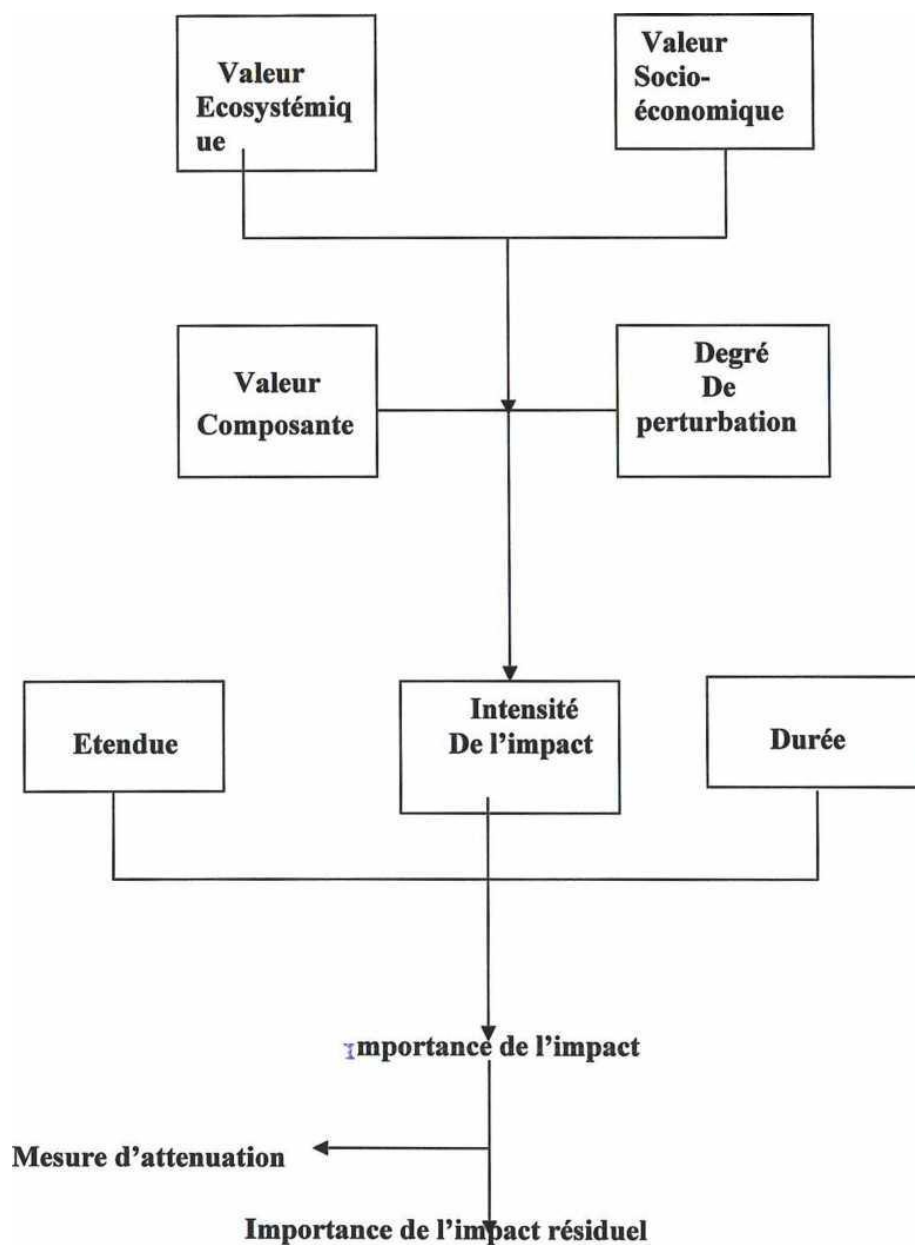
Pour étudier les effets du rejet de saumure, un modèle CORMIX (Système Comell de modélisation pour la dispersion de l'eau) a été élaboré.

CORMIX est un progiciel USEPA validé et approuvé pour l'évaluation des rejets par référence aux limites réglementaires stipulées. Il modélise la dispersion dans les modules proches et lointains distincts et donne des descriptions qualitatives du comportement du panache.

Les résultats obtenus ainsi que la méthodologie adoptée sont exposés dans cette section.

### 5.3.1 Evaluation des impacts :

L'approche méthodologique utilisée pour évaluer les impacts environnementaux de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chaat El Hillal, repose essentiellement sur l'appréciation de l'intensité, de l'étendue et de la durée de l'impact appréhendé que celui-ci soit positif ou négatif. Ces trois qualificatifs sont agrégés en un indicateur-synthèse : l'importance de l'impact, ce dernier permet de porter un jugement global sur les effets anticipés pour une composante, suite à une intervention sur le milieu.



**Figure 5.18 :** Processus de l'évaluation de l'importance de l'impact <sup>5</sup>

<sup>5</sup> Source : étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chatt El hillal p 67.

### 5.3.1.1 méthodologies de l'étude :

**5.3.1.1.1 La valeur socio-économique :** elle intègre à la fois la valeur éco systémique et la valeur socio économique en retenant la plus forte de ces deux valeurs qui nous donne la valeur de la composante : grande, moyenne ou faible.

**5.3.1.1.2 Degré de perturbation d'une composante:** celle-ci définit l'ampleur des modifications qui affecteront la composante à l'étude compte rendu de sa sensibilité par rapport à l'aménagement proposé.

Selon la nature de la composante considérée, ces modifications peuvent être positives ou négatives. L'effet de la composante environnementale peut être direct ou indirect.

Le degré de perturbation est jugé :

- **Elevé**, lorsque l'impact met en cause l'intégrité de la composante environnementale affectée, ou modifie fortement et de façon irréversible cette composante ou bien l'utilisation qui en est faite.
- **Moyen** : lorsque l'impact entraîne une réduction ou une augmentation de la qualité ou de l'utilisation de la composante environnementale touchée sans pour autant compromettre son intégrité.
- **Faible** : lorsque l'impact ne modifie que de façon peu perceptible la qualité, l'utilisation ou l'intégrité de la composante environnementale affectée.

**5.3.1.1.3 l'intensité de l'impact :** Quatre niveaux d'intensité de l'impact, variant de très forte à faible, résultent de l'interaction entre les trois degrés de perturbation (élevé, moyen, faible) et les trois classes de valeur de la composante (grande, moyenne et faible). Le tableau ci-dessous indique les différentes combinaisons considérées.

**Tableau 5.3 :** Grille de détermination de l'intensité de l'impact<sup>6</sup>

Degré de perturbation	Valeur de la composante		
	Grande	Moyenne	Faible
Elevé	Très Forte	Forte	Moyenne
Moyen	Forte	Moyenne	Faible
Faible	Moyenne	Faible	Faible

<sup>6</sup> Source : étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chatt El hillal p 68.

**5.3.1.1.4 Etendue de l'impact :** l'étendue de l'impact exprime la portée ou le rayonnement spatial des effets générés par une intervention sur le milieu. Les trois niveaux considérés pour qualifier l'étendue d'un impact sont:

- L'étendue régionale
- L'étendue locale
- L'étendue ponctuelle

**5.3.1.1.5 Durée de l'impact :** la durée de l'impact précise sa dimension temporelle, soit la période de temps pendant laquelle seront ressenties les modifications subies par une composante. (Longue, moyenne, courte durée).

**5.3.1.1.6 L'importance de l'impact :** l'interaction entre l'intensité, l'étendue, et la durée permet de définir le niveau d'importance de l'impact.

**5.3.1.1.7 Mesure d'atténuation :** La dernière étape de l'évaluation, consiste à déterminer l'importance résiduelle de l'impact suite à la mise en place des mesures d'atténuation.

### **5.3.1.2 Les impacts potentiels de l'exploitation de l'usine de dessalement :**

#### **5.3.1.2.1 Impact sur l'environnement marin**

##### **5.3.1.2.1-a Impacts sur la flore marine provoqués par le rejet de saumure et de nettoyage des filtres et membranes**

Pendant l'exploitation, un mélange de saumure, d'eau de refroidissement, d'effluents de lavage des filtres et membranes est rejeté par le canal de rejet. La concentration en matières de suspension dans la saumure est d'environ 36.700 - 69.250 ppm. Le débit de rejet est de 7.083 m<sup>3</sup>/h.

Il n'existe aucune norme algérienne ou de la Banque Mondiale en ce qui concerne le rejet de matières en suspension dans le milieu marin.

En raison du taux élevé d'évaporation et des faibles apports d'eau douce, la salinité en Méditerranée occidentale est d'environ 38.000 ppm. En rejetant à la mer une saumure contenant 69.250 ppm de matières en suspension, la salinité localisée au voisinage immédiat de la canalisation de rejet augmentera. L'effet pourra se répercuter localement sur la flore et la faune marines.

Afin d'étudier les effets du rejet de saumure un modèle CORMIX ( Système Comell de modélisation pour la dispersion de l'eau ) a été élaboré. CORMIX est un progiciel USEPA validé et approuvé pour l'évaluation des rejets par référence aux limites réglementaires



stipulées. Il modélise la dispersion dans les modules proches et lointains distincts et donne des descriptions qualitatives du comportement du panache.

Les résultats du modèle CORMIX montrent que la variante ayant l'impact le plus faible sur la prairie correspond aux paramètres suivants :

Afin d'évaluer les impacts des rejets hyper salins (augmentation de la salinité, turbidité, produits chimiques toxiques, nutriments, matières organiques) sur les biotes marins et plus concrètement, sur la prairie de *Cymodocea nodosa*, divers projet de recherches sont en cours actuellement sur les écosystèmes de phanérogames marines. Diverses études paraissent confirmer que la *Cymodocea nodosa*, serait la plus résistante aux variations de salinité.

Certains résultats publiés ont déterminé que *Posidonia océanique* pouvait résister à des salinités comprises entre 30.500 ppm et 40.000 ppm .Concrètement le seuil de tolérance à ne pas dépasser dans aucun point de la prairie de *Posidonia océanique* et de 39.000 ppm soit un accroissement maximal de 2g/l de salinité sur une valeur moyenne d'eau de mer. La *cymodocea nodosa* est plus tolérante aux variations de salinité.

La conception du canal de rejet a été faite en tenant compte de la variante citée ci-dessus, en effet le secteur de *Cymodocea* touchée serait de 36 ha avec des augmentations en concentration en sel.

- Maximum : 0,96 g/l
- Moyen : 0,34 g/l

Avec ces augmentations de concentration de sel, la salinité qui pourrait supposer une menace pour la prairie ne serait pas atteinte et de ce fait l'impact serait considéré comme faible.

**Milieu :** marin

**Composante affectée :** flore marine

**Description de l'impact :** effet du rejet de saumure sur la flore marine

**Source d'impact :** Conduite de rejet

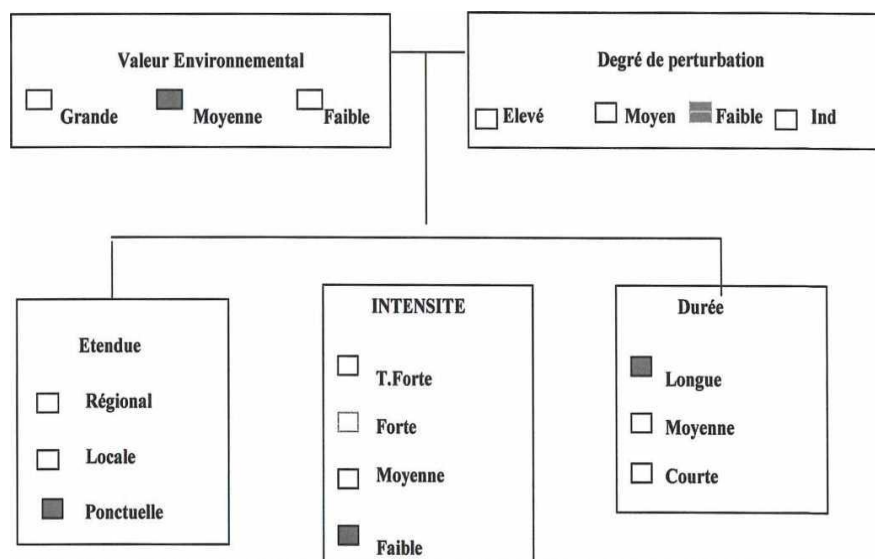


Figure 5.19 : Fiche d'impact sur la flore marine<sup>7</sup>

L'importance de l'impact est faible.

#### 5.3.1.2.1-b Impacts sur la faune marine provoqué par le rejet de saumure et de nettoyage des filtres et membranes :

Comme pour le cas de la flore, les communautés faunistiques peuvent être affectées par les rejets de saumure.

La mobilité de la population des poissons, leur permettra d'éviter les endroits à haute salinité, et de contourner les zones boueuses provenant des opérations d'entretien et nettoyage de l'installation.

Il n'y a aucun impact sur les espèces des eaux libres ni les espèces de fond car les augmentations de salinité seront inférieures à 1 gr/l.

Des recherches ont été élaborées sur les effets de rejets de saumure sur d'autres espèces, comme les échinodermes (*Paracentrotus lividus*).

La plus part des échinodermes sont sténohalins et donc très susceptibles aux changements de salinité, par rapport à la durée d'exposition et la concentration de sels dans la colonne d'eau.

Les études effectuées indiquent que le groupe des échinodermes en général, et particulièrement *Paracentrotus lividus*, sont des organismes sessiles ou de faible mobilité et exempts de tout mécanisme d'osmorégulation efficace, ils peuvent être un bon indicateur de l'impact environnemental des rejets des unités de dessalement en milieu

<sup>7</sup> Source : étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chatt El hillal p 90.

marin. La salinité qui provoque la mortalité de 50% de la population après une exposition continue durant 96 heures a oscillé entre 40.550 ppm et 42.830 ppm.

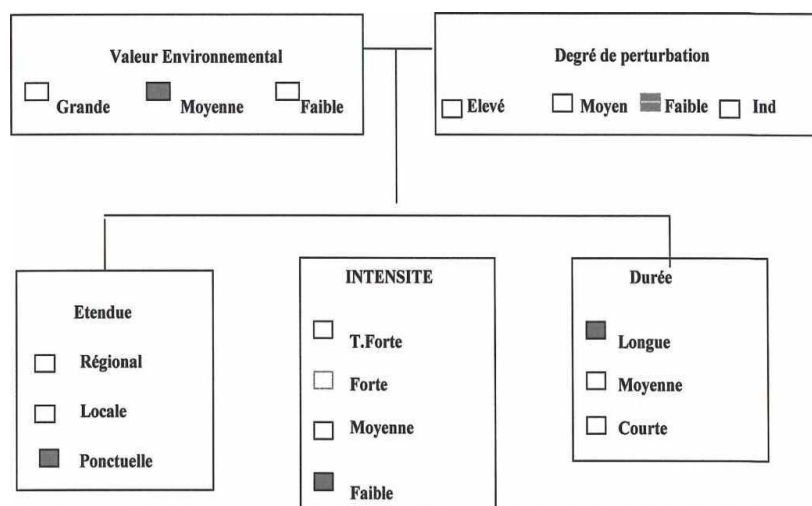
L'émissaire a été conçu en tenant compte des résultats obtenus afin d'atténuer les effets négatifs sur la faune marine

**Description de l'impact :** effet du rejet de saumure sur la faune marine

**Source d'impact :** Conduite de rejet

**Milieu :** marin

**Composante affectée :** faune marine



**Figure 5.20:** Fiche d'impact sur la faune marine<sup>8</sup>

L'importance de l'impact est faible.

### 5.3.1.2.2 Impact sur la qualité de l'eau :

La concentration de chlore et autre produit chimique qui peut être rejetée à la mer est régie par une limite réglementaire qui est respectée grâce à la neutralisation avant le rejet. Par conséquent les impacts que de fortes concentrations de chlore auraient sur la flore marine seront minimisés.

### 5.3.1.2.3 Captage par contact et entrainement potentiels de la flore et de la faune a la prise d'eau de mer.

L'eau de mer est prélevée par un ouvrage de prise à une profondeur de 15 - 20 m à un débit de 7.083 m<sup>3</sup>/h composé de deux tuyaux prenant appui dans des tranchées du lit marin et recouvert d'une protection. Ces tuyaux en polyéthylène de 1200 mm de diamètre et d'une longueur de 1050 mm sont pourvus de tours de prise en béton armé pour prendre

<sup>8</sup> Source : étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chatt El hillal p 92.

l'eau d'une profondeur intermédiaire en évitant le plus possible l'entrée de sables et de matières flottantes.

#### 5.3.1.2.4 Impact lié aux déchets solides :

Les déchets solides générés lors de l'exploitation de l'usine comprennent les éléments suivants :

Déchets généraux du complexe : Chiffons huileux, ferrailles et pièces de machines cassées et rouillées, conteneurs vides, déchets divers.

Des membranes usagées ;

Des boues de traitement des rejets ;

Déchets d'emballage ;

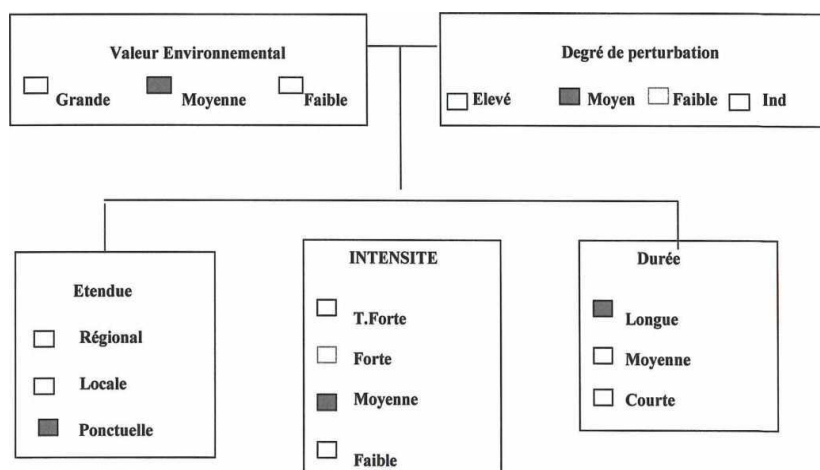
Déchets commerciaux : déchets de bureaux, cantine et autres installations.

**Milieu :** marin et terrestre

**Composante affectée :** la mer

**Description de l'impact :** production des déchets

**Source d'impact :** exploitation de la station de dessalement de l'eau de mer



**Figure 5.21:** Fiche d'impact dû à la production des déchets<sup>9</sup>

L'importance de l'impact est moyenne.

<sup>9</sup> Source : étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chatt El hillal p 94.

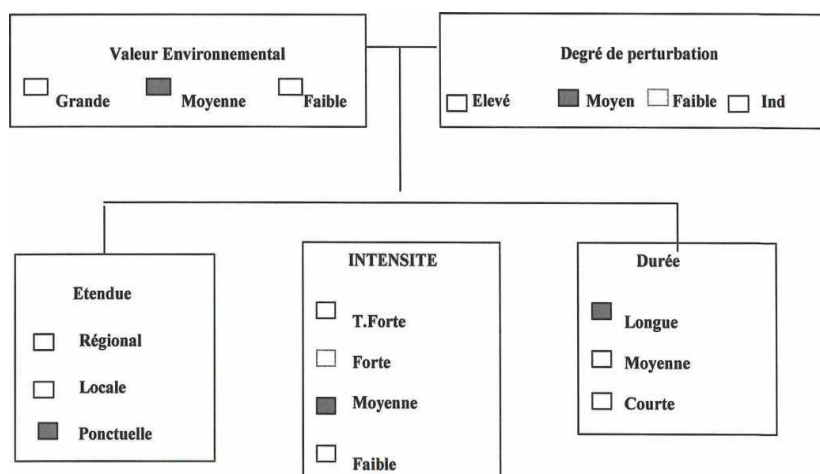
### 5.3.1.2.5 Impact sur le paysage :

L'usine de dessalement représente une zone continue de machines et ouvrages auxiliaires couvrant une superficie d'environ 33,9 hectares. Le caractère existant du paysage est de nature touristique. Les sites adjacents étant eux-mêmes des villages balnéaires, il y aura donc une modification du caractère.

**Milieu :** terrestre

**Description de l'impact :** modification du paysage

**Source d'impact :** réalisation et exploitation de la station de dessalement de l'eau de mer



**Figure 5.22 :** Fiche d'impact sur le paysage<sup>10</sup>

L'importance de l'impact est moyenne

### 5.3.1.2.6 Impact sonore :

Le bruit lié à l'exploitation de l'usine de dessalement est produit par les éléments suivants :

- Les transformateurs
- Les moteurs auxiliaires, pompes, compresseur et vannes
- Ejecteurs de vapeur

Le complexe est exploité conformément aux directives nationales et à celle de la Banque mondiale, le contrôle de bruit étant inclus dans le cahier des charges.

L'usine est localisée dans une zone touristique, près des zones d'habitations et des colonies de vacance.

**Milieu :** physique

**Description de l'impact :** impact sonore

**Source d'impact :** réalisation et exploitation de la station de dessalement de l'eau de mer

<sup>10</sup> Source : étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chatt El hillal p 95.

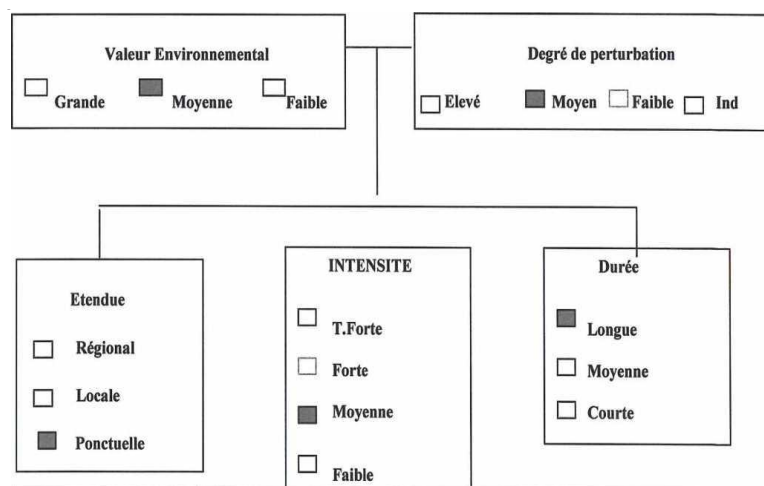


Figure 5.23 : Fiche d'impact sonore <sup>11</sup>

L'importance de l'impact est moyenne.

#### 5.3.1.2.7 Aspects socio- économique :

L'exploitation de l'usine a des impacts positifs tel que :

- La création considérable d'emploi ;
- Amélioration de l'économie locale grâce à un marché pour les produits locaux ;
- Production d'eau potable de qualité, par conséquent une diminution des maladies à transmission hydrique.

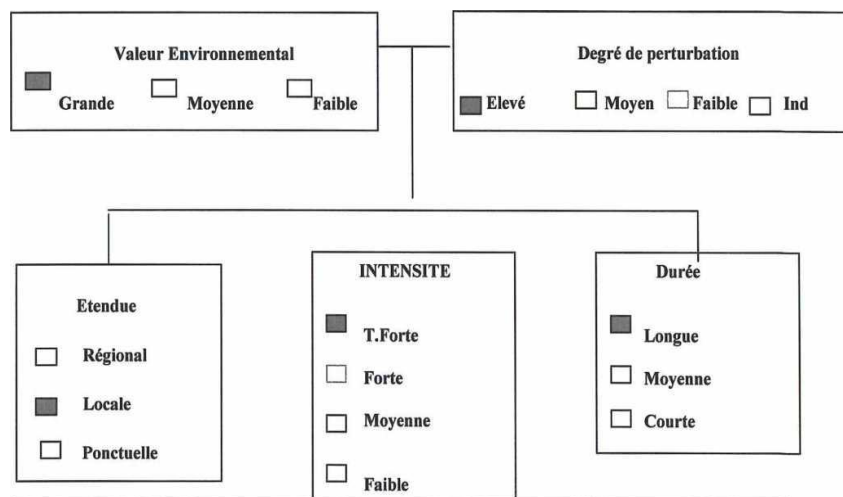
**Milieu :** physique, biologique, humain

**Période :** construction et exploitation

**Source d'impact :** réalisation et exploitation de la station de dessalement

**Description de l'impact :** Production d'eau, création d'emploi, amélioration de l'économie locale

<sup>11</sup> Source : étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chatt El hillal p 97.



**Figure 5.24** : Fiche d'impact socio-économique<sup>12</sup>

L'importance de l'impact est très forte.

<sup>12</sup> Source : étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chatt El hillal p 99.

Tableau 5.4 : Bilan des impacts <sup>13</sup>

Composante Affectée	Source de l'impact	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation,	Impact résiduel	Importance de l'impact
Fiche N°01 Environnement marin (Flore)	Rejet de saumure et de nettoyage des filtres et membranes	Faible	Elaboration d'un modèle de dispersion de l'eau CORMIX pour déterminer l'emplacement du rejet ayant le moins d'impact sur le milieu marin	Augmentation de sel < à lg/l aucune surface ne sera affectée	Faible +
Fiche N°02 Environnement marin (faune)	Rejet de saumure et de nettoyage des filtres et membranes	Faible	Elaboration d'un modèle de dispersion de l'eau CORMIX pour déterminer l'emplacement du rejet ayant le moins d'impact sur le milieu marin	Augmentation de sel < à lg/l	Faible +
Fiche N°03 Déchets solides	Exploitation de la station de dessalement	Moyenne	Mise en place d'un plan de gestion des déchets solides	Environnementale	Moyenne +
Fiche N°04	Exploitation de la station de dessalement	Moyenne	Plantation autour du site du projet, Couleurs pâles sur les ouvrages de grande hauteur	Esthétique	Moyenne +
Fiche N° 05	Exploitation de la station de dessalement	Faible	Aucune mesure		
Fiche N° 06 Ambiance Sonore	Fonctionnement des transformateurs, moteurs, pompes et éjecteur de vapeur	Moyen	Respect de la réglementation, Isolation des bâtiments, blindage des moteurs pompes etc. ;	Niveau du bruit normal de l'exploitation	Faible
Fiche N° 07 Socio – économique	Exploitation de l'usine	T Forte +	Création d'emploi et production d'eau potable de qualité, développement Du tourisme, commerce hôtellerie construction, agriculture etc.	Economique, financier, tourisme, agricole etc.	T. Forte +

<sup>13</sup> Source : étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de Chatt El hillal p 116.



### **5.3.2- Mesures d'atténuation des impacts sur l'environnement :**

#### **5.3.2.1 l'environnement marin :**

L'impact le plus important sur l'environnement marin pendant l'exploitation est l'effet de rejet de saumure, de lavage des filtres et membranes, sur la flore et la faune marines. A la lumière des résultats de l'étude de diffusion par modélisation avec le programme CORMIX dans différentes conditions, la principale recommandation et mesure d'atténuation des effets de rejets est la réalisation du canal de rejet de l'usine de dessalement en respectant la variante recommandée suivante :

- ✓ Profondeur du point de rejet : 5 mètres
- ✓ Coordonnées : 656.465 m et 3.915.173 m
- ✓ Hauteur de la bouche de rejet sur le fond : 1m
- ✓ Diamètre de la bouche : 0,92 m

Cette variante qui a été retenue et réalisée, a l'impact le plus faible sur la prairie

#### **5.3.2.2 Bruit :**

Des mesures standard d'atténuation du bruit conformes aux règles de l'art ont été prises en compte. Elles comprennent en particulier :

- Isolation des bâtiments ;
- Utilisation de noyaux très efficaces, à bruit réduit et à écran acoustique autour des principaux transformateurs.
- Blindage des moteurs, pompes.

Le niveau de bruit normal de l'exploitation de l'usine est conforme à toutes les limites applicables et stipulées par les réglementations algériennes et celles de la banque Mondiale.

La maintenance de l'usine comprend l'entretien du dépôt, les inspections, l'entretien des équipements, et le remplacement des équipements de temps à autre .Les activités de maintenance ne nécessitent pas des opérations qui produisent un bruit important.

#### **5.3.2.3 Ressources en eau :**

L'usine est munie d'un réseau d'assainissement contrôlé du site. Les réservoirs de stockage de l'huile et des produits chimiques sont munis de cuves de rétention de capacité supérieure à celle du stockage

Les eaux contaminées par des huiles seront collectées et acheminées vers un séparateur d'huile avant d'être évacuées vers le réseau d'assainissement du site.

Les eaux de lavage des filtres et des membranes font l'objet d'un traitement avant rejet en mer :

- Neutralisation par de l'hydroxyde calcique
- Précipitation
- Sédimentation
- Elimination des boues vers un lit de séchage d'une STEP proche du site (Ain Témouchent).

Tous les rejets de l'usine, au regard des résultats des analyses (voir annexe) sont conformes aux normes algériennes.

#### **5.3.2.4 Respect du paysage et de l'esthétique :**

Un aménagement paysagiste prévu initialement a été effectivement réalisé, il comprend notamment des plantations autour du site de l'usine aux fins de le masquer des zones adjacentes.

En outre, et conformément au plan d'aménagement une attention particulière a été portée au choix des couleurs, des finitions et des matériaux, comme on a de même veillé à utiliser des couleurs pâles sur les ouvrages de grande hauteur pour limiter les impacts sur la ligne d'horizon.

Ces mesures d'aménagement ont permis l'intégration de l'unité dans le village balnéaire.

#### **5.3.2.5 Perte de superficie exploitable dans l'emprise :**

L'arrêté N°084 du 23 janvier 2006 « portant reprise des terrains agricoles pour la réalisation de l'usine de dessalement d'eau de mer de la plage El Hillal de la commune de Ouled Kihel » a permis l'acquisition à l'amiable des exploitations agricoles suivantes au profit du projet.

- ✓ L'exploitation agricole collective N°02 Moukhloua Kacem d'une superficie de 2 hectares, 05 ares et 35 centiares.
- ✓ L'exploitation agricole individuelle Bounouira Kadour, 00 hectares, 60 ares et 35 centiares avec un puits d'une profondeur de 25 mètres.

L'article 03 de l'arrêté stipule : les personnes seront indemnisées à l'intitulé du compte spécial du trésor N°302048 sur la base de l'estimation du service des domaines soit :

- ✓ L'exploitation agricole collective N°02 Moukhloua Kacem : 225.588,00 DA
- ✓ L'exploitation agricole individuelle Bounouira Kadour : 90.525,00 DA

### **5.3.2.6 Déchets :**

Un plan de gestion des déchets solides pour le site a été mis en œuvre pendant la construction, pour assurer un niveau élevé de gestion des déchets solides.

Des mesures d'atténuation ont été mises en œuvre conformément à la réglementation en vigueur :

Les déchets solides sont classés selon leur type et déposés dans un site prévu à cet effet ;

- ✓ Les déchets récupérables (palette de bois, sac plastique, ou BIG BAG, ferraille) font l'objet d'une procédure de vente.
- ✓ Les déchets spéciaux sont stockés dans un hangar et font l'objet d'une Déclaration, conformément à la réglementation (les membranes usagées feront l'objet d'une attention particulière).
- ✓ Les déchets de papier -carton, bouteilles plastiques, verres seront acheminés vers les recycleurs.
- ✓ Les déchets de cantine vers le Centre d'enfouissement technique des déchets solides de Ain Témouchent.

Les déchets ne sont jamais incinérés à ciel ouvert.

### **5.3.2.7 Risque d'incendie :**

L'usine de dessalement est dotée d'un réseau anti-incendie conforme à la réglementation notamment la loi N° 88-07 du 26 janvier 1988 relative à la prévention et à la lutte en matière d'incendie sur les lieux de travail.

Des extincteurs de différents types et capacités, en nombre suffisant, facilement accessibles sont répartis convenablement dans l'usine.

Des consignes particulières au personnel de maîtrise et au personnel de gardiennage et de surveillance sont en vigueur et font l'objet de suivi rigoureux.

### **5.3.2.8 Risques sismiques :**

Grâce à l'application de normes parasismiques exigées par les réglementations algériennes RPA 88 et les codes spécifiques PS 69, l'étude des bâtiments, basée sur l'évaluation des données historiques et mesures des événements sismiques enregistrés dans la région, les impacts potentiels d'un événement sismique pendant l'exploitation ne seront pas importants.

### **5.3.2.9 Risques d'inondation :**

Les travaux de nivellement et de préparation du site de l'usine de dessalement ont été conçus et implantés pour résister à des crues ; le réseau d'assainissement a été construit de

manière à évacuer les eaux en cas d'inondation. Les eaux éventuellement contaminées seront évacuées vers un séparateur d'huile.

#### **5.3.2.10 Prévention des risques majeurs et intervention en cas d'urgence :**

Une évaluation a été réalisée en vue d'identifier et d'évaluer les dangers liés à l'exploitation de l'usine de dessalement ; les recommandations de cette évaluation seront appliquées dans la mesure du possible.

Un document détaillant le plan d'intervention en cas d'urgence a été élaboré .il stipule notamment :

- ✓ L'Evaluation, préalablement à l'exploitation, des risques et des dangers EHS liés à l'exploitation, dans le respect des habitudes culturelles locales, du niveau d'éducation de la main d'œuvre et de la déontologie du travail locale.
- ✓ L'Organisation d'une formation appropriée sur les questions EHS pour l'ensemble du personnel d'exploitation, y compris une formation initiale et des cours de remise à niveau à intervalles réguliers.
- ✓La Diffusion des informations en matière d'hygiène et de sécurité.
- ✓L'Inspection, la révision et l'archivage réguliers des performances EHS.
- ✓Maintenance d'un bon niveau de propreté et de rangement des locaux à tout moment.

**Conclusion :**

En conclusion et après étude de l'analyse environnementale de l'usine, il en ressort que l'utilisation d'eau dessalée a des incidences sur l'environnement, à la fois positives et négatives :

- ✓ L'accroissement des disponibilités en eau douce.
- ✓ La création de postes de travail, l'usine de Béni Saf, par l'ampleur de sa capacité de production, a besoin d'un total de 80 travailleurs embauchés à plein temps et ayant un contrat à durée indéterminée.
- ✓ La préservation des ressources conventionnelles par l'atténuation de leur surexploitation.
- ✓ L'effet multiplicateur indirect sur la croissance, les activités économiques et l'industrie du tourisme ;
- ✓ L'amélioration de la qualité de vie grâce à l'élimination des restrictions de consommation d'eau potable ;
- ✓ Le problème le plus immédiat est posé par l'élimination sans danger de la saumure résiduelle extrêmement concentrée provenant des unités de dessalement. Cet effluent est dangereux pour la vie végétale et animale et il convient de prendre des précautions si l'on veut éviter d'altérer l'écosystème local. L'élimination de la saumure et des résidus provenant du dessalement aura des répercussions sur les plans d'eau dans lesquels ils seront rejetés. L'élimination de la saumure dans les zones côtières et intérieures n'aura pas la même incidence. L'élimination à l'intérieur des terres est parfois relativement complexe mais il est possible d'utiliser les étangs à sel où l'on peut récupérer de l'énergie calorifique pour conduire le processus de dessalement. Toutefois, il existe des risques potentiels de pollution des eaux souterraines si les étangs ne sont pas étanches. Le rejet côtier direct, plus simple en apparence, est susceptible d'avoir des retombées considérables sur l'environnement marin en modifiant la salinité et la température.
- ✓ Le dessalement est gourmand en énergie et dépend presque entièrement de l'énergie tirée des combustibles fossiles. Selon les estimations, 1m<sup>3</sup> d'eau dessalée demande 1 litre de combustible. Par conséquent, le dessalement utilisant les technologies établies est susceptible de contribuer d'une manière non négligeable à l'émission de gaz à effet de serre et au changement climatique.

- ✓ Les infrastructures requises pour héberger l'unité de dessalement ont parfois un impact visuel sur le paysage, sans oublier le problème de la pollution acoustique. Toutefois, les usines de dessalement peuvent susciter moins d'opposition que d'autres options d'amélioration de l'approvisionnement en eau, par exemple l'aménagement de barrages/citernes compte tenu des ennuis consécutifs susceptibles d'accompagner leur construction.
- ✓ Il existe des technologies et des options de gestion permettant de réduire les effets négatifs; mais une surveillance permanente des effluents et des recherches sur l'élimination de la saumure restent indispensables.
- ✓ Les évaluations d'impact sur l'environnement sont un élément essentiel de la surveillance si l'on veut atténuer les effets indésirables. Toutefois, pour l'heure, il n'existe pas de directives environnementales détaillées et reconnues s'appliquant spécifiquement aux usines de dessalement.

## Conclusion générale

En conclusion, et selon l'appréciation des chercheurs, les conséquences environnementales de l'exploitation des usines de dessalement sont à l'heure actuelle controversées.

Bien que le dessalement de l'eau de mer apporte une solution aux régions côtières victimes de la sécheresse, tous les procédés utilisés présentement sont gourmands en énergie, et non sans risque pour le milieu marin environnant.

En effet le problème des rejets saumâtres à forte concentration en sortie des installations de dessalement, leur effet sur la ressource halieutique et la flore sous-marine des régions côtières soulèvent de légitimes inquiétudes. Le cycle du dessalement n'a pas encore démontré qu'il était totalement vertueux.

Même si on résolvait la question énergétique, qui pour les installations du cas de notre étude, consomme de l'énergie non propre, il resterait un second problème, celui de la pollution du milieu marin environnant. Quel que soit le procédé utilisé, toutes les usines de dessalement produisent d'importantes quantités de saumure. Dans le cas de l'osmose inverse, la température du concentré évacué par ces usines n'augmente pas par rapport à celle de l'eau de mer alors qu'elle est de 5 °C à 15 °C supérieure dans le cas des unités de distillation. Même si la quantité de sel rejetée ne change pas, la saumure est deux fois plus concentrée en sel que l'eau de mer avec l'osmose inverse, et seulement 10 % à 15 % avec la distillation. Dans les deux cas, elle contient des résidus chimiques, des sous-produits de réactions et des particules métalliques issues de la corrosion. Les usines de dessalement doivent en effet subir des opérations de prétraitement et de nettoyage chimiques afin d'éviter les bio salissures, la formation de tartre, et autres nuisances. En conséquence, les installations peuvent avoir des effets néfastes sur le milieu marin, surtout si elles déversent la saumure dans des écosystèmes fragiles.

Malgré les nombreux atouts du dessalement, son impact environnemental demeure donc une préoccupation majeure. Ses avantages et inconvénients doivent être évalués en termes de coûts et bénéfices, sociétaux et environnementaux, et comparés aux autres procédés de production d'eau douce.

Certains chercheurs tentent de calmer ces inquiétudes en rappelant le constat d'évidence : le dessalement est un processus naturel et massivement réalisé à chaque instant. Le plus grand système de dessalement d'eau de mer est le soleil, par le système de l'évaporation.

Ensuite, la plus grande quantité de sel délivrée dans l'océan l'est quand même de manière naturelle, par les fleuves (chaque année environ 2 milliards de tonnes de sel dans la mer, par le biais de l'érosion des roches qu'ils « usent » !).

Ces deux dispositifs auraient dû faire monter la salinité des océans, avec le temps. Mais ceux-ci ont des systèmes de recyclage du sel : « Le calcium est utilisé par les organismes marins pour former ensuite des sédiments calcaires, le potassium vient se fixer dans les fonds argileux. Le sodium, notre sel, se voit, au même titre que le magnésium, emprisonné pour partie dans les montagnes sous-marines que forment les dorsales océaniques. » Du coup, le taux de salinité des océans reste stable (34 grammes de sel par litre d'eau) depuis l'ère primaire (il y a 500 millions d'années, en gros).

Un chercheur, Jason Antenucci, directeur du centre de recherche sur l'eau australien, a fait des études qui montrent que le courant disperse le sel et qu'au-delà de 500 mètres autour du dispositif, les taux de salinité sont normaux. Cependant, dans certaines zones, il faut très probablement prendre des précautions spécifiques : littoraux fragiles, zones où le courant ne permet pas la diffusion du sel, etc. C'est ce que pense la chercheuse Françoise Elbaz-Poulichet, scientifique du laboratoire Hydrosiences (CNRS) à l'université de Montpellier.

Le dessalement de l'eau de mer : une technique aujourd'hui fiable et moins onéreuse que la technique dite de recyclage des eaux usées.

Par ailleurs et sur le plan socio-économique une autre question est éludée du débat, c'est celle des pertes et fuites d'eau, qui représente entre 20 et 30% de la « consommation » d'eau dans le monde et un taux encore plus élevé en Algérie, La lutte contre ce gâchis permettrait, pour un prix représentant 10 à 25% du prix du dessalement, de répondre à une part significative du besoin en eau.

Pourquoi la lutte contre les fuites (sans même parler du gaspillage) n'est pas au cœur des politiques de gestion de l'eau ? Outre les logiques propres aux acteurs politiques, les décideurs agissent souvent dans l'urgence, acculés à trouver une solution palliative à la surexploitation de leurs ressources les plus accessibles.

La construction d'une usine de dessalement apparaît alors plus rapide que la rénovation de l'ensemble du réseau de distribution (celui de l'Algérie n'ayant pas été rénové, par exemple, depuis l'indépendance). De plus, des blocages subsistent du fait de caractéristiques propres



aux États. Dans les pays riches et pétroliers, il existe un consensus quant au « Consentement À Payer » (prix qu'une population est prête à payer pour l'eau du robinet) : la population consent à payer un peu plus, pour obtenir un meilleur confort, d'autant plus qu'en grande partie ce coût supplémentaire est directement amorti par l'Etat.

Cette vision à court terme encourage le gaspillage.

C'est pourquoi, même s'il ne faut pas rejeter le dessalement en tant que tel, il doit être utilisé comme un moyen, et non une fin, afin d'amorcer une transition vers un système plus rationalisé et équilibré de gestion de l'eau. Il s'agit d'un bon outil complémentaire et transitoire, donnant du temps aux décideurs afin de convaincre leurs opinions de la nécessité de revoir leur consommation d'eau tout en répondant à l'urgence de la hausse de la demande. Il est donc nécessaire de privilégier une réduction de la consommation et une rationalisation de la gestion de l'eau.

## Références Bibliographiques :

### Ouvrages :

- Antoine Frérot. L'eau pour une culture de la responsabilité, Editions Autrement 2009.
- Danis P. Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur, J 2700. Juin 2003.
- Anctil François. L'eau et ses enjeux. De Boeck Supérieur, 2008.
- Assouline Janine et Samuel. Géopolitique de l'eau. Nature et enjeux. Studyrama perspectives, 2007.
- Maurel A. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Edition Lavoisier, Tec&Doc, 10- 2001.
- Maurel A. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Paris, Lavoisier Tec&Doc 2006, p 286.
- Maurel, A. Dessalement de l'eau de mer Technique de l'ingénieur J1, J2700 (Tome 1) 2007-11-22.
- Mémento technique de l'eau (Tome 1 et 2), Ed. Degremont-Suez, 10 ème Edition, 2005, Rueil-Malmaison : Degremont.
- Mutin Georges, L'eau dans le Monde Arabe, enjeux et conflits, Paris, Ellipses, 2000, 156 p., ISBN 2-7298-6996-4.
- Salif Diop Philippe Rekacewicz. Atlas Mondial de l'eau, Une pénurie annoncée, Editions Autrement/PNUE/Mémorial de Caen 2003.

### Articles et revues :

- Taithe Alexandre. Partager l'eau, les enjeux de demain, Technip 2006.
- Gouba Annick. Eau et paix au Moyen-Orient. La mer à boire : une solution durable ? L'Harmattan. 2007.
- Bissonnette Annie, Utilisation de nano membranes pour le dessalement de l'eau et comparaison avec l'osmose inverse et la distillation. 2008.

- Mouliérac Audrey, Fernandez Sara, Évaluation économique de la gestion de la demande en eau en Méditerranée. Rapport d'étude Plan Bleu, septembre 2010. P 17,18.
- Blinda M. et Thivet G. Ressources et demandes en eau en Méditerranée : situation et perspectives. Sécheresse. 20 (1), 9-16. DOI : 10.1684/sec.2009.0162.
- C. M. freixa .Benchmarking international en matière de dessalement des eaux. Revue hte n°142, mars - juin 2009.
- CRIE-WIESNER Hélène. Que d'eau, que de sel. Une production en expansion malgré son coût élevé. Le Figaro rubrique science.
- Dessalement d'eau. Dossier informatif issu de la rencontre hispano – marocaine tenue les 25, 26 et 27 septembre 2006.
- F.B / Une expertise technologique internationale au service de l'eau / Le Monde – Les cahiers de la compétitivité. 2007.
- Face aux changements globaux, les demandes en eau toujours satisfaites en Méditerranée à l'horizon 2050 ? Plan Bleu, décembre 2012.
- Franck Galland. Géopolitique du dessalement. Notes de la FRS n°18. 2008.
- Henri Boyé, Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée. Plan Bleu, 2008.
- La mer à boire. Dossier thématique – La Cité de la Mer – Technopole Cherbourg/Normandie. Mars 2005.
- Lattemann Sabine. Le dessalement est-il écologique ? Paris : Financière Tallandier, 2008. N° 421.
- Le dessalement de l'eau de mer : une réponse aux besoins d'eau douce en Méditerranée ? PNUE. PAM. Plan Bleu, juillet 2010.
- Les Notes du Plan Bleu Environnement et Développement en Méditerranée .N° 16 Juillet 2010.
- Le dessalement des eaux: une opportunité pour les régions en pénurie d'eau? tanger 8-10 mai 2009.
- Le dessalement de l'eau de mer : une réponse aux besoins d'eau douce en Méditerranée ? PNUE. PAM. Plan Bleu, juillet 2010.
- Mission économique. Fiche de synthèse : Le secteur de l'eau en Israël. 2004. MINEFI-DREE/TRÉSOR.

- OUHSSAIN Mohamed. Projet El Guerdane : quel type de partenariat pour l'aménagement et la gestion des infrastructures d'irrigation?, 2001.
- Mutin Georges, Le Monde arabe face au défi de l'eau, enjeux et conflits, Edition électronique mise en ligne par le service général des Publications de L'université Lyon II., 2007 (communication).
- HAROU Patrice A., STENGER Anne. Economie de l'environnement et des ressources naturelles, les grands courants actuels de pensée en économie de l'environnement 2005. p 10, 11, 13,14.
- DEMONT Rachel. Eau, adaptation au changement climatique et prix 2009.
- Jariri, Selma le dessalement d'eau : un levier du développement durable au Maroc, 2009.
- Agrawala Shardul et Fankhauser Samuel. Aspects économiques de l'adaptation au changement climatique. Coûts, bénéfices et instruments économiques – ISBN-978-92-64-04686-3 © OECD 2008. P 25,60, 61, 62, 64,65.
- VAMPOUILLE Thomas, La mer à boire est un marché prometteur, La Croix.com, Juillet 2009.
- UNESCO Division des Sciences de l'Eau (2006), Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau (WWDR).
- Zbigniew W. Kundzewicz .Changement climatique et crues par, Bulletin de l'Organisation Météorologique Mondiale Juillet 2008.
- L'étude d'impact sur l'environnement de l'usine de dessalement Chatt El Hillal de Béni Saf.
- Rapports mensuels de la station de dessalement Chatt El Hillal de Béni Saf d'octobre, novembre, décembre 2010.
- Rapports mensuels de la station de dessalement Chatt El Hillal de Béni Saf de l'année 2011.
- Rapports mensuels de la station de dessalement Chatt El Hillal de Béni Saf de janvier à août 2012.
- Loi algérienne No. 83-03 du 5 février 1983 sur la protection de l'environnement.
- Décret n° 90-78 – Décret sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement.

- Décret n° 93-184 – Décret sur la réglementation des émissions de bruit, qui renforce l'Article 121 de la Loi 83-03.
- Loi algérienne n° 83-17 – sur le code de l'eau.
- Décret n° 93-160 – Réglementation des déversements d'effluents industriels liquides.
- Décret exécutif N° 06-02 du 7 janvier 2006.
- Décret exécutif N° 06-02 du 7 janvier 2006.
- Banque Mondiale, Pollution Prévention and Abatement Handbook (General Environmental Guidelines), 1998 - Manuel de Pollution, prévention et réduction (directives générales en matière d'environnement).
- Organisation Mondiale de la Santé, Directives de qualité de l'air 1999.

**Sites internet :**

- « Que d'eau que de sel », <http://www.liberation.fr/sciences/0101121954>.
- « Une production en expansion malgré son cout élevé. décembre 2008 », <http://www.liberation.fr/sciences/0101121955>.
- « Dalkia. Vos énergies au quotidien.», <http://www.dalkia.com/fr/>.
- <http://www.arsnovis2.com/cahiers/juin2007-02/5>.
- <http://www.fao.org>.
- La Banque Mondiale: <http://www.worldbank.org>.
- « Veolia Environnement », <http://www.veolia.com/fr/Default.aspx>. (11 et 12 2008).
- « Les outils de désalinisation solaire », <http://www.outilssolaires.com/lexinter.net>. Droit Français et Européen.
- « Joint venture, concession BOT », <http://www.lexinter.net/> . (11 et 12 2008).
- « MRE (ministère des ressources en eau) » <http://mre.gov.dz> données publiées.
- « Veolia Eau. La référence mondiale des services de l'eau », <http://www.veoliaeau.com/>. (11 et 12 2008).

## Liste des figures

Figure1.1	La durabilité de l'économie	14
Figure2.1	Répartition des barrages en exploitation dans le Nord algérien.	34
Figure2.2	Carte de sensibilité à l'envasement des barrages	44
Figure2.3	Consommation des en eaux en milliard de m <sup>3</sup>	49
Figure2.4	Etat des périmètres en exploitation – Année 2007	51
Figure2.5	L'irrigation De La PMH – Année 2007	51
Figure 2.6	Demande en eau par secteur (période 2005-2010) dans les pays méditerranéens	53
Figure 2.7	Proportion de la population ayant un accès de façon durable à une source d'eau améliorée 1990- 2008 (%) dans les pays méditerranéens.	58
Figure 3.1	Répartition des stations de dessalement	70
Figure 3.2	La capacité installée par procédé en Algérie d'une capacité globale de 2 317 000 m <sup>3</sup> /j	71
Figure 3.3	Répartition de la capacité de dessalement installée en Méditerranée	73
Figure 3.4	L'organisation des stations de dessalement	74
Figure 3.5	Principe de l'osmose et de l'osmose inverse	75
Figure 3.6	Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives	79
Figure 3.7	Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED)	80
Figure 3.8	Répartition de la consommation électrique au cours du cycle de vie d'une filière de dessalement	93
Figure 3.9	Composante du coût du dessalement d'eau de mer et répartition des charges	94
Figure 3.10	Le dessalement par pays	95
Figure3.11	Répartition mondiale de la production d'eau de dessalement (en millions de m <sup>3</sup> /jour ; 2008)	96
Figure 3.12	L'usine d'Ashkelon Israël	100
Figure 3.13	Carte des implantations eau de suez environnement au Moyen-Orient	121
Figure 4.1	Le dessalement en méditerranée	130
Figure 5.1	Site de l'usine	164
Figure 5.2	Les différents collaborateurs de la station BWC	165
Figure 5.3	Production d'eau potable par l'usine mensuelle et cumulée depuis la mise en service	170
Figure 5.4	Eau produite par la SDEM durant l'année 2010	171
Figure 5.5	La production d'eau potable durant le mois de mars	172
Figure 5.6	La production d'eau potable durant le mois de mai	173
Figure 5.7	La production d'eau potable durant le mois de juin	174
Figure 5.8	La production d'eau potable durant le mois de juillet	174

Figure 5.9	la production d'eau potable durant le mois d'août	175
Figure 5.10	Eau produite par la SDEM durant l'année 2011	177
Figure 5.11	La production d'eau potable durant le mois d'octobre	180
Figure 5.12	La production d'eau potable durant le mois de novembre	180
Figure 5.13	Eau produite par la SDEM au 31 août 2012	181
Figure 5.14	La production d'eau potable durant le mois de février	182
Figure 5.15	La production d'eau potable durant le mois de juillet	183
Figure 5.16	Bulletin d'analyse physico-chimique de la saumure	184
Figure 5.17	Répartition des causes des écarts enregistrés	185
Figure 5.18	Processus de l'évaluation de l'importance de l'impact	186
Figure 5.19	Fiche d'impact sur la flore marine	190
Figure 5.20	Fiche d'impact sur la faune marine	191
Figure 5.21	Fiche d'impact dû à la production des déchets	192
Figure 5.22	Fiche d'impact sur le paysage	193
Figure 5.23	Fiche d'impact sonore	194
Figure 5.24	Fiche d'impact socio-économique	195

# Liste des Tableaux

Tableau.2.1	Ressources en eaux souterraines : les nappes dont les potentialités > 10 millions de mètres cubes	34
Tableau 2.2	les 08 stations d'une capacité de 22 500 m <sup>3</sup> /j réalisées par LINDE-KCA / Allemagne	36
Tableau 2.3	les 13 stations d'une capacité de 35 000 m <sup>3</sup> /j réalisées par Hydro Traitement / Algérie	36
Tableau 2.4	les stations monoblocs transférées vers l'Ouest	37
Tableau 2.5	les stations de dessalement en Algérie	38
Tableau.2.6	Les barrages les plus envasés en Algérie	45
Tableau 2.7	Répartition de la consommation des eaux par secteur d'activités (hm <sup>3</sup> )	49
Tableau 2.8	Irrigation des Périmètres en Exploitation.	52
Tableau 2.9	Barème de tarif de l'eau potable pour les différentes catégories d'utilisateurs et tranches de consommation trimestrielle	60
Tableau 2.10	L'évolution de la tarification de l'eau en Algérie	61
Tableau.3.1	Les stations de dessalement et de déminéralisation existantes dans les années 60 et 80	69
Tableau 3.2	Les Procédés d'osmose inverse	77
Tableau 3.3	Les Procédés de distillation	82
Tableau 3.4	Comparaison des procédés (osmose inverse et électrodialyse)	84
Tableau 3.5	Comparaison des procédés (distillation et osmose inverse).	85
Tableau.3.6	Comparaison économique des procédés	86
Tableau 3.7	Avantages et obstacles de l'énergie nucléaire	90
Tableau 3.8	Installations de dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre existantes ou en construction au Maroc	105
Tableau 3.9	Programme dessalement eau de mer et capacités production en m <sup>3</sup> /j	109
Tableau 3.10	Le partenariat en Algérie dans le domaine du dessalement de l'eau de mer	126
Tableau.4.1	Résumé des phases de pré et post traitement au cours de la production d'eau potable par dessalement	136
Tableau 4.2	La composition chimique de la saumure rejetée par rapport à celle de l'eau de mer d'alimentation dans le cas des unités de dessalement utilisant le procédé d'osmose inverse	140
Tableau 4.3	Les impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés de dessalement	142
Tableau.4.4	Limites des Emissions de Bruit de la Réglementation Algérienne	153
Tableau 4.5	Décret 93-160 Article 4 : Tolérances de rejet des effluents industriels algériens	156
Tableau 4.6	Valeurs limites et objectifs de qualité de l'air	158
Tableau 4.7	Seuils d'information et d'alerte	158



Tableau 4.8	Directives sur la qualité de l'air ambiant (ug/ m <sup>3</sup> )	158
Tableau.5.1	Données techniques de la station de Beni Saf	165
Tableau.5.2	Production d'eau potable par l'usine mensuelle et cumulée depuis la mise en service	169
Tableau.5.3	Grille de détermination de l'intensité de l'impact	187
Tableau.5.4	Bilan des impacts	196

## Bulletin d'analyse physico chimique:

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

Les laboratoires Qualilab  
de contrôle de la qualité

Décision N° 497/02  
Art.n°:06014101061  
Nls.n° : 196818010168330  
R.C. :01 A 0931542



مخابر كاليب  
لمراقبة النوعية

مقرر رقم : 497/02  
س.ب. رقم : 0931542 | 01  
رقم الإحصاء : 196818010168330

كشف التحاليل الفيزيوكيميائية رقم 587 / 2011  
BULLETIN D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE N°587 APC / 2011

Organisme Demandeur : Water compagnie SPA  
Adresse : Wilaya de Benisaf  
Dénomination du produit : Eau de rejet  
Date de Production : / /  
Numéro de lot : / /  
Contenance : / /  
Date de prélèvement : / /  
Date de réception au laboratoire : 05 / 07 / 2011  
Prélevé par : Water compagnie SPA

الهيئة المطالبة : مجمع الأسهم ووتر كونياني  
العنوان : ولاية بني صاف  
تسمية المنتج : ماء الصرف  
تاريخ الإنتاج : / /  
رقم الحصة : / /  
السعة : / /  
تاريخ الاقتطاع : / /  
تاريخ الاستقبال في المخبر : 2011 / 07 / 05  
الاقتطاع من : مجمع الأسهم ووتر كونياني

## Résultats des analyses:

## نتائج التحاليل :

التعينات DÉTERMINATION	النتيجة RESULTAT	الوحدة UNITES	المرجع REFERENCE	القيمة المحددة VALEUR LIMITE	احتمال القيم المحددة للأجهزة القديمة TOLERANCES AUX VALEUR LIMITE ANCIENNES INSTALLATIONS
T° de l'eau sous analyse	20	Degré C	/	/	/
pH	7,05	Unité pH	NA 751	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
Matière en suspension	0,01	mg / l	Filtration	35	40
Phosphore total	< 0,30	mg / l de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Art. Nr 985 080	10	15
DBO <sub>5</sub>	48,33	mg / l de O <sub>2</sub>	Art. Nr 985 22	35	40
DCO	145	mg / l de O <sub>2</sub>	Art. Nr 985 026	120	130
Fluor	0,5	mg / l	Art. Nr 985 040	15	20
Fer (Fe)	< 0,01	mg / l de Fe	Art. Nr 918 36	3	5
Zinc (Zn <sup>++</sup> )	< 0,02	mg / l de Zn	Art. Nr 918 95	3	5
Cuivre	0,1	mg / de Cu	Art. Nr 918 53	0,5	1
Aluminium (Al <sup>++</sup> )	< 0,01	mg / l	Art. Nr 918 02	35	5
Cadmium	< 0,01	mg / l	Art. Nr 918 014	0,2	0,25
Cyanures	< 0,01	mg / l	Art. Nr 985 31	0,1	0,15
Manganese (Mn <sup>++</sup> )	< 0,1	mg / l	Art. Nr 985 058	1	1,5
Indice de phénols	0,1	mg / l	Art. Nr 918 75	0,3	0,5
Hydrocarbures totaux	0,8	mg / l	Art. Nr 985 057	10	15
Azote kjeldahl	9	mg / l	Art. Nr 985 083	30	40

الخلاصة : مياه الصرف ذات نوعية مطابقة وفقا للمرسوم التنفيذي رقم 06-141 المؤرخ في 19 أبريل 2006 محدد القيم المحددة لمياه الصرف الصناعية.  
ملاحظة: نتائج هذه التحاليل تخص العينات التي تم استقبالها في المخبر.

**Conclusion :** L'eau de rejet est jugée conforme selon le décret exécutif N° 06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

**NB :** Les résultats d'analyse sont valables uniquement pour les échantillons reçus au laboratoire.

Siège : 89 Bd des martyrs Dar Nacer - 06000 Béjaïa  
Réseau mobile: 0661 666 669 - 0660 307 732 - 0660 307 733  
Tél/Fax : 034 218 481 - Fixe : 030 431 020

Ingénieur d'Etat =  
en matière de la Qualité

بجاية في: 11 / 07 / 2011  
مقر: 89 شارع الشهداء دار ناصر  
تقال: 0661 666 669 - 0660 307 732 - 0660 307 733  
هاتف / الفاكس: 034 218 481 هاتف: 030 431 020

web : <http://www.qualilab.dz>

## **Résumé :**

La pénurie en eau semble devenir une perspective inquiétante pour l'humanité.

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

Cependant, si le dessalement ouvre de prometteuses perspectives, certains freins peuvent compromettre cette solution : d'abord son coût économique, puis son coût environnemental. Le présent mémoire tend à examiner ces différents aspects.

### **Mots clés:**

Ressource En Eau; Pénurie; Dessalement; Osmose Inverse; Distillation Thermique; Saumures; Impact Environnemental; Méditerranée; Réchauffement Climatique; Coût.