

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement  
du Littoral



Mémoire de Fin d'Etudes en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat de  
Sciences de la Mer

OPTION : Environnement

Thème :

**Impact des rejets de dessalement sur la qualité des eaux  
de mer (cas des trois stations : Cap Djenat, El Hamma, et  
Fouka)**

Présenté par : BOUNIFA Mohamed Abd El Bari.

LAKHDARI Kheir Eddine.

Soutenu le 30 juin devant la commission de jury :

Mr. SEFIANE Omar	Maître conférence (ENSSMAL)	Président
Mr. GUERFI Mokhtar	Maître conférence (ENSSMAL)	Examineur
Mr. LARID Mohamed	Maître conférence (ENSSMAL)	Examineur
Mr. BELLAHRECHE Abderrahmane	Maître assistant (ENSSMAL)	Encadreur
Mr. HAREK Derradji	Attaché à la recherche (INRAA)	Co/encadreur

Promotion 2014/2015

## **Remerciement**

*Nous exprimons nos plus vifs remerciements aux membres du jury :*

**Mr. SEFIANE Omar.** *Qui me fait l'honneur de présider ce jury malgré ses nombreuses occupations ;*

**Mr. GUERFI Mokhtar.** *Nous lui adressons nos sincères remerciements pour avoir accepté aimablement de juger ce travail ;*

**Mr. LARID Mohamed.** *Nous lui adressons nos sincères remerciements pour avoir accepté aimablement de juger ce travail ;*

**Mr. HAREK Derradji.** *Pour avoir accepté de diriger notre travail et qui par ses conseils nous a épargné bien des erreurs, par sa disponibilité ; puisse-t-il trouver ici la marque de mon profond respect ainsi que remerciement le plus sincère ;*

**Mr. BELLAHRECHE Abderrahmane.** *Pour avoir accepté de diriger notre travail ;*

*Je tiens à remercier mes parents et mes frères pour son encouragement tout au long de ces années. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance et le témoignage de mon amour.*

*A tous mes amis qui m'ont aidé et soutenu, ainsi que toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent mémoire.*

# Sommaire

Résumé

Introduction .....p 13

## Partie théorique

### Chapitre I Généralité sur l'eau

I.1. Utilisation d'eau potable .....p 15

I.2. Historique de dessalement.....p 15

I.3. Le dessalement en Algérie.....p 16

I.4. Composition de l'eau de mer.....p 18

I.4.1. Les éléments principaux.....p 18

I.4.2. Autres éléments minéraux.....p 19

I.4.3. Matières organiques (MO).....p 19

I.4.4. Salinité.....p 20

I.4.5.pH des eaux de mer.....p 20

I.5. Autres propriétés de l'eau de mer.....p 21

I.5.1. Viscosité des eaux de mer.....p 21

I.5.2. Densité des eaux de mer .....p 21

### Chapitre II : Les procédés de dessalement

A- Evaporation.....p 22

B- Osmose inverse .....p 22

C- Osmose.....p 22

II.1. Mise en œuvre des procédés.....p 23

II.1.1 Evaporation.....p 23

II.1.1.1. Distillation a effets multiples.....p 23

II.1.1.2 -Distillation par détente successives.....p 23

II.1.1.3. Compression de vapeur.....p 24

II.1.2. Osmose inverse.....p 24

<b>II.2. Installation de dessalement par osmose inverse.....</b>	<b>p 25</b>
<b>II.2.1. Prétraitement.....</b>	<b>p 26</b>
<b>A- Objectifs.....</b>	<b>p 26</b>
<b>B- Paramètres.....</b>	<b>p 26</b>
<b>C- Etapes de prétraitement.....</b>	<b>p 26</b>
<b>C.1- Chloration.....</b>	<b>p 26</b>
<b>C.2- Clarification de l'eau brute.....</b>	<b>p 27</b>
<b>C.3- Prévention de l'entartrage.....</b>	<b>p 27</b>
<b>C.4- Déchloration.....</b>	<b>p 28</b>
<b>C.5- Filtration de sécurité sur cartouches.....</b>	<b>p 28</b>
<b>II.2.2 Principe d'osmose inverse.....</b>	<b>p 28</b>
<b>II.2.2.1. Schéma général d'une installation d'osmose inverse.....</b>	<b>p 29</b>
<b>II.2.2.2 Pression osmotique.....</b>	<b>p 30</b>
<b>II.2.2.3 Membranes d'osmose inverse.....</b>	<b>p 30</b>
<b>II.2.2.4 Modules d'osmose inverse.....</b>	<b>p 31</b>
<b>II.2.2.4.1 Modules plans.....</b>	<b>p 31</b>
<b>II.2.2.4.2 Modules spirales.....</b>	<b>p 31</b>
<b>II.2.2.4.3 Modules tubulaires.....</b>	<b>p 31</b>
<b>II.2.2.4.4 Modules fibres creuses.....</b>	<b>p 31</b>
<b>II.2.3. Post-traitement.....</b>	<b>p 33</b>
<b>Principe.....</b>	<b>p 33</b>

### **Chapitre III : Le devenir des rejets**

<b>III.1. Les saumures.....</b>	<b>p 34</b>
<b>III.1.1. Quantité et qualité des concentrats.....</b>	<b>p 34</b>
<b>III.2. Effet de la concentration élevée en sel des saumures.....</b>	<b>p 34</b>
<b>III.3. Procédés de traitement et de valorisation des déchets.....</b>	<b>p 36</b>
<b>III.3.1. Réduction des ETMs (Eléments traces métalliques).....</b>	<b>p 36</b>
<b>III.3.1.1. Problème de corrosion.....</b>	<b>p 36</b>
<b>III.3.2. Matériaux envisageables pour le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse.....</b>	<b>p 36</b>
<b>III.3.3. Procédés de réduction de la salinité.....</b>	<b>p 37</b>
<b>III.3.3.1. Dilution des saumures.....</b>	<b>p 37</b>
<b>III.3.3.2. Distillation Membranaire.....</b>	<b>p 37</b>
<b>A- La distillation membranaire à contact direct (DCMD).....</b>	<b>p 37</b>
<b>B- La Air Gap Membrane Distillation (AGMD).....</b>	<b>p 38</b>

C- La SweepingGas Membrane Distillation.....	p 38
D- La distillation membranaire sous-vide (VMD ou DMV).....	p 39
III.3.3.3. Cristallisation fractionnée.....	p 39
A- Les différents types de sels dans l'eau de mer.....	p 39
B- Sels obtenus.....	p 41

#### Chapitre IV : Les impacts de dessalement

A- Impacts positifs.....	p 42
B- Impacts négatifs.....	p 42
IV.1. Impacts sur l'environnement marin en raison de différents produits chimiques utilisés dans le nettoyage des membranes et du nettoyage en prétraitement.....	p 43
IV.1.1. Effets dus aux produits de la corrosion.....	p 44
IV.1.1.1 Les produits de la corrosion.....	p 44
A. Les traces métaux.....	p 44
B. Le cuivre.....	p 44
C. Le fer.....	p 45
IV.1.2. Effets dus aux additifs antitartres.....	p 45
IV.1.3. Effets des additifs antisalissures.....	p 45
IV.1.4. Effets des additifs antimousses.....	p 46
A. Les Biocides.....	p 46
IV.1.5. Agents anticorrosif.....	p 46
IV.1.6. Le sulfite de sodium.....	p 47
IV.1.7. Acide sulfurique.....	p 47
IV.2. Impacts marins écotoxicologiques des unités de dessalement des eaux de mer...	p 47
IV.3. Impact de caléfaction.....	p 47
IV.3.1. Impact de la caléfaction sur la qualité de l'eau.....	p 47
IV.3.2. Impact de la caléfaction sur les organismes.....	p 48
A- Production primaire.....	p 48
IV.4. Impacts de salinité.....	p 49
IV.4.1. Sur la qualité de l'eau du milieu récepteur.....	p 49
IV.4.2. Sur les organismes marins.....	p 49
IV.5. Influence des paramètres physico-chimiques (T, Pp, Concentration) sur le flux de perméat.....	p 50

<b>IV.5.1. Influence de la concentration.....</b>	<b>p 50</b>
<b>IV.5.2. Influence de la température.....</b>	<b>p 50</b>
<b>IV.5.3. Influence de la pression de vide appliquée côté perméat.....</b>	<b>p 51</b>

## **Partie expérimentale**

<b>1. Présentation générale de site.....</b>	<b>p 52</b>
<b>1. 1. Situation géographique.....</b>	<b>p 52</b>
<b>1. 2. Les photos satellitaires des stations concernées.....</b>	<b>p 54</b>

### **Chapitre V : Matériels et Méthodes**

<b>V.1. Méthodologie du travail.....</b>	<b>p 56</b>
<b>V.1.1. Les prélèvements.....</b>	<b>p 56</b>
<b>V.1.2. Les phases d'analyses.....</b>	<b>p 56</b>
<b>V.1.2.1. Les analyses physico-chimiques.....</b>	<b>p 56</b>
<b>V.1.2.2. Le pH.....</b>	<b>p 56</b>
<b>V.1.2.3. La salinité et la conductivité.....</b>	<b>p 56</b>
<b>V.1.2.4. La température et l'oxygène dissous.....</b>	<b>p 56</b>
<b>V.1.2.5. La turbidité.....</b>	<b>p 57</b>
<b>V.1.2.6. La MES.....</b>	<b>p 57</b>
<b>V.1.2.7. Les sels nutritifs.....</b>	<b>p 57</b>
<b>V.1.2.7.1. Principe des dosages des sels nutritifs.....</b>	<b>p 57</b>
<b>A. Dosage de Nitrite.....</b>	<b>p 58</b>
<b>B. Dosage de Nitrate.....</b>	<b>p 58</b>
<b>C. Dosage de l'ammonium.....</b>	<b>p 58</b>
<b>D. Dosage d'orthophosphate.....</b>	<b>p 58</b>
<b>E. Dosage de Silicium.....</b>	<b>p 58</b>
<b>V.1.2.8. Extraction des métaux lourds.....</b>	<b>p 58</b>
<b>V.2. Analyse de la variance à un facteur-ANOVA.....</b>	<b>p 58</b>
<b>V.3. Analyse en composantes principales (ACP).....</b>	<b>p 59</b>

### **Chapitre VI : Résultats et Discussions**

<b>VI.1. Distribution et variations des paramètres mesurés.....</b>	<b>p 60</b>
---------------------------------------------------------------------	-------------

<b>VI.1.1. Température.....</b>	<b>p 60</b>
<b>VI.1.2. Salinité.....</b>	<b>p 60</b>
<b>VI.1.3. Oxygène dissous.....</b>	<b>p 60</b>
<b>VI.1.4. Conductivité.....</b>	<b>p 60</b>
<b>VI.1.5. La Turbidité.....</b>	<b>p 61</b>
<b>VI.1.6. Aluminium et Fer.....</b>	<b>p 61</b>
<b>VI.2. Traitement statistique.....</b>	<b>p 61</b>
<b>VI.2.1. ANOVA.....</b>	<b>p 62</b>
<b>VI.2.2. ACP.....</b>	<b>p 63</b>
<b>VI.3. Evaluation de l'impact de dessalement sur le milieu aquatique.....</b>	<b>p 69</b>
<b>A. Les chlorures.....</b>	<b>p 69</b>
<b>B. Les sulfates.....</b>	<b>p 69</b>
<b>C. L'ammonium.....</b>	<b>p 70</b>
<b>D. La MO.....</b>	<b>p 71</b>
<b>VI.4. Discussion de l'impact sur le milieu aquatique.....</b>	<b>p 72</b>
<b>VI.5. Conclusion.....</b>	<b>p 73</b>
<b>Références Bibliographiques.....</b>	<b>p (75, 76, 77)</b>
<b>Les Annexes</b>	

## Liste des figures

-Figure 1 : Osmose inverse (Phénomène).....	p 21
-Figure 2 : Osmose.....	p 22
-Figure 3 : Distillation.....	p 22
-Figure 4 : Distillation flash. ....	p 23
-Figure 5 : Osmose inverse (Procédé).....	p 24
-Figure 6 : Schéma général d'une station de dessalement.....	p 24
-Figure 7 : Les étapes de prétraitement de l'eau de mer par OI.....	p 25
-Figure 8 : Principe de l'osmose inverse.....	p 28
-Figure 9 : Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse.....	p 28
-Figure 10 : Schéma d'un module spiral en OI.....	p 30
-Figure 11 : Schéma des modules tubulaires.....	p 31
-Figure 12 : Modules fibre creuses.....	p 31
-Figure 13 : Le problème du bore en osmose inverse.....	p 32
-Figure 14 : Déchets générés par l'usine.....	p 33
-Figure 15 : Schémas de principe de la DCMD.....	p 37
-Figure 16 : Schémas de principe de l'AGMD.....	p 37
-Figure 17 : Schémas de principe de la SGMD.....	p 37
-Figure 18 : Schémas de principe de la DMV.....	p 38
-Figure 19 : Evolution de la quantité de chaque sel déposé (en masse) en fonction de la concentration de la saumure.....	p 39
-Figure 20 : Décharge sur le rivage par l'intermédiaire d'un canal ou d'un déversoir.....	p 42
-Figure 21 : Décharge submergée par l'intermédiaire de canalisation et bec ou diffuseur.....	p 42
-Figure 22 : le diagramme de l'exposition au chlore illustrant les seuils de toxicité aiguë et subaiguë des organismes marins.....	p 45
-Figure 23 : Influence de la concentration sur le flux de perméat.....	p 49
-Figure 24 : Influence de la température sur le flux de perméat.....	p 50
-Figure 25 : Influence de la pression appliquée côté perméat sur le flux de perméat obtenu.....	p 50

<b>-Figure 26</b> : Localisation des sites d'étude.....	<b>p 51</b>
<b>-Figure 27</b> : Image satellitaire de la station de dessalement Cap-Djenat.....	<b>p 53</b>
<b>-Figure 28</b> : Image satellitaire de la station de dessalement d'El Hamma.....	<b>p 53</b>
<b>-Figure 29</b> : Image satellitaire de la station de dessalement de Fouka.....	<b>p 54</b>
<b>-Figure 30</b> : Schémas représentatives des variables suivants ( $\text{NH}_4$ , $\text{O}_2$ , $\text{PO}_4$ et Fe) pour les stations B et C.....	<b>p (61, 6é et 63)</b>
<b>-Figure 31</b> : Cercle de corrélation des variables quantitatives étudiées sur le plan F1-F2	<b>p 67</b>
<b>-Figure 32</b> : Cercle de corrélation des variables quantitatives étudiées sur le plan F1-F3	<b>p 67</b>
<b>-Figure 33</b> : L'évolution des chlorures aux différents points de prélèvement.....	<b>p 68</b>
<b>-Figure 34</b> : L'évolution des sulfates aux différents points de prélèvement.....	<b>p 69</b>
<b>-Figure 35</b> : L'évolution d'ammonium aux différents points de prélèvement.....	<b>p 70</b>
<b>-Figure 36</b> : L'évolution de MES aux différents points de prélèvement.....	<b>p 70</b>

## Liste des tableaux :

-Tableau 1. Les stations de dessalement opérationnelles.....	p 16
-Tableau 2. Capitaux algériens et aspects financiers des stations de dessalement.....	p 17
- Tableau 3. Les concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35%.....	p 18
- Tableau 4. Concentrations des différents éléments mineurs.....	p 18
- Tableau 5. Viscosité relative $\eta/\eta_0$ de l'eau de mer en fonction de la température et de la salinité.....	p 20
- Tableau 6. Prétraitement de l'eau de mer avant osmose inverse.....	p 27
- Tableau 7. Avantages et inconvénients des membranes organiques.....	p 29
- Tableau 8. Avantages et inconvénients des modules plans.....	p 30
- Tableau 9. Avantages et inconvénients des modules spiraux.....	p 30
- Tableau 10. Avantages et inconvénients des modules tubulaires.....	p 31
- Tableau 11. Avantages et inconvénients des modules fibres creuses.....	p 32
- Tableau 12. Concentration des différents sels dans les saumures.....	p 34
- Tableau 13. Divers matériaux envisageables.....	p 36
- Tableau 14. Caractéristiques des sels.....	p 38
- Tableau 15. Principaux effets associés aux métaux lourds.....	p 42
- Tableau 16. Statistiques descriptives des variables quantitatifs des stations étudiées.....	p 59
- Tableau 17. Valeurs de conductivité et turbidité relatives aux trois stations.....	p 60
- Tableau 18. Les métaux lourds.....	p 60
- Tableau 19. Tests Uni-varié of Significance pour Sigma-restricted parameterization.....	p 61
-Tableau 20. Newman-Keuls test.....	p (63 et 64)
-Tableau 21. Matrice de corrélation des variables étudiés (physico-chimiques et les métaux lourds).....	p 65
-Tableau 22. Matrice des valeurs propres et des variances.....	p 66

## Liste des abréviations

- **ACP** : Analyse en composantes principales.
- **AFD** : Agence française de développement.
- **ANOVA** : Analyse de la variance.
- **CV** : Distillation à compression à vapeur.
- **ED** : Procédé membranaire électrodialyse.
- **ETM** : Élément trace métallique.
- **EXT** : Extérieur.
- **FIG** : Figure.
- **IDA** : Association internationale de dessalement.
- **INT** : Intérieur.
- **MED** : Distillation multiples effets.
- **MES** : Matière en suspension.
- **MSF**: Distillation multiflash.
- **OI**: Osmose inverse.
- **OMS** : Organisation mondiale de la santé.
- **TAD** : Traitement et analyse des données.
- **TDS** : Total sels dissous.

### **Résumé :**

L'évaluation d'impact de rejets d'une usine de dessalement sur la qualité des eaux du milieu récepteur concerne l'analyse des paramètres physico-chimiques ( $T^{\circ}$ , pH, C.E, MES,  $Cl^{-}$ ,  $NH_4^{+}$ ,  $NO_3^{-}$  et MO) et métaux lourds (Al et Fe) sur la côte Algéroise (Cap Djenat, Hamma et Fouka).

L'application des méthodes d'analyses statistiques ACP sur les résultats physico-chimiques ont montré que ces paramètres étudiés n'influencent pas totalement sur la salinité. Pour les tests liés à l'ANOVA réalisés pour la comparaison des moyennes démontrent qu'il n'existe aucune différence significative pour l'ensemble des variables étudiées hormis pour l'ammonium qui est le plus élevé en Station B.

**Mots clés :** Dessalement, Environnement, Saumure, Eau de mer.

### **Summary:**

The evaluation rejects impact of desalination on water quality of receptor environment plant for the analysis of physical-chemical parameters ( $T^{\circ}$ , pH, EC, MES,  $Cl^{-}$ ,  $NH_4^{+}$ ,  $NO_3^{-}$  and MO) and heavy metals (Al and Fe) on the Algerian coast (Cap Djenat, Hamma and Fouka).

The application of ACP statistical analysis methods on the physicochemical results showed that these parameters studied are not influencing totally on salinity. For the tests associated with the ANOVA performed for the comparison of averages shows that there is no significant difference for all the variables studied except for ammonium, which is the highest in Station B.

**Keywords:** Desalination, Environment, Brine, Seawater.

## **Introduction**

Le dessalement est depuis longtemps une source d'eau importante dans certains pays touchés par sa rareté. Les usines de dessalement se trouvent dans les régions ayant un climat chaud, une pluviométrie relativement faible et imprévisible et où les ressources en eau ne peuvent répondre aux demandes de pointe de la période la plus chaude. Le dessalement de l'eau peut remédier à la pénurie d'eau et pourrait donc contribuer à remédier son manque, qui fait obstacle à l'amélioration des niveaux de vie et au développement des secteurs qui en dépendent, mais les effets engendrés par ceci pourraient être graves et importants ainsi que leurs impacts sur l'environnement provenant principalement du concentré (saumure) produit au cours du dessalement. Il pourrait s'y ajouter les effets des rejets de produits chimiques utilisés dans ces procédés. **(A.Maurel, 2006)**

Généralement, les impacts dus à l'existence d'une usine dessalement se subdivisent en deux catégories ceux qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation. En effet ils 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 ou sols ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur. Afin de minimiser ces impacts, des textes réglementaires en vigueur stipulent que les installations génèrent des rejets d'effluents liquides industriels doivent être conçues, construites et exploitées de manière à ce que leurs rejets ne dépassent pas à la sortie de l'installation les valeurs tolérées.

Le principal impact environnemental associé aux procédés de dessalement provient de la production de saumure : solution à forte teneur en sels qui résulte de la « concentration » de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre dessalée. Pour diminuer cette production de saumure, des procédés basés sur les séparations par membranes et multi-flash connaissent dans ce cadre un engouement. Ils semblent devenir des outils très puissants pour le dessalement et le recyclage des eaux en vue d'un objectif « zéro déchet », tandis que les projets de déminéralisation bien qu'il soit une solution à un problème de la pénurie d'eau qui dure ont engendré beaucoup d'effets négatifs sur l'environnement.

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

Cependant, il ne faut pas oublier, lors d'une éventuelle évaluation, l'impact environnemental causé par une station de dessalement, comme les problèmes de dégradation paysagère, bruits, émissions de gaz (CO, NO<sub>x</sub>), ou encore les rejets associés comme les eaux provenant du nettoyage (filtres de sable, membranes et dépôts).

Le but de notre projet est donc d'étudier comment minimiser les impacts environnementaux suite à l'utilisation du procédé de dessalement en Algérie.

Pour cela, nous nous baserons sur les données de trois usines de dessalement existantes à Alger (El Hamma), à Tipaza (Fouka) et à Boumerdes (Cap Djenat). Notre travail se traduira par des recherches bibliographiques, des études de faisabilité, des travaux de modélisation et de dimensionnement.

Cet objectif principal se décline en deux sous-objectifs qui définissent nos axes d'études ;

- Étudier le devenir des rejets et plus particulièrement les rejets de saumures, à savoir la modélisation de ces rejets et les procédés de traitements (physico-chimique des eaux de mer) évacués au large et éventuellement dilués par les courants marin et par concentration en sels plus élevée, les rejets de saumure peuvent contenir des produits de corrosion (chrome, nickel, molybdène, cuivre....) ainsi que des réactifs utilisés (antitartres, antimousses, produits anticorrosion, coagulants, composés organochlorés...).
- Trouver des solutions pour minimiser et réduire l'impact de dessalement sur l'environnement par la valorisation de rejets.

## Chapitre I

### Généralité sur l'eau

#### I.1. Utilisation d'eau potable :

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé selon l'organisation mondiale de la santé. C'est une eau exempte de germes pathogènes et d'organismes parasites, car les risques sanitaires liés à ces micro-organismes sont grands. Ses caractéristiques de potabilité répondent à des normes établis soit au niveau national, ou international. **(OMS, 2009)**.

La mobilisation des ressources en eau depuis l'indépendance a été axée en premier lieu sur les ressources souterraines.

Devant l'augmentation rapide des besoins en eau due à l'accroissement démographique, l'amélioration du niveau de vie des citoyens et des nécessités de développement, il était nécessaire de réaliser sans cesse des aménagements hydrauliques permettant de mobiliser plus d'eau pour satisfaire les besoins globaux (irrigation, industries et besoin de la population).

La sécheresse qui a sévi depuis plus de deux décennies dans le pays (principalement dans la région ouest) a considérablement affecté le niveau des réserves d'eau qui a atteint un seuil critique et ne permet plus une amélioration et une distribution correcte de cette ressource vitale, la mobilisation des eaux souterraines au Nord du pays a atteint son seuil maximal. L'augmentation des débits de pompage de ces eaux aura pour effets la surexploitation des nappes superficielles et la détérioration de la qualité des eaux. Cette situation pénalisera de ce fait tous les secteurs (population, industrie et agriculture). **(Djeddi M, 2014)**.

Les aléas pluviométriques enregistrés notamment lors de ces dernières décennies ont malheureusement réduit l'impact attendu des investissements réalisés. Le recours au dessalement d'eau de mer devient alors indispensable pour sécuriser l'alimentation en eau potable.

Pour concrétiser cette décision, plusieurs études technico-économiques ont été lancées auprès de cabinets internationaux spécialisés pour le choix des sites, des technologies à adopter pour la réalisation, le montant global estimatif d'investissement ainsi que les prix de cessions de l'eau dessalée approximatif. **(Djeddi M, 2014)**.

#### I.2. Historique de dessalement :

Le dessalement, qui s'applique 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.

Ce procédé exige l'énergie. L'énergie nécessaire pour l'obtention de l'eau et est déterminée en mesurant l'énergie dégagée lors de la dissolution de sels dans l'eau pure.

L'énergie minimum 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>. **(Hurtado RC, 2002)**.

En plus des techniques actuellement utilisées, l'évaporation des eaux de mer est un phénomène naturel de dessalement qui se développe dans le cycle hydrologique de l'eau. Annuellement, environ 502.800 Km<sup>3</sup> d'eau des océans s'évaporent.

L'histoire de dessalement issue déjà de l'époque grecque. Durant le XVI<sup>e</sup> siècle, on constate quelques 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 était 20m<sup>3</sup>/j et y permettait de fournir de l'eau à un village minier dans une zone aride. **(AFD, 2009)**

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 ont suscité la recherche d'autres méthodes, par exemple, les membranes dont les premières recherches à succès se localisent dans les années 60 aux Etats Unis. Les matériaux se développent des membranes plates à acétate de cellulose et à des membranes à polyamide aromatique qui augmentent l'imperméabilité aux sels jusqu'à 99%. **(Hurtado RC, 2002).**

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. **(Hurtado RC, 2002).**

Dans les années 80, les usines d'osmose inverse commencent à prendre place dans 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. **(IDA, 2002)**

Actuellement, et d'après l'inventaire mondiale de l'Association Internationale de Dessalement, il existe plus de 15000 unités de dessalement dans le monde produisent environ 56millions 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. **(IDA, 2002)**

Les pays du Moyen-Orient, et principalement ceux du Golfe Persique, atteignent 12 millions de m<sup>3</sup>/j : l'Arabie Saoudite dispose de 23,6% du total et est suivi par les Emirats Arabes Unis avec 16,3% et le Koweït, 6,4%. Au niveau du nombre des installations, le premier poste revient aux Etats-Unis 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 en 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)**. **(Les statistiques données sont extraites du Rapport sur le suivi de la stratégie méditerranéenne de développement durable Années 1995 au 2005).**

### **I.3. 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 d'Ouled Djellal dans la Wilaya de Biskra (Sud-Est d'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 d'Algérie).

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 4560 m<sup>3</sup>/j. Le procédé est **MSF**.

Dès 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 Djanet à l'Est d'Alger) et de l'industrie de liquéfaction (Arzew 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. Le tableau ci-après démontre les stations opérationnelles implantées au niveau national. **(Les statistiques données sont extraites du Rapport sur le suivi de la stratégie méditerranéenne de développement durable années 1995 au 2005).**

**Tableau 1:** Les stations de dessalement opérationnelles:

Dénomination	Localisation	Capacité	Partenaires	Mise en service prévisionnelle
Complexe <b>KAHRAMA</b> de production d'électricité et dessalement d'eau de mer	Zone industrielle d'Arzew (wilaya d'Oran)	Electricité	-AEC à 95% -Black & Veatch (South Africa) à 5%	8 Septembre 2005
		320 MW		
		Eau dessalée		
		90000 m <sup>3</sup> /j		
<b>HWD</b> (Hamma Water Desalination)	El Hamma (Wilaya d'Alger)	200.000 m <sup>3</sup> /jour	-AEC à 30% -GE Water à 70%	24 Février 2008
<b>ADS</b> (Agua Skikda)	Zone industrielle de Skikda	100.000 m <sup>3</sup> /jour	-AEC à 49% -BEFESA/SADYT Espagne à 51%	Octobre 2008
<b>BWC</b> (Béni Saf Water Company)	Béni saf (Ain-Temouchent)	200.000 m <sup>3</sup> /jour	-Algerian Energy Company (AEC) à 49% -COBRA (Espagne) à 51%	1 <sup>er</sup> semestre 2010
<b>STMM</b> (SharikettahliyatMiyahMostaganem)	Plage de CHELLIF (Mostaganem)	200.000 m <sup>3</sup> /jour	-AEC à 49% -INIMA/AQUALIA (Espagne) à 51%	Décembre 2009
<b>AAs</b> (AmiyahAtilimçania Spa)	Commune de Souk Tlata (Tlemcen)	200.000 m <sup>3</sup> /jour	-AEC à 49% -Hyflux/Malakoff à 51%	Janvier 2010
<b>MT</b> (Miyah Tipaza)	Commune de Fouka (Tipaza)	120.000 m <sup>3</sup> /jour	-AEC à 49% -SNC LAVALIN/ACCIO NA à 51%	Avril 2010
<b>SMD</b> (ShariketMiyahRasDjenet)	Commune de Ras	100.000	-AEC à 49%	Juillet 2010

	Djenet (Boumerdes)	m <sup>3</sup> /jour	-INIMA/AQUALIA à 51%	
<b>MBH</b> (Miyah Bahr Honaine)	Commune de Honaine (Tlemcen)	200.000 m <sup>3</sup> /jour	-AEC à 49% -BEFESA/SADYT à 51%	Aout 2010
<b>MT</b> (Miyah Tipaza)	Commune de Fouka (Tipaza)	200.000 m <sup>3</sup> /jour	-AEC à 49% -BEFESA à 51%	Novembre 2010
<b>TOS</b> (Tahliyat Oued Sebt)	Commune d'Oued Sebt(Tipaza)	100.000 m <sup>3</sup> /jour	-AEC à 49% -BIWATER (UK) à 51%	Novembre 2010
<b>TMM</b> (TahliyatMiyahMagtaa)	Commune de Marsa El Hadjadj (Oran)	500.000 m <sup>3</sup> /jour	-AEC à 49% -Hyflux 51%	1 <sup>er</sup> trimestre 2011

Wetherill, C. (2010)

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), et (2.000.000 m<sup>3</sup>/j programmés). (**Djeddi, 2014**).

**Tableau 2** : Capitaux algériens et aspects financiers des stations de dessalement (**Djeddi, 2014**)

Stations	Montant d'investissement MUSD	Prix de cession du m <sup>3</sup> USD	Banque (Chef de fil)
Arzew Oran	400	0,8500	SH/SG
Hamma	257	0,8521	OPIC
Skikda	136	0,7398	BNA
Beni Saf	204	0,6994	BEA
Souk Tlata	251	0,7725	BNA
Fouka	180	0,7505	CPA
Honaine	291	0,8299	CPA
Mostaganem	227	0,7257	BEA
Cap Djinet	138	0,7257	BNA
Magtaa	492	0,5577	BNA
Ténès	231	0,5885	CPA

#### I.4. Composition de l'eau de mer

##### I.4.1. Les éléments principaux :

Si la masse totale des sels dissous peut varier, le rapport des concentrations des différents éléments est stable. Cette constante des proportions est souvent appelée loi de Marcet ou de Dittmar. Les éléments principaux, c'est-à-dire ceux qui contribuent d'une façon notable à la masse de sels dissous dans les océans, (**Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel-comité des techniques, 1993**), et représentent 11 éléments différents. Leurs concentrations sont données par le tableau suivant :

**Tableau 3:** les concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35‰

Elément	Concentrations (mg/kg)	Eléments	Concentrations (mg/kg)
Chlorure (Cl <sup>-</sup> )	19353	Sodium (Na <sup>+</sup> )	10160
Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	2712	Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	1249
Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	142	Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	413
Bromure (Br <sup>-</sup> )	67	Potassium (K <sup>+</sup> )	387
Fluorure (F <sup>-</sup> )	1	Strontium (Sr <sup>2+</sup> )	8
Bore	4		

J.P.RILY, G.SKIRROW, 1965

**I.4.2. Autres éléments minéraux:**

L'eau de mer contient de nombreux autres éléments à des concentrations beaucoup plus faibles (tableau 4). Ces éléments, malgré leur faible concentration, ont une importance certaine dans des processus biologiques et organiques. Ils peuvent se trouver sous différentes formes (dissous, colloïdaux ou en suspension).

**Tableau 4 :** Concentrations des différents éléments mineurs supérieures aux normes suivants :

Eléments	Concentrations en µg/l	Eléments	Concentrations en µg/l
Li	170	Cu	3
Al	10	Zn	10
Si	3000	As	3
P	70	Rb	120
Ti	1	Mo	10
V	2	I	60
Mn	2	Ba	30
Fe	10	U	30
Ni	2		

(Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel-comité des techniques, 1993)

Un litre d'eau de mer contient entre 30 à 40 g de sels alors que les matières en suspension représentent quelques dizaines de mg par litre (mis à part aux embouchures de certains fleuves particulièrement chargés en matériaux terrigènes). Ces particules peuvent être finement divisées augmentant ainsi grandement les surfaces réactionnelles, ce qui peut avoir une importance notable sur les propriétés physico-chimiques de l'eau de mer.

**I.4.3. Matières organiques (MO):**

Les basses concentrations de MO dans l'eau de mer rendent leur analyse chimique très compliquée. Les composés sont difficiles à isoler car dilués dans un milieu contenant beaucoup d'autres éléments à de plus fortes concentrations. Par convention, on sépare par filtration sur des filtres de 0,5 µm les matières dissoutes des matières organiques particulaires. Parmi les matières organiques dissoutes, on trouve des chlorophylles et caroténoïdes, de vitamine B<sub>12</sub>, des monosaccharides, des amino-acides. Les matières organiques particulaires sont principalement constituées d'animaux et végétaux du zooplancton (ou leurs résidus). Elles peuvent représenter

de 10 à 60 % de la matière en suspension. (**Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel-comité des techniques, 1993**).

#### I.4.4. Salinité :

La salinité est le caractère essentiel, sa présence dans de l'eau de mer modifiée certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation température du maximum de densité). D'autres (viscosité, absorption de la lumière) ne sont pas influencées de manière significative. Enfin, certaines sont essentiellement déterminées par la quantité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique).

Un aspect important de l'eau de mer est que si la concentration totale des sels dissous varie en fonction du lieu, la proportion des composants les plus importants reste à peu près constante.

La salinité observée dans les différents océans ou mers du globe résulte d'un équilibre entre évaporation, pluie et apports des fleuves (salinité faible) d'une part et d'échanges d'eau avec les autres mers ou océans auxquels ils sont reliés d'autre part. (**Mémento technique de l'eau, dégageant, 1995**).

Elle est donc de l'ordre de 35 g/l et c'est cette valeur qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitation-évaporation. (**A. MAUREL, 2001**)

La salinité se mesure en PSU (Practical Salinity Unit), unité reposant sur la conductivité de l'eau de mer, équivalente au pour mille (‰) ou encore au g/Kg. (**Eric Guilyardi, 2001**).

#### I.4.5. pH des eaux de mer :

L'eau de mer est faiblement alcaline est son pH moyen est de 8.2 avec des variations entre 7 et 8,4.

Les variations de pH ont une certaine analogie avec celle de l'oxygène dissous. Ceci s'explique en considérant l'activité photosynthétique de certains organismes : une forte production d'oxygène s'accompagne d'une diminution de la teneur en CO<sub>2</sub> et par conséquent d'une augmentation du pH ; l'oxydation de la matière organique diminue la teneur en oxygène de l'eau en produisant du CO<sub>2</sub> et par conséquent abaisse le pH.

Dans certaines conditions comme les baies, les estuaires, le pH peut prendre des valeurs particulières. Notamment, dans des bassins isolés où il peut y avoir production d'H<sub>2</sub>S. Le pH peut approcher des valeurs voisines de 7 ou tomber à des valeurs nettement plus acides.

Le pH des eaux de mer décroît avec une augmentation de température. Pour une eau de chlorinité de 19.5 ‰ et de pH= 8, une élévation de température de 1°C, entre 10°C et 20°C, diminue le pH de 0.00109. (**R.A. HORNE, 1969**). De même, une augmentation de pression de 100 bars produit une diminution du pH de l'ordre de 0.02 (pour un pH de 8.3).

## I.5. Autres propriétés de l'eau de mer :

### I.5.1. Viscosité des eaux de mer :

La viscosité décroît rapidement en fonction de la température et dépend également de la salinité (tableau 5). Cette dernière caractéristique est prise en compte dans l'équation suivante :

$$\eta = \eta_0 (1 + A \sqrt{C} + BC)$$

$\eta_0$  étant la viscosité du solvant à l'état pur,  
C la concentration du soluté,  
A et B des coefficients dépendant du soluté.

Suivant la nature des ions, le coefficient B peut prendre des valeurs positives ou négatives et rendre plus ou moins fluide le solvant (les ions ayant tendance à former des ions complexes augmentent la viscosité)

**Tableau 5:** Viscosité relative  $\eta/\eta_0$  de l'eau de mer en fonction de la température et de la salinité ( $\eta_0$  viscosité de l'eau pure à 0°C 1787 centipoises) (**R.A. HORNE, 1969**).

Température °C	5‰ S	10‰ S	20‰ S	30‰ S	40‰ S
0	1,009	1,017	1,032	1,056	1,054
5	0,855	0,863	0,877	0,891	0,905
10	0,738	0,745	0,785	0,772	0,785
15	0,643	0,649	0,662	0,675	0,688
20	0,568	0,574	0,586	0,599	0,611
25	0,504	0,510	0,521	0,533	0,545
30	0,454	0,460	0,470	0,481	0,491

### I.5.2. Densité des eaux de mer:

Rapport de la masse volumique de l'eau de mer à celle de l'eau distillée à une température de 4 °C. La densité des océans est en moyenne de l'ordre de 1,035 à 1,036. Elle varie avec la salinité, la température et la pression.

## Chapitre II

### Les procédés de dessalement

Les procédés de dessalement ayant montré leur fiabilité se divisent en deux grandes familles : l'une utilise l'évaporation, l'autre la séparation par membranes.

#### A- Evaporation :

Il s'agit de chauffer de l'eau brute pour en vaporiser une partie. La vapeur d'eau purifiée ainsi produite est refroidie et condensée pour donner de l'eau douce. La première famille de procédés reproduit en accéléré le cycle naturel de l'eau (l'eau s'évapore des océans, la vapeur d'eau s'accumule dans les nuages et finit par retomber sur terre sous forme d'eau douce).

L'énergie consommée est principalement thermique (fournie à la chaudière) et électrique (pour les pompes de circulation de l'eau de mer). La transformation de l'eau liquide en eau vapeur nécessite beaucoup d'énergie (il faut 7 fois plus d'énergie pour transformer de l'eau liquide en vapeur que pour chauffer l'eau de 20°C à 100°C).

#### B- Osmose inverse :

Le phénomène d'osmose s'établit naturellement. Mais en revanche si on applique sur le compartiment contenant l'eau salée une pression supérieure à la pression osmotique le processus se fait dans le sens inverse les molécules d'eau passe du côté « eau salée » vers le côté « eau douce » puisque la perméabilité sélective de la membrane empêche la migration des molécules de sel. Ce processus est dénommé « osmose inverse ». Industriellement, il faut appliquer des pressions de l'ordre de 80 à 100 bars.

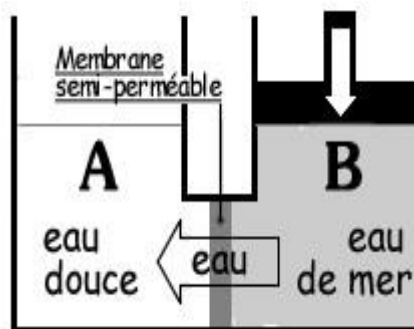


Fig1 : Osmose inverse (Maurel, A. 2006)

#### C- Osmose :

Considérons un système de deux compartiments communiquant à travers une membrane semi-perméable (un matériau qui laisse passer le solvant- l'eau dans notre cas- et bloque les sels dissous).

A contient de l'eau douce, B contient de l'eau salée. Au cours du temps, on constate que l'eau migre de A vers B. ce phénomène naturel, dénommé « osmose », est lié à l'existence d'une pression interne au système, dite « pression osmotique », dont la valeur dépend des

solutions en présence. Pour le couple (eau douce/eau de mer), la pression osmotique est voisine de 25 bars.

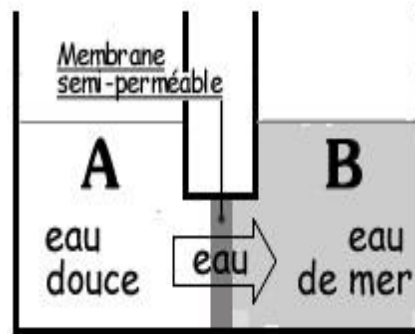


Fig2 : Osmose (Maurel, A. 2006)

## II.1. Mise en œuvre des procédés :

### II.1.1 Evaporation :

#### II.1.1.1. Distillation a effets multiples :

La distillation, procédé qui permet de réaliser l'évaporation, est mise en œuvre depuis longtemps sur les navires avec les 'bouilleurs marins.

L'eau de mer est chauffée dans une enceinte étanche par un faisceau tubulaire ce qui provoque une évaporation de l'eau, la vapeur est condensée par un autre faisceau tubulaire dans lequel circule de l'eau de mer froide.

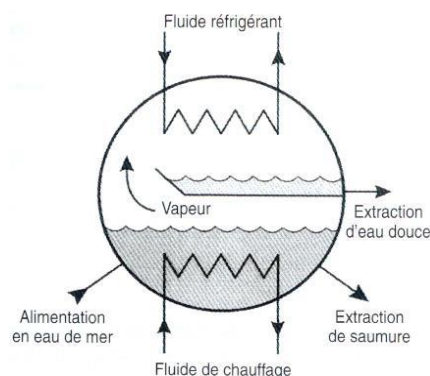


Fig3 : Distillation (Maurel, A. 2006)

Industriellement plusieurs évaporateurs sont mis en série. La vapeur produite par un premier évaporateur se condense dans un second, en libérant la chaleur de condensation qui sert à faire bouillir l'eau de mer du second et ainsi de suite. Il est nécessaire de piloter une décroissance de la température et de la pression de vapeur tout au long de la cascade. Le rendement thermique de l'installation est théoriquement égal au nombre d'effets, mais leur augmentation accroît le coût de l'investissement, un optimum est à rechercher le procédé par distillation à effet multiples produit à

partir d'eau de mer contenant de 35.000 à 45.000 ppm, de l'eau pratiquement pure : 5 à 30 ppm TDS (totalité des sels dissous).

### II.1.1.2 -Distillation par détente successives :

De l'eau de mer chaude est introduite dans une enceinte sous vide ou l'eau est en équilibre avec sa vapeur

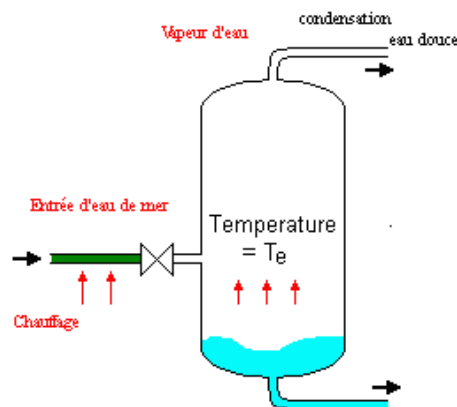


Fig4: Distillation flash (Maurel, A. 2006)

Si la température de l'eau chaude correspond à une pression de vapeur supérieure à celle de l'enceinte, il y a une évaporation immédiate per détente (flash), la vapeur produite est condensée sur un faisceau tubulaire situé dans la partie supérieure de l'enceinte.

Une installation industrielle de distillation flash comprend plusieurs cellules en série. Comme pour le procédé par distillation à effets multiples, la cascade de cellules est sous pression et température décroissante. Les procédés par distillation consomment de la vapeur (pour apporter 50.000 à 100.000 kcal/m<sup>3</sup>) et de l'électricité pour les pompes et les auxiliaires (environ 4 kWh/m<sup>3</sup>).

Le procédé par détente successives produit une eau pure à 5 à 25 ppm TDS. Il est adapté pour des installations de très grande capacité, ainsi l'usine d'Al Jubail en Arabie Saoudite a une capacité de 900.000 m<sup>3</sup>/jour. Le procédé de distillation flash représente 62% de la capacité mondiale installé. (Simon Nisan, 2007, Alain Maurel, 2006).

### II.1.1.3. Compression de vapeur :

L'eau de mer est portée à ébullition dans une enceinte isolée, la vapeur est aspirée par un compresseur qui élève sa température et sa pression. Cette vapeur est envoyée dans un faisceau tubulaire en bas de l'enceinte, elle se condense en cédant sa chaleur à l'eau de mer qui est portée à ébullition.

L'avantage du procédé est une faible consommation énergétique sous forme mécanique ou électrique (7 à 8 kWh/m<sup>3</sup>, pour des grandes installations). Toutes fois la capacité des installations à compression de vapeur est limitée par la taille des compresseurs.

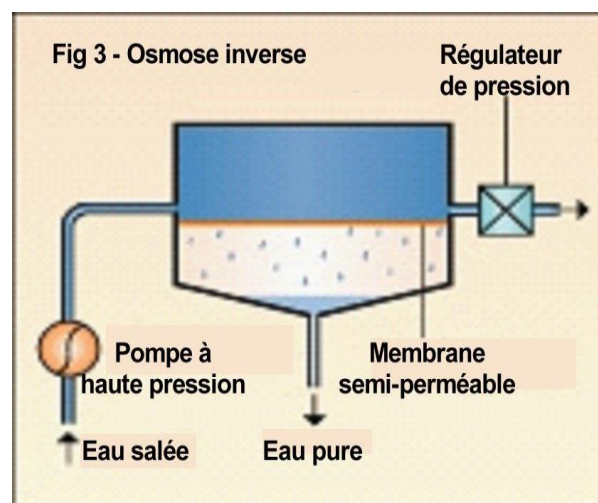
### II.1.2. Osmose inverse :

Une installation industrielle est représentée sur le schéma suivant. L'osmose inverse permet d'obtenir de l'eau potable entre 200 et 300 ppm TDS. Le procédé demande un prétraitement de l'eau de mer afin de garder propres les surfaces de membranes.

Selon **Alain Maurel, (2006)** Des développements récents ont permis de réduire le coût du dessalement par osmose inverse :

- Mise en point de membranes spirales.
- Développement des pompes, turbines, échangeurs de pression qui permettent de récupérer une partie de l'énergie.

Actuellement les installations d'osmose inverse consomment environ 3 à 4 kWh/m<sup>3</sup>. Ce procédé représente 27% de la capacité mondiale installée. (**Maurel, A. 2006**)



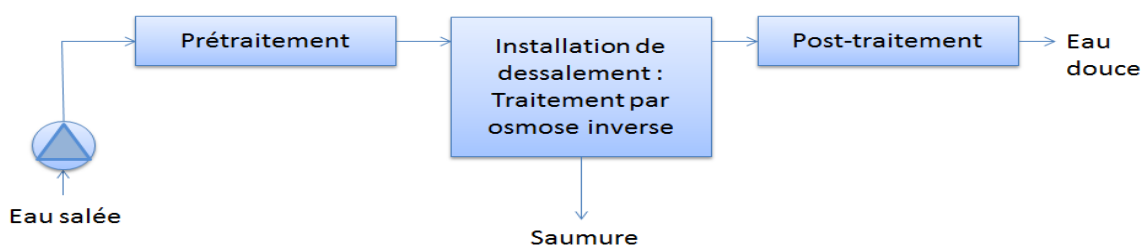
**Fig5 : Osmose inverse (Maurel, A. 2006)**

## II.2. Installation de dessalement par osmose inverse :

Comme l'Algérie, les pays méditerranéens utilisent majoritairement l'osmose inverse pour dessaler l'eau de mer. La technique de dessalement de l'eau de mer 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.

Une installation de dessalement peut être schématiquement subdivisée en quatre postes :



**Fig6 : Schéma général d'une station de dessalement (Maurel, A. 2006)**

- La prise d'eau qui s'effectue en mer.
- Le prétraitement.
- Le procédé utilisé « l'osmose inverse ».
- Le post-traitement.

### II.2.1. Prétraitement :

#### A. Objectifs :

Les objectifs du prétraitement sont les suivants :

- Eviter le colmatage des modules par la matière en suspension (MES), soit par le micro-organisme, soit par les dépôts de sels.
- Donner à l'eau des caractéristiques qui soient compatibles avec la nature des membranes : teneur en chlore, pH, température.

#### B. Paramètre :

Il n'existe pas de prétraitement standard. Les principaux facteurs qui interviennent dans la définition d'un prétraitement :

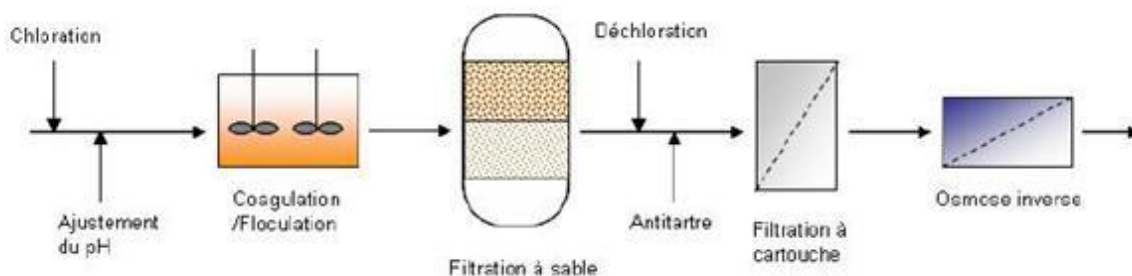
- Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau à traiter : MES, turbidité, COT (Carbone organique total), hydrocarbure, algues, composition chimique, pH.
- Les conditions de fonctionnement des membranes : taux de conversion, pression.
- Les types de membranes et de modules utilisés.

#### C. Etapes de prétraitement :

Les principales étapes d'un prétraitement sont les suivants :

- I. Chloration
- II. Clarification.
- III. Prévention de l'entartrage.
- IV. Déchloration.
- V. Filtration sur cartouches.

L'eau passe d'abord par une étape de filtration grossière permettant d'éliminer les gros matériaux susceptibles d'endommager les installations et de diminuer l'efficacité globale du procédé de traitement.



**Fig7** : les étapes de prétraitement de l'eau de mer par OI (Maurel, A. 2006)

**C.1. Chloration :**

La chloration a pour objectif l'inactivation des micro-organismes (bactéries principalement) mais aussi micro-algues, champignons, qui, outre le fait que certains peuvent être pathogènes, sont à l'origine d'un colmatage important des membranes appelés biofouling :

- Soit directement par le développement d'une biomasse.
- Soit indirectement par les métabolites produits par les micro-organismes (polysaccharides par exemples).

La prolifération des organismes vivants est bloquée par un procédé de désinfection.

Sinon, cela peut conduire à l'obstruction des canalisations ou au colmatage des membranes. Le procédé le plus répandu consiste à injecter le chlore, réactif dont le stockage et la manipulation exigent des précautions strictes. Le chlore dissous dans l'eau libère l'ion hypochloreux ( $\text{HClO}^-$ ), qui est l'agent actif de la stérilisation. Pour éliminer le danger lié au chlore, on peut lui substituer l'hypochlorite de sodium (eau de Javel).

**C.2. Clarification de l'eau brute :**

Une étape de CFS (Coagulation Flocculation Sédimentation) est nécessaire afin d'éliminer les matières en suspension et une partie du COT (Carbone Organique Total).

**\* Coagulation :**

La coagulation a pour objectif de neutraliser les colloïdes, en général chargés négativement, par des composés de deux métaux lourds  $\text{Al}^{3+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$  :

- Chlorure ferrique  $\text{FeCl}_3$ .
- Sulfate ferrique  $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$ .
- Sulfate aluminium  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , 14  $\text{H}_2\text{O}$ .

**\* Flocculation:**

Elle consiste à agglomérer sous forme de floccs les particules colloïdales neutralisées auparavant par coagulation. Les membranes d'osmose inverse étant chargées négativement, il est recommandé d'utiliser des flocculants anioniques ou non ioniques.

**\* Sédimentation :**

La sédimentation ou décantation est peu utilisée en prétraitement avant osmose inverse.

**\* La filtration sur sable :**

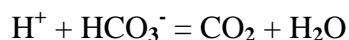
La filtration sur sable peut être effectuée sous pression ou de façon gravitaire. La filtration sous pression est utilisée en général pour les débits faibles et moyens (les vitesses de filtration sont d'environ 10 à 15 km/h) alors que la filtration gravitaire est utilisée pour les débits plus élevés (les vitesses de filtration sont d'environ 5 à 8 km/h).

### C.3. Prévention de l'entartrage :

L'entartrage des équipements doit être évité. La méthode la plus utilisée pour éviter les tartres ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_4$ ,  $2 \text{H}_2\text{O}$ ...) dans les modules d'osmose inverse consiste à injecter dans l'eau brute des inhibiteurs d'entartrage ou antitartres. Les produits utilisés sont:

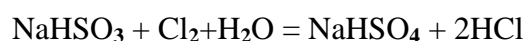
- Les polyphosphates : ces produits sont efficaces et bon marché mais ils peuvent éventuellement former des dépôts d'orthophosphates par suite de phénomènes d'hydrolyse.
- Les polymères carboxyliques : efficaces sur la plupart des tartres, ces produits ne posent pas de problèmes pour les rejets. Ils présentent l'inconvénient d'être chers.

L'acidification de l'eau brute, en provoquant la décomposition des bicarbonates, est aussi un moyen efficace de prévenir les dépôts de  $\text{CaCO}_3$ :



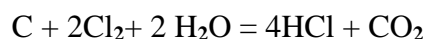
### C.4. Déchloration:

Compte tenu de la sensibilité des membranes d'osmose inverse en polyamide (membranes les plus utilisés actuellement), il est indispensable d'assurer une déchloration de l'eau de mer en amont de l'osmose proprement dite. Du bisulfite de sodium est ajouté afin de réduire le chlore:



C'est la solution la plus utilisée car elle est efficace et d'un coût relativement faible.

Un produit équivalent conviendra du moment que l'eau contient moins de 0,1 mg/L de chlore libre à l'arrivée sur la membrane notamment l'utilisation de charbon actif en poudre ou en grain:



### C.5. Filtration de sécurité sur cartouches :

Dans tous les cas, une installation d'osmose inverse doit être protégée par une filtration de sécurité sur cartouches aux environ de 5 $\mu\text{m}$ .

Le tableau 6 donne la description d'un prétraitement relativement complet pour une unité de dessalement d'eau de mer par osmose inverse:

**Tableau 6** : Prétraitement de l'eau de mer avant osmose inverse (Maurel, A. 2006)

1. Chloration	Traitement choc : 7 à 8 ppm de chlore pendant 1 h toutes les semaines
2. Coagulation	$\text{FeCl}_3$ : dose = 10 g/m <sup>3</sup>
3. Flocculation	Polyélectrolyte anionique ou non anionique Dose = 1 à 5 g/m <sup>3</sup>
4. Filtration sur sable	Filtre bicouche sous pression Vitesse de filtration de 10 à 15 m/h
5. Acidification	$\text{H}_2\text{SO}_4$ : 20-25 g/m <sup>3</sup>
6. Déchloration	$\text{NaHSO}_3$ : 5-10 g/m <sup>3</sup>
7. Antitartre	Polymères carboxyliques: dose = 1 g/m <sup>3</sup>
8. Filtration sur couches	Cartouches à base de propylène 5 $\mu\text{m}$

## II.2.2 Principe d'osmose inverse:

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméabilité à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression.

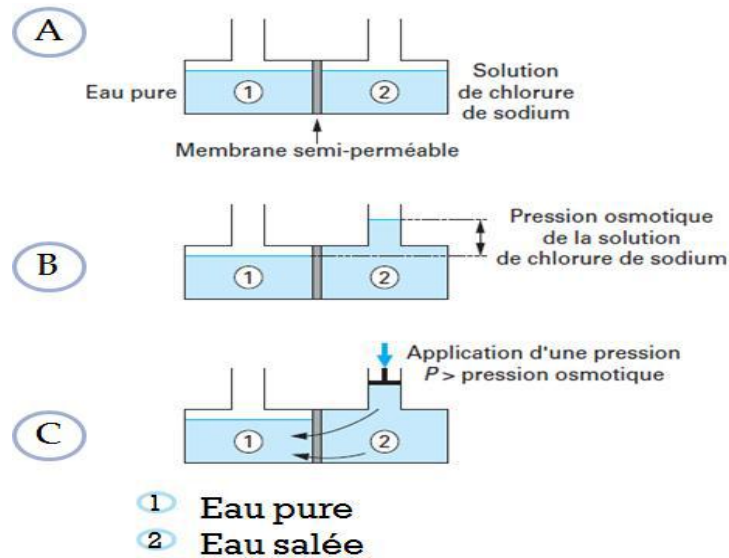


Fig8 : Principe de l'osmose inverse (ROVEL, J-M. 2012)

A: Le niveau est identique dans les deux compartiments: L'eau circule de 1 vers 2

B: à l'équilibre, une différence de niveau s'établit, c'est la pression osmotique  $\pi$ .

C: Lorsqu'on applique une pression  $P > \pi$ , l'eau circule en sens inverse, c'est-à-dire de 2 vers 1 et les sels restent bloqués dans le compartiment 2.

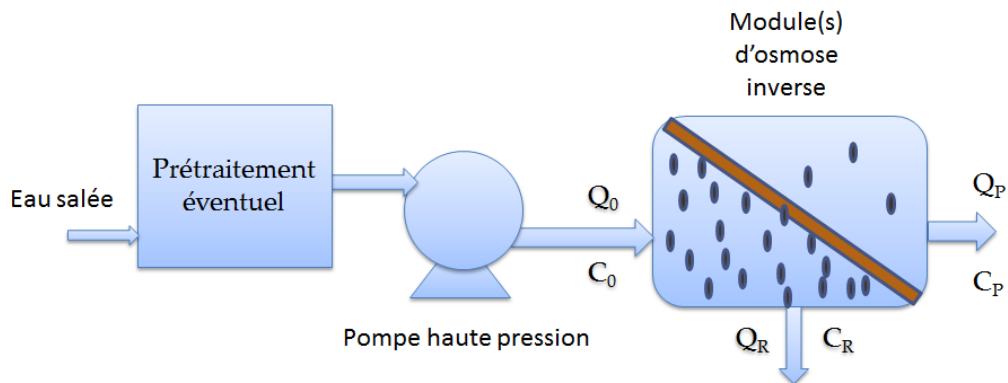
$\Pi$  = différence de pression de part et d'autre de la membrane

Une membrane semi-sélective ou semi-perméable est une membrane imperméable aux corps dissous (ionique ou non) et perméable au solvant.

### II.2.2.1. Schéma général d'une installation d'osmose inverse :

Les principaux constituants d'une installation d'osmose inverse sont les suivants : - membrane proprement dite- le module - la pompe haute pression - le poste de traitement

L'écoulement du fluide sur la membrane est continu et tangentiel. Cet écoulement tangentiel permet de limiter l'accumulation sur la membrane des diverses espèces (particules, molécules, ions) retenues par cette dernière. Le débit d'entrée ( $Q_0$ ) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes. Une partie (débit  $Q_p$ ) passe à travers la membrane (perméat) alors que l'autre partie est retenue par la membrane (concentrât ou retentât).



**Fig9:** Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse (Maurel, A. 2006)

**II.2.2.2 Pression osmotique :**

Loi de Van't Hoff :

Pour des solutions suffisamment diluées, la pression osmotique  $\pi$  peut être assimilée à pression d'un gaz parfait dont les "molécules" seraient précisément les espèces en solution (ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ ) :

$$\pi = iCRT$$

i : nombre d'ions

C: concentration (mol/L) T: température en K

R: constante des gaz parfaits (0,081 L.atm/K/mol) 1atm = 1,013 Bars

**II.2.2.3 Membranes d'osmose inverse :**

Le tableau 7 résume les avantages et les inconvénients des membranes organiques suivant leur composition:

**Tableau 7:** Avantages et inconvénients des membranes organiques (Maurel, A. 2006)

	Avantages	Inconvénients
Acétate de cellulose	Perméabilité élevée Sélectivité élevée Mise en œuvre assez aisée Adsorption des protéines faibles Colmatage moindre	Sensible à la température Sensible au pH Sensible au chlore Sensible au compactage Sensible aux microorganismes
Type Polyamide	Bonne stabilité chimique, thermique et mécanique	Grande sensibilité aux oxydants Faible perméabilité Phénomène d'adsorption
Type Polysulfone	Bonne stabilité thermique Bonne tenue au pH Résistance au chlore	Sensible au compactage Adsorptions

Matériaux Acryliques	Bonne stabilité thermique et chimique Stockage à sec possible	Faible résistance mécanique Pores des diamètres assez élevés
Matériaux Fluorés	Bonne stabilité thermique et chimique	Faible perméabilité Microfiltration uniquement
Membranes composites	Bonnes caractéristiques : perméabilité et sélectivité Stabilité de pH 2 à 11 Bonne tenue en température	Mauvaise tenue en chlore

**II.2.2.4 Modules d'osmose inverse :**

Pour être mises en œuvre, les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules. Actuellement, quatre types de modules sont commercialisés: modules tubulaires, modules fibres creuses, modules plans et modules spirales. Plusieurs critères sont à prendre en compte pour le choix d'un type de module tels que:

- les conditions de transfert optimal
- la surface spécifique d'échange élevée
- l'investissement minimal et le coût de fabrication
- la simplicité de mise en œuvre et la durée de vie des membranes
- l'entretien aisé (nettoyage, démontage, remplacement des membranes)

**II.2.2.4.1 Modules plans :**

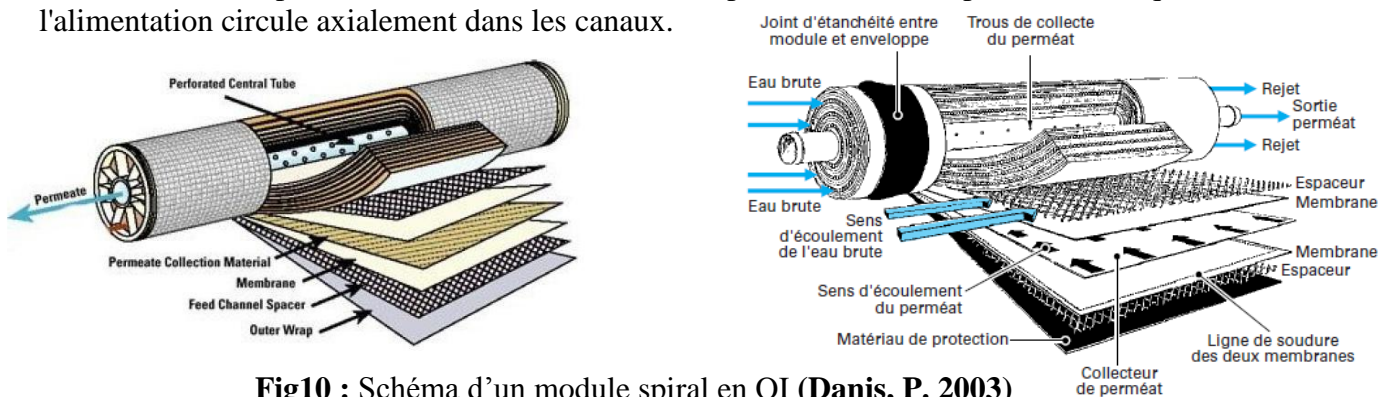
Les modules plans sont les modules les plus simples et les plus anciens. Ils présentent sous la forme de plaques unitaires disposées parallèlement les unes aux autres et séparées par des grilles.

**Tableau 8:** Avantages et inconvénients des modules plans (Maurel, A. 2006)

Avantages	Inconvénient
Système souple et modulable	Système peu compact (100 à 400 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
Changement facile des membranes	Investissement relativement élevé
Visualisation du perméat	

**II.2.2.4.2 Modules spirales :**

Les membranes planes sont enroulées en spirale autour d'un tube creux et perforé destiné à collecter le perméat. Entre les membranes est placé un grillage plastique de 0,8 à 1,2 mm d'épaisseur, qui a pour but de créer une turbulence dans la circulation du fluide. On obtient ainsi un cylindre multicouche où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux.



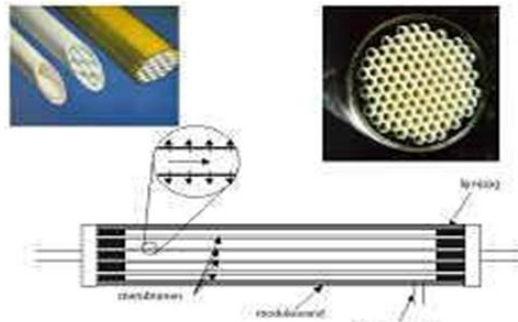
**Fig10 :** Schéma d'un module spiral en OI (Danis, P. 2003)

**Tableau 9:** Avantages et inconvénients des modules spirales (Maurel, A. 2006)

Avantages	Inconvénients
Compacité élevée (300 à 1000 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	Sensible au colmatage
Faible volume mort	Difficulté de nettoyage
Coût d'investissement relativement faible	

**II.2.2.4.3 Modules tubulaires :**

Ce type de module est constitué de tubes métalliques ou plastiques sur lesquels est fixée la membrane semi-perméable. Le diamètre du tube est compris entre 7 et 25 mm et le plus souvent 12,5 mm. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes. Le tube est soit poreux, soit perforé de trous pour permettre l'évacuation du perméat.



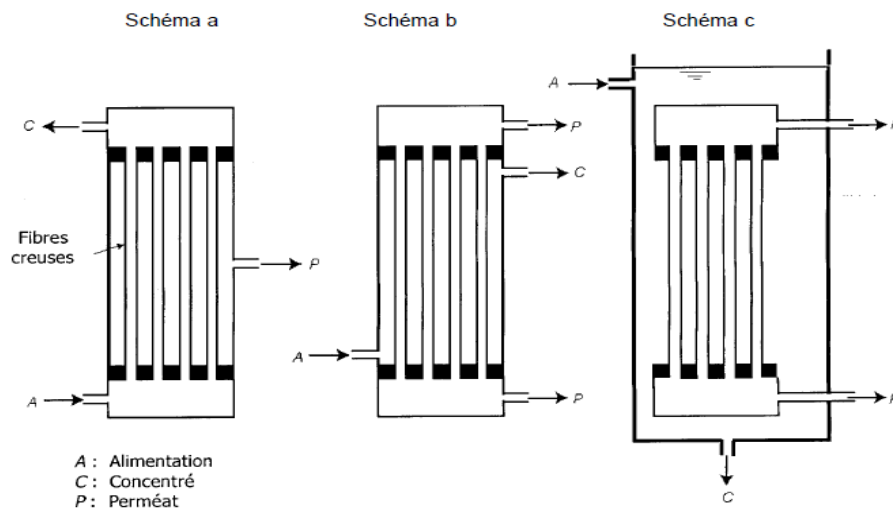
**Fig11:** Schéma des modules tubulaires (Maurel, A. 2006)

**Tableau 10:** Avantages et inconvénients des modules tubulaires (Maurel, A. 2006)

Avantages	Inconvénients
Technologie simple	Consommation d'énergie élevée
Peut traiter tous types de fluides (chargés, visqueux)	Faible capacité (10 à 300 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
Facilité de nettoyage	Coût élevé

**II.2.2.4.4 Modules fibres creuses :**

Ces modules peuvent être considérés comme des modules tubulaires composés de tubes de petit diamètre compris entre quelques millimètres et quelques dizaines de microns. Mais à la différence des modules tubulaires qui sont constitués d'une membrane et d'un support inerte, les fibres creuses jouent à la fois le rôle de membrane et de support.



**Fig12 :** Modules fibre creuses (Berland, J-M. 2002)

Il existe deux configurations :

- Int- Ext (schéma b): L'eau à traiter circule à l'intérieur et le perméat est récupéré à l'extérieur des fibres.
- Ext-Int (schéma a et c): L'eau circule à l'extérieur et le perméat est récupéré à l'intérieur des fibres.

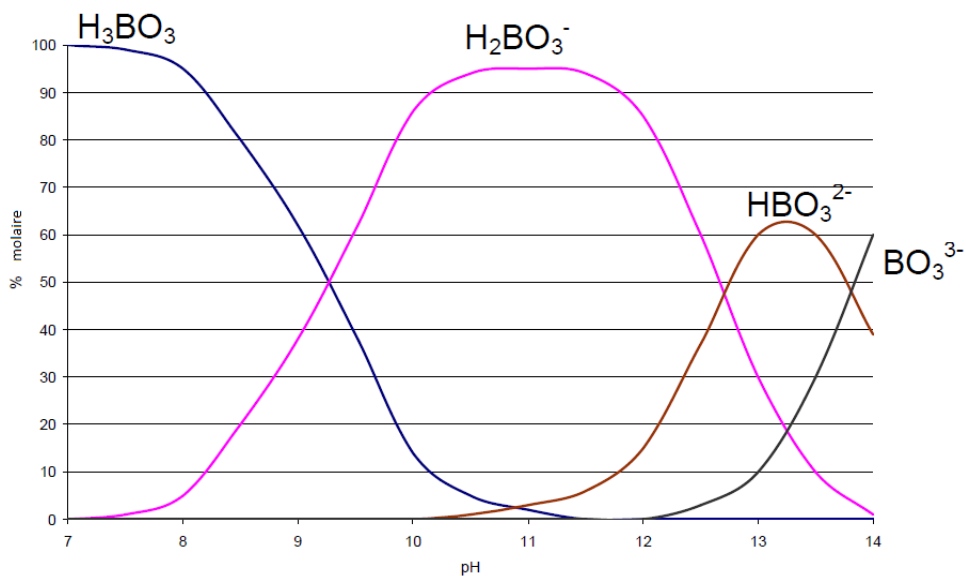
**Tableau 11:** Avantages et inconvénients des modules fibres creuses (Maurel, A. 2006)

Avantages	Inconvénients
Capacité élevée ( $15000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ )	Sensibilité de colmatage dû au faible diamètre des fibres
Faible volume mort	Fragile (canaux fins)
Faible consommation énergétique	
Possibilité de nettoyage à contre-courant	

### II.2.3. Post-traitement :

#### Principe :

Le Bore doit être éliminé afin de respecter les normes sanitaires en vigueur pour la consommation d'eau potable. Ce bore se trouve sous forme d'acide borique, acide faible. Au pH de fonctionnement de l'osmose inverse (pH 6-7), le bore sous forme moléculaire  $\text{H}_3\text{BO}_3$  n'est pas retenu par les membranes d'osmose inverse. Or des teneurs élevées en bore dans l'eau potable sont susceptibles de provoquer des problèmes de santé tels que des problèmes de développement du fœtus et une diminution de la fertilité...



**Fig13:** Le problème du bore en osmose inverse :

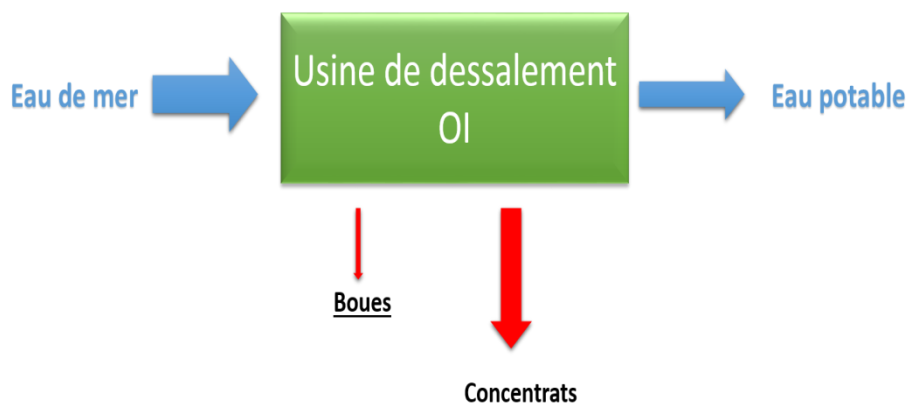
Dissociation de l'acide borique en fonction du pH (Maurel, A. 2006)

## Chapitre III

### Le devenir des rejets

A ce jour, les effets à long terme de ces modifications de l'environnement marin sont mal connus, bien que certaines études d'impact des rejets d'usines de dessalement soient en cours de réalisation (Malte, Arabie Saoudite). De plus, des concentrations biologiques de polluants minéraux ou organiques par des espèces aquatiques (phytoplanctons, zooplanctons, poissons) peuvent éventuellement se produire et entraîner un phénomène de bioaccumulation.

Ainsi, il nous a semblé nécessaire d'étudier la qualité et le devenir des rejets dans le cas particulier de l'usine de dessalement puisque le nombre et la taille d'usines de dessalement dans le monde ne cessent d'augmenter au niveau national et international. L'étude a été répartie de la manière suivante



**Fig14 : Déchets générés par l'usine (INP, 2010)**

Dans un premier temps, il convient de connaître les différents rejets de l'usine pour appliquer la démarche adéquate permettant de protéger au mieux l'environnement.

Les concentrats ou saumures sont les effluents issus des procédés de dessalements de l'eau de mer (dans notre cas l'osmose inverse). Ces effluents contiennent tous les sels contenus initialement dans l'eau de mer. C'est pourquoi les concentrations en sels peuvent être deux fois plus importantes que celles présentes initialement dans l'eau de mer.

Quant aux boues, elles sont issues des prétraitements. Au cours de ces prétraitements, les matières en suspension et le carbone organique particulaire vont décanter et former des boues. L'eau de mer et des océans sont très peu chargés en matière en suspension ce qui confère au dessalement l'avantage de produire très peu de boues (Veolia, 2005).

L'étude des rejets des usines de dessalement se limitera à la qualité de l'eau de mer des concentrats.

### III.1. Les saumures :

#### III.1.1. Quantité et qualité des concentrats :

Afin de prévoir et mettre en place des mesures compensatrices pour diminuer l'impact sur l'environnement des rejets de saumures, il est important de connaître les quantités rejetées avec les concentrations associées à chaque sel/composé. Une étude bibliographique sur les composés dangereux se trouvant dans les saumures suite à la traversée par l'eau de mer de différents procédés physico-chimiques ainsi que leurs effets sur l'environnement est nécessaire.

Suite au dimensionnement, le débit de saumure a pu être déterminé ainsi que les concentrations en sels (tableau 12) :

Le débit total de saumures est de 39440 m<sup>3</sup>/j.

**Tableau 12** : Concentration des différents sels dans les saumures (INP, 2010)

Sels	Concentration (g /l)
Na <sup>++</sup>	22,56
Cl <sup>-</sup>	40,54
Mg <sup>++</sup>	2,71
K <sup>+</sup>	0,84
Ca <sup>++</sup>	0,87
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	5,69
B	0,01
Br	0,13
TDS	73,34

### III.2. Effet de la concentration élevée en sel des saumures

Indubitablement, le principal problème relatif au rejet de saumure réside dans sa salinité très élevée avec des débits très élevés (dans le cas de l'usine Stations A, B et C, environ 40000 m<sup>3</sup>/h pour un traitement classique d'Osmose Inverse).

Le rejet du concentré dans la mer aboutit à la formation d'un système stratifié avec un courant plus salé au fond (plus dense). 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. Le milieu au niveau du rejet devient hypertonique. L'eau contenue dans les cellules va sortir du cytoplasme à travers la membrane semi-perméable par transport passif (diffusion). La force motrice de ce phénomène est la différence de concentration en sel entre les milieux extra et intracellulaires. Ainsi, 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 le cas de l'usine de dessalement de Dhekelia (Chypre), une étude sur trois années de l'impact du concentré sur le macrobenthos marin a révélé que les salinités élevées causaient des dommages importants aux communautés de l'algue macroscopique *Cystoseira barbata* à proximité de l'émissaire du concentré, alors que d'autres espèces d'algues microscopiques disparaissaient de la zone environnante (à une distance de 100 m du point de rejet). En outre, il en est résulté une diminution importante de la diversité et de l'abondance de la macrofaune benthique au site de rejet du concentré, par comparaison avec celles relevées avant la mise en service de l'usine de dessalement. Surtout, les modifications de la salinité de l'eau ont induit des changements dans la composition des formations macrofaunistiques à proximité du point de rejet. Alors que la communauté benthique avant la mise en place de l'émissaire se composait pour 27% de polychètes, pour 27% d'échinodermes, pour 26% de scaphopodes et pour 20% de gastropodes, au bout de trois années d'exploitation de l'usine, les seuls taxons observés étaient les polychètes et les crustacés représentant respectivement 80 et 20% de l'ensemble de la macrofaune.

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

De plus, la hausse de la salinité semble stimuler la fixation des **ETM** dissous par les organismes aquatiques. Il a été montré que le taux de fixation de cadmium par la crevette *Artemia franciscana* augmente avec la salinité de l'eau.

### **III.3. Procédés de traitement et de valorisation des déchets :**

Afin de réduire l'impact environnemental de l'usine de dessalement, les procédés de traitement et de valorisation des déchets sont étudiés : Dans une première partie, l'étude de la réduction des ETMs (Eléments Traces Métalliques) est présentée. Par la suite, différentes méthodes et procédés de réduction de la salinité sont traitées. Et enfin, la dernière partie concerne les procédés de valorisation des saumures.

#### **III.3.1. Réduction des ETMs (Eléments traces métalliques) :**

##### **III.3.1.1. Problème de corrosion :**

- Facteurs de la corrosion marine

L'agressivité marquée de l'eau de mer surtout aux températures élevées est due à plusieurs raisons:

- la composition chimique, en particulier la teneur élevée en ions chlorures,
- la conductivité élevée ce qui facilite le développement des effets galvaniques
- la corrosion résultant de l'oxygène dissous
- la présence de bactéries, d'organismes marins divers, d'H<sub>2</sub>S dans certains cas de pollution.

- Principaux types de corrosion

Les principaux types de corrosion que l'on peut rencontrer en milieu marin sont :

- la corrosion galvanique,
- la corrosion généralisée
- la corrosion localisée par piqûres
- la corrosion par crevasses
- la corrosion intergranulaire

#### **III.3.2. Matériaux envisageables pour le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse :**

Le choix des matériaux d'une unité de dessalement d'eau de mer par osmose inverse doit tenir compte des conditions particulières sur procédé :

- température ambiante (0 à 45 °C)
- eau de mer complètement aérée
- pH pouvant être acide (pH= 6)
- cycles de lavages à pH acide (pH=2) et pH basique (pH = 12)
- pression élevée (50-70 bar)
- vitesses variables (2m/s à eau de mer stagnante).

Le choix des matériaux ne pose problème que pour le circuit haute pression, c'est-à-dire la pompe haute pression et les canalisations hautes pressions (entre pompes et modules). En effet, pour le circuit basse pression, c'est-à-dire le prétraitement, les matériaux utilisés sont en plastique (PVC, polyéthylène). Le tableau 13 donne un aperçu des divers matériaux envisageables en dessalement d'eau de mer par osmose inverse. (Maurel, A. 2006)

**Tableau 13** : Divers matériaux envisageables (Maurel, A. 2006)

Famille de matériaux	Désignation courante	Composition en %						Equivalence
		Cr	Ni	Mo	Cu	N	Cmax	
Austénitiques	316 L	18,5	10,0	2,5	-	-	0,03	904 L (AISI) <sup>1</sup>
	317 L	18,5	14,0	3,5	-	-	0,03	
	Uranus B6	20,0	25,0	4,5	1,5	0,15	0,02	VLX 954 (Vallourec)
	254 SMO	20,0	18,0	6,0	0,7	0,20	0,02	
	Hastelloy	16,0	5,4	16,0	-	-	0,01	
Super-austénitiques	Sanicro 28	27,0	31,0	3,5	1,0	-	0,02	VLX 928 (Vallourec)
	Uranus SB8	25,0	25,0	5,0	1,5	0,20	0,02	
Duplex (austéno-ferritiques)	Uranus 45N	22,0	5,7	2,8	-	0,15	0,03	329 (AISI)
	223 FAL	22,0	5,5	3,0	-	0,12	0,03	
	Uranus 47N	25,0	6,7	3,0	0,5	0,18	0,03	
Ferritiques	290 Mo	29,0	0,5	4,0		0,027	0,025	
Alliages non ferreux	Inconel 625	21,5	61,0	9,0	-	-	0,10	
	Titane	-	-	-	-	-	-	

### III.3.3. Procédés de réduction de la salinité :

Afin de diminuer l'impact environnemental des saumures et leurs rejets en mer, il convient d'étudier des moyens de réduire la concentration en sels.

#### III.3.3.1. Dilution des saumures

Etant donné qu'il n'existe actuellement pas de réglementations concernant les rejets de saumures, en général la saumure des usines de dessalement est rejetée directement dans la mer ou associée aux rejets de l'eau de refroidissement des centrales ou aux effluents des stations d'épuration.

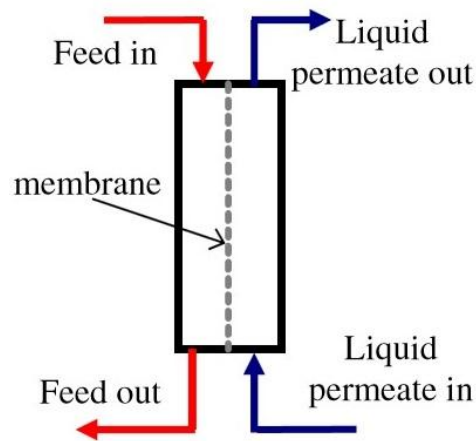
#### III.3.3.2. Distillation Membranaire

La distillation membranaire est un procédé thermique dans lequel la vapeur d'eau est transportée à travers une membrane poreuse hydrophobe. La phase liquide à traiter doit être maintenue en contact avec une face de la membrane sans en pénétrer les pores à moins que la pression transmembranaire soit supérieure à la pression d'entrée. L'hydrophobicité de la membrane empêche le liquide d'entrée dans les pores grâce à la tension de surface. Ainsi, des interfaces liquides/vapeurs sont créées à proximité des pores.

Plusieurs types de distillations membranaires existent, les différences concernent uniquement le côté du perméat et vont conditionner la force motrice de la séparation. (MATSUURA, T. 2011)

#### A- La Distillation Membranaire à Contact Direct (DCMD) :

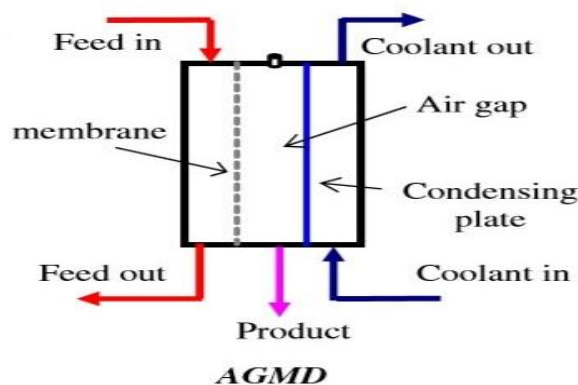
Une solution aqueuse plus froide que la solution d'alimentation est maintenue en contact direct avec la membrane côté perméat. Dans ce cas, la différence de température transmembranaire induit une différence de pression de vapeur. Par conséquent, les molécules volatiles s'évaporent à l'interface liquide/vapeur de l'alimentation et se décondensent à l'interface liquide/vapeur du perméat plus froid.



**Fig15** : Schémas de principe de la DCMD (MATSUURA, T. 2011)

**B- La Air Gap Membrane Distillation (AGMD) :**

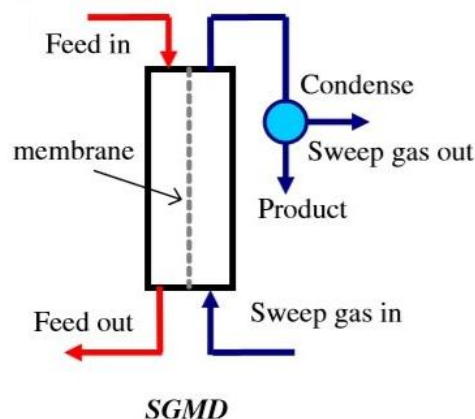
Une lame d'air est interposée entre la membrane et la surface de condensation. De ce fait, les molécules volatiles évaporées vont traverser les pores de la membrane et la lame d'air pour finalement se condenser sur une surface plus froide à l'intérieur du module membranaire.



**Fig16** : Schémas de principe de l'AGMD (MATSUURA, T. 2011)

**C- La Sweeping Gas Membrane Distillation :**

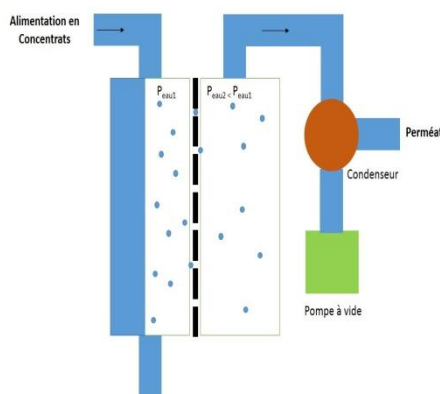
Un gaz froid inerte balaie la membrane du côté du perméat emportant avec lui les molécules vaporisées. La condensation a ensuite lieu à l'extérieur du module membranaire.



**Fig17** : Schémas de principe de la SGMD (MATSUURA, T. 2011)

### D- La distillation membranaire sous-vide (VMD ou DMV) :

Un vide est appliqué côté perméat à l'aide d'une pompe à vide. La pression de vide appliquée est inférieure à la pression de vapeur saturante des molécules volatiles à séparer. Dans ce cas, la condensation des molécules a lieu à l'extérieur du module membranaire.



**Fig18** : Schémas de principe de la DMV (MATSUURA, T. 2011)

Bien que le risque de mouillage soit plus élevé dans cette configuration, la VMD a été retenue pour cette étude car elle permet d'obtenir un flux de perméat plus grand que les autres configurations ainsi qu'un phénomène de polarisation en température réduit.

### III.3.3.3. Cristallisation fractionnée :

#### A. Les différents types de sels dans l'eau de mer :

Le sel récupéré par le paludier est le chlorure de sodium (NaCl) qui est responsable du bon goût du sel marin. Ce goût salé provient essentiellement de l'ion  $\text{Na}^+$ . Les autres sels présents ne sont pas nocifs car les doses sont très faibles. Les sels  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$  sont amers et réduisent le bon goût du sel marin. Seul KCl a un goût proche du NaCl.

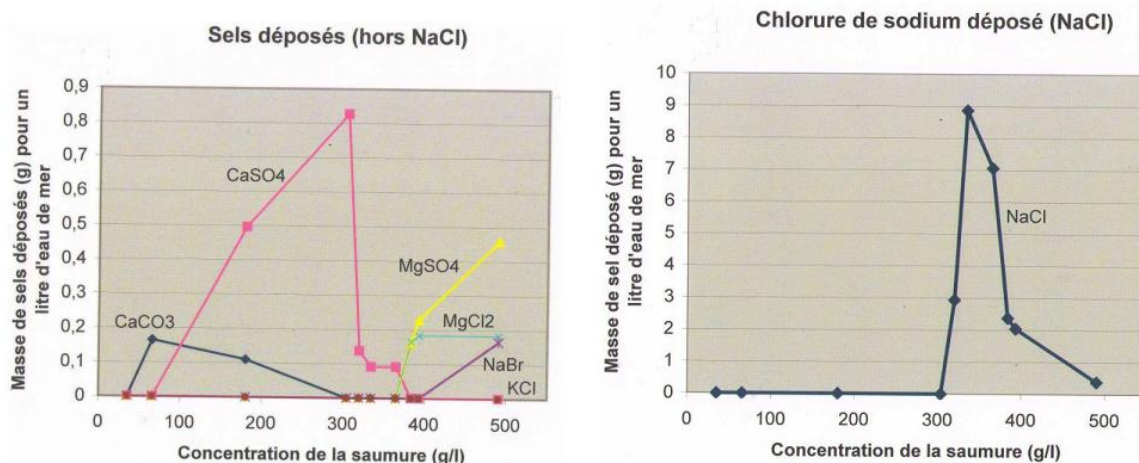
Le but du marais salant est de séparer autant que possible NaCl des autres sels. Les caractéristiques des sels sont représentées dans le tableau 14:

**Tableau 14** : Caractéristiques des sels. (P2MB, 2012)

Sels	Dénomination	Utilisation	Propriétés
NaCl	Chlorure de sodium	Augmente la spidité des aliments Conserve les aliments par désinfection et déshydratation	Goût salé, Blanc Risques cardiovasculaires à fortes doses
$\text{CaCO}_3$	Carbonate de calcium	Même composant que le calcaire, la craie, le marbre, coquilles d'animaux marins	Pas de goût ni d'odeur Solubilité nulle dans l'eau basique
$\text{CaSO}_4$	Sulfate de calcium	Même composant chimique que le gypse et le plâtre qui en sont des versions hydratées	Blanc, amer, sans odeur
$\text{MgSO}_4$	Sulfate de Magnésium	Additif alimentaire E18 Engrais Sel d'Epsom (Médicament)	Amer et salé
$\text{MgCl}_2$	Chlorure de magnésium	Laxatif, coagulant, médicament	Blanc, amer, acre,

		Nigari qui permet de coaguler le lait de soja pour faire du tofu E115	inodore Peut être dangereux à forte dose
NaBr	Bromure de sodium	Désinfectant	Blanc, Peut être dangereux à forte dose
KCl	Chlorure de potassium	Engrais, médicament	Blanc, toxique à forte dose Saveur équivalente à celle de NaCl Peut se substituer en partie à NaCl

La figure 19 : montre le processus de cristallisation fractionnée mis en œuvre dans un marais salant. L'évolution de la quantité de chaque sel déposé (en masse) en fonction de la concentration de la saumure y est représentée.



**Fig19 :** Evolution de la quantité de chaque sel déposé (en masse) en fonction de la concentration de la saumure. (P2MB, 2012)

D'après la figure 19, le carbonate de calcium cristallise en premier, puis en quantité plus importante le sulfate de calcium puis d'autres sels. Les sels de calcium se cristallisent avant que la saumure n'atteigne les œillets. Par ailleurs, pour éviter de cristalliser les sels de magnésium et de potassium ainsi que le bromure de sodium, il ne faut pas dépasser une concentration de 380 g/L dans les œillets.

La cristallisation de NaCl est beaucoup plus importante que celle des autres sels. La part la plus grosse du processus de cristallisation du NaCl s'effectue sur une plage assez étroite de concentration de saumure, entre 300 et 380 g/L. Enfin, en comparant ces deux graphes, on constate qu'il est important de bien contrôler la concentration de la saumure dans les œillets afin de récolter le maximum de chlorure de sodium (NaCl) sans toutefois récolter le sulfate de calcium (CaSO<sub>4</sub>) ou les sels de magnésium (MgSO<sub>4</sub> et MgCl<sub>2</sub>).

## **B. Sels obtenus**

- **Le gros sel ou sel gris**

Le sel cristallise dans les œillets lorsque la concentration atteint 320 g/l (saturation). Plus lourd, ce type de sel se dépose sur le sol argileux de l'œillet et est récolté par un outil qui s'appelle las ou ételle (une sorte de râteau). Le gros sel est gris car de l'argile peut être incluse dans le sel cristallisé ou entraînée lors de la récolte.

- **La fleur de sel**

Dans certaines conditions, une cristallisation particulière se produit, de fins cristaux se forment et s'agglomèrent en surface de l'eau des œillets. Cette mince couche flottante est récoltée délicatement avec une lousse (sorte d'écumoire).

Cette fine couche de sel blanche se crée avant que le seuil de saturation des 320 g/l soit atteint car la fine couche d'eau superficielle est plus chaude et donc l'évaporation est violente : on obtient ainsi une cristallisation en surface. La fine fleur blanche de sel flotte sur l'eau par tension superficielle (effet « membrane » qui permet de faire flotter des choses plus lourdes que l'eau).

## Chapitre IV

### Les impacts de dessalement

#### A- Impacts positifs :

Premièrement, la conservation de la couche aquifère est importante, à titre d'essai le pompage d'eau de mer au cours des périodes d'une demande maximale d'eau de sécheresse et d'été peut avoir comme conséquence l'infiltration d'eau de mer qui se traduit par l'approvisionnement des eaux potables. L'évacuation de l'eau salée dans les couches aquifères côtières est devenue problème écologique important, en particulier au développement rapide des secteurs côtiers (**Carter, 1988**). Il est extrêmement coûteux et parfois impossible de réhabiliter les eaux souterraines une fois polluées.

Un deuxième argument pour la conservation de la couche aquifère côtière est que les fertilisants du littoral dépend de l'eau douce qui s'infiltré pour donner de l'eau de bonne qualité (**Bornman, T.G. et Klages, N.T.W. 2004**).

Fourniture de l'eau de bonne qualité :

La disponibilité de l'eau de bonne qualité est préliminaire au développement économique et social des communautés locales. L'eau des couches aquifères est de mauvaise qualité et sa quantité est limitée (**Bornman, T.G. et Klages, N.T.W. 2004**).

Le dessalement est une source fiable de l'eau qui n'est pas soumise aux changements climatiques liés aux sources d'eau douce. Si la conception de l'unité est modulaire, il y a utilisation minimale des produits chimiques dans le processus, et le rendement peut être facilement augmenté. Si c'est effectué convenablement, il y a peu d'impact sur l'environnement (**Bornman, T.G. et Klages, N.T.W. 2004**).

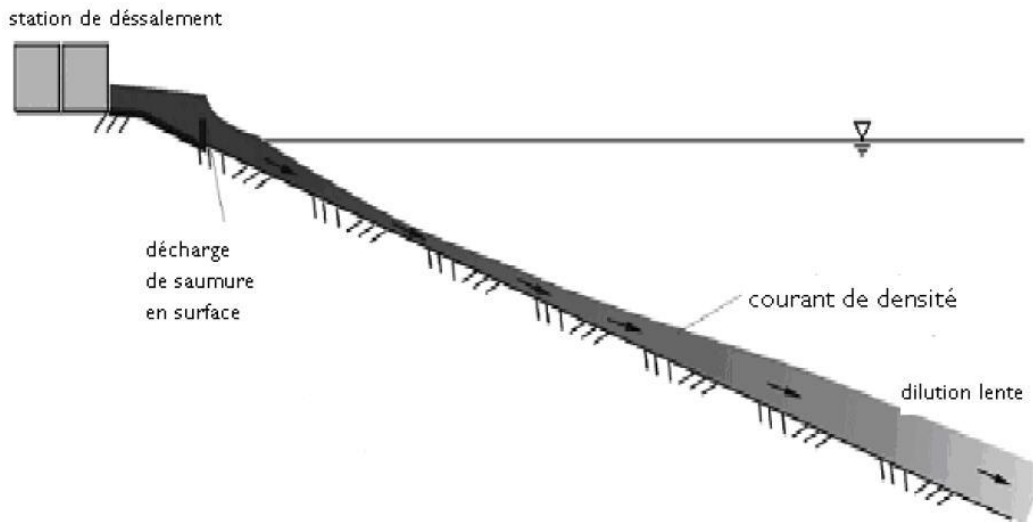
#### B-Impacts négatifs :

Les activités de dessalement d'eau de mer ont des impacts défavorables sur l'environnement.

La plupart des impacts dérivent du positionnement des tubes d'alimentation et des canalisations de décharge de saumure (**Rachel, E. Kobi, H. Dan, P. 2002**).

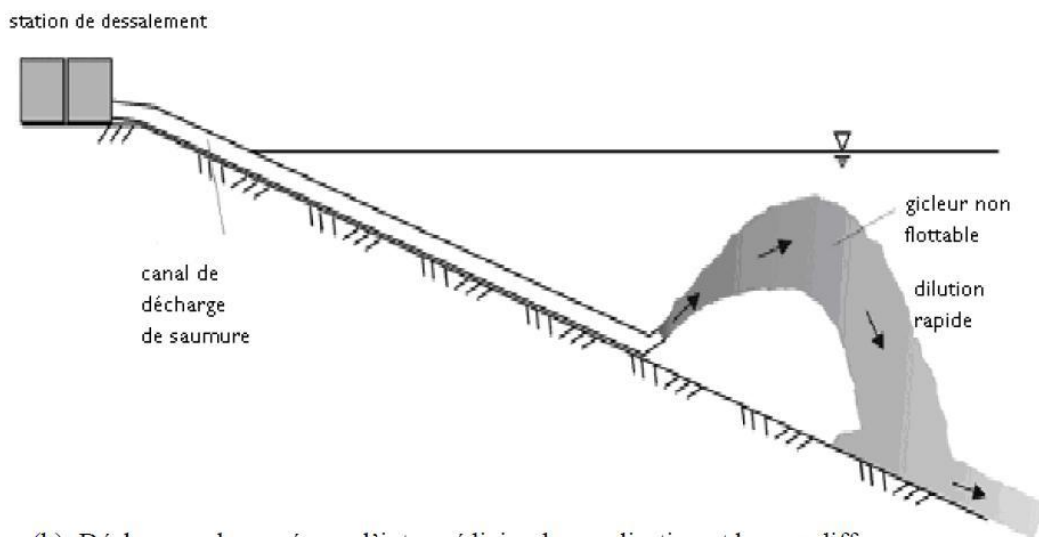
Les sources d'eau appropriées pour le dessalement peuvent avoir des origines de base fondamentale : eau de mer et eau souterraine.

Le dessalement d'eau de mer ou de l'eau saumâtre des usines d'osmose inverse peuvent avoir plusieurs aspects négatifs directs ou indirects sur l'environnement (**Jaime, Veza, S. M. et Carmelo, S. 2005**).



(a) : Décharge sur le rivage par l'intermédiaire d'un canal ou d'un déversoir.

**Fig20** : Décharge sur le rivage par l'intermédiaire d'un canal ou d'un déversoir (Bleninger, T. et al, 2006) ; (Tobias B, et al. 2008).



(b): Décharge submergée par l'intermédiaire de canalisation et bec ou diffuseur.

**Fig21** : Décharge submergée par l'intermédiaire de canalisation et bec ou diffuseur (Bleninger, T. et al, 2006) ; (Tobias B, et al. 2008).

**IV.1. Impacts sur l'environnement marin en raison de différents produits chimiques utilisés dans le nettoyage des membranes et du nettoyage en prétraitement :**

En plus de la concentration élevée des sels, la saumure déchargée contient de divers produits chimiques utilisés dans l'étape de prétraitement et de post-traitement de l'unité de dessalement, y compris les agents antitartre.

#### IV.1.1. Effets dus aux produits de la corrosion :

Les usines de dessalement rejettent des métaux tels que le cuivre, le nickel, le chrome et 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 suspensions 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 pas atténuer les effets en diluant le rejet (**Thomas, H. et Jens, W. 1996**).

##### IV.1.1.1 Les produits de la corrosion :

Sont rejetés par les unités de dessalement et peuvent constituer une menace pour les organismes aquatiques en raison de leur toxicité (**Hopner, T. 1999**), (**Jibril, B.E-Y. et al. 2001**).

Nous avons :

**A. Les traces métaux** : Tels que le Ni, Mo, Fe, Cr, Zn, provenant de la dissolution de la tuyauterie et du système de condensateur de refroidissement et autres dépendants des alliages présents dans la ligne du processus.

Un montant considérable de rejets de métaux lourds s'accumule au niveau des sédiments qui serviront comme réservoirs.

Les biotes jouent aussi un rôle dans l'absorption et la redistribution de ces métaux.

Ces métaux lourds agissent comme inhibiteur d'enzymes et peuvent entraîner la perte d'un nombre élevé d'organismes susceptibles. Ils s'accumulent au niveau de la structure squelettique, des masses solidifiées ou des matrices intracellulaires de l'organisme et sont rejetés dans les fèces, les œufs et des produits de mues.

Ces métaux provoquent des stressés au niveau des communautés aquatiques et leurs effets seront plus marqués au niveau des habitats benthiques soumis à un enrichissement plus élevé de métaux traces.

**B. Le cuivre** : Les concentrations trouvées au niveau des effluents sont plus de 200 fois supérieures à la concentration naturelle de l'eau de mer.

*A faible concentration*, le phytoplancton utilise cet élément comme essentiel et pour activer le système enzymatique qui catalyse les étapes majeurs de la glycolyse, du cycle d'acide tricarboxylique de la photosynthèse et du métabolisme protéinique.

Le zooplancton facilite son déplacement par consolidation dans les matières fécales qui se précipitent au fond de la mer et qui seront distribuées après grâce aux activités biofouisseurs du benthos. Toute la chaîne alimentaire accumule le cuivre, les poissons au niveau de leurs tissus.

*A forte concentration*, le cuivre est très toxique et joue le rôle d'inhibiteur d'enzymes au niveau de l'organisme et peut entraîner le décès d'un nombre important d'espèces susceptibles.

Pour le phytoplancton, le cuivre inhibe la photosynthèse, limite l'absorption et l'assimilation du nitrate et l'adsorption du silicate.

Au niveau des poissons, les changements apparaissent dans la physiologie de l'organisme, la reproduction et le développement. L'exposition continue des organismes à des niveaux élevés produit souvent des réponses pathologiques défavorables comme l'inflammation ou la dégénération des tissus, l'absence de repaire et de la régénération des tissus, la formation de néoplasmes et des dérangements génétiques.

**C. Le fer :** Est contenu dans certains additifs entrants dans le processus de dessalement. En présence d'une forte salinité peut conduire à un accroissement de la turbidité qui risquera de perturber la photosynthèse.

**Tableau 15:** Principaux effets associés aux métaux lourds (SPARKAS, 1998 : EWERS and SCHILPKOTER, 1999 : in FELLAH, 2010)

Elément	Effet
Arsenic (As)	Toxique, possible cancérigène
Cadmium (Cd)	Hypertension, dommage sur le foie, affectations respiratoires, troubles rénaux.
Chrome (Cr)	Cancérigène sous forme Cr(VI), troubles dermatologiques, anémie.
Cuivre (Cu)	Peu toxique envers les animaux, toxique envers les plantes et les algues à des niveaux modérés
Mercure (Hg)	Toxicité chronique et aiguë, troubles du système nerveux (mémoire et fonctions sensorielles de coordination).
Nickel (Ni)	Maladie respiratoires, asthme, malformations congénitales, cancérigènes.
Plomb (Pb)	Toxique, troubles du système nerveux et cardiovasculaires, fatigue, cancérigène, affection du foie et des reins.
Sélénium (Se)	Essentiels à faibles doses, toxiques à doses élevées.
Zinc (Zn)	Toxique pour les végétaux à forts teneurs.

#### IV.1.2. Effets dus aux additifs antitartres :

Les produits utilisés contre l'entartrage sont les phosphates polymères. Dans une zone marine oligotrophe comme la mer méditerranée, le rejet de ces produits peut avoir des effets drastiques tels que des efflorescences algales, des proliférations d'algues macroscopiques, etc.

Ces dernières années, les agents antitartres les plus utilisés ont été les polymères de l'acide maléique pour empêcher l'apparition d'effets eutrophisants.

En raison de leurs inconvénients, ces dernières années la préférence est pour un polymère d'acide maléique ou l'acide polyacrylique qui influencent la solubilité du métal et sa dispersion en formant des produits complexés de Ca, Mg et de Fe (Hopner, T. et Lattermann, S. 2002).

Leur persistance : durée de demi-vie est d'environ un mois. Aucune étude en dehors de celle du producteur n'a été entreprise pour vérifier leur toxicité.

#### IV.1.3. Effets des additifs antisalissures :

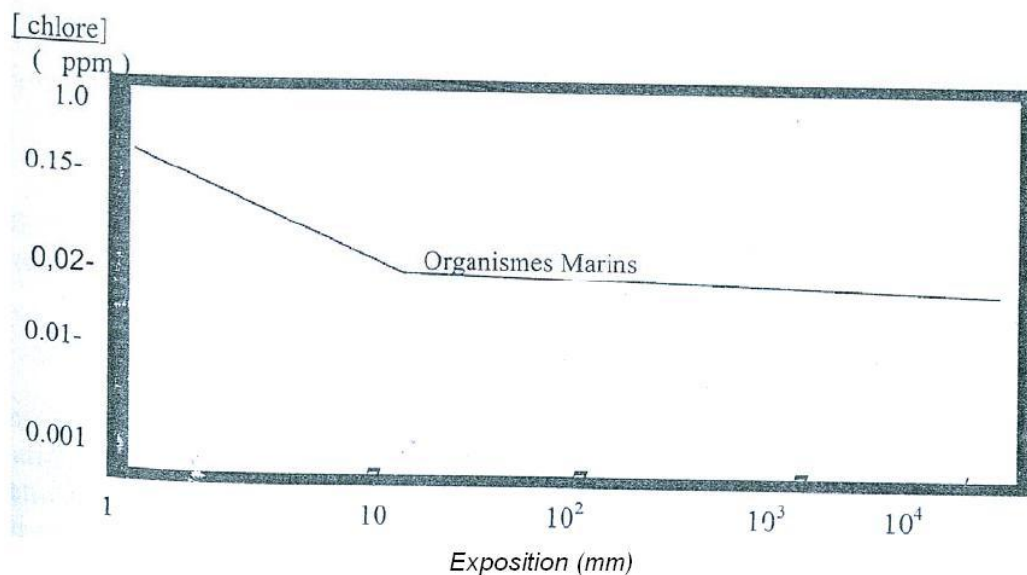
Si le chlore est un agent antisalissure à large spectre, il présente aussi des effets étendus sur le milieu marin quand il est rejeté avec la saumure. Il occasionne des effets biologiques par son action stérilisante intrinsèque et des effets chimiques en halogénant les constituants organique de l'eau de mer (Guilyardi, E. 2001).

#### IV.1.4. Effets des additifs antimousses :

Les agents antimousses sont des détergents. Les détergents ont des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire.

**A. Biocides :** l'application de biocides dont le plus généralement utilisé sont le chlore, sous forme gazeux ou liquide, ou l'hypochlorite et ses dérivées, permettant de contrôler les taches biologiques et aussi, pour maintenir la performance des condensateurs et du système du circuit fermé de l'eau de refroidissement, mais cependant, pose d'autres problèmes en raison de leur toxicité en ce qui concerne toute vie animale ou végétale dans l'environnement marin.

En effet, ces biocides tuent facilement les organismes non ciblés tels que le phytoplancton, le méroplancton, le holozooplancton et l'ichthyoplancton. Ainsi les organismes marins peuvent être menacés par la capacité de biocide qui forme des composés organiques résiduels toxiques, tels que les chloramines ou par ces composants résiduels toxiques qui se trouvent en abondance dans l'environnement marin lorsque les bromines seront libérées. Ces derniers sont des produits cancérogènes et mutagènes.



**Fig22 :** le diagramme de l'exposition au chlore illustrant les seuils de toxicité aiguë et subaiguë des organismes marins (Miri, R. et al. 2005), (Mattice, J.S. et al. 1981).

L'injection de biocides aux concentrations supérieures à 0,01mg/l implique une diminution de photosynthèse du phytoplancton marin et un effet mortel sur le zooplancton et les formes larvaires et post larvaires des invertébrés et des poissons. On observe en même temps le chlore et les effets synergiques de la température avec du chlore libre et combiné.

La tolérance de l'ichthyoplancton au chlore paraît être en relation avec l'âge. Chez certaines espèces, les œufs nouvellement formés sont moins tolérants que les plus vieux, mais les nouvelles larves sont plus tolérantes que les vieilles.

Le chlore attaque les bronches de poissons entraînant une oxydation de l'hémoglobine en méthémoglobine avec mort de l'organisme par asphyxie. L'épithélium bronchiale tend à se gangrener (Vorosmarty C.J. et al. 1978).

**IV.1.5. Agents anticorrosifs** : Leurs effets ne sont pas connus.

**IV.1.6. Le sulfite de sodium** : Il permet d'éliminer les traces d'oxygène régulièrement après le processus de désaération de l'eau qui peut pénétrer par des évasions. La toxicité résiduelle de ce produit n'est pas connue.

**IV.1.7. Acide sulfurique** : L'addition de cet acide permet de réduire au minimum la salissure et de diminuer le pH afin d'éviter une partie de carbonate dissous, au début, et puis augmenter le pH après la précipitation de carbonates et élimination du CO<sub>2</sub> résiduelle. La solution acide est alors déchargée en mer posant des dommages en combinaison avec les propriétés chimiques de l'eau sur les organismes marins.

#### **IV.2. Impacts marins écotoxicologiques des unités de dessalement des eaux de mer :**

L'impact potentiel sur les communautés biotiques des estuaires se manifeste par la mort des différents niveaux d'invertébrés et de poissons due aux déperditions de leurs propres moyens de défenses lors de leur entraînement dans les systèmes. Beaucoup de ces organismes meurent soit par asphyxie en raison de mouvements gênants de leurs branchies, soit par des dommages mécaniques internes ou externes ou externes subit lors de leur passage dans les systèmes traversés soit par les injections d'additives. La mortalité de cette faune pourra être immédiate ou latente. De même, la majorité des œufs et de larves d'invertébrés et de poissons sera détruite.

Cet enchaînement perturbe globalement certains facteurs biotiques de ses populations, tels que :

- La composition et l'abondance des espèces affectées ;
- Leurs abondances dans les eaux adjacentes ;
- Leur taux de survie en comparaison à la survie naturelle ;
- Les rôles écologiques des organismes charriés et leurs stratégies reproductives.

Ces impacts sont plus probables à se développer dans des estuaires peu profonds fermés ou pauvrement mélangés, et dans des sites vulnérables quand la demande en eau de mer est importante.

L'impact global de la station de dessalement sur l'environnement estuaire dépend énormément de sa taille et de sa demande en eau de refroidissement ainsi que des conditions hydrographiques du site. Par conséquent, il y a lieu d'apporter un soin particulier au choix du site et de procéder à l'étude d'impact avant sa construction (**Rachid, M. et Chouikhi, A. 2005**).

#### **IV.4. Impact de caléfaction :**

La chaleur perdue déchargée des usines thermiques de dessalement (généralement entre 8 et 15°C au-dessus de la température ambiante d'eau de mer) est finalement absorbée dans l'environnement marin. La température des substances réceptives augmente potentiellement lorsqu'on décharge une grande quantité du volume d'eau de refroidissement relativement à sa capacité de dispersion.

##### **IV.4.1. Impact de la caléfaction sur la qualité de l'eau :**

La température d'effluent a une influence importante sur les propriétés physique de l'eau de mer et peut détériorer sa qualité. Les principales conséquences sont les suivantes :

- La solubilité d'oxygène diminue avec l'augmentation de la température, ce qui place le biote dans des conditions de vie contraignantes dues à sa forte demande en oxygène. L'effet synergique des charges organiques et cette température élevée de l'eau accélère la

respiration de bactéries et peut promouvoir l'anoxie ou l'hypoxie contribuant à l'élimination de la vie aquatique, en particulier durant l'été.

- La densité, viscosité, la tension de surface et la solubilité d'azote diminuent également avec l'augmentation de température :
- La différence de densité développe la stratification des masses de l'eau, quoique la circulation et la profondeur affectant aussi bien celle-ci.
- La diminution de la viscosité conduit à des taux accrus de dépôts qui influenceront la sédimentation.
- La réduction de solubilité de l'azote peut contribuer, en retour, à sa détérioration lors de la production primaire.
- L'élévation de la pression de vapeur à température élevée accélère l'évaporation surtout en période estivale.

#### IV.4.2. Impact de la caléfaction sur les organismes :

L'altération de taux de solubilité chimique et des réactions biochimiques au niveau du milieu récepteur entraînant automatiquement des réponses physiologiques et des changements de comportement des organismes :

**A/- Production primaire** : la charge thermique réduit la production primaire. Elle affecte le système aqueux dans son ensemble en combinaison avec d'autres modifications au niveau de la respiration des populations, de la composition de l'espèce, de la dynamique des nutriments et de la production secondaire (**Bremere, I. Kennedy, M. Sticker, A. et Schippers, J. 2005**).

- **Algues** : différentes situations peuvent apparaître :
  - La dépression du taux de photosynthèse phytoplanktonique entraînant la diminution de la production algale.
  - Des populations normales d'algues tendent à être remplacées par des espèces moins souhaitables ; situation d'eutrophisation.
  - Diminuer la production des populations macro-algales.
  - Diminuer l'abondance et la diversité du phytoplancton.
- **Zooplancton** : le métabolisme du zooplancton dépend également de la température. Celui-ci affecte fortement toute la physiologie et l'écologie du groupement planctonique par :
  - Une mortalité forte due à la tolérance thermique de l'espèce.
  - Impact sublittoral tel que la réduction de la croissance et de la biomasse.
  - Fluctuation dans l'abondance de micro-zooplancton qui est traduit, par une réduction de larves de polychètes et de bivalves, de copépodes, ou par une augmentation des rotifères ou de larves de gastéropodes.
- **Invertébrés benthiques** : en raison de leur mortalité relativement limitée, diverses situations peuvent être notées :
  - La présence de la forme benthique moins riche en espèce.
  - La réduction de croissance de la palourde et d'une croissance plus rapide des huîtres.
  - Un taux de mortalité significatif de l'espèce adulte.
- **Poissons** : résistant à une bande de température limite, les poissons ne peuvent pas commander leurs équilibres thermiques internes activement. Ils disposent de récepteurs thermocutanés sensibles dont y permettant d'éviter le faisceau thermique ou d'être attirés, l'augmentation ou la réduction de la température influence sur leur vitesse de natation et leur comportement qui mène à une modification des diagrammes de leurs distributions.

Généralement, la productivité de poissons dans une zone exposée à la caléfaction devra augmenter ; cependant, la mort des poissons causée par le choc brutal froid ou chaud lors des

opérations d'arrêt et de démarrage de l'unité de dessalement compense ce possible effet bénéfique.

Les altérations des réactions biochimiques du milieu peuvent éliminer la reproduction.

Les poissons succombent certains mécanismes tels que :

- Rupture du péristaltisme de muscle.
- Dénaturation de la protéine dans les cellules.
- Augmentation de l'acide lactique dans le sang.
- Le déficit d'oxygène qui se traduit à augmenter l'activité de respiration ;

S'ils ne meurent pas, les poissons peuvent par contre subir des effets physiologiques sublittoraux tels que :

- Une baisse d'éclosion des œufs.
- Une inhibition du développement larvaire.
- La dégénération des érythrocytes.
- Un abaissement du taux respiratoire

#### **IV.5. Impacts de salinité :**

La saumure 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.

A 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 hydrodynamiques (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 (**Argyrou, M. 2000**).

##### **IV.5.1. Sur la qualité de l'eau du milieu récepteur :**

La concentration élevée de salinité entraîne une augmentation de la turbidité de l'eau. Ce genre de pollution est probable à empêcher la pénétration de la lumière, et perturbe le processus de photosynthèse. L'effluent de saumure contient des substances dissoutes concentrées provenant de l'eau de mer, son poids spécifique élevé lui fait couler au fond de mer et empêchera son mélange, de ce fait créant un désert de sel à proximité du canal de décharge (**Rachid, M. et Chouikhi, A. 2005**).

##### **IV.5.2. Sur les organismes marins :**

- **Plancton** : une augmentation de la salinité du milieu du plancton peut réduire leur production jusqu'à leur extinction (principalement aux niveaux des larves et jeunes individus).

La susceptibilité des invertébrés varie, principalement chez les crustacés, mais en générale, ceux avec l'estomac long sont plus sensibles à une élévation de salinité que ceux avec courte.

Les larves crustacées et invertébrées flottant dans la colonne d'eau sont également plus sensibles aux variations de niveaux de salinité que les individus entièrement développés (**Bremere, I. Kennedy, M. Sticker, A. et Schippers, J. 2005**).

Certaines espèces ; principalement les diatomées, sont résistantes aux niveaux élevés de salinités, mais la plupart ne survivront pas longtemps (Einav, R. et Lockiec, F. 2003).

- **La Posidonie** : comme étant un indicateur biologique, dont est une plante aquatique endémique à la Méditerranée, a montré une forte sensibilité à l'élévation de la salinité même une élévation modérée. (Sánchez, L. 2008)
- **Poisson** : la susceptibilité à l'élévation de salinité varie de l'espèce à l'espèce d'un endroit à l'autre, et apparemment, aucun travail ou recherche n'ont été effectués pour examiner systématiquement la résistance des diverses espèces trouvées dans le secteur méditerranéen ou du Golf.

#### IV.8. Influence des paramètres physico-chimiques (T, Pp, Concentration) sur le flux de perméat :

L'influence de la température, du facteur de concentration et de la pression de vide côté perméat a été simulée.

##### IV.8.1. Influence de la concentration :

Le facteur de concentration est aussi à prendre en compte puisque une augmentation de la concentration entraîne une diminution du flux de perméat ainsi le flux de perméat varie de 10,7 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> pour une concentration en entrée de procédé de 71 g.L<sup>-1</sup> jusqu'à 6 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> en sortie (figure 23). La surface de membrane sera donc à dimensionner en conséquence.

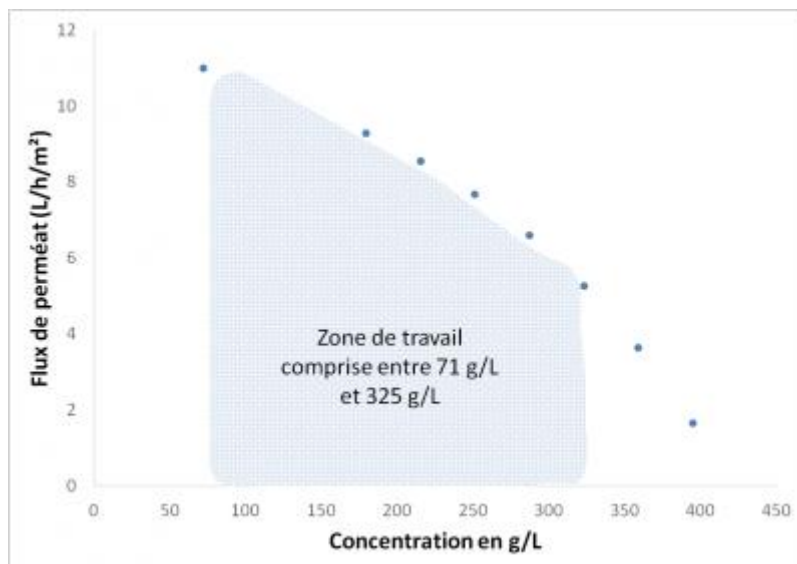
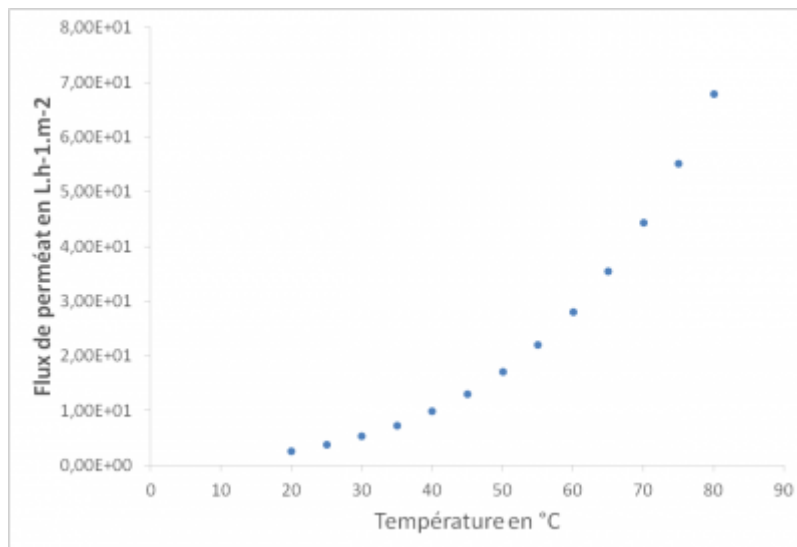


Fig23 : Influence de la concentration sur le flux de perméat (INP, 2010)

##### IV.8.2. Influence de la température :

L'influence de la température sur le flux de perméat (figure 24) a été simulée. La température a une influence considérable sur le flux de perméat à travers la membrane puisque celui-ci augmente

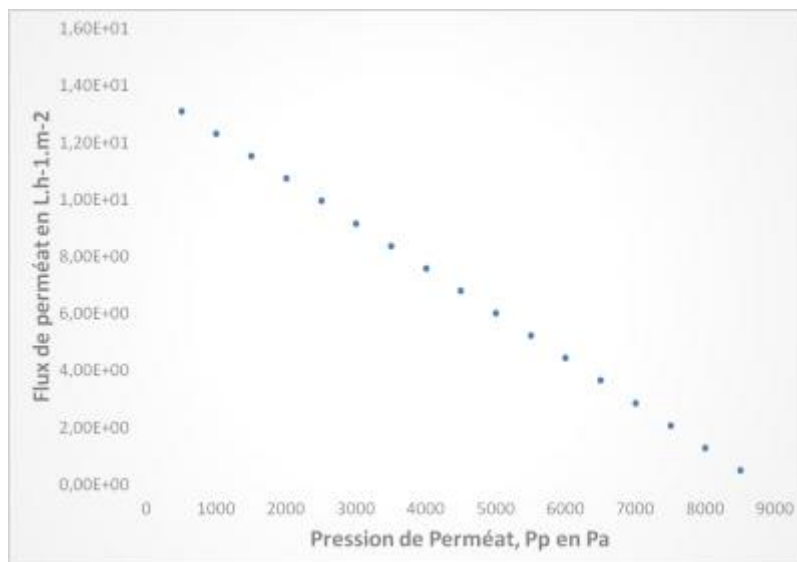
exponentiellement avec la température. Il conviendra donc de toujours préconiser une température élevée en opération en trouvant un compromis entre coût énergétique et performance du procédé.



**Fig24** : Influence de la température sur le flux de perméat (INP, 2010)

#### IV.8.3. Influence de la pression de vide appliquée côté perméat :

Le flux de perméat diminue linéairement avec la pression partielle (figure25). Lorsqu'il n'est pas possible de chauffer l'eau à la température souhaitée, il faudra donc diminuer la pression côté perméat pour maintenir un flux de perméat constant.

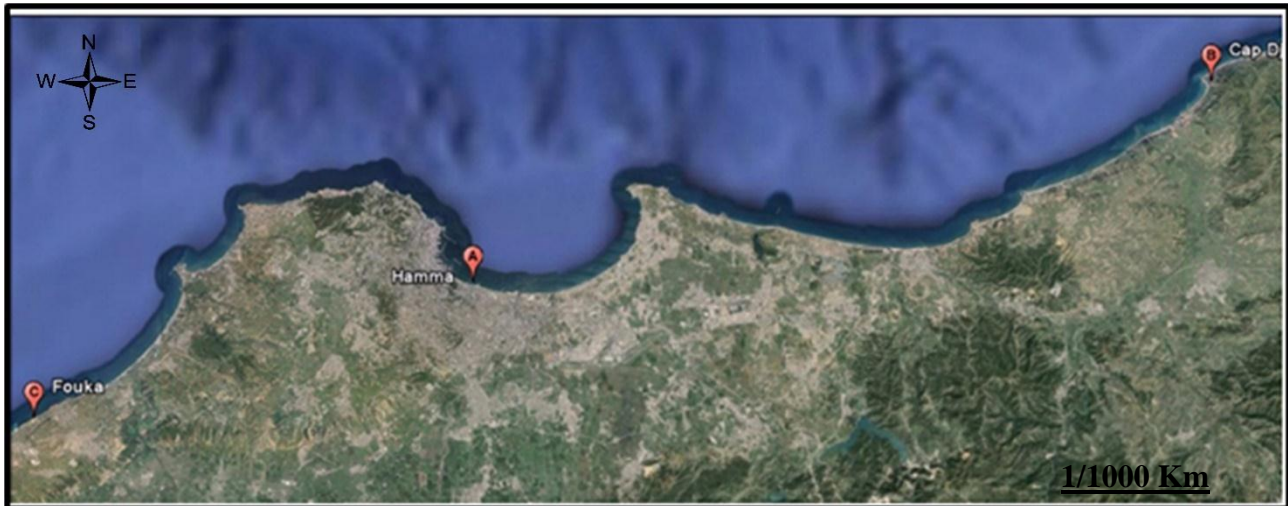


**Fig25** : Influence de la pression appliquée côté perméat sur le flux de perméat obtenu (INP, 2010)

## 1. PRESENTATION GENERALE DU SITE

### 1.1.Situation géographique :

Les sites d'étude sont des stations de dessalement comme suit ; El Hamma, Cap Djenat, et Fouka. En définissant les localités des stations (figure26)



**Fig26 : Localisation des sites d'étude (Google Earth, 2015)**

- **El Hamma :**

#### **Unité de dessalement d'El Hamma, une "source" pour la capitale**

L'usine de dessalement d'eau de mer d'El Hamma située selon les coordonnées géographiques suivantes  $36^{\circ}45'06,67''N$  et  $3^{\circ}04'49,03''E$ , inaugurée en 2008, a ouvert la voie, en matière d'amélioration de l'alimentation en eau potable des grandes villes du pays, au passage à une nouvelle ère dans la conception des grands projets hydrauliques.

Elle tourne avec un effectif de 40 personnes exclusivement de nationalité algérienne et produit  $200.000 \text{ m}^3/\text{j}$ , acheminés vers les quatre réservoirs de la SEAAL de Kouba sur les hauteurs d'Alger, chargé de les reverser dans le réseau AEP pour ensuite alimenter les quelques deux millions d'Algérois.

- **Cap Djenat :**

Ce mégaprojet hydraulique (dont le taux de réalisation est estimé à 92 %) est doté d'une capacité de traitement journalière de 100.000 m<sup>3</sup> d'eau, selon les explications fournies au ministre en marge de sa visite d'inspection dans la wilaya de Boumerdes.

Située sur 36°51'05,81"N et 3°41'55,68"E il est destiné (dans sa première phase d'exploitation) à un bassin de population de plus de 100.000 âmes, disséminé à travers six communes et dix-sept villages du Nord et de l'Est de la wilaya, a-t-on ajouté. Selon les responsables du secteur de l'hydraulique de Boumerdes, des actions seront, également, entreprises en vue de l'extension des services de cette station aux communes de Tizirt et Azeffoun de la wilaya de Tizi-Ouzou.

- **Fouka :**

La station de dessalement d'eau de mer de Fouka, située dans la wilaya de Tipaza, à 36°40'42,14"N 2°45'37,83"E est fonctionnelle. Cette structure, qui vient d'être mise partiellement en service, est destinée à couvrir les besoins en eau potable de la partie Est de la wilaya de Tipaza et d'une partie de la région Ouest d'Alger, un volume de 20.000 m<sup>3</sup>/jour a été distribué depuis déjà une semaine aux habitants des communes de Koléa et de Fouka. Cette distribution devra être élargie aux 17 communes de la wilaya de Tipaza et d'Alger concernées par ce programme.

Implantée sur une superficie de 10 ha dans le quartier Haï Mouaz dans la commune de Fouka (daïra de Douaouda), cette station va couvrir les besoins des 17 communes avec un volume affecté de 60.000 m<sup>3</sup> pour une population totale estimée à 476.372 habitants répartis entre les wilayas de Tipaza et d'Alger.

Cette station, la troisième du genre inscrite dans la wilaya de Tipaza après celle de Bou Ismail (5000 m<sup>3</sup>) et d'Oued Sebt en cours de lancement (100.000 m<sup>3</sup>/Jour), utilisera la technique de l'osmose inverse pour dessaler l'eau de mer.

Sa capacité journalière de dessalement est de 120.000 m<sup>3</sup>, dont 60.000 m<sup>3</sup> destinés à Alger et 60.000 m<sup>3</sup> seront réservés à la wilaya de Tipaza. Cette wilaya a déjà achevé le raccordement en aval de la station pour alimenter en eau potable les communes de Douaouda, Fouka, Bou Ismail, AïnTagourait, Attatba et Chaïba.

La partie réservée à Alger touchera les communes limitrophes de la wilaya de Tipaza, à savoir Zéralda, Mahelma, Staoueli et AïnBenian, selon les responsables chargés du projet.

Quelque 113 km de conduite en fonte ductile et en acier de différents diamètres ont déjà été réalisés pour relier les 17 communes à la station de Fouka. Celle-ci est équipée de deux stations de pompage ainsi que de sept réservoirs d'une capacité de 14.000 m<sup>3</sup> pour un volume total affecté de 60.000 m<sup>3</sup> pour chaque wilaya.

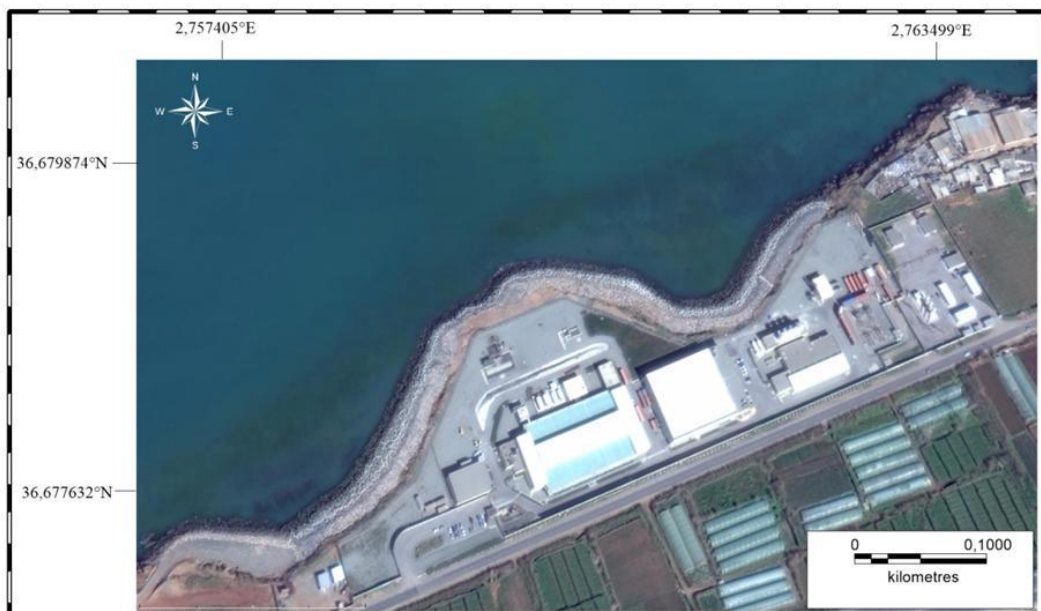
1.2. Les photos satellitaire des trois stations concernées ;



**Fig27** : Image satellitaire de la station de dessalement Cap-Djenat (Google Earth, 2015)



**Fig28** : Image satellitaire de la station de dessalement d'El Hamma (Google Earth, 2015)



**Fig29** : Image satellitaire de la station de dessalement de Fouka (Google Earth, 2015)

## Chapitre V Matériels et Méthodes

### V.1. Méthodologie du travail

#### V.1.1. Les prélèvements:

Les prélèvements hebdomadaires ont été réalisés durant le mois de Décembre 2014. Ils ont été réalisés entre 9h et 11h du matin. Au total 11 échantillons par station ont été prélevés, le matériel du prélèvement a fait l'objet d'une attention particulière, L'emploi de flacons en verre borosilicaté est conseillé de préférence, bouchés avec des bouchons en polyéthylène ou en téflon maintenus pendant une heure dans de l'eau distillée puis séchés.

Les prélèvements ont été effectués à partir d'un robinet où nous avons laissé l'eau s'écouler pendant 10min. Au moment du prélèvement, on a rincé les flacons trois fois avec l'eau à analyser puis nous les avons remplis à ras bord.

Les échantillons sont transportés dans une glacière isotherme (4°C), et l'analyse est faite le même jour. Les mesures de la température, salinité, pH et d'oxygène dissous ont été faites sur place.

#### V.1.2. Les phases d'analyses:

La qualité de l'eau de mer et ainsi que l'efficacité du traitement opéré est mise en évidence grâce aux analyses suivantes :

##### V.1.2.1. Les analyses physico-chimiques:

Les trente-trois (33) échantillons d'eau de mer sont prélevés et destinés aux analyses des paramètres physico-chimiques. Chaque station comporte 02 prélèvements de surface à 1m profondeur et 01 prélèvement de fond supérieur à 6m de surface ont été effectués.

Les analyses physico-chimiques ont concerné les paramètres suivant : T°C, pH, Conductivité électrique, Sulfates, Nitrates, Nitrites, orthophosphate, et Oxygène dissous. Métaux lourds (Fer, Aluminium).

##### V.1.2.2. Le pH:

Le pH de l'eau a été mesuré par la méthode électrochimique à l'aide d'un pH-mètre de terrain de marque WTW type pH 315 i/Set avec une précision de  $\pm 0,01$ . Il permet de mesurer la différence de potentiel excitant entre une électrode de verre et une électrode de référence.

L'électrode en verre est rincée après chaque manipulation avec l'eau distillée. L'étalonnage de l'appareil est effectué avec des solutions étalons à pH connu (acide, neutre, basique).

##### V.1.2.3. La salinité et la conductivité:

La mesure de la salinité in situ a été effectuée à l'aide d'un salinomètre de marque Cond 197i (WTW) avec une précision de  $\pm 0,1\%$ . L'étalonnage a été effectué à partir d'eau de mer que l'on introduit après l'avoir amenée à la température ambiante dans la cellule de mesure. Le salinomètre est réglé pour donner la conductivité correspondant à la chlorinité de l'eau de mer normale.

##### V.1.2.4. La température et l'oxygène dissous:

L'utilisation de la méthode électrochimique nous a permis l'estimation simultanée de la température et de l'oxygène dissous. L'appareil utilisé est un oxymètre de terrain de marque OXI 197i (WTW) qui a une précision de  $\pm 0,1\%$ . La sonde électrolytique est plongée dans l'eau prélevée immédiatement dès le remplissage des flacons.

**V.1.2.5. La turbidité:**

Les mesures sont réalisées avec un turbidimètre model Turb 550 lot 30810 avec une précision de +ou- 1%.

**V.1.2.6. La MES:**

Les MES (matières en suspensions) : Ont été faites par filtration au travers de filtres GF/F (filtre en polycarbonate et de porosité environ 0,4µm et de 47mm de diamètre). Le taux est déterminé par le rapport poids du MES (calculé par la différence du poids du filtre plein et du filtre vide) au volume d'eau filtrée rapporté au litre.

**V.1.2.7. Les sels nutritifs:**

Nous avons procédé au prélèvement de 33 échantillons d'eau de mer pour l'analyse des sels nutritifs et des ions majeurs, répartis sur 3 stations.

L'analyse chimique des sels nutritifs et des ions majeurs ainsi que les analyses bactériologiques dans l'eau de mer ont été effectuées au niveau du laboratoire de la Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL).

**V.1.2.7.1. Principe des dosages des sels nutritifs:**

La méthode du dosage des sels nutritifs (ammoniums, nitrites, nitrates, orthophosphates et silicates) est basée sur une réaction de coloration. Ces sels réagissent dans des conditions (présence de catalyseurs, température, pH,...) des réactifs spécifiques pour donner une coloration absorbant la lumière l'intensité de la coloration est plus forte si l'eau est concentrée en sel dosé. La quantité de la lumière absorbée par la solution (absorbance A) ou bien densité optique (D.O) est calculée selon la *loi BEER-LAMBERT*:

$$A=D.O=\ln(I^{\circ}/I) = \epsilon .L .C$$

Où:

$I^{\circ}$  et  $I$  : sont respectivement l'intensité lumineuse incidente et émergente du milieu absorbant.

$\epsilon$ : le coefficient d'extinction molaire variant en fonction de la température et de la longueur d'onde.

$L$  : la longueur du milieu traversé exprimé en cm.

$C$  : concentration de la solution absorbante exprimée en mol/l.

$A$  : absorbance de la solution.

L'analyse des sels nutritifs dans l'eau est réalisée automatiquement en outre des manipulations nécessaires au dosage manuel : prélèvements, analyse et lecture. (Rodier J, 1996).

Pour notre étude, l'analyse des sels nutritifs est faite par colorimétrie à flux continu sur une chaîne automatisée « Auto-Analyzer SAN PLUS » en suivant les protocoles définis par le fabricant (Skalar, 2000). L'appareil fonctionne selon un principe dynamique simple, celui de l'analyse liquide en milieu continu : par l'intermédiaire d'une pompe péristaltique, une veine liquide progresse en continu, ce qui permet une polyvalence et une grande souplesse.

Toutes les réactions chimiques se déroulent dans la veine en progression. L'analyse des échantillons est faite par séquence, donc une grande cadence de travail.

**A. Dosage de Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) :**

Les nitrites sont dosés par une méthode colorimétrique basée sur la réaction de Griess où les  $\text{NO}_2^-$  réagissent avec une première amine aromatique pour former un diazoïque qui est couplé à une seconde amine aromatique pour produire un colorant rose. (**Bendeschnneider et Robinson, 1952**).

**B. Dosage de Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) :**

Il s'agit d'une méthode colorimétrique composé de GRIESS utilisant le nitrite après réduction du nitrate en nitrite. Cette réduction se fait à l'aide d'une colonne réductrice de cadmium. (**Wood et al, 1967**).

**C. Dosage de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) :**

Il s'agit d'une méthode colorimétrique utilisant du bleu d'indophénol, basée sur la réaction de BERLETELOT ou l'ammoniac, en milieu basique, réagit tout d'abord avec l'hypochlorite pour former un monochloramine, puis successivement avec deux molécules de phénol pour former le bleu d'indophénol. (**Wood et al, 1967**).

**D. Dosage d'orthophosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) :**

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium se forme un complexe phosphomolybdique qui est réduit par l'acide ascorbique et il se traduit par une coloration bleue. (**Rodier et al, 2005**).

**E. Dosage de Silicium ( $\text{SiO}_2$ ) :**

Le silicium dissous est présent dans l'eau à 95% sous forme d'acide ortho silicique. Il réagit avec le molybdate d'ammonium en milieu acide pour former un complexe silicomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique en un composé coloré en bleu à 810min. (**Mullin et Rillely, 1955**).

**V.1.2.8. Extraction des métaux lourds (Al, Fe) :**

Les éléments métalliques (métaux lourds) ont été extraits par attaque acide à chaud.

Les métaux lourds, ils ont été déterminés par la technique d'absorptions atomiques avec flamme, norme ISO 8288 ; 1986.

**V.2. Analyse de la variance à un facteur-ANOVA :**

Cette méthode a pour but de mesurer la liaison entre une variable qualitative et une variable quantitative Cela revient à comparer les moyennes de k populations qui sont supposées normales et de même variance, à partir d'échantillons aléatoires et indépendants les uns des autres Les résultats sont présentés sous forme de tableau Règle de décision Si F est supérieur à telle valeur (ou si p est inférieur à 0,05), on rejette  $H_0$  Les moyennes entre les différentes classes sont significativement différentes

Il est utilisé pour la présente étude l'analyse de la variance (ANOVA). Qui est une méthode de comparaison de plusieurs moyennes. Elle permet de tirer des conclusions sur l'indication de l'effet des différents types de dessalement (Régions) sur la qualité physico-chimique des eaux de mer.

Les relations entre différentes variables ont été analysées par des tests statistiques comme l'analyse des variances (ANOVA). En effet, les écarts observés entre les estimations peuvent être uniquement le fruit des fluctuations fortuites d'échantillonnage. Ce test permet de s'en assurer. Le test ANOVA, permet également de savoir, dans une étude à plusieurs variables, (année, station) laquelle influe le plus sur les moyennes finales (teneurs moyennes en qualité d'eau). Les valeurs des résultats de l'analyse de la variance, permet de vérifier la valeur du F de Fisher et sa probabilité « p » : Si F est inférieur à 5% ( $p < 0,05$ ), l'hypothèse nulle est rejetée, donc la différence entre les moyennes est hautement significative (**Ramousse et al, 1996**). Les valeurs moyennes obtenues pour différents échantillonnages ont été comparées 2 à 2 par des tests de comparaison de moyennes (test Newman keuls).

Notre première intention a consisté d'analyser point par point pour démontrer un éventuel gradient de corrélation de paramètres physico-chimiques à partir de la zone de rejet de l'eau avant et après dessalement qui serait dû à un phénomène de dilution des rejets dans l'eau de mer. Mais nous avons finalement décidé, suite à l'absence de résultat net de choisir le facteur localités qui aura un effet significatif sur la qualité des eaux de mer.

L'ensemble des tests ANOVA vont donc comparer les moyennes des stations pour détecter les éventuels effets des rejets des stations de dessalement sur la qualité physico-chimique de l'eau de mer.

### V.3. Analyse en composantes principales (ACP) :

L'analyse en composantes principales (ACP), est une méthode statistique essentiellement descriptive. Son objectif est de présenter sous une forme graphique, le maximum des informations contenues dans un tableau de données. Les données comportent n variables quantitatives. Les individus peuvent être représentés dans un espace à p dimensions (**PHILIPPEAU, 1986**).

C'est l'une des méthodes d'analyses multidimensionnelles qui visent à structurer, à résumer et synthétiser les données en vue de comprendre le phénomène étudié. Les résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) se présentent essentiellement sous la forme d'une suite de graphes. Les projections des individus et des variables figurent simultanément sur les mêmes graphiques. Deux individus proches sur la représentation sont semblables vis-à-vis de toutes les variables. Plus les variables se situent près du centre du graphique, moins elles sont discriminantes et inversement (**VILAIN, 1999**). La forme graphique de l'analyse en composantes principales (ACP) réunit à la fois les points caractéristiques des variables observées et les points représentatifs des individus observés (**DAGNELIE, 1975**).

Elle permet de décrire les relations existant entre les différents types d'échantillons d'eau et les régions de prélèvement d'une part, et entre les différents types d'échantillons d'eau entre elles-mêmes, d'autre part. L'analyse en composantes principales (ACP) appliquée à l'étude Physico-chimique des échantillons d'eau, sera réalisée en tenant compte de leur point de prélèvement (localités), pour établir la relation entre les variables quantitatives, c'est-à-dire la relation entre les différents types de contamination des eaux de mer après dessalement.

## Chapitre VI

### Résultats et Discussions

#### VI.1. Distribution et variations des paramètres mesurés:

Les données acquises dans les zones étudiées sont résumées ci-dessous sous forme de valeurs moyennes et Ecart-types.

**Tableau16** : Statistiques descriptives des variables quantitatives des stations étudiées.

	Moyenne	Médian	Mode	Somme	Minimum	Maximum	Ecart-type	Coef.Var. %	Standard	Std.Err.
T °C	16,98	16,00	15,60	560,34	14,90	17,33	2,43	14,34	0,42	0,80
pH	7,76	7,55	7,55	256,24	7,33	8,41	0,39	5,05	0,07	0,80
S (PSU)	36,74	36,90	37,10	1212,30	36,00	37,20	0,39	1,06	0,07	0,80
O2 (mg/l)	10,58	10,60	13,40	349,28	6,50	13,54	2,52	23,80	0,44	0,80
MES (mg/l)	3,00	1,67	1,67	98,88	1,25	8,00	2,10	69,94	0,36	0,80
NH4 (mg/l)	0,34	0,40	0,50	11,20	0,10	0,50	0,15	43,54	0,03	0,80
NO3 (mg/l)	1,61	1,60	1,60	53,25	1,50	1,80	0,05	3,00	0,01	0,80
PO4 (mg/l)	0,02	0,02	0,01	0,74	0,01	0,04	0,01	53,50	0,00	0,80
Al (mg/l)	0,02	0,01	0,01	0,62	0,01	0,15	0,03	136,81	0,00	0,80
Fe (mg/l)	0,06	0,04	Multiple	1,83	0,01	0,13	0,04	75,52	0,01	0,80

##### VI.1.1. Température:

Hormis le point de mesure au niveau de rejet où on a relevé une température de 22°C, la moyenne des températures mesurées sur l'ensemble des stations est environ 17°C, cette température est conforme à la température moyenne de la période hivernale. La moyenne des températures mesurées sur les points de fond est inférieure à la moyenne des températures mesurées sur les points de surface.

##### VI.1.2. Salinité:

La salinité mesurée varie entre les deux valeurs extrêmes enregistrées 37,2‰ et 36,0‰ avec une moyenne de 36,74‰. La moyenne des salinités mesurées sur les points de fond est supérieure à la moyenne des salinités mesurées sur les points de surface.

##### VI.1.3. Oxygène dissous:

Les résultats révèlent des fluctuations assez importantes concernant l'oxygène dissous. Ces valeurs varient de 6,50 à 13,54 mg/l, avec une moyenne de 10,58 mg/l. Ces variations sont probablement dues à la variabilité des facteurs intervenant dans son cycle. La valeur la plus faible est observée en face de rejet des eaux.

##### VI.1.4. Conductivité:

La conductivité est un paramètre qui a une relation directe avec la minéralisation qui, elle-même est en relation directe avec le TDS et la salinité de l'eau. Elle peut entraîner cependant, selon le cas, un goût salé et même une accélération de la corrosion au niveau des dépôts dans la canalisation. Les différentes mesures de la conductivité dans l'eau brute ont donné des résultats étant majoritairement de 284µs/cm. Après le passage de l'eau de mer prétraitée dans l'unité d'OI, la conductivité a baissé pour atteindre une valeur moyenne égale à 180µs/cm. Mais la norme Algérienne concernant la conductivité est de l'ordre de 280µs/cm. Alors pour être dans la norme,

l'ajout de certaine quantité d'eau filtrée et de la chaux permet d'atteindre finalement des valeurs tournant approximativement autour de  $254,35\mu\text{s}/\text{cm}$ , ce qui donne une eau dans la norme.

### VI.1.5. La Turbidité :

La valeur de la turbidité de l'eau de mer est autour de 19,5 NTU. Grace aux différents traitements de clarification (coagulation, floculation, décantation et filtration) ainsi que la microfiltration, la turbidité augmente à une valeur moyenne égale à 1,5 NTU, ce qui est supérieur à la norme établie.

Logiquement avec la microfiltration et l'osmose inverse la turbidité avoisine une valeur de 21,5 NTU mais le rajout de l'eau filtrée avec la chaux l'ont fait augmenter à la valeur tournée.

**Tableau 17** : valeurs de conductivité et turbidité relatives aux trois stations

Paramètres	Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		Turbidité (NTU)	
	Surface	Fond	Surface	Fond
<b>Station A</b>	$380 \pm 4,3$	$280 \pm 7,98$	$29,5 \pm 4,3$	$22,5 \pm 7,98$
<b>Station B</b>	$203,05 \pm 5$	$373 \pm 6,34$	$19,05 \pm 5$	$18,73 \pm 6,34$
<b>Station C</b>	$180 \pm 2,67$	$200 \pm 4,3$	$20 \pm 5,67$	$22,30 \pm 4,3$
<b>Moyenne</b>	$254,35 \pm 4$	$284,33 \pm 6,21$	$22,85 \pm 5$	$21,18 \pm 6,21$

### VI.1.6. Aluminium et Fer:

La répartition des concentrations de ces éléments montre une similitude dans leurs distributions. Le maximum de mesure se trouve en face de bassin de décantation, on observe un gradient décroissant de ce point de mesure vers le large.

**Tableau 18** : les métaux lourds.

Eléments (mg/l)	Al	Fe
<b>Station A</b>	<b>0,03</b>	<b>0,07</b>
<b>Station B</b>	<b>0,06</b>	<b>0,22</b>
<b>Station C</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>

### VI.2. Traitement statistique :

Les données du mois décembre ont été rassemblées dans un fichier Excel. Toute mesure concernant les paramètres physico-chimique, et les métaux lourds (Fer, Aluminium). La matrice dont on dispose comporte donc 03 sites sur 3 répétitions échantillons, soit 33 résultats par paramètre analysés.

La représentation graphique des éléments chimiques et l'étude des rapports caractéristiques ont montré qu'un grand nombre de paramètres chimiques et physicochimiques étaient significatifs, pris individuellement. Pour expliquer l'évolution du chimisme, la plupart du temps une/ou plusieurs liaisons plus ou moins fortes entre ces paramètres. Il est donc apparu intéressant d'essayer de traiter les données statistiquement, en utilisant une méthode d'analyse en multidimensionnelle comme l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

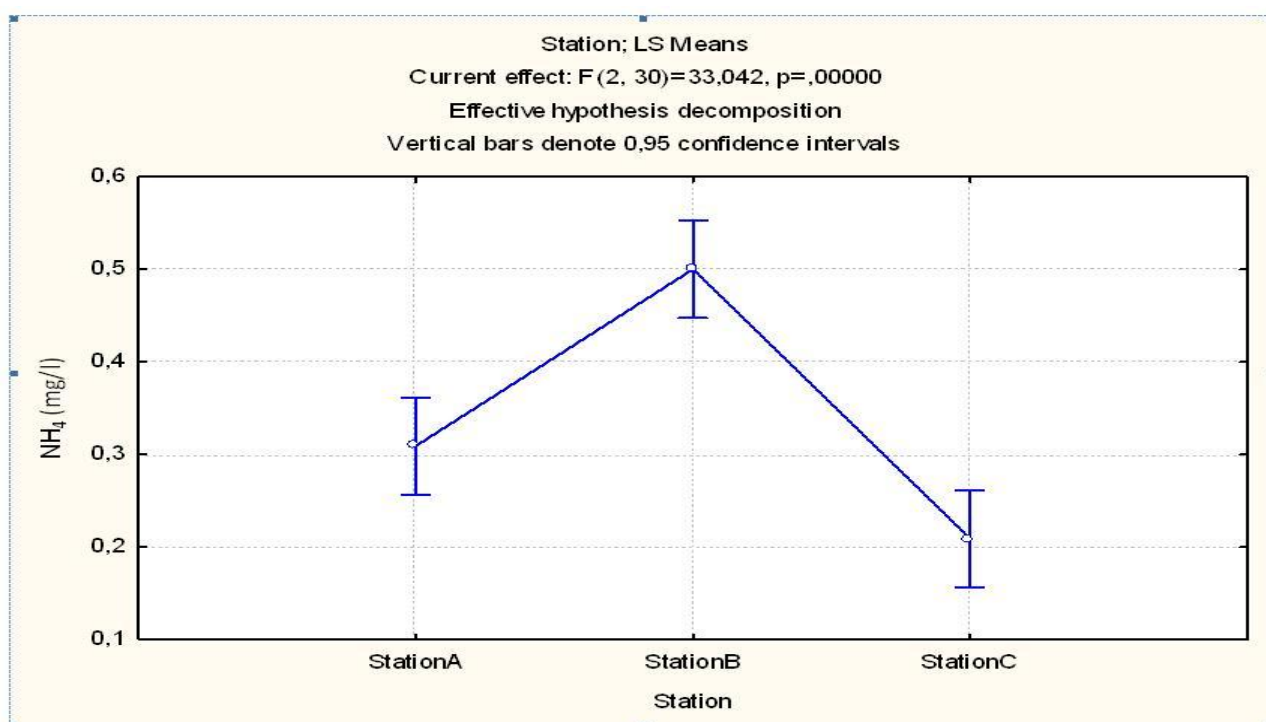
### VI.2.1. ANOVA :

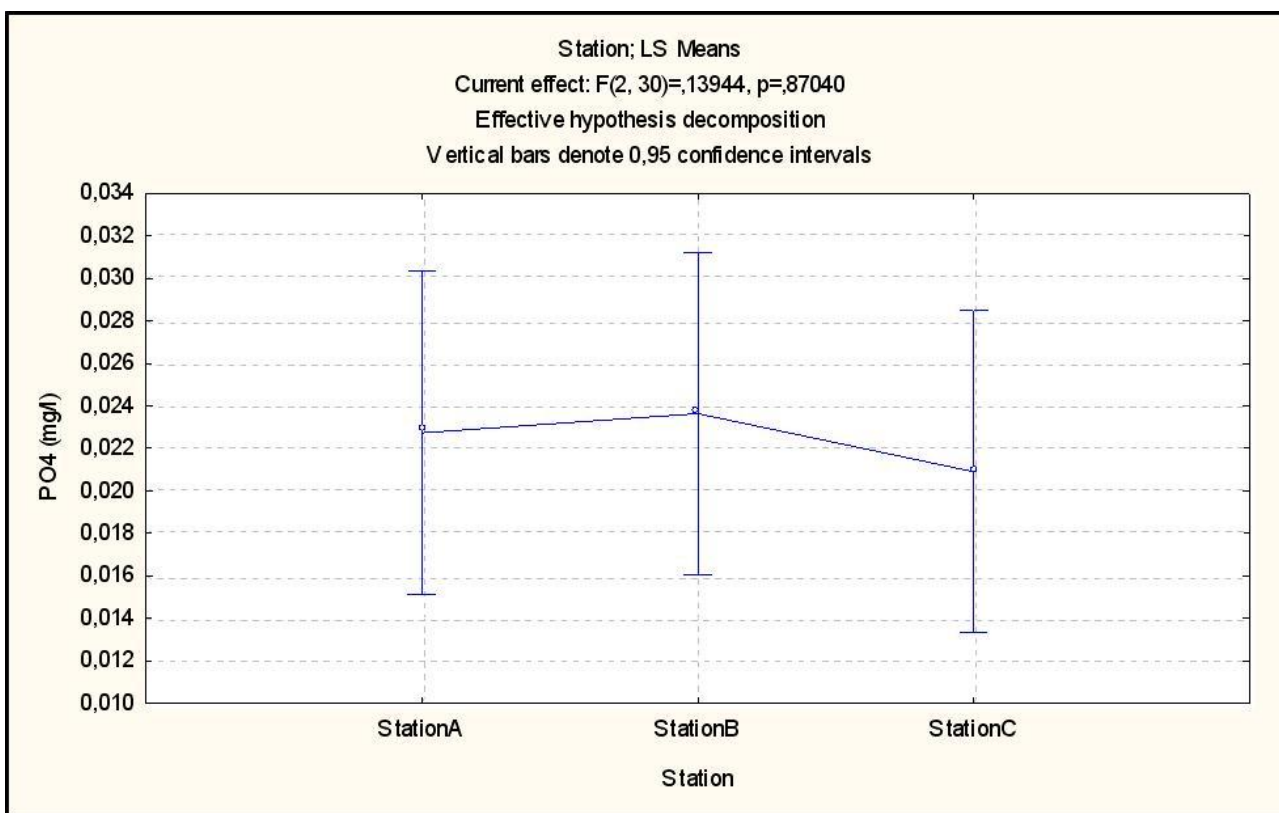
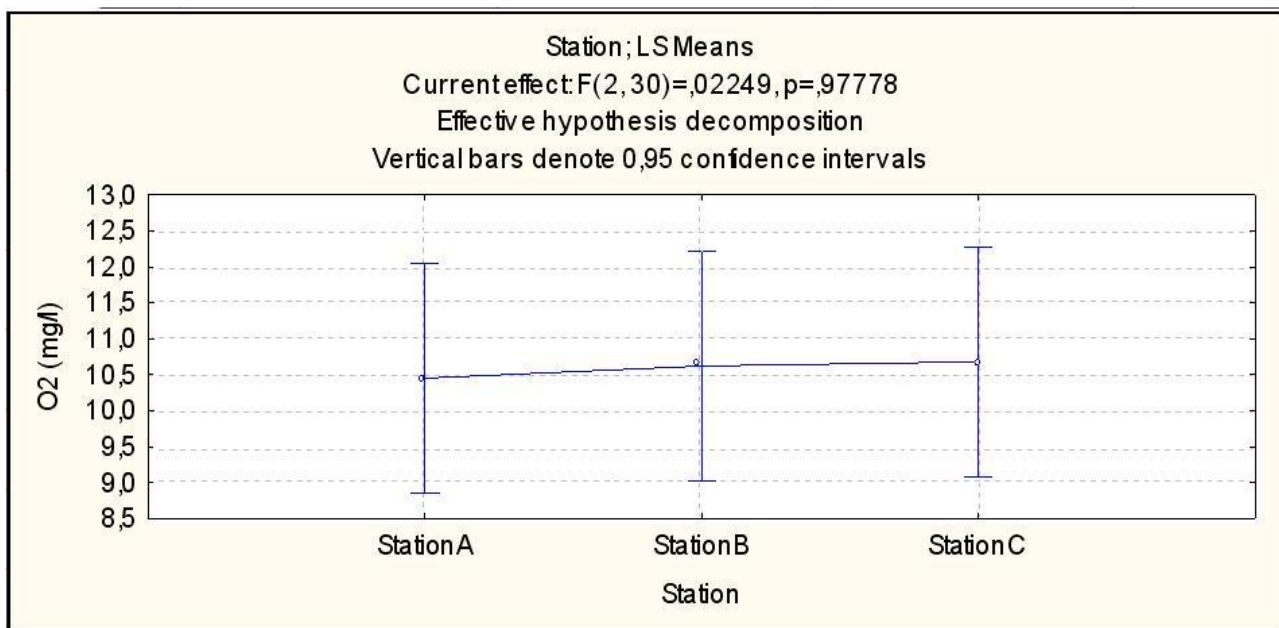
L'ANOVA à 1 seul facteur (localités), ne révèle aucune différence significative inter stations pour l'accumulation des 02 métaux. ( $p > 0,05$ ) Cependant, on observe une différence hautement significative quel que soit la station étudiée pour l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) ( $p = 0,000$ ) (Figure 30). Par contre pour l'oxygène dissous, l'orthophosphate et le Fer il n'y a aucune différence significative entre les teneurs moyennes et ceci pour les deux stations étudiées B et C ( $p = 0,97$   $p = 0,87$  et  $p = 0,88$ ) respectivement pour les variables oxygène dissous, l'orthophosphate et le Fer (Figure 30).

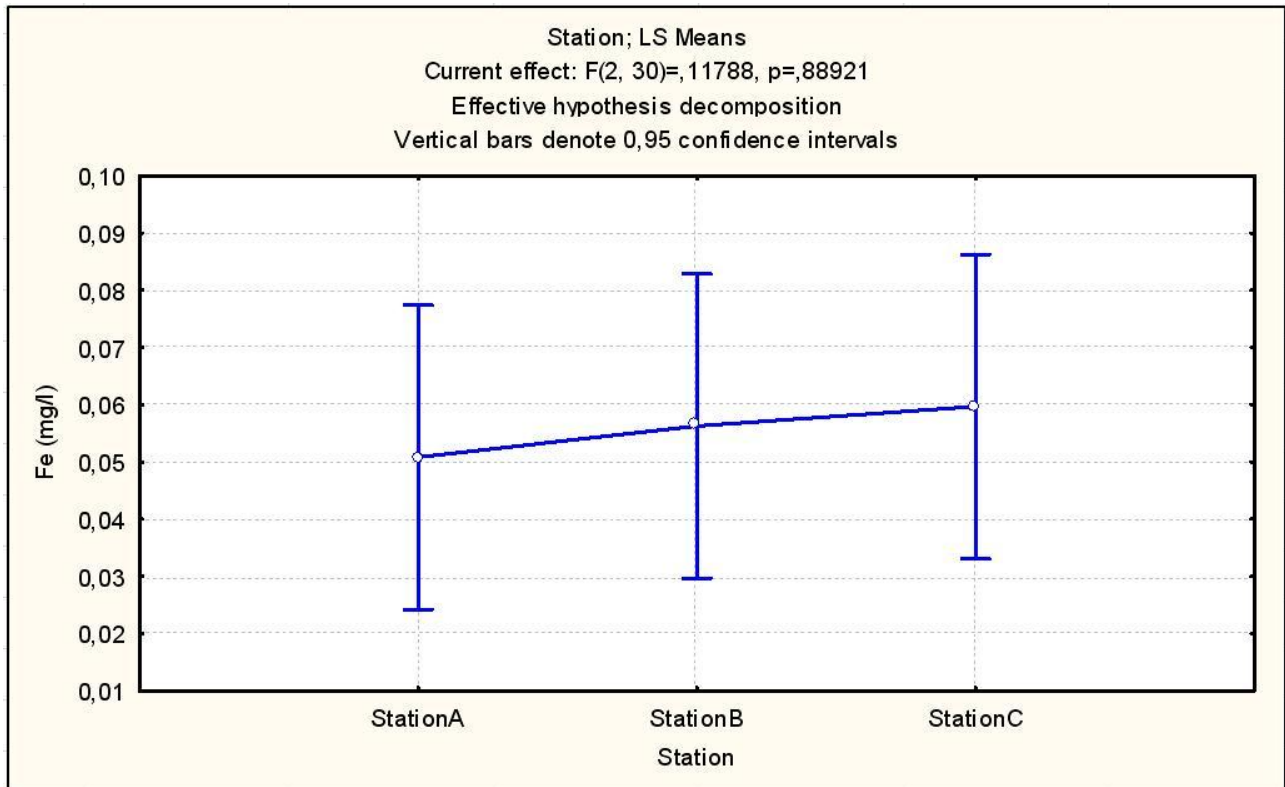
**Tableau 19:** Tests Uni-varié of Significance pour Sigma-restricted parameterization

	SS	DDL	MS	F	P	Signification
S (PSU)	0,09	2	0,04	0,3	0,755737	NS
O <sub>2</sub> (mg/l)	0,304	2	0,152	0,0225	0,977781	NS
MES (mg/l)	3,1437	2	1,5718	0,34321	0,712236	NS
SULFATES (mg/l)	558911	2	279455	1,001	0,379432	NS
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0,480606	2	0,240303	33,0417	0,000000	HS
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,00591	2	0,00295	1,28	0,292825	NS
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	0,000042	2	0,000021	0,1394	0,870404	NS
Al (mg/l)	0,001942	2	0,000971	1,53346	0,232228	NS
Fe (mg/l)	0,000440	2	0,000220	0,11788	0,889211	NS

Seuil de signification :  $p < 0.001$  HS,  $p < 0.01$  MS,  $p < 0.05$  S,  $p > 0.05$  NS.







**Fig30** : Schémas représentatives des variables suivantes ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  et Fe) pour les stations B, et C.

Les tests statistiques sous STATISTICA nous montrent des teneurs en matières polluantes significativement plus élevées pour les eaux de mer Station A que pour Stations B et C. La localisation n'est donc pas d'une efficacité maximale.

Pour les tests liés à l'ANOVA réalisés pour la comparaison des moyennes démontrent qu'il n'existe aucune différence significative pour l'ensemble des variables étudiées excepté pour l'ammonium qui est plus élevée en Station B (0,5 mg/l) Contrairement à ce que l'on avait supposé, aucun gradient de pollution n'est visible suite aux rejets des stations. L'eau de mer a donc un effet de dilution immédiat et toute trace de pollution est effacée dès les premiers rejets. Tableau ci-après démontre les groupes homogènes constitués par rapport aux stations étudiées.

Nous remarquons néanmoins que certains éléments tels que les nitrites, les nitrates et l'ammonium augmentent de façon plus ou moins régulière le long des rejets de stations. Les rejets de la station n'ont donc aucun effet sur la qualité des eaux de la mer. Par contre l'ammonium indique la variabilité au sein des stations étudiées avec des valeurs relativement importantes entre 0,2 à 0,5 mg/l respectivement pour les stations C et B, d'où l'existence des trois groupes homogène. (Figure 30)

**Tableau 20:** Newman-Keuls test; variable S (PSU) Homogenous Groups, alpha = 0,05.

S (PSU)	Station	S (PSU)	1		
2	StationB	36,67273	****		
1	StationA	36,73636	****		
3	StationC	36,80000	****		

<b>O<sub>2</sub> (mg/l)</b>	<i>Station</i>	<b>O<sub>2</sub> (mg/l)</b>	1		
1	StationA	10,45273	****		
2	StationB	10,62091	****		
3	StationC	10,67909	****		
<b>MES (mg/l)</b>	<i>Station</i>	<b>MES (mg/l)</b>	1		
2	StationB	2,562727	****		
1	StationA	3,170000	****		
3	StationC	3,256364	****		
<b>SULFATES (mg/l)</b>	<i>Station</i>	<b>SULFATES (mg/l)</b>	1		
2	StationB	2854,415	****		
3	StationC	3121,916	****		
1	StationA	3138,323	****		
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l)</b>	<i>Station</i>	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l)</b>	1	2	3
3	StationC	0,209091	****		
1	StationA	0,309091		****	
2	StationB	0,500000			****
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	<i>Station</i>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	1		
3	StationC	1,600000	****		
2	StationB	1,609091	****		
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg/l)</b>	<i>Station</i>	<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg/l)</b>	1		
3	StationC	0,020909	****		
1	StationA	0,022727	****		
2	StationB	0,023636	****		
<b>Al (mg/l)</b>	<i>Station</i>	<b>Al (mg/l)</b>	1		
3	StationC	0,013182	****		
2	StationB	0,013364	****		
1	StationA	0,029545	****		
<b>Fe (mg/l)</b>	<i>Station</i>	<b>Fe (mg/l)</b>	1		
1	StationA	0,050818	****		
2	StationB	0,056273	****		
3	StationC	0,059682	****		

### VI.2.2. Analyse en composantes principales (ACP) :

L'ACP est une méthode statistique essentiellement descriptive dont l'objet est de présenter sous une forme graphique, le maximum d'information contenu dans un tableau de données. Chaque échantillon d'eau d'une campagne de prélèvement constitue une unité statistique, les différents paramètres soumis à l'analyse constituent les variables qui caractérisent ces unités statistiques. Chacune des trois campagnes analysées a donc été traitée statistiquement grâce à l'utilisation du logiciel STATISTICA Version 8.

Le but de cette analyse est de résumer la structure de données décrites par les variables quantitatives, tout en obtenant des facteurs non corrélés entre eux. Ces facteurs peuvent être utilisés comme de nouvelles variables permettant d'éviter la multi-colinéarité en régression multiple et d'effectuer une classification automatique en ne tenant compte que de l'information essentielle, c'est-à-dire en ne conservant que les premiers facteurs.

L'analyse en composantes principales a été effectuée sur trois niveaux:

- ACP des moyennes par station, avec rotation des axes qui permet de réduire le nombre d'axes par variable. Cette ACP va mettre en évidence la variation des variables par stations étudiées.

La comparaison de ces stations permet de savoir si une station est soumise à un rejet régulier ou irrégulier de contaminants.

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) pour l'étude globale des eaux permet une différenciation sur leurs particularités chimiques, une détermination de leurs variations d'ensemble (facteurs) suivant les axes principaux et surtout une caractérisation des différents pôles d'acquisition de la minéralisation (**Longoj, N. 2009**).

L'intérêt de cette technique réside sur le fait qu'elle permet de réduire à quelques plans factoriels la majeure partie de la variance exprimée par les descripteurs. Le premier axe

F1 est celui qui exprime le plus fort pourcentage de la variance totale. Le second axe F2, indépendant du premier, est celui qui exprime la plus grande partie de la variance résiduelle et ainsi de suite (**Mudry et Blavoux, 1986**).

Les résultats de l'ACP sont présentés sous forme de tableaux ou graphiques permettant de synthétiser les informations et de faciliter les interprétations. La liaison existant entre toutes les variables prises deux à deux et les coefficients de corrélation entre ces différentes variables sont donnés par la matrice de corrélation (Tableau ci-après).

En effet, l'O<sub>2</sub> présente de très forte corrélation avec S (PSU) (**0,62**) et le pH(**0,25**), et pour l'Al (0,26). Ce qui traduit une influence majeure de S, Al et pH (variables explicatives) sur l'O<sub>2</sub> qui est la variable expliquée.

Des courbes de régression linéaire simple ont été utilisées pour apprécier la qualité des corrélations entre la conductivité électrique et les ions majeurs (**Figures31**). En outre, les valeurs du coefficient de corrélation entre la salinité et les paramètres tels que le pH, l'ammonium et l'orthophosphate demeurent faibles et sont respectivement de R=0,02, R=0,07 et R=0,10.

**Tableau21** : Matrice de corrélation des variables étudiés (physico-chimiques et les métaux lourds).

	T °C	pH	S (PSU)	O <sub>2</sub> (mg/l)	MES (mg/l)	SULFATES (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	Al (mg/l)	Fe (mg/l)
T °C	1,00										
pH	-0,10	1,00									
S (PSU)	0,24	-0,02	1,00								
O <sub>2</sub> (mg/l)	0,43	-0,25	0,62	1,00							
MES (mg/l)	-0,05	0,21	0,23	0,21	1,00						
SULFATES (mg/l)	0,15	0,11	0,21	0,22	0,14	1,00					
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0,10	0,17	-0,07	-0,16	-0,24	-0,18	1,00				
NO <sub>3</sub> (mg/l)	-0,11	0,23	-0,12	-0,20	-0,06	0,04	-0,06	1,00			
PO <sub>4</sub> (mg/l)	-0,06	0,16	-0,10	-0,10	-0,15	-0,24	0,07	0,07	1,00		
Al (mg/l)	0,02	0,03	0,16	0,26	-0,14	0,07	0,04	-0,03	0,06	1,00	
Fe (mg/l)	0,11	0,04	0,00	0,12	0,07	-0,20	-0,07	0,04	-0,04	-0,07	1,00

Ces faibles valeurs du coefficient de corrélation montrent que ces paramètres n'interviennent pas dans la détermination de la composition physico-chimique des eaux de mer.

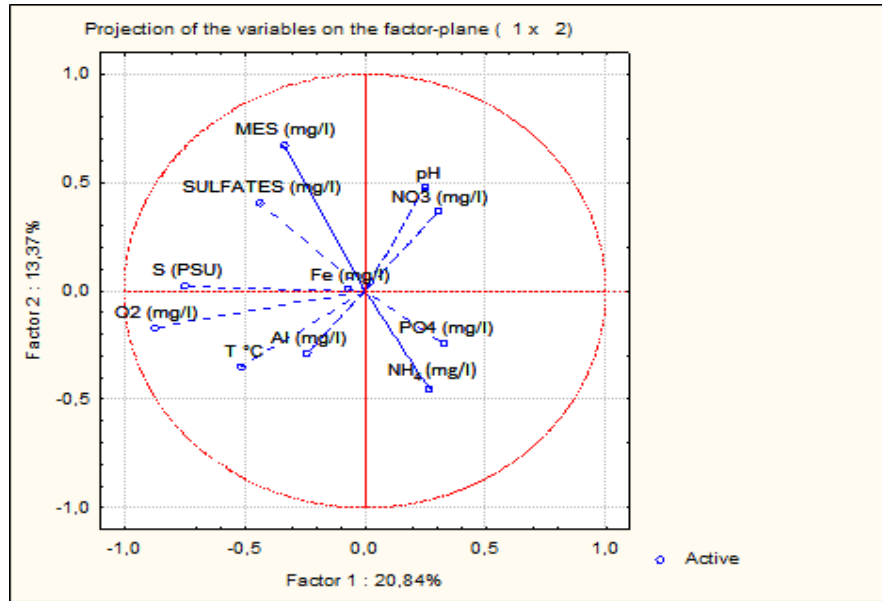
Pour l'étude des valeurs propres le tableau ci-après présente, les variances exprimées pour chaque facteur et leur cumul. Le facteur F1, avec une variance exprimée de 20,84%, est le facteur le plus important. Ensuite, viennent les facteurs F2, F3 et F4 avec respectivement 13,37%, 11,77% et 10,90% de la variance exprimée. Les facteurs retenus sont ceux dont les valeurs propres sont supérieures ou égales à 1. A cela s'ajoute le critère selon lequel l'ensemble des facteurs retenus doit avoir une variance supérieure ou égale à 70% (axe 6). Au regard de ces différentes conditions, les trois premiers facteurs peuvent être retenus. En effet, les valeurs propres de ces facteurs varient entre 1,30 (F3) et 2,29 (F1). Aussi, la variance cumulée est estimée à 45,98%. Les axes factoriels retenus pour cette analyse statistique sont représentatifs de la variance de l'ensemble des données. Les plans factoriels F1-F2 et F1-F3 représentent donc respectivement des variances cumulées égales à 34,21% et 32,61%. Au vu de ces pourcentages exprimés, il peut être considéré que les mécanismes qui contrôlent la variation de la salinité, des eaux de mer sont largement contenus dans les trois premiers facteurs. De ce fait, l'analyse s'est portée sur les plans factoriels F1-F2 et F1-F3 qui mettent en évidence les tendances générales.

**Tableau22** : Matrice des valeurs propres et des variances.

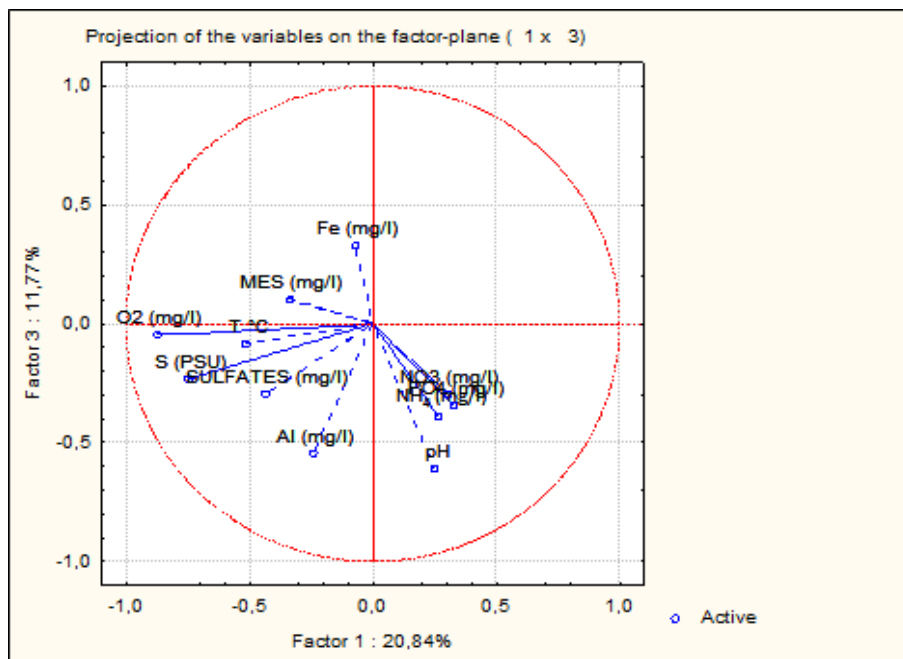
	AXE 1	AXE 2	AXE 3	AXE 4	AXE 5	AXE 6	AXE 7	AXE 8	AXE 9	AXE10	AXE11
Valeurs propres	2,29	1,47	1,30	1,20	1,05	0,98	0,84	0,69	0,53	0,41	0,24
Total %	20,84	13,37	11,77	10,90	9,54	8,94	7,66	6,27	4,77	3,74	2,20
Cumul	20,84	34,21	45,98	56,88	66,43	75,36	83,02	89,29	94,06	97,80	100,00

La figure 31 montre les résultats de l'ACP dans le plan factoriel F1-F2. Le facteur F1 est défini par un regroupement situé dans sa partie négative et constitué par l'oxygène dissous, Salinité, sulfates, température et Aluminium. Le facteur 2 est marqué par un regroupement composé par le nitrate, pH, sulfates et MES. Ainsi qu'un groupement intermédiaire composé d'orthophosphate et de Fer.

L'analyse dans le plan factoriel F1-F3 (**Figure31**) montre le même regroupement pour le plan factoriel F1. Le facteur F3 est défini par deux regroupements. Le premier regroupement, composé de Fer et de MES, est situé dans sa partie positive. Le deuxième regroupement est constitué par le reste des paramètres et sont situés dans sa partie négative.



**Fig31** : cercle de corrélation des variables quantitatives étudiées sur le plan F1-F2



**Fig32**: Cercle de corrélation des variables quantitatives étudiées sur le plan F1-F3

Les résultats de l'ACP indiquent que les paramètres physico-chimiques étudiés n'influencent pas tous la salinité. Ceux qui influencent le plus le pH, MES, Sulfate, et le nitrate.

Il en ressort que la salinité est influencée par les paramètres chimiques de l'eau qui se résument dans ce cas précis en sels nutritifs. Le rapprochement du pH de la salinité dans le plan factoriel F1-F2, montre que la salinité est influencée par le MES. Cependant, l'analyse de la projection des variables dans le plan factoriel F1-F3 élimine complètement le pH des variables pouvant influencer majoritairement de la salinité (Figure 32). Ce qui explique la faible corrélation ( $R=0,23$ ) entre ces deux paramètres. En outre, les résultats mettent en évidence aucune relation significative entre d'une part, la salinité et d'autre part, la température et l'oxygène dissous. Au regard de tout ce qui précède, deux modèles ont été proposés. Le premier a pour variables explicatives aux variables

majeures (variables discriminantes). Pour mettre en évidence l'effet des activités anthropiques ou de pollution sur la qualité des eaux de mer, un deuxième modèle a été envisagé par ajout de la température et du pH aux deux premières variables.

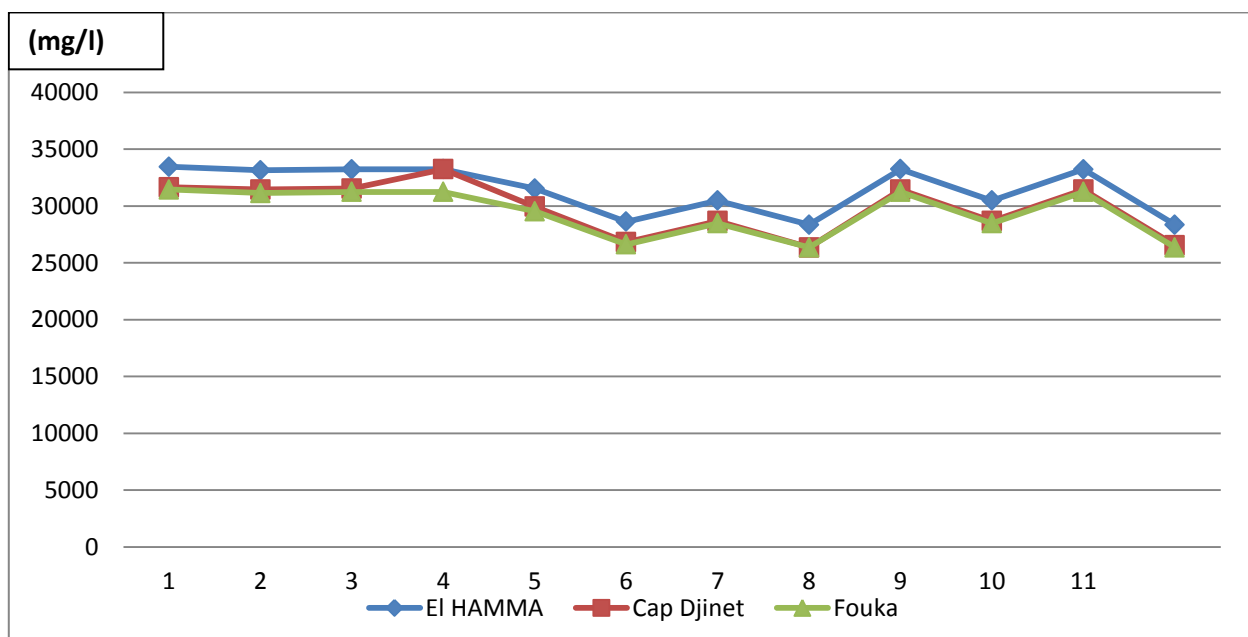
### VI.3. Evaluation de l'impact de dessalement sur le milieu aquatique :

Après avoir compris les mécanismes physiques qui régissent le rejet nous allons réaliser une étude basée sur caractérisation des éléments constituant la saumure et une modélisation étape par étape d'évaluer l'impact sur l'environnement marin à l'aide du logiciel **STATISTICA**.

Le but est ici de s'assurer que dans les conditions de rejets que nous avons établis deux prélèvements avec des répétitions pour les 3 stations étudiées ; l'un en surface et l'autre en profondeur afin d'estimer la concentration en saumure.

#### A. Les chlorures:

Les chlorures sont très solubles dans l'eau, il est difficile à les éliminer (**Rodier, J. 2005**). Nos analyses montrent un taux en chlorures considérable élevé dans le point de rejet allant de 26,355 à 33,45g/l par rapport à l'eau de mer normale qui a généralement une valeur de 21,43 g/l. Au contact des eaux de mers, on remarque une diminution importante jusqu'à des valeurs de 21,65 à 22,30 g/l.



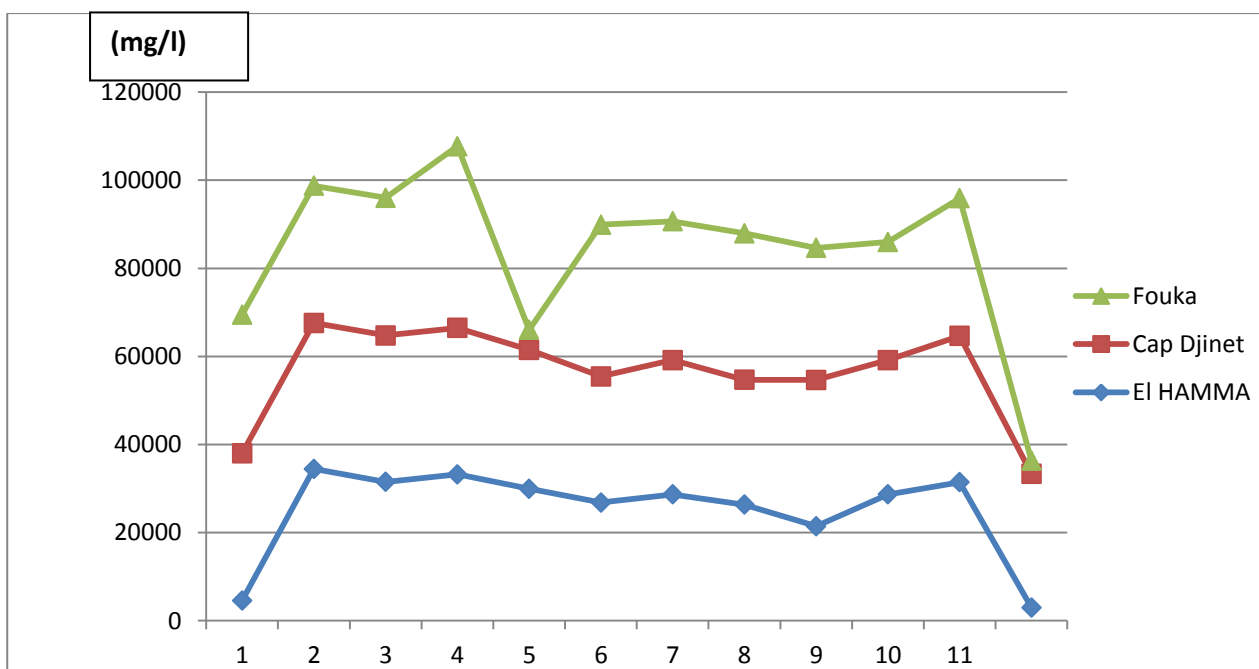
**Fig33:** L'évolution des chlorures aux différents points de prélèvement.

#### A. Les sulfates :

De façon générale, dans un milieu marin les concentrations en sulfates sont plus importantes. L'augmentation de la teneur en sulfates dissous dans les eaux de mers, peuvent contribuer à la formation des sulfures qui se volatilisent dans l'air sous forme de sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ), ou elles donnent un précipité sous forme d'un sel insoluble qui est incorporés dans les organismes vivants.

Cette réduction se fait sous l'action des micro-organismes appelés bactéries sulfato-réductrices, qui deviennent donc dominantes, car ils ont plus de substrats à transformer. Si la teneur en sulfate est faible, les bactéries productrices de méthane deviennent dominantes (**Rodier, J. 2005**).

A la lumière de nos résultats, les saumures rejetées dans l'environnement aquatique ont une concentration élevée en sulfates, d'une valeur allant jusqu'à 4124 mg/l et d'une teneur moyenne de 3172,96 mg/l plus élevée que celle de l'eau de mer (3035,5mg/l). Ces teneurs élevées en sulfates proviennent des produits utilisés dans les prétraitements.



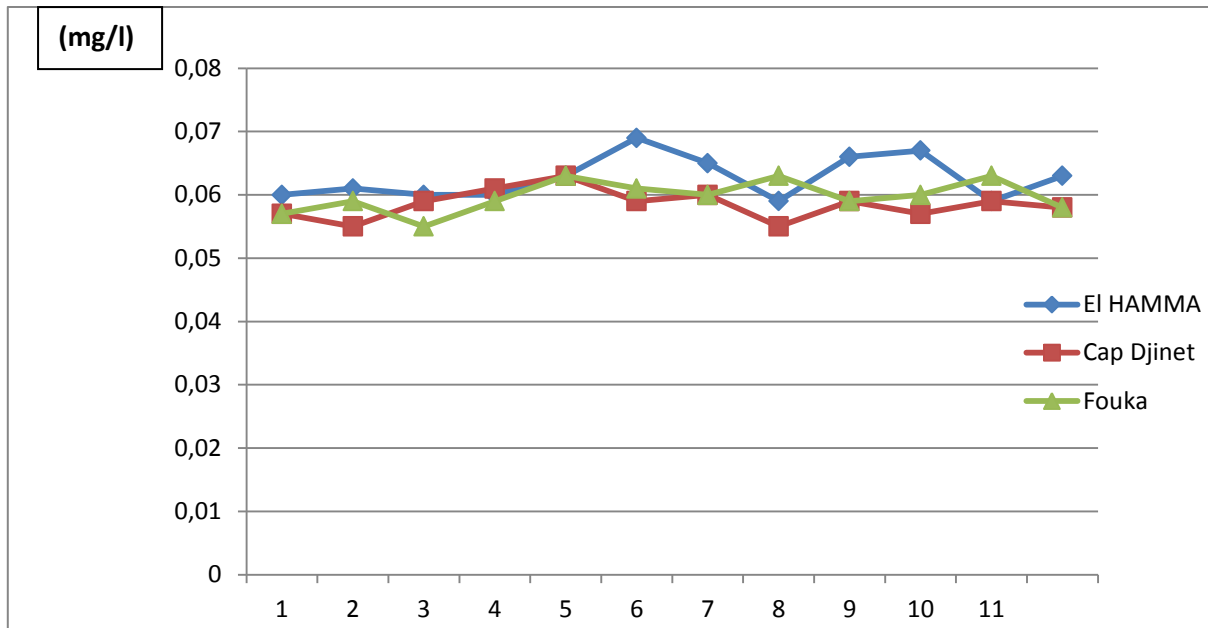
**Fig34 :** L'évolution des sulfates aux différents points de prélèvement.

Au contact de l'eau de mer, on enregistre un abaissement de sulfate des rejets d'eau de l'unité. Cette valeur s'explique qu'il y a une réduction des sulfates en sulfures. Ces valeurs faibles en sulfates favorisent la croissance des bactéries productrice de méthane.

#### **A. L'ammonium :**

La toxicité de l'azote ammoniacal est directement liée à sa forme non ionisée, en fonction du pH de l'eau de mer. Ainsi, une concentration d'ions ammonium dans l'eau de mer avec un pH faible ne sera pas dangereuse pour la flore et la faune aquatique alors qu'une quantité beaucoup plus faible avec un pH élevée se révélera toxique (**Arrignon, J. 1976**).

Nous résultats dévoilés sur les figures 35 montrent que le rejet de l'unité à une teneur en ammonium pas très importante, varie entre 0.057 et 0.063 mg/l et sa teneur moyenne est de 0.06 mg/l. Cette valeur est analogue à celle de l'eau de mer standard (0.058 mg/l).

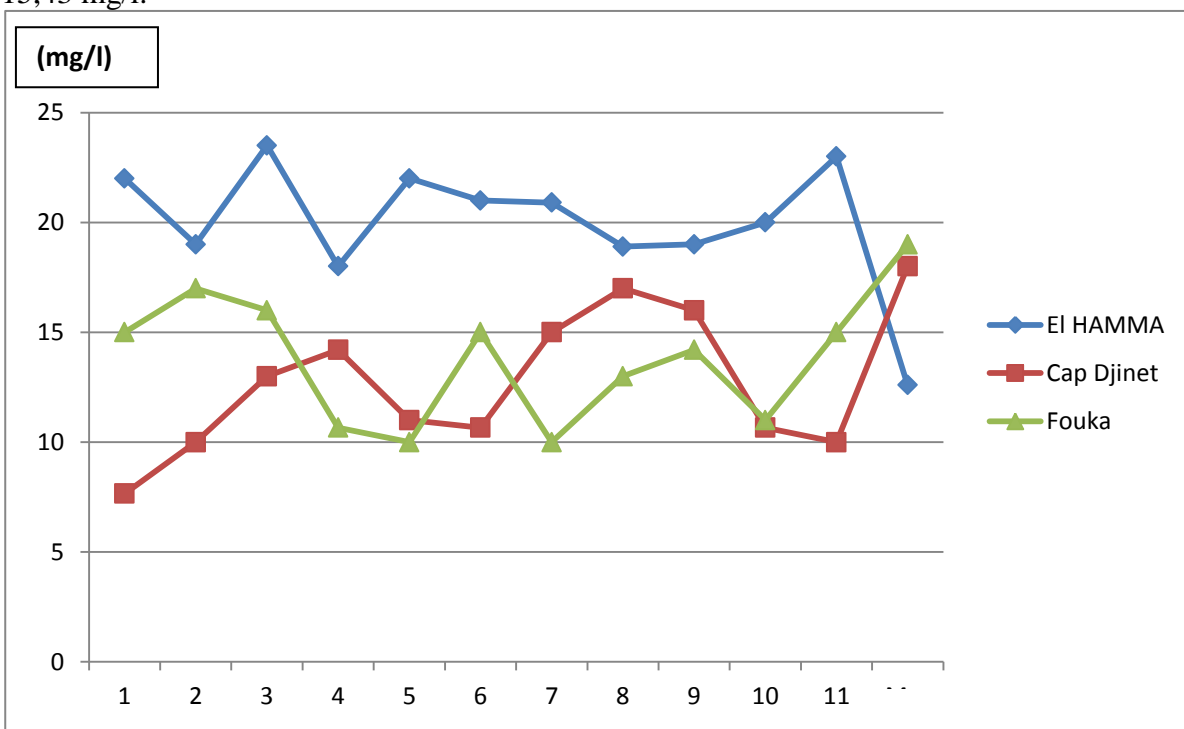


**Fig35:** L'évolution d'ammonium aux différents points de prélèvement.

**D. La matière organique :**

La matière organique provient surtout des résultats du métabolisme des organismes aquatiques. Une eau chargée en matière organiques dégradables par des micro-organismes est sous saturée en oxygène. En effet, la forte présence de matière organique, permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant de l'oxygène (Arrignon, J. 1976).

Nous constatons d'après les figures 36, que la matière organique au niveau du point de rejet est considérablement élevée. Les valeurs varient de 7 à 24 mg/l et la moyenne de ces valeurs est de 15,43 mg/l.



**Fig36:** L'évolution de la matière organique aux différents points de prélèvement.

Au contact de l'eau de mer, et au niveau des points de rejets les teneurs en matière organique sont très élevées à celles de l'eau de mer standard (6.77 mg/l). Ces matières organiques proviennent des organismes morts qui s'accumulent et subissent une décomposition en milieu aérobie (manque d'oxygène). On s'éloignant du point de contact, l'abaissement de la matière organique devient plus significatif. Ce qui se traduit par la disponibilité de l'oxygène pour la photosynthèse et la croissance du phytoplancton (**Dajoz, R. 1996**).

#### **4.2.2. Discussion de l'impact sur le milieu aquatique**

Les résultats montrent que les valeurs physico-chimiques, sels nutritifs et métaux lourds sont des paramètres de pollution obtenus lors de nos différentes analyses, ont montrés que les saumures produits par les techniques de dessalement (osmose inverse) ont une forte teneur en sel qui résulte de la concentration de l'eau de mer dessalée. Par conséquence, ces répercussions conduisent à une perturbation de la vie aquatique locale. Ce phénomène s'atténue rapidement au fur à mesure que l'on s'éloigne du point de rejet par diminution de la concentration.

En plus de la concentration élevée en sel, on enregistre des teneurs élevées en sulfates. Ces dernières diminuent au contact de la mer, ce qui indique une transformation des sulfates en sulfures.

Par ailleurs, les conditions de la mer : courant marin, vagues, l'eau calme ou agitée influent immédiatement sur la concentration des saumures au contact de la mer. La dilution de ces saumures dépend instantanément de leur dispersion dans le cas d'une mer agitée et de leur localisation dans le cas d'une mer calme. Sachant que, les saumures prennent beaucoup de temps pour se dilués dans une mer calme. Ce qui influe directement sur le milieu aquatique.

En fin, nous pouvons conclure, d'après le mode de fabrication de l'unité que le rejet de l'unité appartient aux eaux résiduaires à caractères minérales (hypersaline). Néanmoins et d'après le stage effectué au sein de cette établissement, on note que le dessalement par filtration membranaire est plus bruyante, et que la majeure partie de ce bruit provienne des pompes haute pression et des turbines de récupération d'énergie qui présente un danger sensoriel pour les travailleurs de la station.

## **VI.5. Conclusion**

Les résultats obtenus par les statistiques descriptives montrent que le rejet de saumure dans la mer Méditerranée est envisageable. En outre la présence de courant marin augmente de manière significative la dilution des rejets de saumures. Ces résultats montrent que les valeurs physico-chimiques, sels nutritifs et métaux lourds sont des paramètres de pollution montrant que les saumures produits par les techniques de dessalement (osmose inverse) ont une forte teneur en sel qui résulte de la concentration de l'eau de mer dessalée. Par conséquent, ces répercussions conduisent à une perturbation de la vie aquatique locale.

Les résultats de l'ACP indiquent que les paramètres physico-chimiques étudiés n'influencent pas tous la salinité. Ceux qui influencent le plus le pH, MES, Sulfate, et le nitrite.

A partir de la comparaison due aux traitements chimiques et de modèles statistiques, l'indicateur le plus significatif est l'ammonium car il présente une différence selon les échantillons de même site, et en comparaison avec ceux des autres stations.

La saumure est un polluant nocif sur l'écosystème marin (Hydrosphère), donc la protection de notre zone côtière est un devoir collectif et majeur sachant que notre pays possède une façade maritime et une vie marine diversifiées dont elle devra être à l'abri de tout effet nuisible et vandale affectant le système fauno-floristique.

Ces résultats précédents montrent bien, l'intérêt de l'implantation de ces stations de dessalement pour résoudre le problème de la pénurie en eau potable. Néanmoins, en analysant les données prélevées des rejets issus de dessalement il faut avoir une préoccupation particulière concernant les répercussions sur l'environnement.

Les saumures fortement salines en contact avec la mer descendrait au fond de la mer et prolongeraient sur un rayon de centaines de mètres présentent une source continue et cumulative de pollution, qui aurait comme conséquence des détriments continus sur la vie aquatique. Pour réduire au minimum ces effets nuisibles des usines de dessalement de l'eau de mer nous proposons des remèdes pour débarrasser le surplus des saumures concentrées :

- ❖ Il est souhaitable de placer le point de décharge de saumure loin de la plage et des endroits rocheux qui sont riches en organismes à partir d'un émissaire sous-marin, ou par incorporation des diffuseurs sur les tubes de décharges pour améliorer la dilution des saumures.
- ❖ Utilisation de l'eau déchargée de la centrale électrique pour la dilution des saumures concentrées (un taux élevé de dilution pourra réduire la tendance de dessalement au fond).
- ❖ Diriger les saumures vers une usine de production de sel. Cette solution présentera beaucoup d'avantages environnementaux et économiques.
- ❖ Utilisation des énergies renouvelables (solaires) pour fonctionner les usines de dessalement et essaient de produire un déversement nul de saumure dans la mer (usine de dessalement environnemental).

Le bruit des machines dans une station de dessalement d'eau de mer présente une pollution auditive pour les travailleurs. Le revêtement des pompes par des boîtes appropriées absorbantes de bruit en cloisonnant le bruit à l'intérieur de l'usine dans un premier temps et de l'abaisser dans un second temps par le biais d'une planification acoustique-architectural de l'usine qui représente une des méthodes les plus appropriées pour ce genre de problématique.

A l'heure actuelle, le dessalement d'eau de mer à travers notre pays se fait par les mêmes procédures que ceux des stations étudiées. Devant ce fait, la fixation des seuils de tolérance est importante, les saumures doivent passer un contrôle exhaustif de toxicité qui tient compte des caractéristiques du système récepteur et prête une attention particulière à la dilution du concentré.

Enfin, nous espérons que la conscience environnementale des planificateurs, des concepteurs, des décideurs et du public pendant les premières phases de la planification et de la construction, permettra une construction des usines en synergie avec l'environnement.

## **Références Bibliographiques :**

**Maurel, A. (2006).** Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Paris : Hachette. 480 p.

**Jibril, B. E. Y. et Ibrahim, A. A. (2001).** Chemical conversions of salt concentrate from desalination plants. *Desalination*. pp. 287-295.

**Vanhems, C. (1992).** Critical review of desalination concentrate disposal to surface water, USA.

**RAKOTOM, et al. (2011).** Valorisation chimique du kaolin dans le traitement des eaux: préparation de nouveaux coagulants minéraux. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*. pp. 437-448.

**Dagnelie, P. (1975).** Analyse statistique à plusieurs variables. Belgique : Nathan. 362 p.

**Décret 93-160 ; Article 4.**

**Guilyardi, É. (2001).** Quand le sel de l'océan pimente le climat. *La métrologie*, Londres : Robert. 314 p.

**Von Medeazza, G. M. (2005).** "Direct" and socially-induced environmental impacts of desalination. *Desalination*. pp. 57-70.

**Afgan, N. H., Darwish, M. et Carvalho, M. G. (1999).** Sustainability assessment of desalination plants for water production. *Desalination*. pp. 19-31.

**Höpner, T. et Windelberg, J. (1997).** Elements of environmental impact studies on coastal desalination plants. *Desalination*. pp. 11-18.

**Hall, C. A., et al. (1978).** Environmental impacts of industrial energy systems in the coastal zone. *Annual review of energy*. pp. 395-475.

**Bremere, I., Kennedy, M., Stikker, A. et Schippers, J. (2001).** How water scarcity will effect the growth in the desalination market in the coming 25 years. *Desalination*. pp. 7-15.

**Sadhwani, J. J., et al. (2005).** Case studies on environmental impact of seawater desalination. *Desalination*. pp. 1-8.

**Riley, J. P. et Chester, R. (2013).** *Chemical oceanography*, USA : Elsevier. 64 p.

**Mattice, J. S., et al. (1981).** A toxicity testing system for exposing small invertebrates and fish to short square-wave concentrations of chlorine. *Water research*. pp. 923-927.

**Argyrou, M. (2000).** Impact of Desalination Plant on marine macrobenthos in the coastal waters of Dehkeliabay, Cyprus. 248 p.

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

- Philippeau, G. (1986).** Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales. ITCF, Paris. 63 p.
- Horne, R. A. (1969).** Marine Chemistry: the structure of water and the chemistry of the hydrosphere, Canada.143 p.
- Einav, R. et Lokiec, F. (2003).** Environmental aspects of a desalination plant inAshkelon. Desalination. pp. 79-85.
- Einav, R., Harussi, K.et Perry, D. (2003).** The footprint of the desalinationprocesses on the environment. Desalination. pp. 141-154.
- Miri, R.et Chouikhi, A. (2005).**Ecotoxicological marine impacts fromseawaterdesalination plants. Desalination. pp. 403-410.
- Blinda, M. (2009).** Stratégie méditerranéenne pour le développement durable.Efficience d'utilisation de l'eau Plan Bleu, France. 44 p.
- Nisan, S. (2003).** Le dessalement de l'eau de mer par les réacteurs nucléaires.REE. Revue de l'électricité et de l'électronique. pp. 96-105.
- Wetherill, C. (2010).** Additionnalité des institutions de financement du développement (IFD) dans l'industrie du pétrole et du gaz en amont en Afrique, Nigeria. 52 p.
- Khayet, M. et Matsuura, T. (2011).** Membrane distillation: principles and applications. France :Neuchatel. 512 p.
- Bleninger, T., Jirka, G. H. et Weitbrecht, V. (2006).** Optimal discharge configuration for brine effluents fromdesalination plants. In Proc. DME-Congress, Allemagne.116 p.
- Bornman, T. G. et Klages, N. T. W. (2004).** Albany Coast Water Board, Upgrade of Kenton-on-Sea/BushmansrivermouthBulk Water Supply, EnvironmentalScoping Report, Afrique du Sud. pp. 76-185.
- Hoepner, T. (1999).** A procedure for environmental impact assessments (EIA) for seawaterdesalination plants. Desalination. pp. 1-12.
- Hoepner, T. et Lattemann, S. (2003).** Chemical impacts from sea water desalination plant a case study of the northernRedSea. Desalination. pp. 133-140.
- Bleninger, T., Jirka, G. H. (2008).** Modelling and environmentallysound management of brinedischargesfromdesalination plants. Desalination. pp. 585-597.
- Safrai, I. etZask, A. (2006).** Environmentalregulations for dischargingdesalinationbrine to the sea and its possible impacts. In Innovations and Applications of Seawater and Marginal Water Desalination, 8th AnnualConference,

**Massoud, M. A., et al. (2003).** Qualitative assessment of the effectiveness of the Mediterranean action plan: wastewater management in the Mediterranean region. *Ocean&Coastal Management*. pp. 875-899.

**Rabl, A. (2005).** Combien dépenser pour la protection de la santé et de l'environnement: un cadre pour l'évaluation des choix. Les rapports de l'Institut VEOLIA Environnement.

**Vilain, M. (1999).** Méthodes expérimentales en agronomie pratique et analyse. Suisse : Ellipses.333p.

**Sabri, Z. A., et al. (1980).** Safety and environmental impact of fossil-fouled desalination plants. In Proc. 7th International Symp. on Fresh Water from the Sea, USA. 90 p.

**Tableau Annexe 1 : Tolérances de rejets d'effluents industriels algériens (Décret 93-160 ; Article 4)**

Paramètre	Unités	Valeurs maxi
Température	C	30
pH	Mg/l	5,5 – 8,5
MES	Mg/l	30
Demande en oxygène biochimique (DBO <sub>5</sub> )	Mg/l	40
Demande en oxygène chimique (DCO)	Mg/l	120
Azote	Mg/l	40
Phosphates	Mg/l	0,2
Cyanure	Mg/l	0,1
Aluminium	Mg/l	5
Cadmium	Mg/l	0,2
Chrome 3+	Mg/l	3
Chrome 6+	Mg/l	0,1
Fer	Mg/l	5
Manganèse	Mg/l	1
Mercure	Mg/l	0,01
Nickel	Mg/l	5
Plomb	Mg/l	1
Cuivre	Mg/l	3
Zinc	Mg/l	5
Huile et graisse	Mg/l	20
Hydrocarbures	Mg/l	20
Phénols	Mg/l	0.5
Solvants organiques	Mg/l	20
Chlore	Mg/l	1
PCB	Mg/l	0,001
Détergent	Mg/l	2
Tensioactifs anioniques	Mg/l	10

*LOI N° 83-03 DU 05 FÉVRIER 1983, RELATIVE À LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT.*

**Chapitre II**

***Protection de l'eau***

**Art. 36.** - Les dispositions du présent chapitre ont pour objet la lutte contre la pollution des eaux et leur régénération, cette loi s'applique aux déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects, de matières de toute nature et, plus généralement, à tout fait susceptible de provoquer ou d'accroître la dégradation des eaux en modifiant leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques ou bactériologiques qu'il s'agisse d'eaux superficielles, souterraines ou des eaux du littoral.

## **Chapitre II**

### *Des déchets*

**Art. 90.** - Toute personne physique ou morale qui produit ou détient de déchets, dans les conditions de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits et des odeurs et, d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement, est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination conformément aux dispositions de la présente loi, dans des conditions propres à éviter lesdits effets.

## **Chapitre III**

### *Protection de la mer*

**Art. 48.** - Nonobstant les dispositions des conventions et protocoles internationaux ratifiés par l'Algérie et portant sur la protection de la mer, sont interdits le déversement, l'immersion et l'incinération en mer.

## *LOI N° 83-17 DU 16 JUILLET 1983, PORTANT CODE DES EAUX.*

## **Chapitre I**

### *Lutte contre la pollution*

**Art. 96.** - Conformément aux dispositions du titre III, chapitre II de la loi n° 83-03 du 3 février 1983 relative à la protection de l'environnement, les eaux doivent être protégées contre toute forme de pollution, soumise à autorisation de l'administration.

**Art. 101.** - L'autorisation de déversement est refusée notamment lorsque les matières déversées sont de nature à nuire :

- La capacité de régénération naturelle des eaux,
- Les exigences de l'utilisation des eaux réceptives,
- La protection de la santé publique,
- La protection de la faune et de la flore,
- L'écoulement normal des eaux,
- Les loisirs.

## **Chapitre II**

### *Périmètre de protection*

**Art. 109.** - Tout ouvrage d'approvisionnement en eau, à usage administratif, destinée à la consommation humaine doit être protégé contre toute cause accidentelle ou volontaire susceptible de dégrader la qualité de l'eau.

*LOI N° 02-02 DU 05 FÉVRIER 2002, RELATIVE À LA PROTECTION ET À LA VALORISATION DU LITTORAL.*

**CHAPITRE I**

*Instruments de gestion du littoral*

**Art. 28.** - Un contrôle de tous les rejets urbains, industriels et agricoles susceptibles de dégrader ou polluer le milieu marin doit être effectué régulièrement. Les résultats qui en découlent sont portés à la connaissance du public.

*DÉCRET EXÉCUTIF N° 90-78 DU 27 FÉVRIER 1990, RELATIF AUX ÉTUDES D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT.*

**Art. 2.** - Sont soumis à la procédure préalable de l'étude d'impact, tous les travaux, aménagements ou ouvrages qui, par l'importance de leurs dimensions ou leurs incidences, peuvent directement ou indirectement porter atteinte à l'environnement et notamment à la santé publique, à l'agriculture, aux espaces naturels, à la faune, à la flore, à la conservation des sites et monuments et à la commodité du voisinage.

*ORDONNANCE N° 96-13 DU 15 JUIN 1996, MODIFIANT ET COMPLÉTANT LA LOI N° 83-17 DU 16 JUILLET 1983 PORTANT CODE DES EAUX.*

**Art. 102 bis.** - Sans préjudice des dispositions de l'article précédent, les unités industrielles, quel que soit leur domaine, doivent procéder à la mise en conformité de leurs installations aux normes de rejet, telles que fixées par la réglementation en vigueur. Elles doivent, dans tous les cas, procéder au traitement adéquat de leurs effluents, conformément à la réglementation en vigueur.

*LOI N° 99-09 DU 28 JUILLET 1999, RELATIVE À LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE.*

**Chapitre IX**

*La coordination des actions de maîtrise de l'énergie*

**TITRE III**

**CONTROLE ET SANCTIONS**

**Art. 40.** - La non-conformité aux normes établies par la réglementation d'isolation thermique dans les bâtiments neufs expose les bénéficiaires des travaux aux mesures et sanctions prévues par la législation et la réglementation en vigueur en matière de construction et d'urbanisme.

**LOI N° 01-19 DU 12 DÉCEMBRE 2001, RELATIVE À LA GESTION, AU CONTRÔLE ET À L'ÉLIMINATION DES DÉCHETS.**

**Chapitre I**

***Obligations des générateurs et détenteurs***

**Art. 12.** - Il est institué un plan national de gestion des déchets spéciaux.

**Art. 15.** - Les déchets spéciaux ne peuvent être traités que dans des installations autorisées par le ministre chargé de l'environnement conformément aux dispositions réglementaires en vigueur.

**Art. 39.** - Les déchets inertes non valorisables ne peuvent être déposés que dans des sites aménagés à cet effet.

**Art. 54.** - Les infractions aux dispositions de la présente loi sont constatées par des procès-verbaux conformément aux règles prévues par le code de procédure pénale.

**Art. 55.** - Toute personne physique qui jette, abandonne des déchets ménagers et assimilés ou refuse d'utiliser le système de collecte et de tri mis à sa disposition par les organes désignés à l'article 32 de la présente loi est punie d'une amende de cinq cent (500) à cinq mille dinars (5.000).

En cas de récidive, l'amende est portée au double.

**Art. 56.** - Toute personne physique exerçant une activité industrielle, commerciale, artisanale ou toute autre activité, qui jette, abandonne des déchets ménagers et assimilés, ou refus d'utiliser le système de collecte et de tri mis à sa disposition par les organes désignés à l'article 32 de la présente loi, est punie d'une amende de dix mille (10.000) à cinquante mille dinars (50.000).

En cas de récidive, l'amende est portée au double.

**Art. 57.** - Quiconque dépose, jette ou abandonne des déchets inertes sur tout site non désigné à cet effet et notamment sur la voie publique est puni d'une amende de dix mille (10.000) à cinquante mille dinars (50.000).

En cas de récidive, l'amende est portée au double.

**Art. 58.** - Toute infraction aux dispositions de l'article 21 de la présente loi, est punie d'une amende de cinquante mille (50.000) à cent mille dinars (100.000).

En cas de récidive, les amendes sont portées au double.

**Art. 58 bis.** - Toute infraction aux dispositions de l'article 10 de la présente loi, est passible d'une amende de cent mille dinars (100.000) à deux cent mille (200.000) dinars.

En cas de récidive, l'amende est portée au double.

**Art. 59.** - Toute infraction aux dispositions de l'article 10 de la présente loi, est punie d'une amende de cent mille (100.000) à deux cent mille (200.000) dinars.

En cas de récidive, les peines et les amendes sont portées au double.

**Art. 60.** - Toute infraction aux dispositions de l'article 9 de la présente loi, est punie d'un emprisonnement de deux (2) mois à un (1) an et d'une amende de deux cent mille (200.000) à quatre cent mille (400.000) dinars ou de l'une de ces deux peines seulement.  
En cas de récidive, les peines sont portées au double.

**Art. 61.** - Toute infraction aux dispositions de l'article 17 de la présente loi, est punie d'un emprisonnement de trois (3) mois à deux (2) ans et d'une amende de trois cent mille (300.000) à cinq cent mille (500.000) dinars ou de l'une de ces deux peines seulement.  
En cas de récidive, les peines sont portées au double.

**Art. 62.** - Quiconque remet ou fait remettre des déchets spéciaux dangereux en vue de leur traitement, à une personne exploitant une installation non autorisée pour le traitement de cette catégorie de déchets, est puni d'un emprisonnement de six (6) mois à deux (2) ans et d'une amende de quatre cent mille (400.000) à huit cent mille (800.000) dinars ou de l'une de ces deux peines seulement.  
En cas de récidive, les peines sont portées au double.

**Art. 63.** - Quiconque exploite une installation de traitement des déchets sans se conformer aux dispositions de la présente loi est puni d'un emprisonnement de huit (8) mois à trois (3) ans et d'une amende de cinq cent mille (500.000) à neuf cent mille (900.000) dinars ou de l'une de ces deux peines seulement.  
En cas de récidive, les peines sont portées au double.

**Art. 64.** - Quiconque dépose, jette, enfouit, abandonne ou immerge des déchets spéciaux dangereux dans des lieux non réservés à cet effet, est puni d'un emprisonnement de un (1) an à trois (3) ans et d'une amende de six cent mille (600.000) à neuf cent mille (900.000) dinars ou de l'une de ces deux peines seulement.  
En cas de récidive, les peines sont portées au double.

**Art. 65.** - Toute infraction aux dispositions de l'article 43 de la présente loi est punie d'un emprisonnement de six (6) mois à dix huit (18) mois et d'une amende de sept cent mille (700.000) à un million (1.000.000) de dinars ou de l'une de ces deux peines seulement.  
En cas de récidive, les peines sont portées au double.

**Art. 66.** - Quiconque importe, exporte ou fait transiter des déchets spéciaux dangereux en infraction aux dispositions de la présente loi est puni d'un emprisonnement de cinq (5) ans à huit (8) ans et d'une amende d'un million (1.000.000) de dinars ou de l'une de ces deux peines seulement.  
En cas de récidive, les peines sont portées au double.