

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique
المدرسة العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure de Science de la Mer et Aménagement du
littoral



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER

Option : Environnement

Thème

Effets des rejets de la saumure de la station de dessalement
de FOUKA sur la qualité des eaux

Présenté par :

- RACHEDI Imane
- ZERDOUD Wassila

Soutenu le 28/09/2016 devant le jury suivant :

Mme. HAMDI S.	Maître de conférences A (ENSSMAL)	Présidente
Mr. OTMANI H.	Maître Assistant B (ENSSMAL)	Examineur
Mme. MAZOUZI S.	Doctorante (ENSSMAL)	Examinatrice
Mme. ADEM AA.	Doctorante (ENSSMAL)	promotrice
Mme. BACHARI HOUMA F.	Professeur (ENSSMAL)	Co-Promotrice

2015/2016

Remerciements

Avant toute personne, nous remercions le bon Dieu de nous avoir prêté vie, santé et volonté pour achever ce modeste travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à **Mme. ADEM AA.**, notre promotrice, nous tenons à lui exprimer nos sincères remerciements pour tout aide et soutien qu'elle nous a offert durant toute la période de préparation de ce mémoire et son assistance très précieuse durant les sorties sur terrain; elle nous a fait bénéficier, de sa expérience et de ses connaissances judicieuses. Nous sommes profondément reconnaissants pour l'intérêt qu'elle a porté à ce travail et pour l'empressement qu'elle a manifesté à le voir aboutir.

Nos plus vifs remerciements s'adressent aussi à :

Pr. BACHARI HOUMA F., co-promotrice, qui a encadré et dirigé les travaux de ce mémoire, avec sa précieuse contribution, son soutien, sa patience, et l'aide qu'elle a mis à notre disposition tout au long de notre projet.

Mme. HAMDIS. qui nous a fait l'honneur de présider ce jury, en dépit de ses responsabilités académiques et professionnelles, nous lui sommes très reconnaissants.

Mr. OTMANI H., pour avoir accepté de juger ce manuscrit et de participer à ce jury. On profite pour lui exprimer ici nos plus profondes gratitude et nos profonds respects.

Mme. MAZOUZI S., pour avoir accepté d'examiner ce travail. Qu'elle trouve également dans ces lignes le témoignage de notre respectueuse reconnaissance.

Ce travail n'aurait pu être réalisé sans l'aide efficace et précieuse de tous ceux qui nous ont aidés:

Les responsables du laboratoire à l'ENSSMAL.

Nous tenons à remercier également l'ensemble des enseignants de l'ENSSMAL pour les connaissances transmises durant notre cursus. Sans oublier les personnes de la bibliothèque.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*À mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes
les années des études.*

*À celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée
pour mon bonheur et ma réussite, à ma très chère mère*

*Rien au monde ne pourrait compenser les
efforts et les sacrifices que vous avez consentis pour mon bien être, et
la poursuite de mes études dans de bonnes conditions.*

À ma cher sœur Nour EL houda

À mes chers frères Nassredine, Mohamed EL amine, Abd Elhamid

*À tous mes autres proches exclusivement ma grand-mère, mes tantes
Kheira et Sacia et ma cousine Mokhtaria*

À mes chères amies : Meriem, Lynda, Ihcène, Nour EL houda, Nour el imen ,

Khadidja et Soria

À Wassila, mon binôme qui est sérieuse et toujours en bonne humeur;

*Aucune dédicace, ne saurait exprimer à sa juste valeur le profond
amour que je vous porte.*

A tous ceux qui me sont chères.

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux que j'aime.

Imane

Dédicaces

A mes très chers parents qui m'ont soutenu toujours

A ma sœur bien aimée : Kaouthar

A mes très chers frères : Hamid et Ismail

A ma petite nièce : Anfal et sa maman Khalida

A mes cousines et cousins : Fatima, Dawia, Nadia, Karima, Fatma, Zobida,

Djamel et Belmhal ainsi que leurs maman

A mes amis : Faiza, Marwa, Louiza, Ikram, Khadidja, Rachida, Meriem et

Souraia

A tous les étudiants de 5^{ème} année Environnement

A mon binôme Imane, qui était sérieuse et toujours en bonne humeur

Je dédie ce modeste travail

Wassila

Liste des figures

Figure II.1 : Schéma général d'une installation de dessalement.....	28
Figure II.2 : Procédés de dessalement industrialisés	29
Figure II.3 : principe de distillation à simple effet.....	29
Figure II.4 : Principe de distillation à multiples effets.....	30
Figure II.5 : Principe de distillation multi Flash.....	31
Figure II.6 : le principe de compression de vapeur.....	31
Figure II.7 : Le principe d'osmose inverse.....	32
Figure II.8 : principe de l'électrodialyse.....	33
Figure II.9 : Etat initial du milieu (pas de rejet de saumure).....	34
Figure II.10 : Etat du milieu après implantation de l'usine de dessalement (rejet de saumure).....	35
Figure III.1 : situation géographique de la zone d'étude.....	40
Figure III.2 : Carte sédimentaire de la baie de Bou-Ismaïl.....	41
Figure III.3 : Situation géographique de la station de dessalement de Fouka	43
Figure III.4 : Photos de la station de dessalement Fouka.....	44
Figure III.5 : Balises utilisées dans la zone de prise d'eau de mer.....	45
Figure III.6 : La localisation des stations de prélèvement d'eau de mer.....	47
Figure IV.1 : Variation de la température en fonction des stations.....	54
Figure IV.2 : Variation de la Salinité en fonction des stations.....	54
Figure IV.3 : Variation de la Conductivité en fonction des stations.....	55
Figure IV.4 : Variation de pH en fonction des stations.....	56
Figure IV.5 : Variation de l'oxygène dissous des eaux de surface de la station de Fouka.....	56
Figure IV.6 : Variation de la MES en fonction des stations.....	57
Figure IV.7 : Variation de la MO en fonction des stations.....	58
Figure IV.8 : Variation de la DBO ₅ en fonction des stations.....	58
Figure IV.9 : Variation moyenne des sels nutritifs dans les eaux de surface.....	60
Figure IV.10 : Variation des concentrations moyennes des nitrates en fonction des stations.....	60
Figure IV.11 : Variation des concentrations moyennes des nitrites en fonction des stations.....	61
Figure IV.12 : Variation des concentrations moyennes des orthophosphates en fonction des stations.....	61
Figure IV.13 : Variation des concentrations moyennes des silicates en fonction des stations	62
Figure IV.14 : Variation des concentrations moyennes de Chlorophylle en fonction des stations.....	63



Liste des tableaux

Tableaux I.1 : Concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité 35 ‰.....	19
Tableau I.2 : Valeurs typiques de DCO.....	22
Tableau I.3 : Valeurs typiques de DBO ₅	23
Tableau II.2 : évaluation de l'énergie destiné à des usines de dessalement (Méthode de Wade et Fletcher, 1995).....	36
Tableau II.3 : Récapitulatif des impacts environnementaux.....	37
Tableau IV.1 : Résultats des paramètres physicochimiques au niveau de Fouka.....	53
Tableau IV.2 : Résultats des paramètres indicateurs de pollution dans Fouka.....	57
Tableau IV : Valeurs extrêmes et moyennes et l'écart type des sels nutritifs des eaux de surface de Fouka.....	59
Tableau IV.4 : Variation des concentrations de la chlorophylle (µg/l) en fonction des stations.....	63



Liste des abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation.

CO₂⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻ : Les ions carbonates.

DBO5 : Demande biologique en oxygène.

DCO : Demande chimique en oxygène.

ED : Electrodialyse.

GESAMP : Groupe of Expertise en Analyse Environnementale du Québec.

GPS : Système de positionnement global.

ISO : International Standard Organization.

LEM : Laboratoire d'Etude Maritime.

MES : Matière en suspension.

MO : Matière organique.

mS/cm: milli Siemence/cm.

MSF: Multi Stage Flash.

N: Azote.

NaCl : Chlorure de sodium.

NaOH : Hydroxide de sodium.

NO₂⁻ : Nitrites.

NH₃ : Ammoniac.

NH₄⁺ : Ammonium.

NTU : Unité de turbidité.

OMS : Organisation Mondiale de Santé.

OD : Oxygène dissous.

OI : Osmose Inverse.

P : Phosphore.

PEHD : Polyéthylène Haute Densité.

PNUE (UNEP) : Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

pH : Le potentiel d'Hydrogène.

PO₄⁻³, HPO₄⁻², H₂PO₄⁻ : Orthophosphates.

PSU : Pratical Salinity Unit.

S : Salinité.

Si : Silicium.

T : Température.

TDS : Taux des Sels Dissous.

UNICEF: United Nation of International Children's Emergency Fund.

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
Liste des figures.....	III
Liste des tableaux.....	IV
Liste des abréviations.....	V

Introduction générale

Introduction générale.....	13
----------------------------	----

1^{ère} PARTIE : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Paramètres de pollution

Introduction.....	17
1. types de pollution	17
1. Pollution chimique	17
2. Pollution biologique.....	17
3. Pollution physique.....	18
2. Les paramètres du milieu.....	18
2.1. Les paramètres physico-chimiques.....	18
2.1.1. Température.....	18
2.1.2. Salinité.....	18
2.1.3. Oxygène dissous.....	19
2.1.4. Potentiel d'hydrogène.....	19
2.1.5. La conductivité.....	20
2.2. Les paramètres indicateurs de pollution.....	21
2.2.1. La turbidité.....	21
2.2.2. La matière en suspension (MES).....	21
2.2.3. Matière organique (MO).....	22
2.2.4. Demande chimique en oxygène (DCO).....	22
2.2.5. Demande biochimique en oxygène (DBO).....	22
2.2.6. Les sels nutritifs.....	23
2.2.7. la chlorophylle.....	25
3. Normes de rejet d'effluents	26

Chapitre II : dessalement de l'eau de mer

Introduction.....	28
1. Schéma général d'une installation de dessalement.....	28
2. Procédés de dessalement.....	28
2.1. Procédés de distillation.....	29
2.1.1. Distillation à simple effet.....	29
2.1.2. Distillation à multiples effets.....	30
2.1.3. Distillation par détentes successives (multi flash ou flash).....	30
2.1.4. Distillation par compression de vapeur.....	31
2.2. Procédés à membranes.....	32
2.2.1. Osmose inverse.....	32
2.2.2. Electrodialyse.....	32
3. Impact environnementaux des unités de dessalement.....	33

3.1. Rejets	33
3.1.1. La saumure	33
3.1.2. Les boues de prétraitement	35
3.1.3. La température	35
3.2 La consommation d'énergie	36
4. Dessalement en Algérie	37

2^{ème} partie : Etude Expérimentale

Chapitre III : Matériel et Méthodes

1 Présentation de la zone d'étude.....	40
1.1 Situation géographique	40
1.2 Sédimentologie	40
1.3 Facteurs hydrodynamiques	41
1.3.1 Les vents	41
1.3.2 Pluviométrie.....	42
1.3.3 Température.....	42
1.3.4 La houle.....	42
1.3.5 Les courants de dérive littorale	42
1.4 Caractéristiques hydrologiques	42
1.5 Etat de pollution	43
2 Présentation de l'unité de dessalement de Fouka	43
2.1 Localisation géographique et caractéristiques de la station	43
2.2 Le fonctionnement de la station.....	44
2.2.1 Captage et pompage de l'eau brut.....	44
2.2.2 Le système de prétraitement et filtration	45
2.2.3 Le système d'osmose inverse	46
2.2.4 Post-traitement	46
2.2.5 Traitement des effluents.....	46
2.2.6 Stockage et pompage de l'eau traitée.....	46
3 Matériels et méthodes.....	47
3.1 Choix et localisation des stations de prélèvement.....	47
3.2 Travaux effectués en mer	47
3.2.1 Prélèvement d'eau de mer	47
3.2.2 Echantillonnage et conservation	48
3.2.3 Mesures <i>in situ</i>	48
3.3 Mesures au laboratoire	48
3.3.1 Mesure des sels nutritifs	48
3.3.2 Mesure de la matière en suspension	49
3.3.3 Mesure de la matière organique	50
3.3.4 Mesure de la demande biologique en oxygène.....	50
3.3.5 Mesure de la demande chimique en oxygène.....	50
3.3.6 Mesure de la chlorophylle.....	51

Chapitre IV : Résultats & Discussion

1 Variation des paramètres physico-chimiques.....	53
---	----

1.1 Variation de la Température.....	53
1.2 Variation de la salinité.....	54
1.3 Variation de la conductivité.....	55
1.4 Variation du pH	55
1.5 Variation d'oxygène dissous.....	56
2 Variation des paramètres indicateurs de pollution	57
2.1 Matière en suspension.....	57
2.2 Matière organique.....	58
2.3 La demande biologique en oxygène.....	58
2.4 La demande chimique en oxygène.....	59
2.5 Variation des sels nutritifs.....	59
2.6 Variations de la chlorophylle.....	63
Conclusion générale.....	66
Références bibliographiques	
Annexes	



*Introduction
Générale*



Introduction générale

Le milieu marin longtemps convoité subit aujourd'hui suite au développement des activités humaines des agressions nos négligeables, qui affectent aussi bien la qualité de l'air et de l'eau, que celle de la flore et la faune marines. Parmi les activités en essor constant nous citons celle du dessalement de l'eau de mer.

En effet, la nécessité de dessaler l'eau de mer se fait de plus en plus pressante à cause des besoins sans cesse croissants, des bouleversements climatiques et de la raréfaction des ressources souterraines et superficielles en eau potable (**Atallah, 2014**).

Mais cette ressource en eau non conventionnelle pratiquement illimitée, peut générer des effets préjudiciables sur l'environnement dus entre autres à la modification de l'utilisation du sol de la zone côtière, aux nuisances créées par les travaux de construction et aux émissions gazeuses, solides et liquides, en particulier, les rejets déversés en mer pouvant altérer la qualité de l'eau et des sédiments (**Morsli, 2013**). Les déchets produits par le dessalement se présentent généralement sous la forme d'une saumure de forte salinité avec parfois une température élevée (dans le cas des procédés de distillation) contenant des différentes substances chimiques résiduelles, des métaux lourds issus de la corrosion.

Ainsi, les effluents provenant de ce type d'installations appellent une vigilance particulière, et doivent impérativement être en conformité avec les politiques et protocoles nationaux et régionaux relatifs à la protection de l'environnement.

Dans cette optique, une étude est menée en vue de mettre en évidence l'impact des rejets de saumure de la station de dessalement de Fouka sur la qualité des eaux environnantes.

Ainsi, l'objectif de ce travail consiste d'abord à décrire le mode de fonctionnement de cette station, le procédé utilisé et les produits susceptibles d'être déversés dans le milieu marin, et évaluer la qualité des eaux superficielles se trouvant à proximité de la l'usine en question, et cela par l'analyse d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* et au laboratoire.



Introduction générale

Le manuscrit s'articule en 4 chapitres :

➤ Chapitre I : Généralités

Ce premier chapitre est consacré aux généralités portant sur les différents paramètres physico-chimiques, les indicateurs de pollution et les normes des rejets d'effluents.

➤ Chapitre II : Dessalement d'eau de mer

Ce second chapitre illustre les différentes technologies et installations des procédés de dessalement, leurs impacts environnementaux ainsi que l'expérience Algérienne en matière de dessalement.

➤ Chapitre III : Matériel et Méthodes.

Ce chapitre débute par une description générale de la station de dessalement de Fouka marine (Willaya de Tipaza), puis une présentation d'une façon générale de la méthodologie suivie dans la réalisation des travaux sur le terrain et au laboratoire ainsi que les méthodes analytiques appliquées pour l'acquisition des données.

➤ Chapitre IV : Résultats et discussions

Enfin, un dernier chapitre dans lequel nous présentons l'essentiel des résultats obtenus ainsi que leur interprétations.



1ère Partie :
Étude Bibliographique



CHAPITRE I

Paramètres de pollution

Introduction

De nos jours, l'importance des écosystèmes marins et côtiers n'échappe à personne, mais avec le développement industriel cet espace longtemps convoité se trouve confronté à de nombreux problèmes tels que : la surexploitation des ressources biologiques, l'érosion côtière et la pollution marine. Cette dernière résulte de tous les produits rejetés dans les mers et les océans, en conséquence de l'activité humaine. Elle comprend la pollution de l'eau, des biotes et celle des sédiments, plus généralement toutes les atteintes aux écosystèmes marins causées par les rejets de substances nuisibles ; par leurs natures ou leurs quantités. **(Mennad, 2008)**

De manière spécifique, la pollution marine et côtière est définie selon la convention de *MONTEGO-BAY 1982* des nations unies sur le droit de la mer comme étant : *« l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans le milieu marin (y compris les estuaires) occasionnant des effets néfastes tels que des nuisances envers les ressources biologiques, des risques pour la santé de l'homme, des entraves aux activités maritimes (y compris la pêche), une altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et une dégradation des valeurs d'agrément ».* **(Ramade, 2000)**

1 Les types de pollution

Les pollutions sont très diverses. Nous les regroupons ici en grandes catégories, selon leur nature : **(Lacaze, 1996)**

1.1 La pollution chimique

Cette pollution est due à l'entrée d'un ou plusieurs éléments indésirables dans la composition chimique de l'eau marine. **(Kankou, 2004)**

Ces éléments peuvent être soit des composés minéraux (engrais, métaux toxiques...), organiques (hydrocarbures, molécules de synthèses...) ou des composés organochlorés tels que les amines et les phénols. **(Ramade, 2000)**

Leurs origines peuvent être multiples : industrielle, agricole, domestique, urbaine, etc.

Leur toxicité peut être directe si elle est limitée dans le temps, dans ce cas les polluants ne s'accumulent pas dans les tissus des êtres vivants qui affectent directement leur croissance, leur reproduction et leur comportement, ou peut être chronique dans le cas où les produits toxiques sont non-dégradables, ces derniers vont s'accumuler dans les tissus des organismes marins ce qui constitue une menace pour la santé humaine.

1.2 La pollution biologique

C'est une forme de pollution organique dont la principale cause de ces proliférations planctoniques est l'apport des déchets industriels, domestiques et agricoles riches en nitrates et phosphates. **(Lacaze, 1996)**

Parmi les agents causaux de ce type de pollution, nous citons:

- Les micro-organismes pathogènes tels que les bactéries et les virus : Ils sont apportés par les eaux usées directement rejetées en mer ;
- Les proliférations non pathogènes de micro-algues causant des déséquilibres du milieu naturel et des modifications dans les chaînes alimentaires (bloom phytoplanctonique, eutrophisation).

1.3 La pollution physique

La pollution physique est liée aux facteurs qui influencent l'état physique de l'eau tels que la température, la présence des particules ou de mousses et le changement de l'effet réfractaire de l'eau (**Kankou, 2004**), ainsi que les rejets d'eau chaude des centrales nucléaires et des nappes pétrolières et les radiations ionisantes. (**Lacaze, 1996**)

2 Les paramètres du milieu

La caractérisation de la qualité générale du milieu marin nécessite l'analyse d'un certain nombre de descripteurs, souvent regroupés sous les termes de paramètres physico-chimiques et paramètres indicateurs de la pollution marine.

2.1 Les paramètres physico-chimiques

2.1.1 La température (T)

La température est l'un des descripteurs de base pour la connaissance du milieu (**Aminot & Kérouel, 2004**), sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et donc des courants, elle permet de plus l'étude du mélange des masses d'eaux (**Aminot & Chaussepied, 1983**). Elle influe sur l'activité biologique dont dépend la production totale, et sur la répartition des espèces. (**Aminot & Kérouel, 2004**)

Ce paramètre physique joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, ainsi que dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels.

Dans les océans, la température décroît de la surface vers le fond, elle varie en fonction des autres descripteurs physico-chimiques, telle que la pression. Mais dépend dans les eaux de surface des phénomènes climatiques. (**Aminot & Chaussepied, 1983**)

2.1.2 La salinité (S)

La salinité est le descripteur indispensable en milieu marin (**Aminot & Kérouel, 2004**), par son influence sur la densité de l'eau de mer, elle permet de connaître la circulation océanique, d'identifier les masses d'eaux d'origines différentes et de suivre leurs mélanges au large comme à la côte ou dans les estuaires. (**Aminot & Chaussepied, 1983**)

La salinité correspond à la teneur en sels dissous de l'eau de mer, elle peut être mesurée de différentes manières suivant que l'on considère l'ensemble des corps dissous ou seulement les sels dominants. (**Rodier, 2005**)

Les premières définitions de la salinité et de la chlorinité ont été données par SØRENSEN en 1902 :

- ✓ **La salinité** est la masse en grammes des sels dissous contenues dans un kilogramme d'eau de mer.
- ✓ **La chlorinité** est la masse en gramme de chlore équivalent à la quantité totale d'halogènes, dans un kilogramme d'eau de mer.

La relation entre la salinité et la chlorinité est exprimée par l'équation suivante :

$$S \text{ (PSU)} = 1.80655Cl \text{ (‰)} \quad [1]$$

Par la suite des méthodes furent développées, permettant ainsi de déterminer la salinité à partir des mesures de conductivité, de température, et de pression.

Ainsi, dès les années 1978, l'échelle pratique de salinité (PSU) définit la salinité en terme de rapport de conductivité.

Tableau I.1 : Concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité 35 ‰.

Eléments	Concentrations (mg / kg)	Eléments	Concentrations (mg / kg)
Chlorure (Cl ⁻)	19 353	Sodium (Na ⁺)	10160
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	2 712	Magnésium (Mg ₂ ⁺)	1249
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	142	Calcium (Ca ²⁺)	413
Bromure (Br ⁻)	67	Potassium (K ⁺)	387
Fluorure (F ⁻)	1	Strontium (Sr ²⁺)	8
Bore	4		

2.1.3 L'oxygène dissous (OD)

Il représente la quantité d'oxygène présente dans l'eau de mer (**Ramade, 2000**), c'est un paramètre important du milieu qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. (**Aminot & Chaussepied, 1983**)

La concentration en oxygène dissous est la résultante de facteurs à la fois :

- **Physiques** : échange air-océan, diffusion et mélanges au sein de la masse d'eau ;
- **Chimiques** : utilisation dans les phénomènes de photo-oxydation et les réactions d'oxydation chimique ;
- **Biologiques** : respiration, nitrification, production *in situ* par la photosynthèse. (**Aminot & Chaussepied, 1983**)

2.1.4 Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH est la grandeur utilisée pour caractériser le degré d'acidité ou de basicité d'un milieu (**Gomella & Geurrée, 1978**).

La notion de pH a été introduite par SØRENSEN en 1909 qui l'avait défini comme le cologarithme décimal de la concentration en ions H^+ . (Aminot & Kérouel, 2004)

$$pH = -\log [H^+] \quad [2]$$

Le pH de l'eau de mer est voisin de 8,2, il est principalement fixé par la présence des carbonates, CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} . La modification des concentrations en CO_2 (Respiration, photosynthèse, échanges air-océan) ou en CO_3^{2-} (précipitation) entrainera donc une modification du pH. (Aminot & Kérouel, 2004)

La mesure du pH aura deux applications à considérer, d'une part le suivi de la qualité des eaux, d'autre part les études thermodynamiques dans les équilibres chimiques. (Aminot & Kérouel, 2004)

2.1.5 La conductivité

C'est un paramètre permettant d'évaluer la charge totale en électrolytes d'une eau naturelle. (Ramade, 2000)

Il correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques. La conductivité est l'inverse de la résistivité électrique, elle est très élevée en milieu marin en raison de la forte concentration en sels dissous. Du fait de la proportionnalité des concentrations des différents ions, elle permet de déterminer la salinité avec une grande précision (Aminot et Kérouel, 2004). Et permet aussi l'appréciation des matières dissoutes, ce qui facilite la localisation d'une source de pollution.

Ce paramètre varie en fonction de la température. (Rodier, 2005). Son unité est le siemens par mètre (S/m).

La relation existant entre la conductivité et la salinité est donnée par la formule suivante (Aminot & Kérouel, 2004) :

$$S = a_0 + a_1 R_t^{0,5} + a_2 R_t + a_3 R_t^{1,5} + a_4 R_t^2 + a_5 R_t^{2,5} + \{(t - 15)[1 + k(t - 15)]\} \times (b_0 + b_1 R_t^{0,5} + b_2 R_t + b_3 R_t^{1,5} + b_4 R_t^2 + b_5 R_t^{2,5}) \quad [3]$$

Avec :

R_t : Le rapport de conductivité de l'eau de mer à la température t.

R_p : Le rapport de conductivité in situ sur la conductivité du même échantillon à la même température mais à p = 0.

r_t : Le rapport de conductivité de l'eau de mer standard, ayant une salinité pratique de 35, à la température t, sur sa conductivité à 15°C.

R : Le rapport de conductivité in situ sur la conductivité normale à S = 35, t = 15°C, p = 0.

Où :

$$R_t = R / (R_p \cdot r_t) = C_{S,t,p} / (42,914 \cdot r_t)$$

$$R = C_{S,t,p} / 42,914$$

R_p = 1 (pour les mesures à faible profondeur)

a₀ =0,0080	b₀ =0,0005	c₀ =0,6766097
a₁ =-0,1692	b₁ =-0,0056	c₁ =0,0200564
a₂ =25,3851	b₂ =-0,0066	c₂ =0,00011043
a₃ =14,0941	b₃ =-0,0375	c₃ =-6,9698E-07
a₄ =-7,0261	b₄ =0,0636	c₄ =1,0031E-09
a₅ =2,7081	b₅ =-0,0144	k =0,0162
Σa_i =35,0000	Σb_i =0,0000	

2.2 Les paramètres indicateurs de pollution

2.2.1 La turbidité

Selon la norme **ISO7027 (Afnor, 1999)**, la turbidité c'est « la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de substances non dissoutes ». Elle peut être modifiée suite à des évolutions des propriétés physiques, microbiologiques et chimiques de l'eau et elle est directement affectée par la présence de diverses matières en suspension, son unité est le **NTU** (Nephelometric Turbidity Unit). (**Aminot & Kérouel, 2004**)

2.2.2 La matière en suspension (MES)

La matière en suspension est l'ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelles ou polluée, elle représente une cause essentielle de la turbidité de l'eau. (**Ramade, 1998**)

L'impact de ces matières se traduit par la réduction de la transparence de l'eau et de ce fait la production primaire photosynthétique, ainsi elles présentent une surface de contact importante pour des échanges physico-chimiques ou biologiques avec l'eau de mer.

La détermination des matières en suspension MES est essentielle pour évaluer la répartition de la charge polluante entre pollution dissoute et pollution sédimentable. (**Bontoux, 1993**)

2.2.3 La matière organique (MO)

La matière organique regroupe des substances et composés carbonés d'origine végétale et animale tels que les protéines, les glucides, les lipides et les acides nucléiques (**Gaujous, 1995**). La présence de molécules organiques dans l'eau de mer constitue un facteur écologique important, car beaucoup d'entre elles ont un rôle trophique et sont susceptibles d'influer la croissance, le développement ou la mortalité des organismes marins.

La matière organique est estimée selon différents critères comme, par exemple, la quantité de carbone. (**Le Gal, 1988**)

2.2.4 La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimée en mg d'(O₂)/l, correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique dans des conditions définies de la matière organique ou inorganique contenue dans l'eau ; autrement dit elle représente la teneur totale de l'eau en matières oxydables (**Grosclaude, 1999**). Ce qui permet d'ailleurs d'évaluer la quantité totale de pollution organique. (**Burns & Villeneuve, 1982 ; Volhardt & Schore, 1995 in Adem, 2011**)

Tableau I.2 : Valeurs typiques de DCO. (Bliefert & Perraud, 2001 in Adem, 2011)

DCO (mg/L)	Type d'eaux usées/substrat
5-20	Eaux courantes
20-100	Eaux usées communales après épuration biologique
300-1000	Eaux usées communales non épurées
22000	Eaux d'infiltration de décharges

2.2.5 La demande biologique en oxygène (DBO)

La demande biologique en oxygène DBO exprimée en mg d'oxygène par litre, permet l'évaluation des matières organiques biodégradables dans les eaux (**Bontoux, 1993**). Elle désigne la consommation d'oxygène sous l'effet des processus réducteurs se produisant spontanément au sein de l'échantillon examiné qui sont sauf exceptions, d'origine biologique.

Ce paramètre est généralement mesuré au bout de 5 jours à une température d'incubation de 20°C. Le test est surtout intéressant pour l'appréciation de la qualité des eaux brutes. (**Gomella & Guerrée, 1978**)

Tableau I.3 : Valeurs typiques de DBO₅. (Bliefert & Perraud, 2001 in Adem, 2011)

DBO ₅ (mg/L)	Type d'eaux usées/substrat
6	Cours d'eaux courantes modérément pollués
20	Eaux communales après traitement biologique
250	Eaux communales non épurées
> 5000	Eaux usées de l'industrie alimentaire
13000	Eaux de ruissellement sous les décharges

2.2.6 Les sels nutritifs

Les sels ou éléments nutritifs sont de par leur fonction des constituants dissous de l'eau de mer impliqués dans le métabolisme des organismes vivants. Bien que d'après cette définition un grand nombre d'éléments biologiquement actifs ; constituants majeurs ou éléments traces, puissent rentrer dans cette catégorie, le terme est traditionnellement réservé aux composés minéraux combinés de l'azote (nitrate, nitrite, ammonium), du phosphore (phosphate) et du silicium (silicate).

Les plus importants de ces sels nutritifs sont l'azote et le phosphore qui sont assimilés par la biomasse végétale durant la photosynthèse dans la zone euphotique. Ces éléments nutritifs sont le support du cycle de la vie biologique marine.

La production primaire des eaux de surface est donc basée sur les sels nutritifs et la lumière, ces premiers reflètent la richesse et la fertilité des eaux marines. Ce sont donc des traceurs chimiques non conservatifs, et leur variation est gouvernée par les facteurs physiques, chimiques et biologiques (Jacques & Tréguer, 1986). Ainsi, ces éléments constituent un outil important pour l'étude chimique et dynamique des masses d'eau océaniques (Boulaïdid, 1987). Les sels nutritifs sont considérés comme des substances polluantes lorsque leurs concentrations dans le milieu aquatique augmentent et atteignent des seuils alarmants. (Levitus, 1993)

a) L'azote

La forme la plus abondante de l'azote dans l'eau de mer est l'azote élémentaire gazeux. L'azote inorganique existe sous trois formes : sous forme d'ions nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-) et ammonium (NH_4^+) qui sont utilisables par les organismes autotrophes. (Copin-Montégut, 1996)

✚ L'ammonium (NH_4^+)

L'ammonium est de loin l'espèce ionique dominante de l'azote minéral en mer, il est souvent assimilé préférentiellement par le phytoplancton, et c'est également la première forme d'azote minéral régénérée essentiellement par le biais de l'excrétion zooplanctonique.

L'azote ammoniacal est présent sous deux formes en solution l'ammoniac NH_3 (Forme toxique) et l'ammonium NH_4^+ (Forme non toxique) dont les proportions relatives dépendent du pH, de la température et de la salinité. (**Aminot & Chaussepied, 1983**)

Dans les eaux marines et estuariennes, l'ammonium est très prédominant c'est pourquoi ce terme est souvent employé pour désigner l'azote ammoniacal. Cette forme d'azote utilisée par le phytoplancton et oxydée par les bactéries nitrifiantes, provient des excréctions animales et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés. (**Aminot & Chaussepied, 1983**)

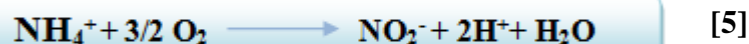


✚ Les nitrites (NO_2^-)

Dans le cycle de l'azote, les ions nitrites sont des intermédiaires relativement fugaces entre l'azote ammoniacal et les ions nitrates. Dans ce composé l'azote est dans un état d'oxydation intermédiaire entre l'ammonium et le nitrate ; si bien que le nitrite apparaît comme une étape transitoire entre l'oxydation de l'ammonium et la réduction du nitrate. Dans les eaux océaniques les concentrations sont extrêmement basses (souvent moins de $0,1 \mu\text{mol/l}$). (**Aminot & Chaussepied, 1983**)

Les nitrites résultent de :

- L'oxydation de l'ammonium (NH_4^+) par des bactéries (Nitrosomonas), appelée «Nitritation ou Nitrosation », qui s'effectue selon la réaction suivante :



- La réduction des nitrates dans les milieux anoxiques ou pauvres en oxygène dissous, opérée par les bactéries anaérobiques, selon la réaction suivante :



✚ Les nitrates (NO_3^-)

L'ion nitrate qui est thermodynamiquement stable est l'espèce la plus utilisée lors de la photosynthèse (**Copin- Monteguet, 1996**). Il entre dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton. Il est considéré comme étant un facteur limitant de la croissance des algues lorsque la vitesse de régénération devient inférieure à la vitesse d'utilisation. (**Aminot & Chaussepied, 1983**)

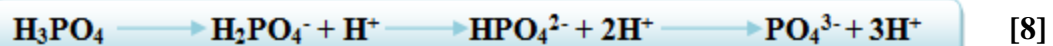
Les Nitrates résultent de l'oxydation des nitrites par des bactéries (Nitrobacter) appelée « Nitratisation » qui s'effectue selon la réaction suivante :



b) Le phosphore

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minérale ou organique (**Rodier, 2005**). C'est un élément nutritif dont la forme minérale majoritaire est l'orthophosphate essentiel à la vie aquatique (**Aminot & Chaussepied, 1983**). Cette forme directement assimilable par le phytoplancton représente la fraction majeure de l'excrétion zooplanctonique.

Cet élément est présent essentiellement dans l'eau de mer sous forme d'ions phosphates correspondant aux différentes étapes de dissociation de l'acide orthophosphorique (**Copin-Montégut, 1996**) :

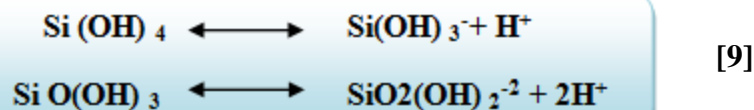


c) Le silicium (Si)

Le silicium est un élément nutritif qui entre dans la composition des squelettes de certaines espèces phytoplanctoniques (diatomées, radiolaires,...) auxquelles il est indispensable. (**Aminot & Chaussepied, 1983**)

La silice provient de la dégradation de roches comme le granit (origine terrestre), ou de leur régénération dans leur cycle biogéochimique (origine marine).

Il est présent en solution dans l'eau de mer sous forme d'acide silicique $\text{Si}(\text{OH})_4$, c'est un acide faible qui se dissocie suivant cette réaction (**Copin-Montégut, 1996**) :



2.2.7 La Chlorophylle

La chlorophylle est un pigment coloré qui réagit à la lumière (**Gaujous, 1995**). Il s'agit d'une molécule associée à des protéines qui est localisée dans les systèmes membranaires. (**Le Gal, 1988**)

Il existe plusieurs types de chlorophylle (« a », « b » et « c ») dont le principal pigment photosynthétique est la chlorophylle « a » (**Aminot & Kérouel, 2004**) considérée comme étant un bon indicateur de la santé de l'océan, de son niveau de productivité et de la biomasse phytoplanctonique (**Aminot & Chaussepied, 1983**). C'est d'ailleurs le paramètre biochimique le plus fréquemment mesuré en océanographie. (**Jeffrey & Mantoura, 1997 in Aminot & Kérouel, 2004**)

La chlorophylle apparait donc comme un paramètre clé des études en hydrologie marine du fait qu'il existe de nombreux liens entre le développement du phytoplancton et les concentrations de plusieurs paramètres (O₂, nutriments, pH). (**Aminot & Kérouel, 2004**)

3 Les normes de rejet d'effluents

Afin de préserver les ressources en eau et lutter contre la pollution, tout déversement d'eau us e ou autre ne doit être rejeté dans un milieu naturel que lorsqu'il obéit aux normes établies par le **Décret exécutif n  93-160 du 10 Juillet 1993**, du Journal Officiel de la République Algérienne.

Ce décret r glemente les rejets d'effluents liquides dans son **article 2** du chapitre I (**voir Annexe V**), qui définit un rejet comme étant : « tout déversement, écoulement, jets, dépôts directs ou indirects d'effluents liquides dans le milieu naturel » et fixe en son annexe les valeurs limites de ce rejet.

Ces mêmes valeurs viennent d'être renforcées par un nouveau texte r glementaire ; le **Décret Exécutif n  06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006, section 1, article 3 (voir Annexe V)**. Les valeurs limites maximales de rejet d'effluents fixées par ces deux décrets sont regroupées dans le **tableau 8 (Annexe III)**.



CHAPITRE II

Dessalement de l'eau de mer

Introduction

La pénurie d'eau fait partie des problèmes principaux auxquels de nombreux pays sont confrontés. Selon le rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau établi en 2016, 663 millions de personnes ne disposent pas de sources d'eau potable améliorées facilement accessibles, tandis qu'au moins 1,8 milliards de personnes (OMS/UNICEF, 2015) n'ont pas d'accès fiable à une eau de qualité suffisamment sûre pour être considérée comme propre à la consommation humaine. (UNESCO, 2016)

La dynamique des populations et le niveau de vie mondial toujours plus élevés amplifient le défi de fournir de l'eau. Pour relever ce dernier plusieurs pays se sont tournés vers les ressources non-conventionnelles comme le dessalement de l'eau de mer.

Appelé également désalinisation ou plus rarement dessalage, le dessalement consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre d'origine continentale. (Dunglas, 2014)

1 Le schéma général d'une installation de dessalement

Une installation de dessalement peut être schématiquement subdivisée en 4 postes :

- La prise d'eau de mer.
- Le poste de prétraitement.
- L'installation de dessalement proprement dite.
- Le post-traitement.

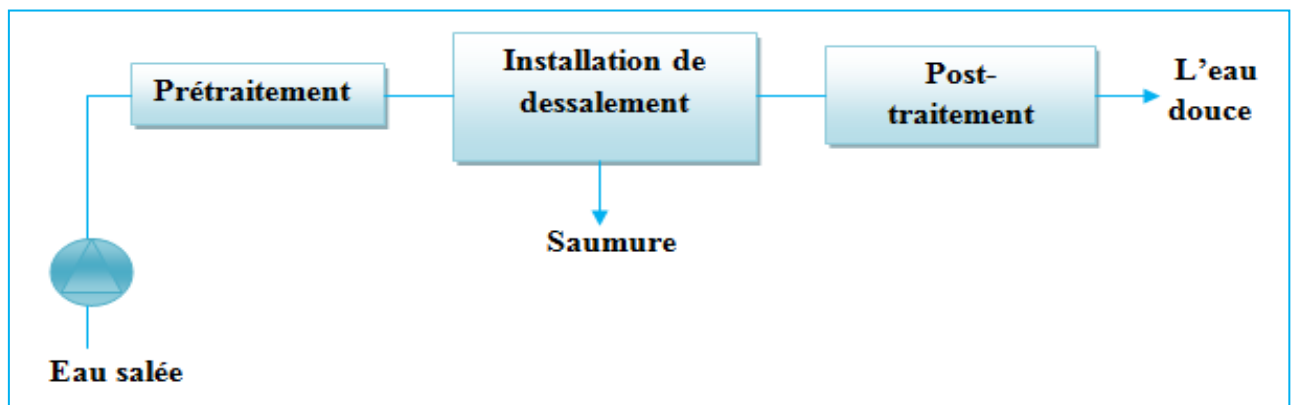


Figure II.1 : Schéma général d'une installation de dessalement. (Maurel, 2006)

Le rapport de la quantité d'eau douce produite par rapport à la quantité d'eau saline pompée est appelé « taux de conversion ». (Maurel, 2006)

2 Les procédés de dessalement

Les installations actuellement en service font appel à deux grandes familles de procédés : les procédés de distillation et les procédés à membranes qui sont plus récents. (Figure II.2)

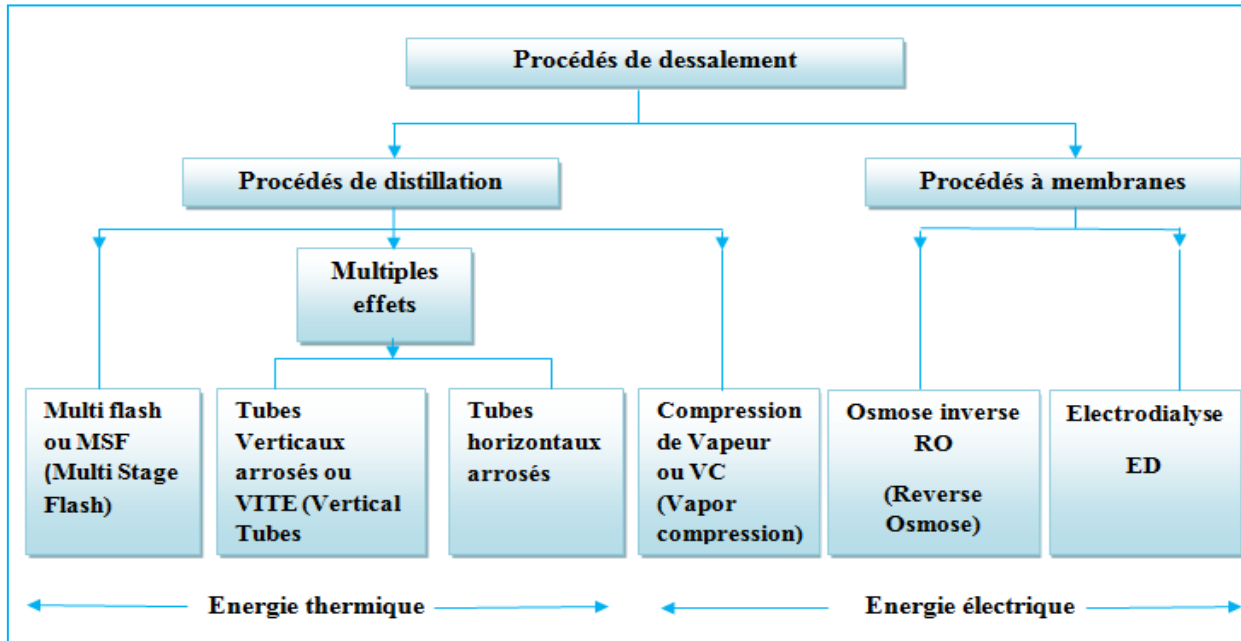


Figure II.2 : Procédés de dessalement industrialisés. (Maurel, 2006)

2.1 Les procédés de distillation

Ce principe de dessalement très simple est utilisé depuis des temps forts anciens, ainsi l'eau de mer chauffée émet une vapeur d'eau pure qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau douce. Les procédés de distillation qui peuvent être utilisés sont les suivants :

2.1.1 La distillation à simple effet

La distillation à simple effet reproduit le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de chauffage porte à ébullition l'eau de mer, la vapeur produite se condense par la suite au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide. Enfin, un éjecteur ou une pompe évacue les gaz incondensables, et deux groupes électropompes soutirent l'eau condensée et l'eau de mer concentrée ou saumure. (Méricq, 2009)

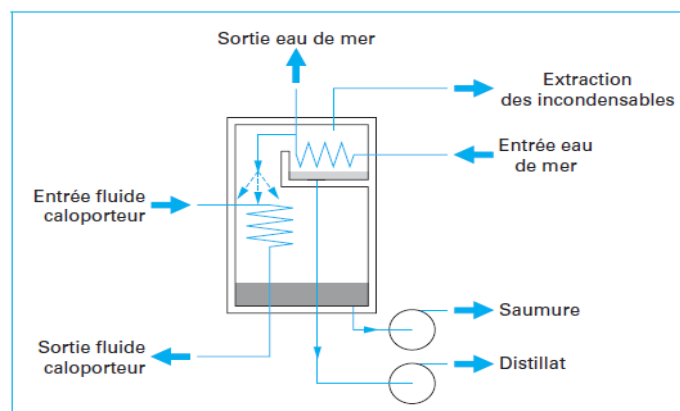


Figure II.3 : Principe de distillation à simple effet. (Danis, 2003)

2.1.2 La distillation à multiples effets

La distillation à multiples effets consiste simplement à la juxtaposition de plusieurs cellules fonctionnant selon le principe de distillation à simple effet. Le fluide caloporteur porte à ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule où règne la température la plus haute. La vapeur émise par ébullition de l'eau de mer est transférée dans la cellule voisine où une pression légèrement inférieure est maintenue. La température d'ébullition diminuant avec la pression, l'eau de mer présente dans la deuxième cellule est alors vaporisée grâce à la vapeur issue du premier effet, cette opération peut être répétée plusieurs fois. (Maurel, 2006)

Ce procédé permet d'obtenir une production de $10\,000$ à $25\,000\text{m}^3\cdot\text{j}^{-1}$ avec une salinité de 1 à $50\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ pour une consommation énergétique de 1 à $2\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ d'eau produite.

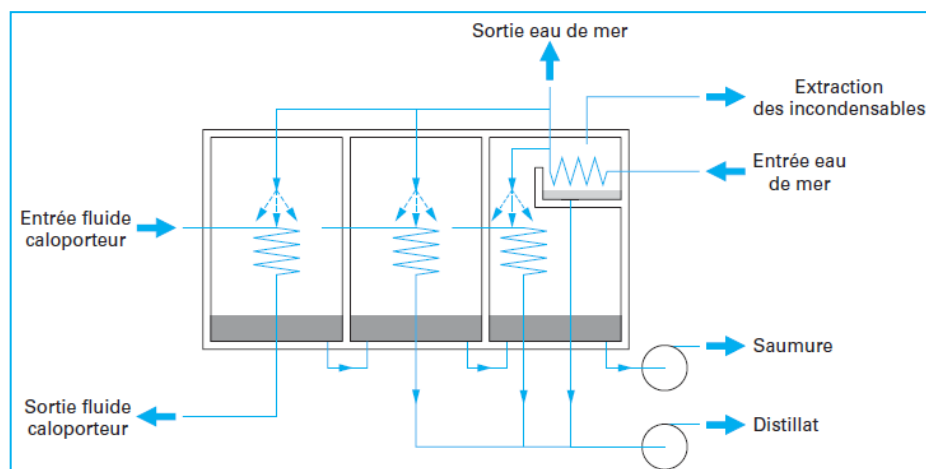


Figure II.4 : Principe de distillation à multiples effets. (Danis, 2003)

2.1.3 La distillation par détente successives (multi flash ou flash)

La distillation par détente successives est basée sur le principe de la vaporisation instantanée où l'eau de mer prétraitée est préchauffée en traversant les condenseurs des différents étages du procédé.

Elle est ensuite introduite dans une chaudière ou réchauffeur où elle est chauffée jusqu'à une température d'environ 110°C . L'eau de mer chaude est alors introduite dans le bas du premier étage où règne une pression inférieure à sa pression de vapeur saturante. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente (distillation flash).

La vapeur ainsi produite se condense sur les parois du condenseur et est recueillie. L'eau de mer restante pénètre dans la chambre suivante où règnent une température et une pression plus basses, il se produit ainsi une nouvelle distillation flash. Le phénomène se répète jusqu'à la dernière chambre, et les écarts de pression entre les chambres permettent l'écoulement de l'eau de mer et de l'eau douce produite jusqu'à la dernière chambre sans l'utilisation de pompes. (Maurel, 2006)

Ce procédé permet d'obtenir une production supérieure à $25\ 000\text{m}^3.\text{j}^{-1}$ avec une salinité de 50 à 100mg.L^{-1} pour une consommation électrique de 1 à 3kWh.m^{-3} d'eau produite.

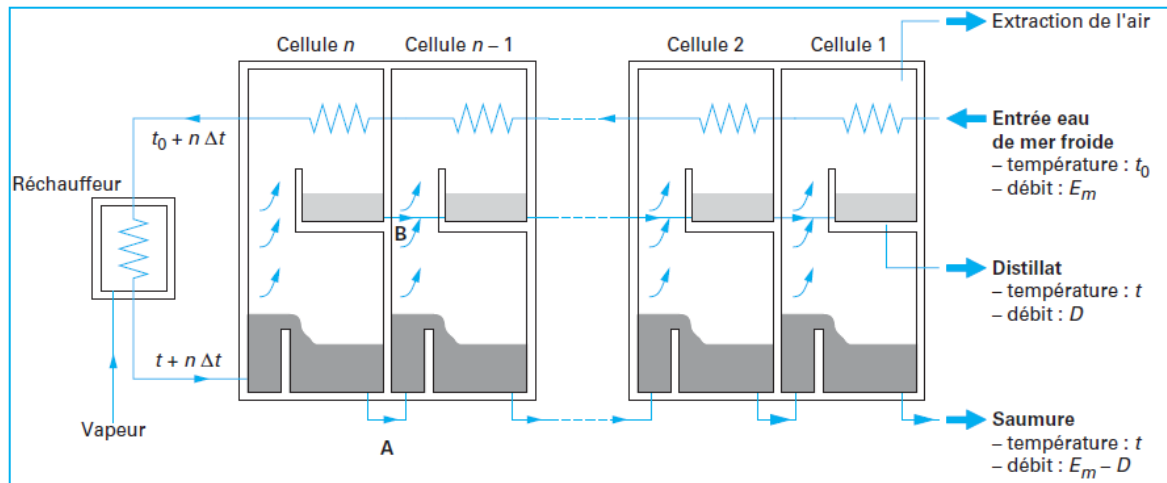


Figure II.5 : Principe de distillation multi Flash. (Danis, 2003)

2.1.4 La distillation par compression de vapeur

Lors de la distillation par compression de vapeur l'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermiquement isolée. La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation, et traverse ensuite un faisceau tubulaire placé en bas de l'enceinte, elle se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée. (Maurel, 2006)

Ce procédé permet d'obtenir une production maximale de $5\ 000\text{m}^3.\text{j}^{-1}$ avec une salinité de 1 à 50mg.L^{-1} pour une consommation énergétique de 12 à 17kWh.m^{-3} d'eau produite.

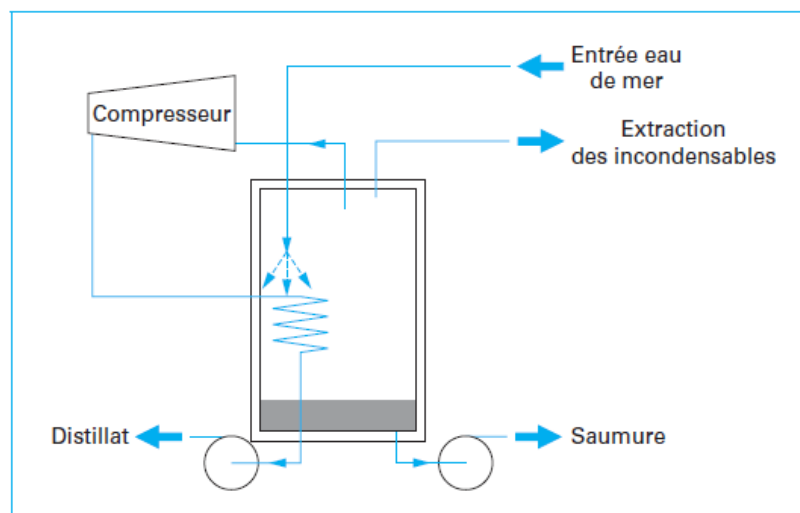


Figure II.6 : Principe de compression de vapeur. (Danis, 2003)

2.2 Les procédés à membranes

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. De tels procédés sont a priori séduisants puisqu'ils doivent pouvoir fonctionner à la température ambiante et n'impliquent pas un changement de phase. (Maurel, 2006)

2.2.1 L'osmose inverse (OI)

Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes. Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer, il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique. Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique (Figure II.7), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée ; c'est le phénomène d'osmose inverse. (Maurel, 2006)

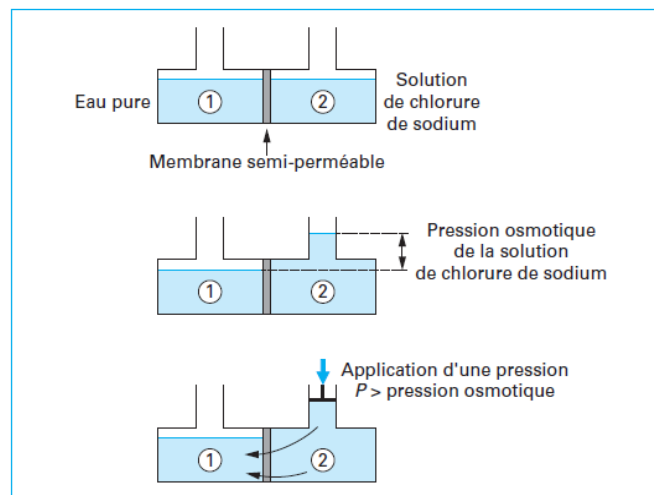


Figure II.7 : Principe d'osmose inverse. (Danis, 2003)

2.2.2 L'électrodialyse (ED)

L'ED est un procédé qui utilise la mobilité des ions d'un électrolyte soumis à un champ électrique, le dessalement étant assuré par des membranes qui éliminent sélectivement les sels, ce qui permet d'obtenir de l'eau douce. (UNEP, 2001)

En d'autres termes c'est une technique séparative dans laquelle des espèces ionisées minérales ou organiques dissoutes, telles que sels, acides ou bases, sont transportées à travers des membranes ioniques et sous l'action d'un champ électrique. Lorsqu'une solution ionisée est envoyée dans les compartiments séparant ces membranes, les cations migrent vers la cathode (-) et les anions vers l'anode (+), en traversant respectivement les membranes cationiques (C) et anionique (A).

Grâce à une disposition alternée des membranes, les ions capables de traverser les membranes cationiques sont arrêtés par les membranes anioniques, et réciproquement (**Figure II.8**).

En raison de sa consommation électrique, l'électrodialyse n'est pas compétitive (face à l'osmose inverse) et n'est donc utilisée que pour le traitement des eaux saumâtres de concentration inférieure à 3 g.L^{-1} . (**Danis, 2003**)

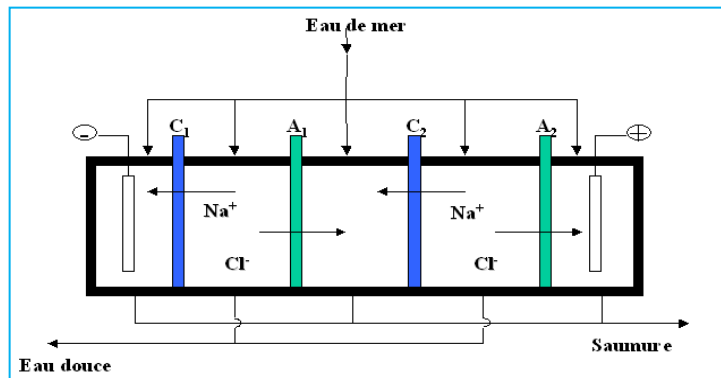


Figure II.8 : principe de l'électrodialyse. (**Maurel, 2006**)

3 Les impacts environnementaux des unités de dessalement

Dans le cas des installations de dessalement d'eau de mer des problèmes peuvent éventuellement se poser, certains se limitent à la phase de construction d'autres sont liés à la phase d'exploitation. Le principal impact environnemental associé aux procédés de dessalement provient de la production de saumure. (**Maurel, 2006**)

3.1 Les rejets

Les rejets d'une installation de dessalement sont de trois types :

- Le sel, paramètre commun à tous les procédés de dessalement ;
- Les boues de prétraitement, plus spécifiques des traitements par osmose inverse ;
- La température, spécifique des traitements de distillation.

3.1.1 La saumure

La saumure est un sous produit du dessalement inévitable qui est déchargée généralement dans l'environnement marin. Les implications environnementales de cette solution de sel fortement concentré (TDS) est autour de 70.000 ppm sur les écosystèmes marins locaux qui ont été discutées de façon contre-versée pendant de nombreuses années. Elle est reconnue comme une décharge étendue de saumure, car elle constitue une couche hypersaline au fond de la mer due à sa plus grande densité qui peut affecter fortement la faune et la flore marine. (**Einav & Lochiec, 2003 in Habet, 2010**)

a) La composition chimique de la saumure

La concentration de saumure s'avère habituellement double ou près du double de celle de l'eau de mer, elle contient différents produits chimiques utilisés lors de la phase de prétraitement du dessalement. Les produits chimiques susceptibles d'être retrouvés dans les saumures incluent des matériaux désincrustants, agents tensio-actifs, et acides utilisés pour abaisser le pH (**Tableau 9, Annexe III**).

Ainsi les sels retournés à la mer sont identiques aux participants dans l'eau d'alimentation, mais ils sont présents à une concentration plus élevée.

b) La dispersion des sels concentrés

Les rejets de saumure en mer aboutissent à la formation d'un système stratifié de couches de plus en plus salées en allant vers le fond, ce qui a pour conséquence de diminuer les brassages entre eau de fond et eau de surface. Dans certains cas et en fonction des courants marins locaux, 40% de la zone environnante est recouverte de sel.

Ce phénomène peut conduire à des modifications du milieu local (voir schémas ci-dessous):

- Anoxie (absence d'oxygène) au niveau des fonds marins : la diminution des brassages associée à la présence d'espèces consommatrices d'oxygène peut conduire à des périodes d'anoxie du fond marin.
- Diminution de la lumière : la présence d'eau hyper salée provoque la formation d'un brouillard qui rend difficile le passage de la lumière, affectant ainsi la photosynthèse des espèces marines végétales.

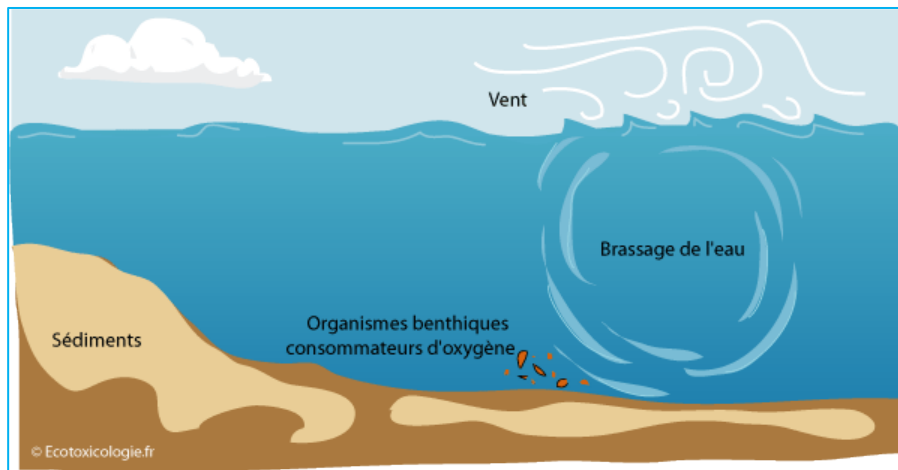


Figure II.9 : Etat initiale du milieu (pas de rejet de saumure).

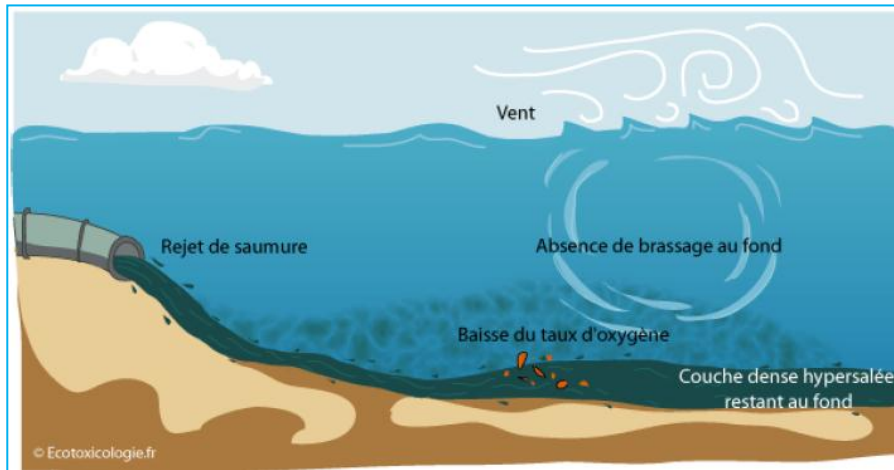


Figure II.10 : Etat du milieu après implantation de l'usine de dessalement (rejet de saumure).

3.1.2 Les boues de prétraitement

Les systèmes de prétraitement de l'eau de mer avant dessalement ont pour but d'éliminer les matières en suspension et le plancton susceptibles de colmater les installations de dessalement. Les prétraitements mis en œuvre sont des techniques de clarification proches de celles employées de façon conventionnelle pour la potabilisation des eaux douces (coagulation, décantation ou flottation, filtration).

Autrefois rejetés en mer, les résidus de ces prétraitements ont impacté la flore et la faune au point de rejet, impact essentiellement lié à la turbidité des effluents rejetés qui perturbaient la photosynthèse et donc la production primaire. (Fievez & Bonnélye, 2009)

3.1.3 La température :

La température représente un impact spécifique des traitements de distillation, pouvant dégrader la faune et la flore au point de rejet des concentrats des installations qui rejettent la saumure à une température qui est environ supérieure de 10 à 15°C à celle de l'eau de mer. (Fievez & Bonnélye, 2009)

On obtient 1°C de plus que la température ambiante dès que le concentré est dilué de dix fois son volume par l'eau de la zone marine réceptrice. Ce 1°C de plus que la température ambiante n'a pas d'importance écologique et n'est pas significativement démontrable. Ce cas se présente lorsqu'il existe un brassage et un échange suffisant avec l'eau de mer du concentré. (UNEP, 2001)

Aujourd'hui, la température au point de rejet est généralement réglementée, avec une limite d'augmentation de 2 à 7°C suivant les législations. La dissipation thermique est là aussi réalisée par dilution avant rejet dans le milieu naturel.

Des études hydrauliques sont réalisées afin d'évaluer la dissipation des calories en mer à partir du point de rejet, en utilisant des outils de modélisation. (Fievez & Bonnélye, 2009)

3.2 La consommation d'énergie

La consommation d'énergie dépend du procédé utilisé, le coût énergétique par exemple dans le cas de la distillation est proportionnel à la qualité d'eau traitée, alors que pour les procédés membranaires le coût du traitement est fonction du sel éliminé.

Mais avec le développement des procédés de dessalement, la consommation électrique tend à diminuer grâce au pompage par exemple et à la mise en œuvre de systèmes de récupération d'énergie ainsi que le couplage de ces procédés avec d'autres applications productrices de chaleur, tel que les énergies renouvelables (solaires et éoliennes). (Mosrli, 2013)

Tableau II.2 : évaluation de l'énergie destinée à des usines de dessalement (Méthode de Wade et Fletcher, 1995). (UNEP, 2001)

Procédé de dessalement		
Centrale associée	MSF Cycle combiné	OI Cycle combiné
Consommation de chaleur du procédé de dessalement en kJ/kg	282	-
Consommation d'électricité de dessalement en kWh/m ³	3,6	7.5
Energie de combustible pour la production d'eau kJ/kg	149	75

Tableau II.3 : Récapitulatif des impacts environnementaux. (UNEP, 2001)

Impact	Origine de l'impact
Pollution thermique - Réduction de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices - Effets nocifs pour les espèces thermorésistantes	- Saumure chaude
Salinité accrue - Effets nocifs pour les espèces résistantes aux sels	- Saumure concentrée
Métaux lourds - Toxicité	- Corrosion du matériel de l'usine
Produits chimiques - Eutrophisation des eaux réceptrices - Toxicité - Hausse du pH	- Adjonction d'agents anticorrosion et antitartre
Pollution atmosphérique - Pluies acides - Effet de serre - Poussières	- Utilisation de combustibles et activités d'élimination
Sédiments - Turbidité et limitation de la photosynthèse - Difficultés de respiration	- Perturbation des sables par des activités
- Bruit	- Activités de construction - Pompes et autres appareils au cours de l'exploitation de l'usine

4 Le dessalement en Algérie :

L'expérience Algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie et tout particulièrement de l'industrie pétrolière et sidérurgique. Dans les années 60, la première installation a été implantée par la SONATRACH à Hassi Messaoud pour le traitement des eaux saumâtres. Vers le milieu des années 70, on avait prévu de réaliser une centrale électrique à Marsat El-Hadjadj, près d'Arzew utilisée pour alimenter une usine de dessalement de 800m³/j soit près de 30 millions de m³/an.

L'Algérie, prévoit de disposer en 2019 de 43 usines de dessalement pour approvisionner les villes, et réservera les eaux traitées et celles des barrages à l'agriculture et l'usage industriel (800 000m³/j installés, 2 000 000m³/j programmés).

Les stations de dessalement d'eau de mer en Algérie (**Tableau 10, Annexe III**).



2ème Partie :
Étude Expérimentale



CHAPITRE III

Matériel et

Méthodes

Introduction

Ce chapitre est divisé en deux parties, la première débute par une description générale de la zone d'étude et se poursuit par la présentation de la station de dessalement ayant fait l'objet de cette problématique.

La deuxième partie porte sur la présentation du dispositif expérimental, le matériel utilisé et les méthodes appliquées au cours des analyses.

1 La présentation de la zone d'étude

1.1 La situation géographique

Fouka marine est située à environ 40km à l'Ouest d'Alger, elle fait partie de la baie de Bou-Ismaïl (ex Golfe de Castiglione), qui est limitée à l'Est par le promontoire de Ras-Acrata et par le cap du Mont Chenoua à l'Ouest.

La baie couvre une superficie de 350Km² avec une ouverture de 40Km orientée du Sud- Ouest au Nord- Est, soit 2°54 Est et 36°48 Nord à 2°24 Est et 36°38 Nord. La région de Fouka s'étend sur une superficie totale de 1237 ha et est délimitée :

- Au Nord par la mer méditerranée ;
- Au Sud par la commune de Koléa ;
- À l'Est par la commune de Douaouda ;
- À l'Ouest par la commune de Bou-Ismaïl.

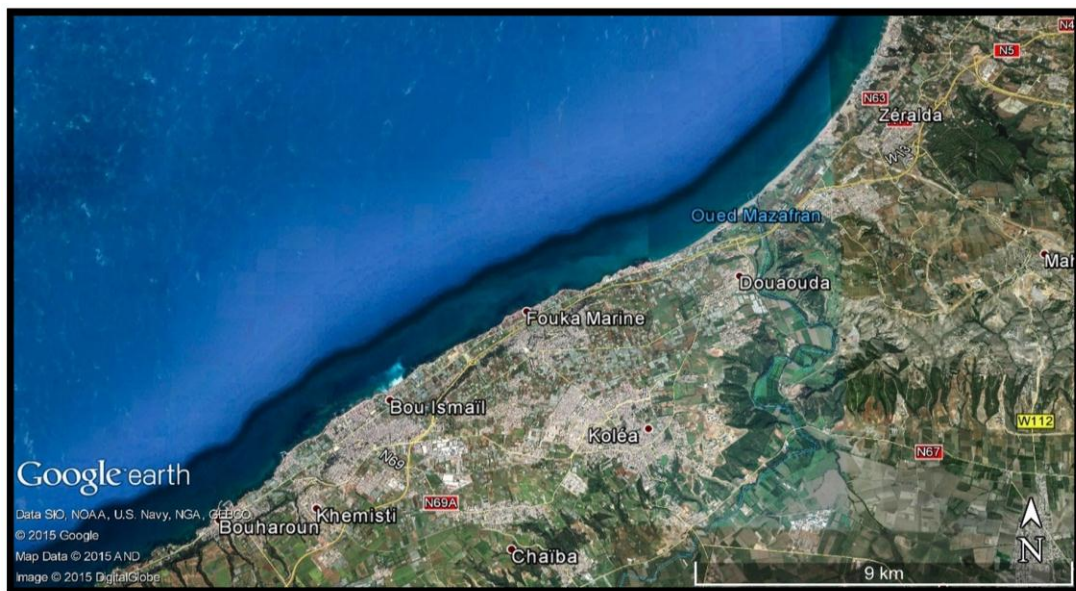


Figure III.1 : Situation géographique de la zone d'étude. (Google Earth Pro, 2015)

1.2 La sédimentologie

Comme Fouka marine fait partie de la baie de Bou-Ismaïl, elle se caractérise par la même sédimentation.

L'analyse des sédiments de la baie de Bou-Ismaïl a permis de mettre en évidence la grande diversité sédimentaire des fonds de cette zone, neufs faciès identifiés : les sables fins, les sables envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures et le faciès rocheux.

La répartition de ces faciès n'est pas identique, ainsi deux régions apparaissent : la région Est ou orientale et la région Ouest ou occidentale. Chaque région présente des caractéristiques sédimentologiques propres.

Les vases pures sont très développées dans la région Ouest et forment ainsi une importante vase littorale, tandis que les graviers envasés sont dans la région Est. (Bachari, 2009)

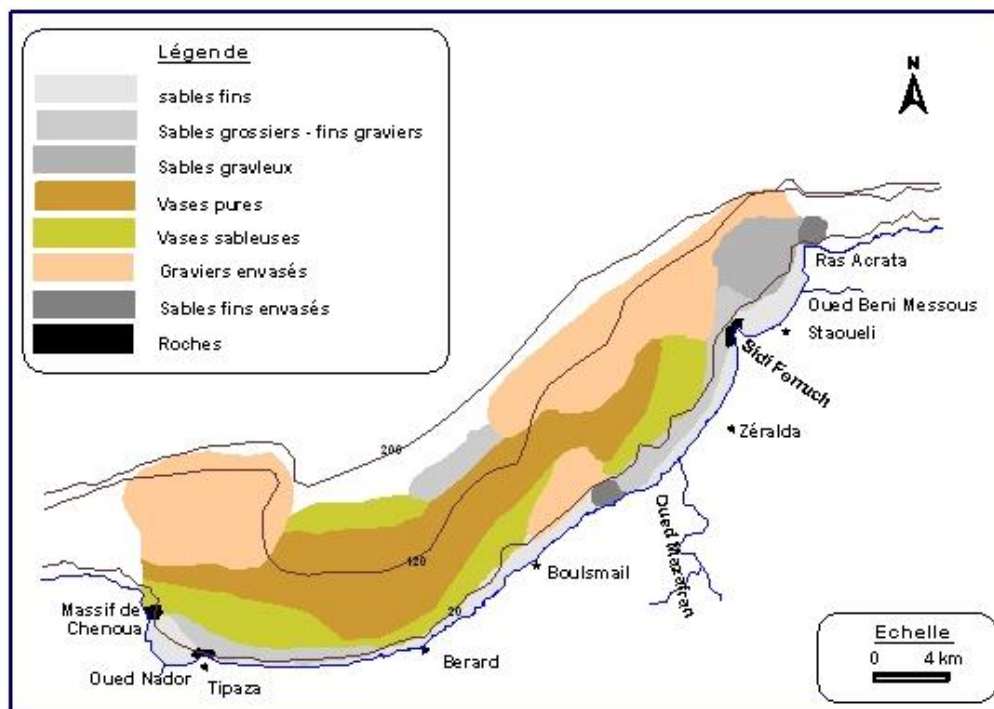


Figure III.2 : Carte sédimentaire de la baie de Bou-Ismaïl. (PAC, 2005 in Achiche & Larbi, 2010)

1.3 Les facteurs hydrodynamiques

La connaissance des paramètres hydrodynamiques est fondamentale, du fait du rôle direct de ces derniers sur la dynamique des particules dans la zone littorale, ainsi que sur le modèle côtier.

1.3.1 Les vents

Un vent faible à modéré d'intensité moyenne de 2,67m/s, frais et humide d'Est souffle de Mai en Octobre, tandis que le vent d'Ouest souffle de Novembre à Mai apportant les pluies. Le sirocco se manifeste 14 jours/an en moyenne pendant la période estivale Juillet et Août. Les vents dominants sont de direction Nord-Ouest en hiver et Nord-Est en été. (Office National Météorologique in Setiti & Silhadi, 2015)

1.3.2 La pluviométrie

Les pluies qui tombent sur la commune de Fouka totalisent 680mm se répartissant sur 97 jours par an, elles sont cependant irrégulières, nous avons :

- Une croissance rapide de la pluviométrie de Septembre à Janvier;
- Une diminution lente jusqu'à la Mi – Juin;
- Une pluviométrie rare de la Mi – Juin à Septembre.

1.3.3 La température

La température moyenne annuelle est de 17.5°C et varie entre 42.6°C et 1.2°C, l'année peut se diviser en deux semestres: l'un est froid et l'autre chaud.

Notons que des journées de gel peuvent affecter la région en hiver.

La proximité de la mer a une influence directe sur le climat, ainsi la forte chaleur est rafraîchie et humidifiée par la brise d'été et la mer réchauffe la terre pendant les hivers rigoureux.

1.3.4 La houle

La zone côtière de Fouka se caractérise par :

- Des houles d'Ouest, de Nord-Est et Est sont plus fréquemment observées ;
- Des houles d'Est et d'Ouest sont sensiblement d'importance identique avec toutefois une légère prédominance du secteur Ouest ;
- Des houles d'Est prédominent en été ;
- Des houles d'Ouest prédominent en hiver. (LEM, 2006 in Setiti & Silhadi, 2015)

1.3.5 Les courants de dérive littorale

La dérive littorale a pour conséquence de modifier la morphologie littorale et d'alimenter la plage par des sédiments venant d'autres régions. Dans la zone d'étude, pendant la période hivernale, les houles de secteur Ouest à Nord-Ouest génèrent un courant de dérive littorale de direction Ouest-Est. En période estivale, les houles de secteur Est et Nord-Est provoquent un courant de dérive littorale de direction Ouest-Est. (LEM, 2006 in Setiti & Silhadi, 2015)

1.5 Les caractéristiques hydrologiques

Deux cours d'eau se déversent dans la baie de Bou-Ismaïl, à savoir :

- **L'oued Mazafran** situé à 30km à l'Ouest d'Alger, cet oued prend naissance à la jonction de l'oued Chiffa et l'oued Djer. Le bassin versant couvre une superficie de 1850km².
Il débouche dans la mer entre Douaouda et Zéralda avec un débit de 7,56m³/s pendant la période de Décembre à Avril avec une moyenne annuelle de 43,8 millions de m³, cet

oued est marqué par un long étiage qui dure de Juin à Décembre représentant 17,38% du déversement liquide annuel.

- **L'oued Nador** se situe entre Tipaza et le Mont Chenoua, il regroupe trois oueds, Bou-Yersen, Bou Ardon et Merrad, son étendue est de 230km² avec un débit de 0,89m³/s. Ces oueds jouent un rôle très important dans les apports en eaux usées. (**Kassar, 2011**)
- **L'oued Beni Messous** prend naissance dans le massif de Bouzréah, il reçoit plusieurs affluents et se jette dans la baie d'El -Djamila, son bassin versant s'étend sur 33km², son sol est considéré comme semi-perméable.

1.6 L'état de pollution

La pollution au niveau de la baie de Bou-Ismaïl a depuis longtemps été de type domestique car les eaux usées rejetées dans cette zone provenaient principalement des agglomérations et des villes côtières ainsi que des complexes touristiques (surtout en période estivale). Cependant, avec le développement démographique et l'extension de l'urbanisation, de l'agriculture et surtout de l'industrie, ces dernières décennies, la charge polluante a tant augmenté en quantité qu'en qualité. (**Inal, 2011**)

2 La présentation de l'unité de dessalement de Fouka

2.1 La localisation géographique et les caractéristiques de la station

La station de dessalement d'eau de mer de Fouka est localisée dans la wilaya de Tipaza commune de Fouka. Elle est située entre Douaouda-marine et Fouka-marine accessible par la route RN11.

Les coordonnées géographiques :

- Latitude : 36°40'42,14''N
- Longitude : 2°45'37,83''E.



Figure III. 3 : Situation géographique de la station de dessalement de Fouka. (**Google Earth, 2016**)

Le site considéré pour l'implantation de l'usine de dessalement couvre une superficie de l'ordre de 4 hectares et présente une longueur de 300m et une largeur variant de 70 à 150m. La station a été mise en service en 2011 et fonctionne suivant la technique de l'osmose inverse, sa capacité de production est de l'ordre de $120.000\text{m}^3/\text{j}$, assurant l'approvisionnement en eau potable des communes de Douaouda, Koléa et Fouka dans la wilaya de Tipaza et la zone côtière Ouest de la wilaya d'Alger.



Figure III.4 : Photo de la station de dessalement Fouka.

2.2 Le fonctionnement de la station

2.2.1 Le captage et le pompage de l'eau brute

a) La prise de l'eau de mer

La prise d'eau de mer est la première étape de la filière de dessalement, elle doit permettre d'obtenir une eau en entrée de filière de la meilleure qualité possible et surtout minimiser les matières en suspension présentes. Il existe deux technologies : les forages côtiers et les prises d'eau de surface. (Maurel, 2006)

Deux prises d'eau de mer sont installées à une profondeur de 10m. L'aspiration se fait à travers des grilles d'entrée d'eau qui sont élevées 5m par rapport au fond marin pour éviter l'entrée de particules en suspension du fond marin avec une vitesse limitée à 0,1m/s.

Deux conduites sont de diamètre de 1600mm et ont une longueur de 950m et sont fabriquées en PEHD. Ces conduites sont posées au fond de la mer pour assurer une pente constante et une entrée gravitaire d'eau brute à l'usine avec une vitesse faible et constante.



Figure III.5 : Balises utilisées dans la zone de prise d'eau de mer. (**Prise personnelle**)

b) La station de pompage d'eau de mer

La station de pompage d'eau brute sert à relever les eaux jusqu'aux filtres à sable avec Trois (3) dégrilleurs verticaux prévus à l'entrée de la station afin de protéger les pompes en évitant l'entrée des grandes particules dans le processus. Le concept de la station de pompage est basé sur 6 pompes d'eau de mer en service et une autre pompe en réserve qui sont du type centrifuge vertical, d'une capacité de 2007m³/h à 4bars.

Deux produits chimiques différents seront dosés dans le réservoir d'eau de mer:

- L'hypochlorite de calcium: pour la désinfection ;
- L'acide sulfurique: pour une meilleure efficacité du désinfectant et pour éviter la précipitation des sels minéraux au niveau des surfaces des membranes du pH.

2.2.2 Le système de prétraitement et de filtration

Le prétraitement de l'eau de mer avant osmose inverse est absolument nécessaire afin d'éviter le colmatage des membranes, il permet d'amener une bonne qualité d'eau en entrée des modules d'osmose inverse pour assurer ses performances à long terme, il comporte :

- **L'injection de produits chimiques** (hypochlorite de calcium, acide sulfurique, chlorure ferrique, poly électrolyte, inhibiteur)
- **La filtration à sables (bicouche)** : la couche supérieure est faite d'un matériel épais et de faible densité (anthracite). C'est dans cette première couche que la majorité des particules sont retenues. La couche inférieure inclut un matériel fin (sable), constituant un traitement d'affinage.
- **Le pompage d'eau filtré** : l'eau filtrée est pompée vers les unités d'osmose inverse via les filtres à cartouches (7 unités de pompage d'une capacité de 1870m³/h)
- **La filtration à cartouche**: Afin de filtrer les petites particules pouvant s'échapper des filtres à sable et protéger ainsi les membranes contre un encrassement, des filtres à cartouches capables de filtrer des particules jusqu'à 5microns sont installés en amont des unités d'osmose.

2.2.3 Le système d'osmose inverse

Après le traitement, l'eau est pompée avec des pompes haute pression (70bar) jusqu'aux modules d'osmose inverse. Le système de membrane a pour but de récupérer l'eau osmosée (perméat), tandis que l'eau concentrée en sel est rejetée en mer (saumure).

Le système est constitué de 9072 membranes identiques disposées en parallèle dans 6 filtres de production d'une capacité unitaire de 20000m³/j pour une production nette totale de 20.000m³/j. chaque filière est composée :

- D'une pompe de HP de 2mW
- D'une pompe booster de 230kW
- D'un dispositif de récupération d'énergie (ERI) qui récupère une partie de l'énergie nécessaire à l'osmose inverse, réduisant la consommation totale d'énergie.
- De 216 tubes de pression contenant chacun 7 membranes : l'usine dispose d'un dispositif de lavage des membranes (bac de récupération, pompes, filtre et tuyauterie).

2.2.4 Le post-traitement

Le post-traitement est conçu pour rendre le perméat des unités d'osmose moins agressif et plus approprié à la distribution dans le réseau municipal.

Le système de reminéralisation est basé sur la méthode de gaz carbonique et de chaux afin de corriger la dureté, l'alcalinité, le pH et l'indice de Langelier de l'eau dessalée produite.

Une chloration est également incluse pour prévenir tout risque de développement bactérien dans les réservoirs et les systèmes de distribution.

2.2.5 Le traitement des effluents

Les rejets de procédé (concentrat, les eaux de décharge des saturateurs de chaux, les eaux de lavages des filtres, les eaux de lavage ou flushing de l'osmose inverse) sont acheminés vers le réservoir de traitement (neutralisation) des effluents et vers l'émissaire constitué d'une conduite en polyéthylène de diamètre 1400mm.

Le point de rejet est situé à 450m de la côte, il est équipé d'un diffuseur qui permet une dilution quasi immédiate des eaux de rejet dans l'eau de mer afin de ne pas perturber les écosystèmes.

2.2.6 Le stockage et le pompage de l'eau traitée

L'eau reminéralisée est acheminée vers les réservoirs d'eau traitée (3600m³), l'eau est ensuite refoulée vers le réseau externe par sept pompes. L'usine dispose des réseaux de service, d'incendie et d'eau potable.

3 Le matériel et méthodes :

Cette partie est réservée pour l'analyse des différents paramètres :

- ✓ Physico-chimiques de l'eau de mer ;
- ✓ Indicateurs de pollution ;
- ✓ Dosage de la Chlorophylle.

2.1 Le choix et la localisation des stations de prélèvement

Notre étude consiste à évaluer et analyser les impacts environnementaux des rejets de saumure de la station de dessalement de Fouka sur la qualité des eaux. De ce fait nous avons réalisé 09 prélèvements d'eau dans différents stations qui ont été choisies en fonction de la localisation du rejet. Une à partir de rejet, deux autres stations à l'est, deux à l'ouest du rejet, une près de la côte, deux autres au large (points de référence) et un point au niveau de l'oued Mazafran (pour voir l'effet de l'oued sur l'eau). Les prélèvements ont été effectués le **25 mai 2016** à bord d'une embarcation de l'école (El Aoures). Ces stations ont été positionnées à l'aide d'un G.P.S (Global Position System). Chaque station a été échantillonnée à la surface.



Figure III.6 : La localisation des stations de prélèvement d'eau de mer. (Google Earth 2016)

2.2 Les travaux effectués en mer

2.2.1 Le prélèvement d'eau de mer

Le prélèvement d'eau de mer est effectué à l'aide de bouteilles de prélèvements de type NISKIN. Ces dernières sont ouvertes avant leur mise à l'eau et fermées à la profondeur voulue à l'aide d'un messenger qui coulisse le long du câble hydrographique auquel elles sont fixées.

2.2.2 L'échantillonnage et la conservation

Une fois la bouteille à bord, l'eau prélevée est immédiatement versée dans des flacons dont la qualité dépend du type d'analyse à effectuer. Les échantillons destinés à l'analyse de la chlorophylle et MES sont contenus dans des flacons en polyéthylène de 1,5l, il faut préciser que ceux de la chlorophylle sont couverts par un sac en plastique noir pour éviter tout contact avec la lumière. Les flacons en polyéthylène de 250ml pour l'analyse des sels nutritifs, DBO₅ et DCO. Les flacons étiquetés sont ensuite conservés à basse température dans une glacière. La filtration pour la chlorophylle et la MES est faite dès le retour au laboratoire. Les flacons destinés à l'analyse des sels nutritifs DBO₅ et DCO sont conservés dans un congélateur pour une analyse ultérieure.

2.2.3 Les mesures in situ

Les échantillons recueillis sont destinés à l'analyse des paramètres physico-chimiques et des paramètres indicateurs de la pollution. Les paramètres (température, salinité, oxygène dissous, conductivité, le potentiel d'hydrogène) sont mesurés in situ immédiatement après le prélèvement par un appareillage approprié et adapté aux conditions de terrains à l'aide d'une valise multi paramètres (**Photo 1, Annexe IV**) de type **HANNA 9829**.

Pour ce faire, l'électrode de l'appareil est plongée dans l'eau de l'échantillon et la valeur du paramètre n'est notée qu'après stabilisation de l'afficheur.

2.3. Les mesure au laboratoire

2.3.1. La mesure des sels nutritifs

➤ Principe de dosage :

L'analyse des sels nutritifs est faite par la méthode de colorimétrie à flux continu sur chaîne automatisée SKALAR (Auto-Analyzer SAN PLUS) (**Photo 3, Annexe IV**), selon les protocoles décrits par le constructeur SKALAR® 1998.

Le fonctionnement de l'appareil repose sur un principe dynamique simple, celui de l'analyse liquide en flux continu : une veine liquide propulsée en continu par une pompe péristaltique dans un circuit analytique spécifique à chaque paramètre analysé. Les réactions chimiques s'effectuent dans cette veine en progression et l'analyse des échantillons est réalisée par séquence.

Cette chaîne de mesure automatisée est totalement pilotée par un microordinateur doté d'un logiciel spécifique. À la fin, ce dernier fourni un fichier numérique contenant les résultats accompagnés de toutes les informations relatives à l'analyse.

➤ Définition de la colorimétrie

Cette méthode est l'une des méthodes de dosage chimique des sels nutritifs basée sur l'absorption de la lumière par la solution analysée. Elle est appelée aussi photométrie ou

absorptiomètre. La colorimétrie est basée sur la loi de **Beer-Lambert** qui est définie comme suit :

$$A = D.O = \ln(I_0/I) = \epsilon \cdot L \cdot C \quad (1)$$

L'absorption et la transmission sont deux phénomènes auxquels est soumise une substance d'épaisseur (L) traversée par un faisceau lumineux monochromatique. Les quantités de lumière absorbées (Absorbance) et transmises (transmission) obéissent à la loi de **Beer-Lambert**.

Où :

I₀, I : Intensité lumineuse incidente et émergente du milieu absorbant.

A : Absorbance de la solution ou densité optique.

ε : Coefficient d'extinction moléculaire variant en fonction de la température et de la longueur d'onde.

L : Trajet optique (épaisseur du milieu absorbant) exprimé en cm.

C : Concentration du milieu absorbant exprimée en mol/l.

La réaction des sels dans certaines conditions (T°, pH, Catalyseur ...) avec des réactifs spécifiques donne naissance à une coloration absorbant la lumière à une certaine longueur d'ondes (λ). L'absorption de l'énergie lumineuse dépend de l'intensité de la coloration, de même ce dernier est d'autant plus important que la solution est concentrée en sel dosé.

Le matériel utilisé est représenté en (**Annexe I**).

2.3.2 La mesure de la matière en suspension

➤ Principe

Elle consiste à faire passer l'eau à travers une membrane filtrante, dans le but de retenir les particules dont la taille est supérieure à 0,45 μm. Dans notre cas, les filtres utilisés (0,7 μm)

➤ Expression des résultats

Calcul de la teneur en MES Selon. (**Aminot & Chaussepied, 1983**)

$$\text{MES (mg/l)} = [(P2 - P1) / V] \cdot 10^3 \quad (2)$$

P1 : Poids du filtre avant filtration (mg).

P2 : Poids du filtre après la filtration (mg).

V : Volume d'eau de mer filtrée (ml).

2.3.3 La mesure de la matière organique

➤ Principe

Selon (Aminot & Kérouel, 2004) la méthode consiste à brûler les filtres contenant les matières en suspension dans un four à moufle.

➤ Expression des résultats

La différence de ces deux poids nous donne le poids de la matière organique brûlée (calcinée).

Avec :

$$\text{MOP (\%)} = (\text{P1} - \text{P2}) / \text{P1} \times 100 \quad (3)$$

P1 : Poids du creuset et du filtre avant incinération.

P2 : Poids du creuset et du filtre après incinération.

2.3.4 La mesure de la demande biologique en oxygène

➤ Principe

La mesure de la demande biologique en oxygène a été effectuée à l'aide d'un DBO-mètre (Photo 6, Annexe IV). C'est une méthode manométrique (manomètre de marque VELP à affichage numérique fixé directement sur les flacons de DBO₅). Un volume de 150ml d'échantillon est introduit dans des flacons en verre bruns avec agitation magnétique, la température est équilibrée par un thermostat réglé à 20°C. La lecture se fait au bout de cinq jours.

2.3.5 La mesure de la demande chimique en oxygène

➤ Principe

La détermination de la DCO s'opère par oxydation en milieu sulfurique par excès de dichromate selon les deux étapes suivantes :

1. Oxydation chimique des matières réductrices contenues dans l'eau, par excès de dichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).
2. Dosage de l'excès de dichromate de potassium par sel de Mohr ou sulfate de fer (II) et d'ammonium $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2, 6\text{H}_2\text{O}]$

Le mode opératoire, préparation des réactifs sont présentés en (Annexe II).

➤ Expression des résultats

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimée en milligrammes d'oxygène par litre (mg/l d'O₂) est égale à :

Avec :

$$\text{DCO} = 20(V_2 - V_1) \quad (4)$$

V1 : volume de solution titrante servant pour le dosage d'échantillon d'eau de mer (ml).

V2 : volume de solution titrante servant pour le dosage dans le cas de l'essai à blanc (ml).

2.3.6 La mesure de la chlorophylle

➤ Principe

Les mesures de concentrations des pigments photosynthétiques sont des paramètres importants pour l'étude de la production primaire dans les eaux douces et les océans.

La mesure de la concentration en chlorophylle *a*, ainsi que celle de ses produits de dégradation, les phéopigments est décrite selon deux méthodes de mesure spectroscopiques non séparatives : la spectrophotométrie et la fluorimétrie.

Dans notre cas, l'étude de la concentration en chlorophylle *a* du phytoplancton est effectuée par la méthode de spectrophotométrie. Pour une mesure précise en laboratoire, la récolte du matériel en suspension par filtration, suivie d'une extraction du filtre par solvant (acétone à 90%) s'imposent.

L'Appareillage, les réactifs et le mode opératoire sont présentés en (**Annexe II**).

➤ Expression des résultats

Il faut corriger les absorbances brutes à 665 et 750nm en soustrayant les blancs des cuves, puis calculer les absorbances nettes à 665nm avant et après acidification selon :

- Absorbance nette de l'échantillon non acidifié (NA) :

$$A_{665}^{NA} = (A_{665brut}^{NA} - bc_{665}) - (B_{brut}^{NA} - bc_{750}) \quad (5)$$

- Absorbance nette de l'échantillon acidifié (A) :

$$A_{665}^A = (A_{665brut}^A - bc_{665}) - (B_{brut}^A - bc_{750}) \quad (6)$$

Avec :

A_{665}^{NA} : Absorbance nette avant acidification.

A_{665}^A : Absorbance nette après acidification.

bc_{665} : Blanc de la cuve à 665nm.

bc_{750} : Blanc de la cuve à 750nm.

- Calcul de la chlorophylle :

$$[\text{Chlorophylle } a] = 27,7 \times (A_{665}^{NA} - A_{665}^A) \times \frac{v}{V \cdot l} \quad (7)$$

Avec :

- V : volume d'eau filtrée (*litre*) ;

- v : volume de solvant d'extraction (*millilitre*) ;

- l : longueur du trajet optique de la cuve de mesure (*centimètre*).



CHAPITRE IV

Résultats et

Discussions

Introduction

Ce chapitre traite les résultats des paramètres physico-chimiques mesurés in situ, ainsi que ceux des paramètres analysés au laboratoire à savoir : la matière en suspension, la matière organique, le dosage des sels nutritifs, la chlorophylle et la demande biologique en oxygène.

L'essentiel des résultats obtenus est présenté sous forme de tableaux et d'histogrammes, à partir desquels nous pourrions apprécier la qualité du milieu aux alentours de la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka marine.

1 La variation des paramètres physico- chimiques

Tableau IV.1 : Résultats des paramètres physico-chimiques au niveau de Fouka.

Station	Profondeur (m)	T(C°)	S (PSU)	Conductivité (mS/cm)	pH	O ₂ (ppm)
1	1	19,39	37,475	50,26	8,22	3,08
2	1	19,30	37,666	50,39	8,25	3,08
3	1	19,30	37,674	50,40	8,24	3,34
4	4	20,10	36,844	50,26	8,16	3,26
5	1	19,96	37,71	50,71	8,18	3,37
6	1	20,02	36,997	50,36	8,18	2,85
7	1	19,67	37,341	50,40	8,32	2,79
8	1	19,97	37,157	50,50	8,28	2,80
9	1	20,13	36,999	50,48	8,27	2,77
La moyenne		19,76	37,32	50,42	8,23	3,038
L'écart-type		0,296	0,332	0,137	0,0566	0,245

1.1 La variation de la température T(C°)

Les valeurs de température enregistrées au niveau de la station de Fouka Marine varient entre 19,30C° et 20,13C° avec une moyenne de 19,76C° et un écart type de 0,296C°.

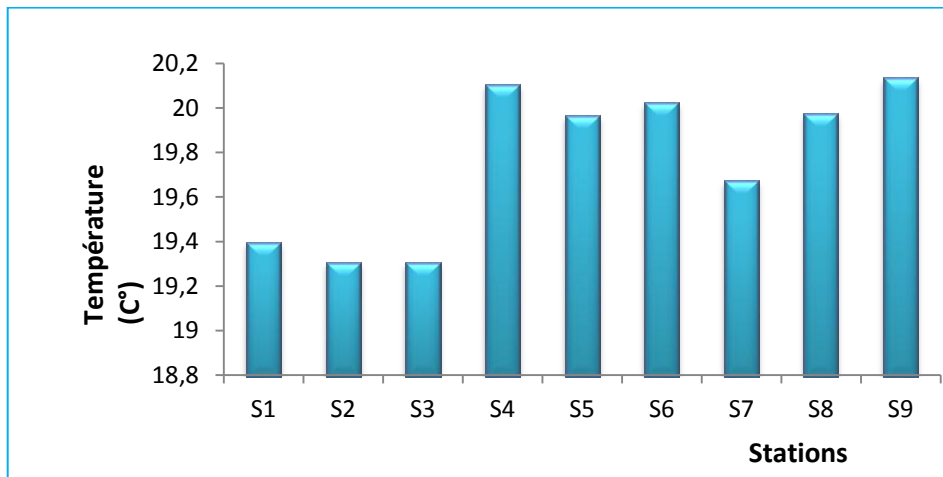


Figure IV.1 : Variation de la température des eaux de surface de la station de Fouka

La valeur minimale est observée au niveau de la station (S2 et S3) et la valeur maximale au niveau de la station (S9). Ces valeurs sont saisonnières et inférieures aux normes algériennes des rejets ($<30C^0$). (JORA, 2006)

L'écart de température entre les stations n'est pas vraiment notable et ça pourrait être expliqué par l'influence de la température de l'air sur la couche superficielle et l'heure à laquelle les prélèvements ont été effectués.

1.2 La variation de la salinité (PSU)

Les valeurs de salinité présentées ne correspondent pas aux valeurs directes mesurées in-situ, et cela en raison de la défaillance de la sonde de salinité survenue le jour même de la sortie.

De ce fait, nous avons procédé à un ajustement des valeurs mesurées à partir de la formule d'Aminot et Kérouel (Aminot & Kérouel, 2004) en utilisant la température et la conductivité, cette partie a déjà été traitée dans le premier chapitre.

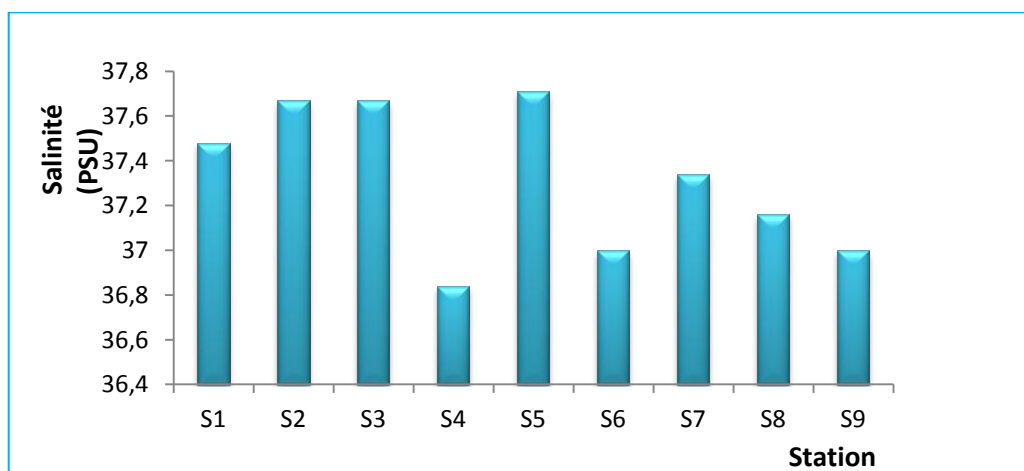


Figure IV.2 : Variation de la salinité des eaux de surface de la station de Fouka.

Les valeurs de salinité varient entre une valeur maximale de 37,71PSU et une valeur minimale de 37PSU, avec une moyenne de 37,32PSU et un écart type de 0,33.

En méditerranée, la salinité est comprise entre 37,8 et 39,3PSU (**Taleb, 1970 in Bachouche, 2010**), ce qui laisse clairement paraître que nos valeurs de salinité obtenues sont incluses dans l'intervalle.

Ces faibles valeurs sont dues à une dilution qui est liée à la présence d'un diffuseur situé à l'extrémité de la canalisation servant à évacuer les effluents de la station.

1.3 La variation de la conductivité (mS/cm)

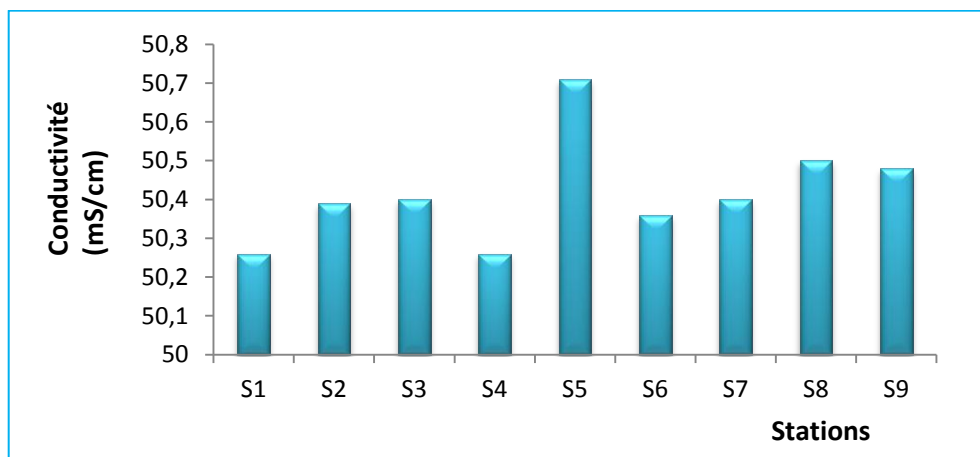


Figure IV.3 : Variation de la conductivité des eaux de surface de la station de Fouka.

Les valeurs de la conductivité varient entre une valeur maximale de 50,71mS/cm et une valeur minimale de 50,26mS/cm avec une moyenne de 50,42mS/cm et un écart type de 0,138mS/cm.

Cette conductivité relativement élevée au sein des différentes stations est liée à la concentration de l'eau de mer en sels dissous (**Aminot & Kerouel, 2004**) puisqu'elle permet d'évaluer la charge totale en électrolytes d'une eau. (**Ramade, 2000**)

1.4 La variation du pH

La **Figure IV.4** montre que le pH est légèrement alcalin c'est le cas de l'eau de mer (8,2). Ses valeurs sont presque constantes sur l'ensemble des stations, elles varient entre (8,16- 8,27) avec une moyenne de 8.23 et un écart type 0.057. Ces valeurs sont conformes aux normes algériennes (6.5-8.5). (**JORA, 2006**)

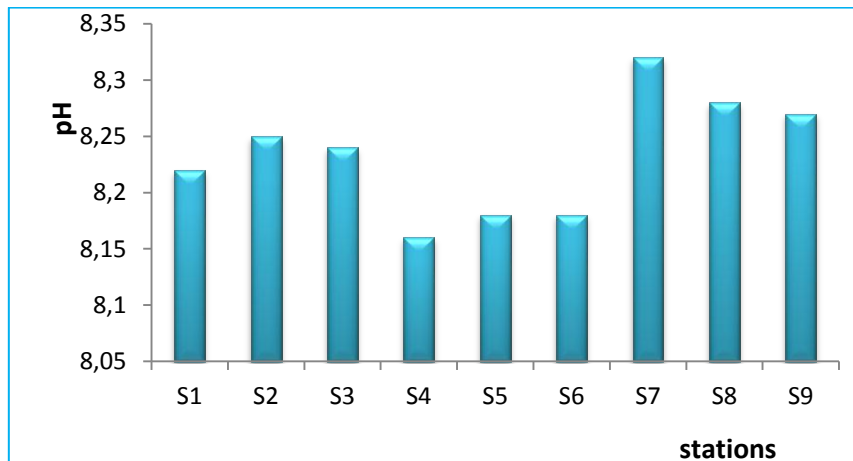


Figure IV.4 : Variation de pH des eaux de surface de la station de Fouka.

1.5 La variation de l'oxygène dissous

Les valeurs de l'oxygène dissous mesurées au niveau des différentes stations sont très faibles ; elles sont comprises entre [2,77mg/l-3,37mg/l] avec une moyenne de 3,03mg/l et un écart type 0,25.

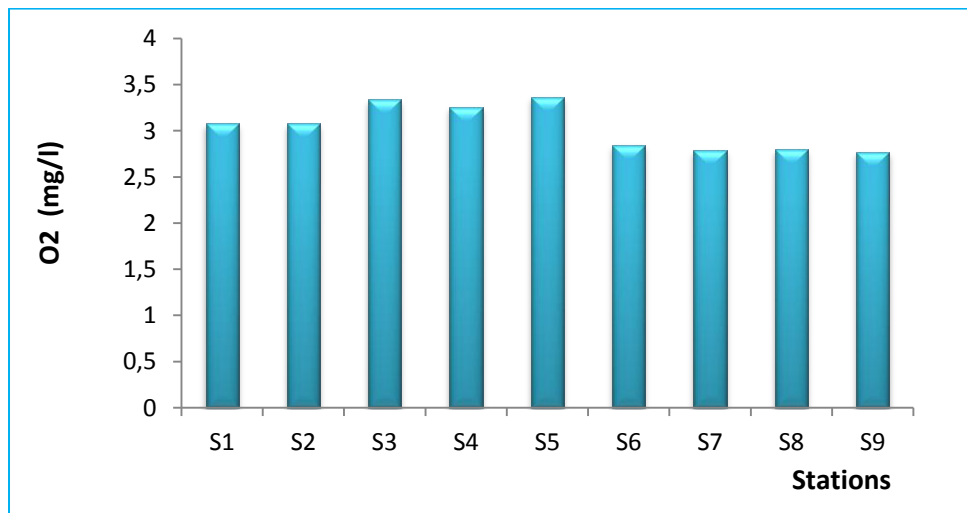


Figure IV.5 : Variation de l'oxygène dissous des eaux de surface de la station de Fouka.

La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière.

Les faibles concentrations en oxygène pourraient être dues à la présence de rejets dans la région et à l'utilisation des produits chimiques tels que le bisulfite de sodium (HNaO_3S) qui pourrait réduire la concentration de l'oxygène dans le milieu.

2 La variation des paramètres indicateurs de pollution

Tableau IV.2: Résultats des paramètres indicateurs de pollution dans la zone de Fouka.

Station	MES (mg/l)	MO (%)	DBO ₅ (mg/l)
1	1,4	25,83	19
2	7,2	29,09	16
3	12,6	21,24	9
4	1	26,74	22
5	2	22,50	1
6	2,4	19,16	29
7	0,6	19,10	-
8	1,8	13,69	-
9	25,2	69,04	6
La moyenne	6,07	27,38	14,57
L'écart- type	8,30	16,30	9,78

Pour l'analyse de DBO₅, concernant les stations S7 et S8, nous n'avons pas accédé aux résultats en raison des problèmes au niveau de DBO mètre et ainsi on n'a pas assez d'échantillons pour refaire l'analyse.

2.1. La matière en suspension (MES)

Les valeurs de la MES varient entre 0.6mg/l comme une valeur minimale et 25.6mg/l comme valeur maximale à proximité de l'oued Mazafran (S9) avec une valeur moyenne de 6.07mg/l et un écart type de 8.30mg/l (**Figure IV.6**).

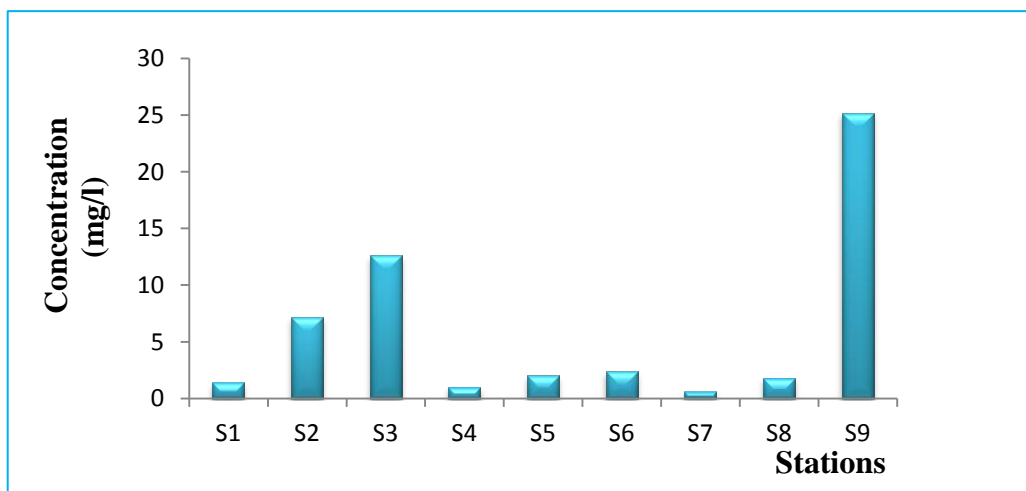


Figure IV.6 : Variation de la MES des eaux de surface de la station de Fouka.

Les valeurs enregistrées sont faibles et répondent aux normes algériennes (<35mg/l) (**JORA, 2006**). Ces teneurs sont influencées par l'état de la mer (calme), la sédimentation, et la présence ou non de rejets comme c'est le cas pour la station S9 qui reçoit les apports de l'oued Mazafran.

2.2 La matière organique (MO)

Les pourcentages de la matière organique varient entre un minimum de 13,69% au niveau de (S8) et un maximum de 69,04% au niveau de (S9) avec une moyenne de 27,38% et un écart type de 16,30%.

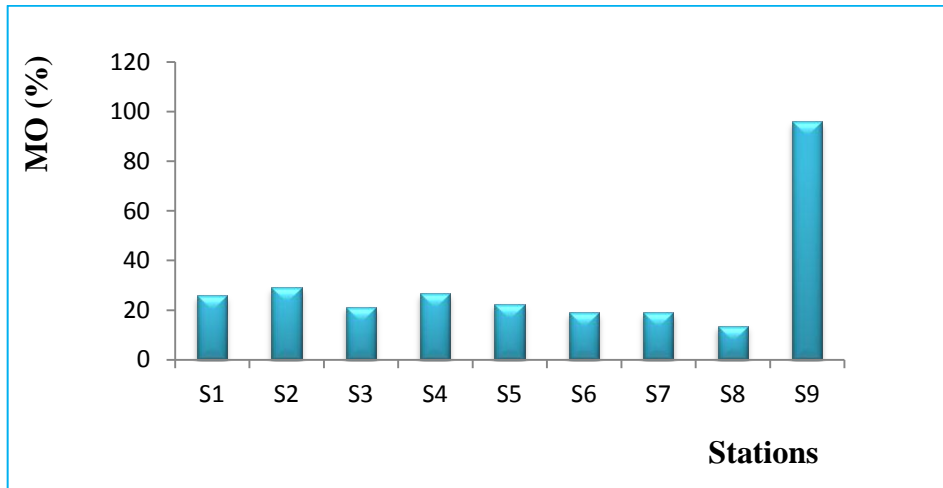


Figure IV.7: Variation de la MO des eaux de surface de la station de Fouka

Les valeurs enregistrées de la matière organique au niveau des différentes stations ont révélé qu'il n'y a pas une grande variation de cet élément à part celle enregistrée au niveau de S9 (oued Mazafran) qui est de l'ordre de 69,04%. Ce pourcentage élevé est dû aux apports de l'oued Mazafran en plus de la décomposition des végétaux marins et la formation de la matière organique.

Les taux minimum de la matière organique observés au niveau des autres stations pourraient être liés à l'état de la mer qui était calme pendant la période du prélèvement ce qui limite donc l'agitation des eaux.

2.3 La demande biologique en oxygène (DBO₅)

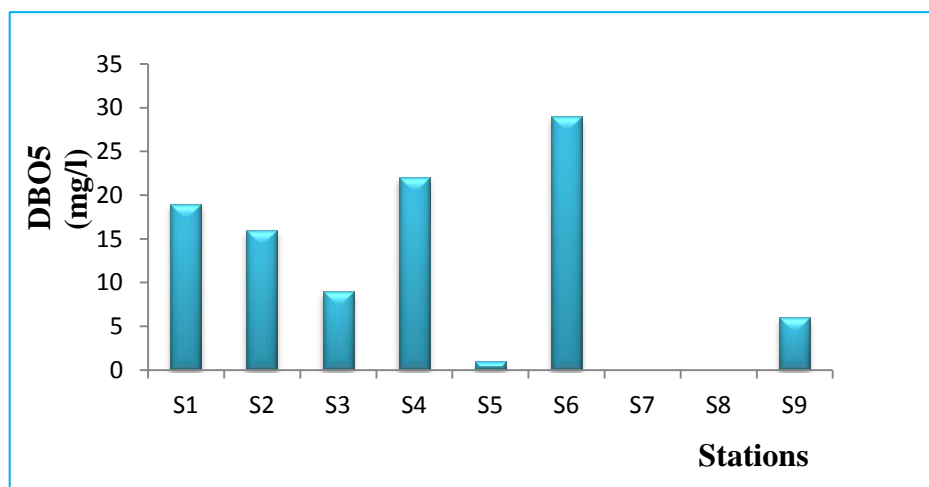


Figure IV.8: Variation de la DBO₅ des eaux de surface de la station de Fouka.

Les résultats d'analyse montrent que la teneur la plus élevée en DBO_5 est enregistrée au niveau de la station S6 avec une valeur de 29mg/l.

La valeur minimale enregistrée est de l'ordre de 1mg/l au sein de la station S5, avec une moyenne de l'ordre de 14,57mg/l et un écart-type de 9,78.

La teneur maximale en DBO_5 ne dépasse pas la norme fixée pour l'estimation de la qualité de l'eau (35 mg/l) (JORA, 2006). Ces teneurs montrent donc que les matières organiques biodégradables sont faibles, ce qui pourrait améliorer la capacité d'autoépuration de cette zone.

2.4 La variation de demande chimique en oxygène (DCO)

Nous n'avons pas effectué les analyses de DCO en raison d'absence des produits chimiques (Dichromate de potassium) et ainsi les échantillons ont été conservés pendant une longue période.

2.5 La variation des sels nutritifs

Le tableau ci-dessous montre les concentrations minimales, maximales, moyenne et écart type des sels nutritifs dans les eaux de surface de Fouka Marine. (Tableau IV.3), à part de l'analyse de l'ammonium n'a pas été effectué puisque ce dernier varie avec les facteurs extérieurs (Risque de contamination des échantillons).

Un autre tableau présentant les valeurs moyennes des sels nutritifs figure en (Annexe III).

Tableau IV.3. Valeurs extrêmes et moyennes et l'écart type des sels nutritifs des eaux de surface de Fouka.

	$[\text{NO}_3^-]$ ($\mu\text{mol/l}$)	$[\text{NO}_2^-]$ ($\mu\text{mol/l}$)	$[\text{PO}_4^{3-}]$ ($\mu\text{mol/l}$)	$[\text{SiO}_2]$ ($\mu\text{mol/l}$)
Minimum	0,108	0,085	0,051	0,063
Maximum	0,251	0,251	0,124	3,683
Moyenne	0,152	0,131	0,086	0,794
Écart type	0,045	0,056	0,023	1,143

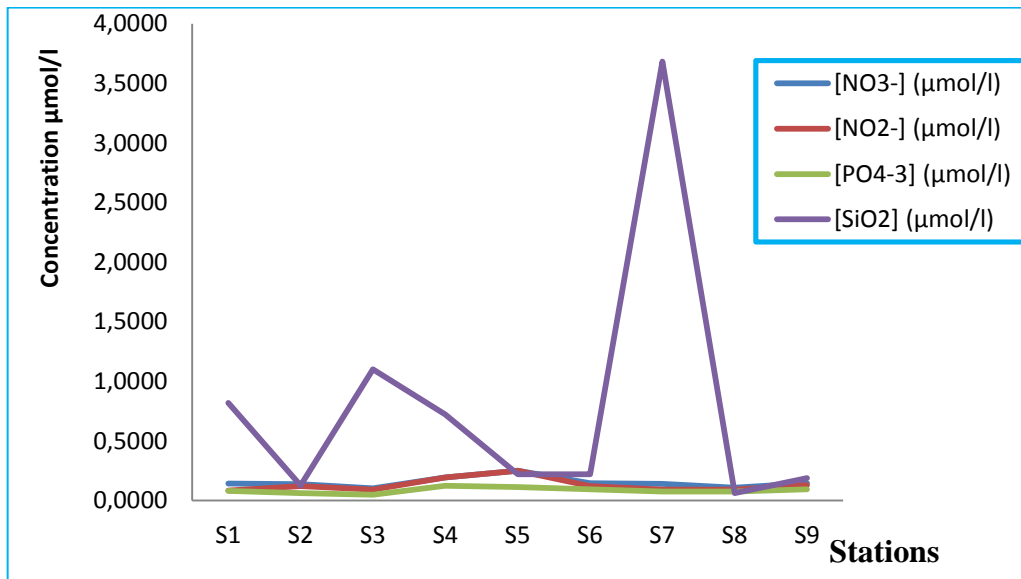


Figure IV.9 : Variation moyenne des sels nutritifs des eaux de surface de la station de Fouka.

D'après la figure ci-dessus, nous constatons que les concentrations sont élevées en orthosilicate [SiO₂], à l'inverse de celles des nitrates [NO₃⁻], des nitrites [NO₂⁻] et des orthophosphates [PO₄⁻³] qui sont faibles.

a. La variation des nitrates

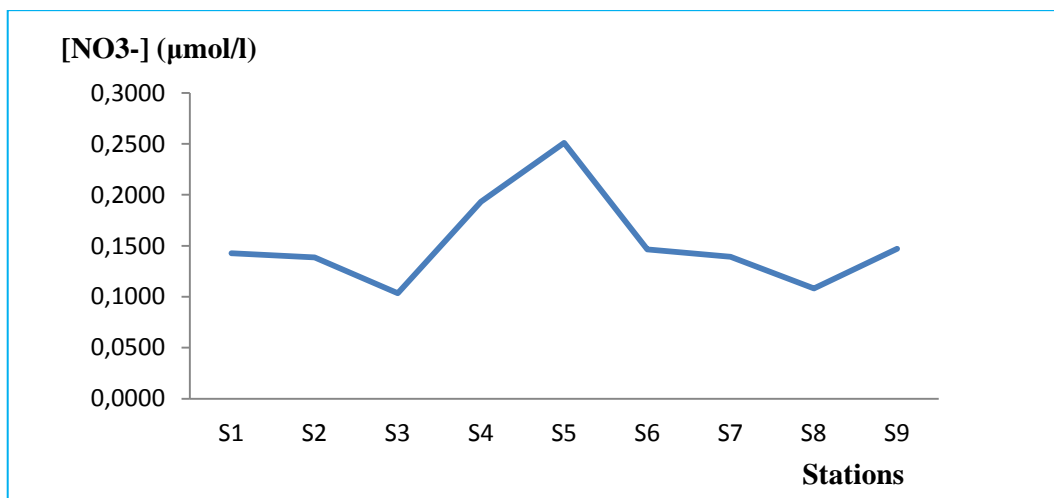


Figure IV.10 : Variation des concentrations moyennes des nitrates des eaux de surface de la station de Fouka.

Les nitrates varient entre [0,10µmol/l-0,25µmol/l] avec une moyenne de 0,15µmol/l et un écart type 0,05µmol/l.

Les valeurs enregistrées des nitrates sont assez faibles dans l'ensemble des stations ce qui pourrait peut-être dû à une faible régénération bactérienne.

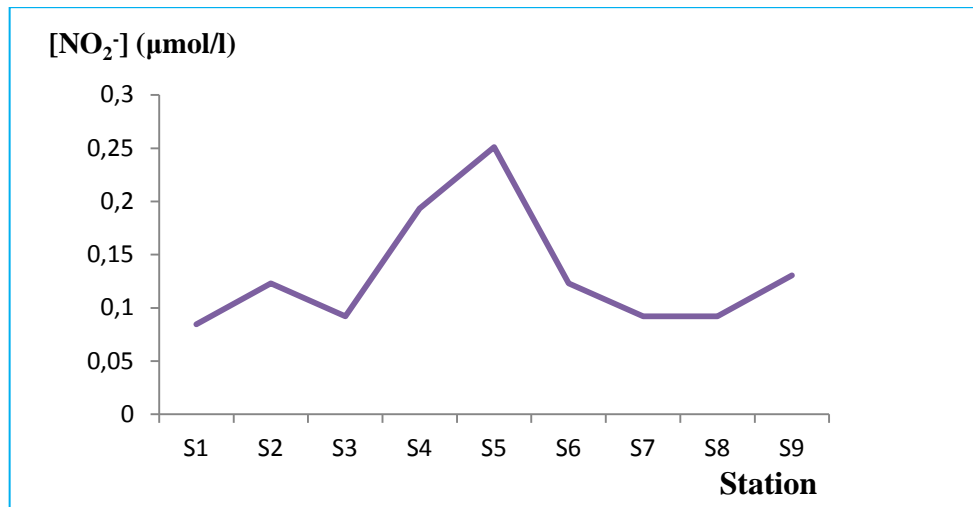
b. La variation des nitrites

Figure IV.11 : Variation des concentrations moyennes des nitrites des eaux de surface de la station de Fouka.

Les valeurs de nitrites varient entre [0,08µmol/l-0,25µmol/l] avec une moyenne de 0,13µmol/l et un écart type 0,06µmol/l.

Les teneurs en nitrites dans l'ensemble des stations présentent des concentrations significativement faibles, ceci pourrait être expliqué par la réduction des ions nitrites en nitrates par une action bactérienne « dénitrification ». (Rodier, 2005)

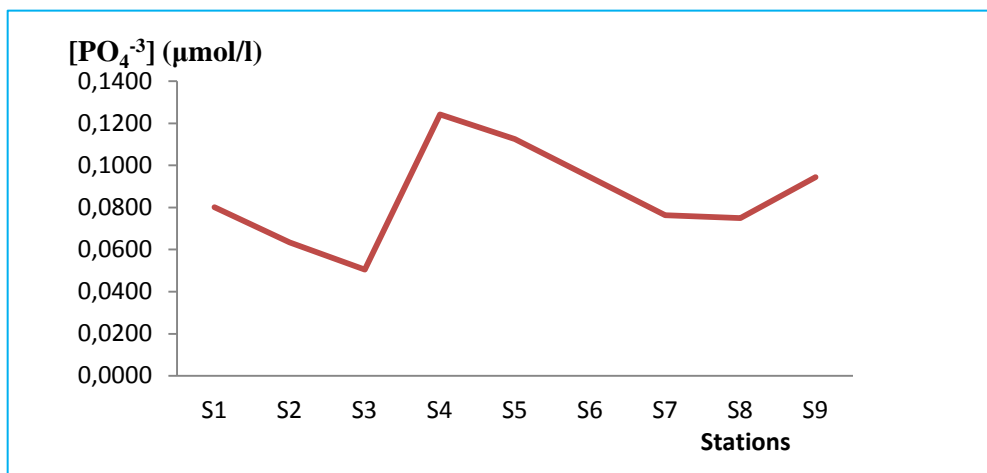
c. La variation des orthophosphates

Figure IV.12 : Variation des concentrations moyennes des orthophosphatesdes eaux de surface de la station de Fouka.

Les concentrations en orthophosphates varient entre $[0,05\mu\text{mol/l}-0,12\mu\text{mol/l}]$ avec une moyenne de $0,09\mu\text{mol/l}$ et un écart type $0,02\mu\text{mol/l}$.

Les teneurs enregistrées en orthophosphates sont faibles et cela peut être lié au phénomène d'assimilation de cet élément par le phytoplancton.

d. La variation des silicates

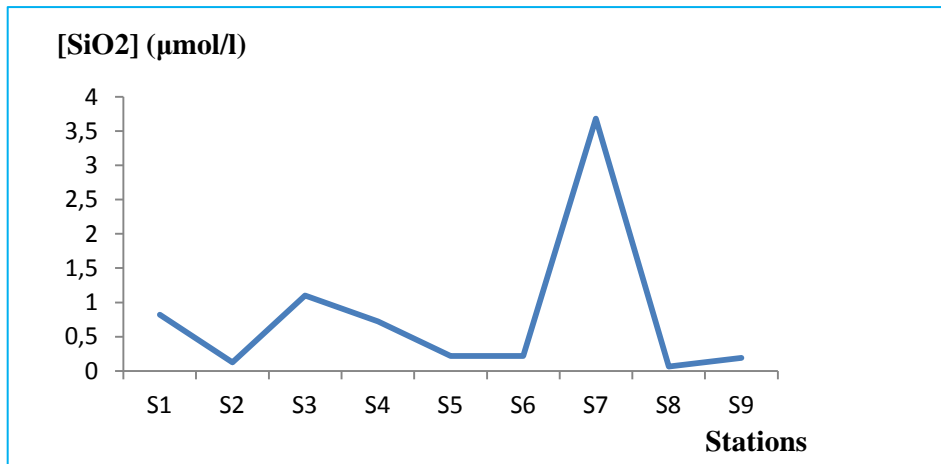


Figure IV.13 : Variation des concentrations moyennes des silicates des eaux de surface de la station de Fouka.

Les teneurs en silice varient entre $[0,063\mu\text{mol/l}-3,68\mu\text{mol/l}]$, avec une moyenne de $0,086\mu\text{mol/l}$ et un écart type de $1,14\mu\text{mol/l}$.

Les valeurs enregistrées en silicates durant la sortie sont faibles dans toutes les stations à l'exception de la station (**S7**). Cette richesse en silice dissoute peut être en relation avec les apports côtiers et celui des rejets et/ou encore avec la dissolution des tests siliciques et la diffusion à partir des sédiments marins. (**Houma, 2009**)

Le reste des stations manifeste une distribution similaire à celle des nitrates et des phosphates qui dénote l'importance de l'assimilation des sels nutritifs pendant la saison de prélèvement.

2.6 La chlorophylle

Tableau IV.4 : Variation des concentrations de la chlorophylle ($\mu\text{g/l}$) dans les eaux de surface de la station de Fouka

Station	Chlorophylle ($\mu\text{g/l}$)
S1	0,1385
S2	0,554
S3	0,277
S4	3,324
S5	0,6925
S6	0,9695
S7	0,6925
S8	0,1385
S9	1,385
Moyenne	0,908
Ecart type	0,992

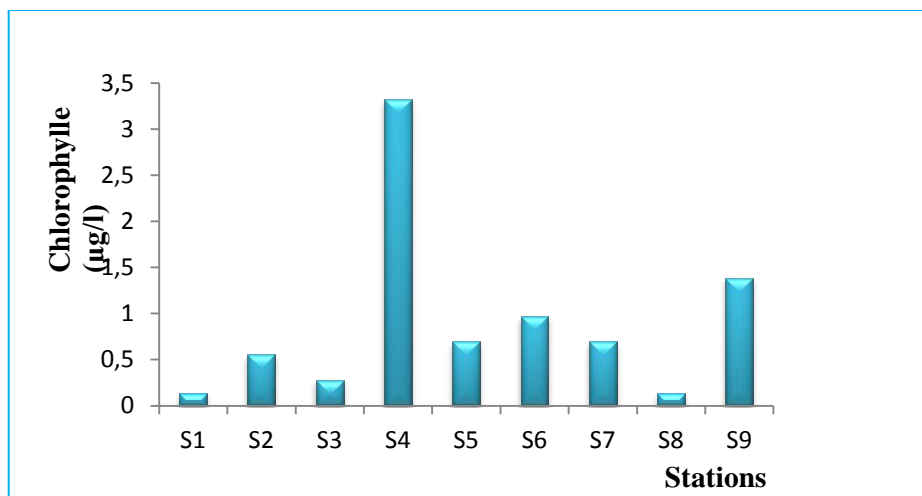


Figure IV.14 : Variation des concentrations moyennes de Chlorophylle des eaux de surface de la station de Fouka.

Les teneurs de chlorophylle obtenues dans les neuf stations sont incluses dans un intervalle compris entre $3,324\mu\text{g/l}$ comme valeur maximale dans la station S4 et $0,1385\mu\text{g/l}$ un minimum enregistré dans la station S1 et S8. La moyenne est de l'ordre $0,908\mu\text{g/l}$ et l'écart type est de $0,992\mu\text{g/l}$.

La distribution de la concentration en chlorophylle « a » totale dans la zone d'étude de Fouka est assez irrégulière. La concentration maximale ($3,324\mu\text{g/l}$) enregistrée au niveau de la station S4 est due probablement à la forte biomasse phytoplanctoniques.

Conclusion

Les modifications des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau de mer pouvant survenir suite aux installations des usines de dessalement dépendent des méthodes de prétraitement, des produits chimiques utilisés ainsi que des procédés de dessalement proprement dit.

Les résultats issus de cette étude ne montrent pas de variations significatives et semblent être conformes aux normes des rejets industriels. Ce qui nous amène à dire que l'impact de l'usine de dessalement de Fouka marine n'apparaît pas clairement.



*Conclusion
Générale*

Conclusion générale

La préservation du milieu marin nécessite la connaissance qualitative des apports polluants au sein de cet environnement, mais aussi les niveaux de présence des contaminants identifiés.

L'objectif de ce présent travail était d'apporter une contribution à l'étude de l'impact des activités anthropiques sur l'écosystème marin, et plus exactement l'influence des rejets de saumures issus des stations de dessalement utilisant les procédés d'osmose inverse.

De ce fait, les prélèvements et l'analyse des différents paramètres effectués ont été orientés dans cette optique.

Ainsi, la synthèse des résultats obtenus nous amène à croire que la qualité des eaux de surface aux alentours de la station de dessalement de Fouka sont conformes aux limites réglementaires fixées pour les paramètres recherchés, et que la plupart des valeurs enregistrées sont caractéristiques des eaux côtières méditerranéennes, comme la température, la salinité, et le pH.

Concernant les teneurs en oxygène dissous, elles sont variables selon l'activité photosynthétique, la présence ou l'absence de matière organique dégradable et aussi le renouvellement de l'eau dans les diverses stations.

Pour ce qui est des paramètres indicateurs de pollution, nous constatons que les concentrations en sels nutritifs correspondent à celles des eaux méditerranéennes. Même constat pour la charge en matières en suspension, matières organiques ainsi que la demande biologique en oxygène, et qui eux aussi répondent aux normes fixées par la législation Algérienne.

Aussi, le dosage de la chlorophylle montre que les concentrations de cette dernière ne sont pas très importantes.

D'une façon plus générale et en considérant les résultats dans leur globalité, nous ne pouvons que conclure que les effluents de saumures issues de cette station n'exercent pas un impact notable sur la qualité des eaux, et ceci pourrait avoir rapport avec :

- Le volume total de saumure libéré en mer ;
- La période de prélèvement (Débit de pointe de la station de dessalement);
- La composition chimique de la saumure ;
- Les modalités et l'emplacement du rejet, la longueur de l'émissaire, sa distance au rivage, et son niveau au-dessus du fond de la mer ;
- L'existence d'un diffuseur d'où la dilution rapide ;
- Les caractéristiques hydrodynamiques (courant marin, vagues, état calme ou agitée), car la dilution des saumures dépend de leur dispersion dans le cas d'une mer agitée et de leur localisation (dilution plus lente quand la mer est calme) ;
- Les conditions d'échantillonnage (prélèvement en surface, la conservation des échantillons) ainsi que de mesure (étalonnage des appareils, précision des verreries)



Conclusion générale

- L'arrêt total de l'usine pour des travaux de maintenance préventifs dans le cadre de la préparation de la saison estivale 2016 en raison de la forte turbidité de l'eau de mer, durant une période ayant précédé notre campagne de prélèvement ;

Afin de mieux prévenir les impacts potentiels de la saumure sur le milieu marin on peut envisager certaines mesures:

- ✓ Il est souhaitable que l'emplacement du point de rejet soit situé loin de la plage et des secteurs rocheux qui sont riches en organismes ;
- ✓ Diriger les saumures vers une usine de production de sel, cette solution présentera beaucoup d'avantages environnementaux et économiques ;
- ✓ Utiliser des produits chimiques moins nocifs ;
- ✓ Utiliser de l'eau déchargée de la centrale électrique ou de la station d'épuration pour la dilution des saumures concentrées (Circuits combinés) ;
- ✓ Réduction des éléments traces métalliques (ETMs) qui résultent de la corrosion de l'atuyauterie par l'utilisation des matériaux envisageables pour le procédé de dessalement ;
- ✓ L'angle de rejet proposé est de 45° par rapport à la verticale, afin que le rejet hyperdense décrive la trajectoire parabolique la plus longue possible sans interférer avec la surface de l'eau et augmente ainsi la dilution avant qu'il ne touche le fond marin.
- ✓ Les eaux de lavage des filtres et des membranes doivent faire l'objet d'un traitement avant rejet en mer ;
- ✓ Des études de suivi et de monitoring sur la qualité du milieu proche des rejets sont indispensables ;
- ✓ Des études d'impact sur l'environnement très exhaustives doivent être imposées pour chaque projet ;
- ✓ L'application de façon très stricte de la réglementation en vigueur.

Enfin, il serait opportun de détailler et d'envisager d'autres études qui permettent une approche analytique susceptible d'évaluer convenablement l'impact de ce type d'installations sur le milieu.



*Références
Bibliographiques*



Bibliographie

- ACHICHE, K., LARBI, S. (2010).** *Impact des eaux usées et des embouchures des oueds sur la qualité des eaux de la baie de Bou-Ismaïl.* Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 78 p.
- ADEM, AA. (2011).** *Impact des rejets des eaux usées sur le littoral Algérois, constat et diagnostic de la situation actuelle.* Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 68 p.
- AMINOT, A., CHAUSSPIED, M. (1983).** *Manuel des analyses chimiques en milieu marin.* Brest : CNEXO. 395 p.
- AMINOT, A., KEROUEL, R. (2004).** *Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses.* France : IFREMER. 336 p.
- ATALLAH, A. (2014).** *Procédés de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de Honaine.* Mémoire master. Biologie. Tlemcen : Université Abou Bakr Belkaid, 83 p.
- BACHARI HOMA, F. (2009).** *Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire.* Thèse de doctorat. Sciences de l'Univers et Environnement. Paris : université de Paris XII, 274 p.
- BACHOUCHE, S. (2010).** *Les ports d'Alger et de Boujaron : Etude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage.* Thèse de magister. Pollution marine et écotoxicologie. Alger : ENSSMAL, 127 p.
- BENHALIMA, M., BAHHA, M. (2013).** *Les paramètres physico-chimiques et les sels nutritifs dans les eaux côtières algéroises (les baies d'Alger, de Bou-Ismaïl et de Zemmouri).* Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 82 p.
- BOULAHDID, M. (1987).** *Analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. Etude du mélange des masses d'eau et de l'oxydation de la matière organique dans l'océan.* Thèse de doctorat. Géochimie fondamentale. Paris : Université de Paris VII, 266 p.
- BONTOUX, J. (1993).** *Introduction à l'étude des eaux douces.* Liège : CEBEDOC. 169 p.
- CHENAOUI, B. (2010).** Dessalement de l'eau de mer à la station de MAINIS et son impact sur l'environnement [en ligne]. [consulté le 02, 03, 2016]. Disponible sur le web : « www.univ-chlef.dz/uahbc/séminaires_2010/chenaoui_bakhta_ouergla_2010.pdf »
- COPIN-MONTEGUT, G. (1996).** *Chimie de l'eau de mer.* Collection « synthèse ». Paris : Institut océanographique. 319 p.
- DAEP. (2012).** Programme dessalement [en ligne]. [Consulté le 10, 03, 2016]. Disponible sur le web : « http://www.mre.dz/baoff/fichiers/Programme_Dessalement.pdf ».

- DANIS, P. (2003).** *Dessalement de l'eau de mer. Technique de l'ingénieur*, Doc J2700,5 [en ligne]. [Consulté le 10, 05, 2016]. Disponible sur le web : « www.technique-ingenieur.fr/base-documentaire/procedés ».
- DES JARDINS, R. (1990).** *Le traitement des eaux*. 2^e éd. Montréal: Ecole polytechnique. 304 p.
- DUNGLAS, J. (2014).** *Le dessalement de l'eau de mer Une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau* [en ligne]. Académie d'agriculture de France, [Consulté le 02, 03, 2016]. Disponible sur le web : « www.agrisalon.com/fr/fichier/divers/dessalement-de-l-eau-de-mer.pdf ».
- Fievez, E., Bonnélye, V. (2009).** Impact environnemental du dessalement : contraintes et avancées [en ligne]. *Revue HTE* n°142, [consulté le 07, 03, 2016]. Disponible sur le web : « www.anafid.org/doc/HTE_142/142-19.pdf ».
- GAUJOUS, D. (1995).** *La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, technique et documentation*. 2^e éd. 220 p.
- GOMELLE, C., GURREE, H. (1978).** *Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées*. Paris : Eyrolles. 262 p.
- GROSCLAUDE, G. (1999).** *L'eau usages et polluants*. Paris : INRA. 210 p.
- HABET Lila (2010).** *Contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement : cas du littoral de Boumerdes*. Mémoire de magister. Génie de l'environnement. Boumerdes : Université M'hamed Bougara- Boumerdes. 153 p.
- IDIR, S. (2014).** *Evaluation de l'impact de la station de la région ouest algéroise (Palm Beach) sur le milieu marin*. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 88 p.
- INAL, A. (2011).** *Les métaux traces dans les sédiments de la baie de Bou-Ismaïl : Surveillance de la pollution et étude des processus géographiques*. Mémoire de magister. Gestion et surveillance de l'environnement marin et littoral. Alger : ENSSMAL, 94 p.
- JACQUES, G., TREGUER, P. (1986).** *Ecosystèmes pélagiques marins*. Paris : Masson. 243 p.
- Journal Officiel de la République Algérienne (JORA). (2006).** Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels [en ligne]. [Consulté le 06, 06, 2016]. Disponible sur le web : « www.sante.dz/jms2010/oms/dec06-141.pdf ».
- KANKOU, M. (2004).** *Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie – étude en laboratoire du comportement de deux pesticides*. Thèse de doctorat. Chimie et microbiologie de l'eau. France : Université de LIMOGES. 159 p.



Bibliographie

KASSAR, A. (2011). *Suivi de la chlorophylle et du phytoplancton dans les zones côtières algéroises : Apport des mesures satellitaires à leur modélisation.* Mémoire de magister. Gestion et surveillance de l'environnement marin et littoral. Alger : ENSSMAL, 232 p.

KETTAB, A. (2001). Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision. Desalination [en ligne]. [Consulté le 11, 05, 2016]. Disponible sur le web : « www.abhatoo.net.ma/maalama.textuelle/developpement.economique-et-social/developpement-economique/agriculture/ressources-en-eau-rt-lutte-contre-la-secheresse/les-ressources-en-eau-en-agerie-strategies-enjeux-et-vision »

LACAZE J-C (1996). *La pollution des mers.* France : Flammarion. 127 p.

LECLAIRE, L. (1972). *La sédimentologie holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléare (Précontinent algérien).* Mémoire du muséum national d'histoires naturelles, nouvelle série. Tome XXIV. Paris: Edition du muséum. 319 p.

LEVITUS, S. (1993). Distribution of nitrate, phosphate and silicate in the world oceans. *Programme océanographique.* Vol, 31. p 245-273.

LE GAL, Y. (1988). *Biochimie marine.* Paris : Masson. 285 p.

MAUREL, A. (2006). *Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres.* 2^e éd. Paris : TEC & DOC. 286 p.

MENNAD, M. (2008). *Approche des systèmes d'information géographique (SIG) pour l'analyse spatio-temporelle de la pollution marine des eaux côtières. Application à la baie d'Alger.* Mémoire de magister. Océanographie biologique et environnement marin. Alger : Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, 110 p.

MERICQ, J-P. (2009). *Approche intégrée du dessalement d'eau de mer : Distillation membranaire sous vide pour la réduction des rejets salins et possibilités de couplage avec l'énergie solaire.* Thèse de doctorat. Génie des procédés et de l'environnement. France : Université de Toulouse. 253 p.

MORSLI, S. (2013). *Impact des arrêts techniques de l'usine de dessalement de l'eau de mer sur l'entreprise et l'environnement.* Mémoire de magister. Stratégie. Oran : université d'Oran, 227 p.

OLIVIA, A. (2007). *Le dessalement d'eau de mer : Un avenir pour l'eau potable* [en ligne]. ensaia. [Consulté le 06, 03, 2016]. Disponible sur le web : « spesge.free.fr/la_spe_sge/projets/exposes/exposes_2007/dessalement_eau_mer_OliviaAUTRAND.pdf ».

PNUE. (2001). Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens : Evaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure [en ligne]. [Consulté le 02, 03, 2016]. Disponible sur le web :



Bibliographie

« www.pseau.org/outils/ouvrages/pnue

[dessalement_eau_de_mer_pays_méditerranéens.pdf](#) ».

RAMADE, F. (2000). *Dictionnaire encyclopédique des pollutions*. Paris : Ediscience international. 690 p.

RODIER, J. (2005). *Analyse de l'eau*. 8^e éd. Paris : Dunod. 1383 p.

RODIER, J. (2009). *L'Analyse de l'eau*. 9^e éd. Paris : Dunod. 1529 p.

SETITI, S., SILHADI, A. (2015). *Analyse du cycle de vie du dessalement de l'eau de mer en baie de Bou-Ismaïl. Evaluation de la performance environnementale de la station de Fouka*. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 77 p.

TAHRAOUI, D. (2010). Qualité des eaux de mer après dessalement au niveau de la station de dessalement de la ville de Ténès, Chlef. Impact de dessalement sur l'environnement (milieu aquatique) [en ligne]. [Consulté le 02, 03, 2016]. Disponible sur le web : « www.univ-chlef.dz/uhbc/séminaires_2010/communication_tahraouidoumanaima_2010.pdf ».

TATA DUCRU, F. (2009). Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes [en ligne]. [Consulté le 17, 04, 2016]. Disponible sur le web : « [www.sswm.info/sites/files/reference_attachments/TATA-DUCRU_2009_Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes](http://www.sswm.info/sites/files/reference_attachments/TATA-DUCRU_2009_Dessalement_de_l'eau_de_mer:_bilan_des_dernieres_avancees_tecnologiques_;_bilan_economique_;_analyse_critique_en_fonction_des_contextes) ».

UNESCO. (2016). L'eau et l'emploi : Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2016 [en ligne]. Disponible sur le web : « unesdoc.unesco.org/images/0024/002441/244163f.pdf ».

VIVIANE, R. (2003). Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres [en ligne]. [Consulté le 02, 03, 2016]. Disponible sur le web : « culturesciences.chimie.ens.fr/printpdf/840 ».

ZOUINI, D. (2009). Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse : Une solution pour l'alimentation en eau des villes côtières d'Algérie [en ligne]. *Revue HTE n°142*, [Consulté le 05, 03, 2016]. Disponible sur le web : « www.anafid.org/doc/HTE_142/142-19.pdf ».



Annexes

Annexe I

I. Mesure des sels nutritifs

➤ Matériels utilisés

- ✓ Auto-Analyzer SAN plus System de marque SKALAR®, 1998.
- ✓ Bi-distillateur MILLI-Q® Reagent Water System.
- ✓ Des micropipettes Fortuna ® avec éjecteur d'embouts de type DIGITAL , une de 200 à 1000 µl et l'autre de 20 à 250 µl, ainsi que des fioles de 100 et 500 ml.
- ✓ Balance, Spatule, entonnoir, bécher et la haute.

➤ Etalonnage

Cette opération nécessite la préparation pour chacun des éléments à analyser une solution mère et une solution fille. Pour chacune de ces solutions filles, on réalise une série de six étalons couvrant la gamme de la concentration des échantillons rencontrée habituellement dans l'eau de mer. Les droites d'étalonnage sont établies automatiquement par le logiciel en utilisant les concentrations connus des solutions étalons et leurs hauteurs de pic correspondantes. L'eau bi-distillée et les réactifs sont pris comme référence pour la construction de ligne de base.

➤ Préparation des réactifs pour le dosage des sels nutritifs :

❖ Dosage des nitrites + nitrates :

1. Réactifs :

a. Solution tampon :

Chlorure d'ammonium NH ₄ CL.....	50 g.
Solution d'ammonium NH ₄ OH (25%).....	±1 ml.
Hydroxyde de sodium NaOH.....	5 g.
Eau distillée H ₂ O.....	1000 ml.
Bridj 35 (30%).....	3 ml.

Préparation :

- Dissoudre le chlorure d'ammonium dans 800 ml d'eau distillée.
- Ajuster le pH 8,2 avec la solution d'ammonium.
- Ajouter l'hydroxyde de sodium et dissoudre.
- Ajuster à 1 litre de l'eau distillée, ajouter le Bridj 35 et mélanger

Note : la solution est stable pendant une semaine. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

b. Réactifs colorants :

Produits chimiques exigés :

Acide o-phosphorique H ₃ PO ₄ (85).....	50 ml.
Sulfanilamide C ₆ H ₈ N ₂ O ₂ S.....	10 g.
α-Naphtyléthyhlène diamine dihydrochloride C ₁₂ H ₁₆ C ₁₂ N ₂	0,5 g.
Eau distillée H ₂ O.....	850 ml.

Préparation :

- Diluer l'acide o-phosphorique H₃PO₄ dans ± 750 ml d'eau distillée.
- Ajouter la sulfanilamide C₆H₈N₂O₂S.
- α-Naphtyléthyhlène diamine dihydrochloride C₁₂H₁₆C₁₂N₂ et dissoudre.

Annexe I

Note : la solution est stable pendant deux semaines. Conserver dans une bouteille à couleur sombre.

c. Liquide de rinçage :

Eau fraîchement distillée H₂O (régénérée chaque semaine).

2. Préparation des solutions étalons :

a. Solution mère de 100 ppm N (*) :

Produit chimiques exigés :

Nitrate de sodium NaNO₃.....0,6068 g.

Eau distillée H₂O.....1000 ml.

Préparation :

- Dissoudre le nitrate de sodium dans ± 800 ml d'eau distillée.
- Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

b. Solution fille de 10 ppm N :

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm N dans 100 ml d'eau distillée.

Note : préparer la solution fille à 10 ppm chaque semaine et les standard chaque jour.

(*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en µmole/l de N-NO₃⁻ ou de N-NO₂⁻ puis en µmole/l de NO₃⁻ ou de NO₂⁻

3. Préparation de la colonne réductrice :

a. Solution d'acide chlorhydrique :

Produits chimiques exigés :

Acide chlorhydrique HCl (32%).....400 ml.

Eau distillée H₂O.....600 ml.

Préparation :

- Diluer l'acide chlorhydrique dans 600 ml d'eau distillée.

b. Cadmium :

Produits chimiques exigés :

Granules de cadmium taille 0,3-1 mm (tamisé).....2,5 g.

Procédure de remplissage :

- Les granules de cadmium sont mélangées avec ±30 ml de la solution d'acide chlorhydrique (4 N).
- Agiter pendant une minute.
- Ajouter environ 50 ml de solution de sulfate de cuivre et agiter pendant 5 minutes.
- Laver la saleté entre les granules avec l'eau distillée.
- Sécher les granules de cadmium.

Annexe I

- Ajouter à l'aide d'un entonnoir, les granules dans une colonne sèche, en secouant de temps en temps pour empaqueter la colonne de deux cotés.
 - Remplir jusqu'à ± 5 mm du sommet.
 - Placer un petit morceau de tube en polyéthylène, dans la colonne pour éviter que les granules ne sortent de la colonne.
 - Remplir la colonne, à l'aide d'une seringue contenant la solution tampon (réactif a préparé précédemment).
 - Placer la colonne dans le système.
- Note :** Eviter que l'air entre dans la colonne.

❖ Dosage des Orthophosphates :

1. Réactifs :

a. Solution de molybdate d'ammonium :

Produits chimiques exigés :

Tartrate de potassium et d'antimoine

$K(SbO) C_4H_4O_6 \cdot 5H_2O$ 230 mg.

Acide sulfurique H_2SO_4 (97%)69,4 ml.

Molybdate d'ammonium $(NH_4^+) 6Mo7O_{24} \cdot H_2O$ 6 g.

Eau distillée H_2O 1000 ml.

FFD62 ml.

Préparation :

- Dissoudre le tartrate de potassium et d'antimoine dans ± 800 ml d'eau distillée.
 - Ajouter soigneusement l'acide sulfurique en mélangeant constamment.
 - Ajouter le molybdate d'ammonium et dissoudre.
 - Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.
- Note :** Ne pas employer de cuillères en métal pour le molybdate d'ammonium. La sensibilité peut être augmentée de 50 % en employant 35 ml d'acide sulfurique concentré au lieu de 69,4 ml. Avec 35 ml l'interférence des silicates est 10 % pour 300 ppb Si et 10 % pour 10 ppb P.
Le pH final doit être inférieur à 1. La solution est stable pendant 5 jours. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

b. Solution d'acide ascorbique

Produits chimiques exigés :

Acide ascorbique $C_6H_8O_6$ 6 g.

Acétone C_3H_6O 60 ml.

Eau distillée H_2O 1000 ml.

FFD62 ml.

Préparation :

- Dissoudre l'acide ascorbique dans ± 800 ml d'eau distillée.

Annexe I

- Ajouter l'acétone.
- Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 5 jours. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

c. Liquide de rinçage

Eau fraîchement distillée H₂O (régénérée chaque semaine).

2. Préparation des solutions étalons

a. Solution mère de 100 ppm P (*)

Produits chimiques exigés :

Dihydrogène o-phosphate de potassium KH₂PO₄.....0,4394 g.

Eau distillée H₂O.....1000 ml.

Préparation

- Dissoudre le dihydrogène o-phosphate de potassium dans ±800 ml d'eau distillée.
 - Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.
- Note :** La solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

b. Solution fille de 10 ppm P

- Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm P dans 100 ml d'eau distillée.
- Note :** Préparer la solution fille à 10 ppm P chaque semaine et les standards chaque jour.

(*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en µmoles/l de PO₄³⁻.

❖ Dosage des silicates

1. Réactifs

a. Solution d'acide sulfurique

Produits chimiques exigés :

Acide sulfurique H₂SO₄ (97%).....10 ml.

Eau distillée H₂O.....1000 ml.

FFD6.....2 ml.

Préparation

- Diluer l'acide sulfurique dans ± 800 ml d'eau distillée.
 - Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.
- Note :** La solution est stable pendant 1 semaine. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

b. Solution de molybdate d'ammonium

Produits chimiques exigés :

Molybdate d'ammonium (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O.....20 g.

Eau distillée H₂O.....1000 ml.

Annexe I

FFD6.....2 ml.

Préparation :

- Dissoudre le molybdate d'ammonium dans \pm 800 ml d'eau distillée.
- Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

Note : Conserver dans une bouteille de polyéthylène. La solution est stable pendant 1 jour. Ne pas utiliser de cuillères en métal pour le molybdate d'ammonium.

c. Solution d'acide oxalique

Produits chimiques exigés

Acide oxalique $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$44 g.

Eau distillée H_2O1000 ml.

Préparation :

- Dissoudre l'acide oxalique dans \pm 800 ml d'eau distillée.
- Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée et mélanger.

Note : Conserver dans une bouteille polyéthylène. La solution est stable pendant 1 mois. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

d. Liquide de rinçage :

Eau fraîchement distillée H_2O .

Note : Changer l'eau quotidiennement. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

2. Préparation des solutions étalons

a. Solution mère de 100 ppm Si (*)

Produits chimiques exigés :

Méta silicate de sodium $Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$1,0119 g.

Eau distillée H_2O1000 ml.

Préparation :

- Dissoudre le méta silicate de sodium dans \pm 800 ml d'eau distillée.
- Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 1 mois. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

b. Solution fille de 10 ppm Si

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ml d'eau distillée.

Note : Préparer la solution mère à 10 ppm Si chaque semaine et les standards chaque jour. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

Annexe I

Les courbes d'étalonnage :

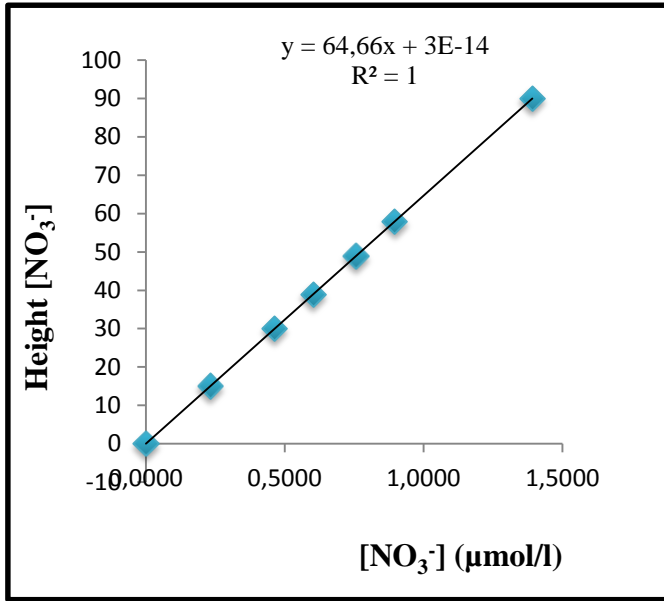


Figure 1 : Courbe d'étalonnage pour les nitrates

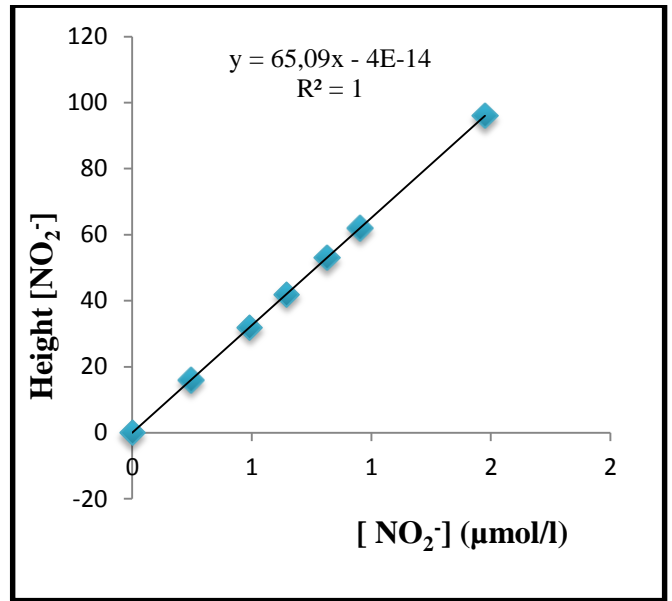


Figure 2 : Courbe d'étalonnage pour les nitrites.

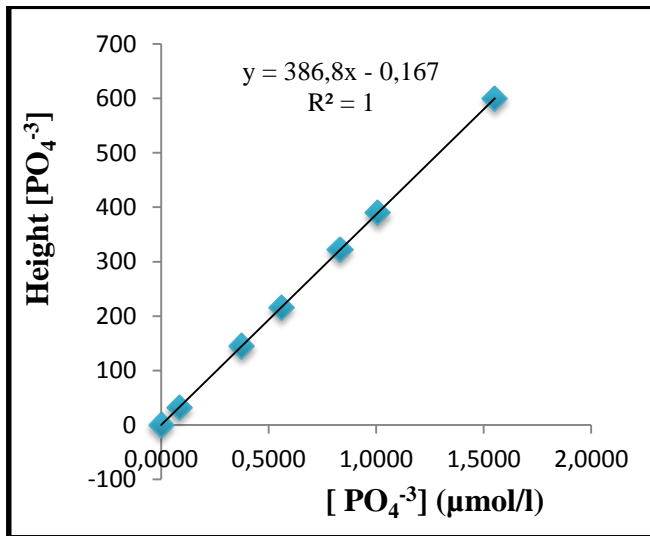


Figure 3 : Courbe d'étalonnage pour les phosphates

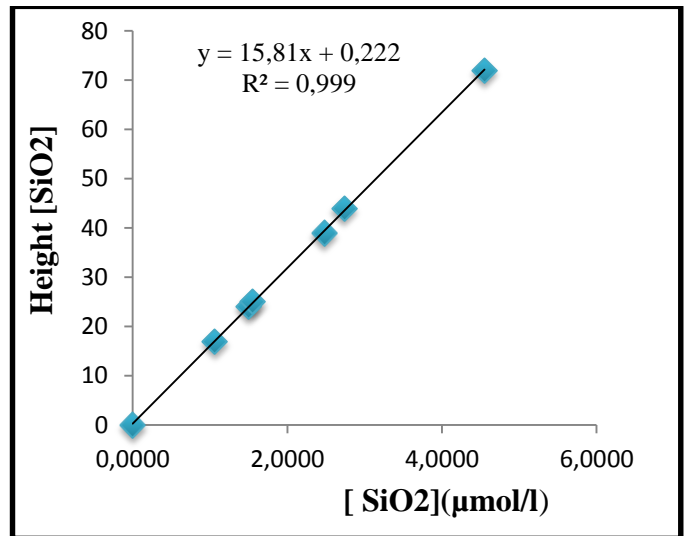


Figure 4 : Courbe d'étalonnage pour la silice.

I. Mesure de la matière en suspension

➤ Mode opératoire

1ère étape : Conditionnement et préparation des filtres

Nous avons utilisé les filtres Wattman type GF/C.

- ✓ Mettre les filtres de fibre de verre au four à moufle à 450°C (ne pas dépasser 500°C) pendant une 2 heures : Ce traitement, conseillé permet de renforcer la rigidité et la solidité des membranes.
- ✓ Placer chaque filtre sur un support-filtre (papier d'aluminium) ; après les avoir retiré du four à moufles (**Photo 2, annexe IV**).
- ✓ Déposer les filtres dans leur boîte après les avoir trempé dans de l'eau distillée.
- ✓ Placer les filtres munis de leur boîte dans l'étuve (**Photo 4, Annexe IV**) à 70°C pendant 2 heures.
- ✓ Laisser refroidir au dessiccateur (**Photo 5, Annexe IV**) une fois retirés de l'étuve.
- ✓ Numéroter les boîtes à filtres (sur le pourtour) de façon indélébile.
- ✓ Peser chaque filtre avec sa nacelle en aluminium.
- ✓ Remplacer aussitôt chaque filtre dans sa boîte, à l'abri de la poussière.

2ème étape : Filtration de l'eau Homogénéiser l'échantillon à analyser.

Filtrer sous vide un volume V de l'échantillon mesuré à l'aide d'une éprouvette graduée.

3ème étape : Séchage et pesée des filtres

- ✓ Sécher les filtres, refroidir et peser une seconde fois. Son poids est noté **P2**.

II. Mesure de la matière organique

➤ Mode opératoire

- ✓ Numéroter les creusés de façon indélébile en utilisant un crayon.
- ✓ Peser les creusets vides à l'aide d'une balance (**P1**).
- ✓ Plier les filtres contenant les MES et les mettre dans les creusets.
- ✓ Mettre les creusés dans un four à moufle à une température de 600°C pendant 2heures.
- ✓ Laisser les creusés refroidir.
- ✓ Peser à nouveau les filtres (**P2**).

III. Mesure de DCO

➤ Mode opératoire

- Dans un erlenmeyer introduire 10 ml d'échantillon.
- Ajouter 10 ml de la solution oxydante (dichromate de potassium).
- Ajouter 25 ml d'acide sulfurique.
- Laisser l'oxydation se poursuivre pendant 20 minutes.
- Ajouter alors 100 ml d'eau distillée.
- Titrer l'excès de bichromate en présence d'ortho-phénantroline ferreuse (la meilleure précision est obtenue avec une seule goutte).
- Réaliser un essai à blanc en remplaçant l'échantillon par 10 ml d'eau distillée.

➤ Préparation des réactifs pour le dosage de la DCO

❖ Solution d'acide sulfurique à 4 mol/L :

- Acide sulfurique ($d = 1,84$).....220 ml.
- Eau déionisée.....1 L.

Verser l'acide sulfurique dans de l'eau. Après refroidissement, compléter le volume à 1 L.

❖ Solution de sulfate d'argent à 10 g/L dans l'acide sulfurique :

- Sulfate d'argent cristallisé (Ag_2SO_4).....10 g.

Annexe II

- Acide sulfurique ($d = 1,84$).....1 L.

Dissoudre le sulfate d'argent dans 40 mL d'eau déionisée, ajouter 960 mL d'acide sulfurique avec précaution.

❖ **Solution de sulfate de fer et d'ammonium 0,05 N (solution titrante) :**

- Sulfate de fer (II) et d'ammonium $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4, 6\text{H}_2\text{O}$9,8 g.
- Acide sulfurique ($d = 1,84$).....20 ml.
- Eau déionisée.....1 L.

Dissoudre le sulfate de fer et d'ammonium dans de l'eau, ajouter l'acide sulfurique. Après refroidissement, ajuster le volume à 1 L.

Le titre de cette solution doit être vérifié tous les jours.

❖ **Solution de ferroïne :**

- 1,10-phénanthroline.....1,5 g.
- Sulfate de fer (II) $\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$0,7 g.
- Eau déionisée.....100 ml.

Dissoudre la phénanthroline et le sulfate de fer dans de l'eau et compléter le volume. On peut également utiliser une solution commerciale.

❖ **Solution étalon de dichromate de potassium 0,025 N (solution oxydante) :**

- Sulfate de mercure (II).....100 g.
- Sulfate d'argent.....1 g.
- Acide sulfurique ($d = 1,83$).....125 ml.
- Dichromate de potassium $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$1,226 g.
- Eau déionisée.....1 000 ml.

Dissoudre 80 g de sulfate de mercure (II) dans environ 800 mL d'eau déionisée. Ajouter avec précaution 100 mL. Laisser refroidir puis ajouter 11,767 g de dichromate de potassium (préalablement séché à 105 °C pendant 2 heures). Transvaser la solution quantitativement dans une fiole jaugée de 1 000 mL et compléter au volume.

Cette solution est stable environ 1 mois.

❖ **Solution de référence :**

- Sel tétrasodique de l'acide tétrasulfonique-phthalocyanine de cuivre (II)
($\text{C}_{32}\text{H}_{12}\text{CuN}_8\text{Na}_4\text{O}_{12}\text{S}_4$).....0,666 g.
- Eau déionisée.....1 000 ml.

Diluer cette solution au 1/10e avec de l'eau déionisée.

Cette solution à 0,066 g/L présente une DCO théorique de 100 mg/L. Conservée à 4 °C, elle reste stable pendant environ 3 mois.

IV. Mesure de la Chlorophylle

➤ Appareillage

- Dispositif de filtration (**Photo 7, Annexe IV**) : La filtration est effectuée sous vide en utilisant des filtres en fibre verre (0,7 μm).
- pinces à bouts plats.
- Tubes de mesure : Pour l'extraction, des tubes en verre avec bouchonde 10-15 ml.
- Centrifugeuse : Centrifugeuse **Hettich Zentrifugen® EBA 30 (Photo 9, Annexe IV)**.
- Spectrophotomètre (**Photo 8, Annexe IV**).

➤ Réactifs

- Suspension carbonate de magnésium MgCO_3 à 1 %.
- Solvant d'extraction : Acétone 90%.
- Acide chlorhydrique 0,3 N.

➤ Mode opératoire

Annexe II

- la filtration des échantillons d'eau de mer prélevés s'est faite sur des filtres en fibre de verre après l'ajout de quelques gouttes de $MgCO_3$.
- Immédiatement après la filtration, le filtre est plié sur quatre et enrobé dans du papier aluminium déjà étiqueté. Ensuite les filtres sont conservés dans un congélateur à -20 C° .
- Mettre le filtre dans le tube à centrifuger, ajouter 10 ml du solvant d'extraction (acétone à 90%).
- Déchiqueter le filtre à l'aide d'une baguette ou d'un tube de verre à extrémité coupante, boucher et agiter pour disperser les fibres.
- Laisser l'extraction acétonique se poursuivre une nuit au réfrigérateur.
- Une fois l'extraction terminée, et peu avant la mesure, centrifuger les extraits dans une centrifugeuse.
- Centrifuger les tubes (bouchés) durant 3 minutes, puis les sortir de la centrifugeuse et faire tomber les fibres de verre qui adhèrent à la paroi, au-dessus de la surface du solvant, par un léger mouvement d'agitation (ne pas remettre en suspension les fibres déjà agglomérées dans le fond).
- Centrifuger à nouveau 5 à 10 min à 3 000-4 000 tours par minute.
- Remplir la première cuve avec la solution d'extraction (Acétone) pour faire l'auto zéro lors du changement de la longueur d'onde.
- Rincer plusieurs fois la cuve au solvant d'extraction.
- Transférer le surnageant de centrifugation dans la cuve du spectrophotomètre (par aspiration avec une seringue).
- Mesurer les absorbances brutes de l'extrait non acidifié aux longueurs d'ondes de 665 et 750 nm : $A^{NA}_{665BRUT}$ et B^{NA}_{BRUT}
- Sortir la cuve et ajouter (directement dans la cuve) l'acide chlorhydrique 0,3 mol/l à raison de 10 à 20 μ l par millilitre d'extrait. Boucher, agiter et replacer précisément la cuve.
- Laisser agir l'acide entre 2 et 5 min (mais pas plus).
- Mesurer à nouveau les absorbances brutes des extraits acidifiés à 665 et 750 nm : $A^A_{665brut}$ et B^A_{brut} .

Annexe III

Tableau 1 : les coordonnées géographiques des stations de prélèvement.

Station	Latitude	Longitude
S1	36° 41' 05,6'' N	2° 45' 38,3'' E
S2	36° 40' 54,9'' N	2° 45' 28,5'' E
S3	36° 40' 52,5'' N	2° 45' 22,7'' E
S4	36° 40' 45,2'' N	2° 45' 25,5'' E
S5	36° 40' 47,1'' N	2° 45' 36,8'' E
S6	36° 40' 52,4'' N	2° 45' 46,4'' E
S7	36° 41' 15,1'' N	2° 45' 27,8'' E
S8	36° 41' 10,3'' N	2° 45' 13,8'' E
S9	36° 42' 1,9'' N	2° 48' 08,5'' E

Tableau 2 : les pesés des creusés et des filtres nécessaire à l'analyse MO

Station	P1	P2
S1	14,7109	14,7071
S2	13 ,4039	13,4000
S3	14,5940	14,5909
S4	23,9301	23,9237
S5	23,5462	23,5409
S6	25,0515	25,0467
S7	23,5554	23,5509
S8	24,0903	24,0870
S9	12,8903	12,8814

Tableau 3 : représente le poids des filtres utilisés pour la filtration des MES

Station	P1	P2
S1	0,1281	0,1288
S2	0,1289	0,1325
S3	0,1226	0,1289
S4	0,1313	0,1318
S5	0,1315	0,1325
S6	0,1314	0,1326
S7	0,1317	0,1320
S8	0,1321	0,1330
S9	0,1330	0,1458

Annexe III

Tableau 4 : Valeurs moyennes des sels nutritifs des eaux de surface de Fouk Marine

Station	[NO ₃ ⁻] (µmol/l)	[NO ₂ ⁻] (µmol/l)	[PO ₄ ⁻³] (µmol/l)	[SiO ₂] (µmol/l)
S1	0,143	0,085	0,080	0,819
S2	0,139	0,123	0,063	0,126
S3	0,104	0,092	0,051	1,102
S4	0,193	0,193	0,124	0,724
S5	0,251	0,251	0,113	0,220
S6	0,146	0,123	0,094	0,220
S7	0,139	0,092	0,076	3,683
S8	0,108	0,092	0,075	0,063
S9	0,147	0,131	0,094	0,189
Moyenne	0,152	0,131	0,086	0,794
Ecart type	0,045	0,056	0,023	1,143

Tableau 5 : Gamme d'étalonnage et hauteurs de pic correspondantes pour Nitrates, Nitrites, phosphates et silice.

Standards	NO ₃		NO ₂		PO ₄		SiO ₂	
	[] µmole NO ₃ /l	H.P	[] µmole NO ₂ /l	H.P	[] µmole PO ₄ /l	H.P	[] µmole SiO ₂ /l	H.P
E.D	0	0	0	0	0	0	0	0
STD.1	0,2320	15	0,2458	16	0,0831	32	1,0625	17
STD.2	0,4639	30	0,4916	32	0,3758	145	1,4954	24
STD.3	0,6031	39	0,6452	42	0,5599	216	1,5505	25
STD.4	0,7577	49	0,8142	53	0,8319	322	2,7389	44
STD.5	0,8969	58	0,9524	62	1,0082	390	2,4792	39
STD.6	1,3918	90	1,4747	96	1,5519	600	4,5491	72

STD : Standards

H.P : Hauteur du pic

E.D : Eau bidistillée + réactifs

Annexe III

Tableau 6 : les valeurs des absorbances brut acidifiés et non acidifiés des échantillons de chlorophylle de Fouka fournis par le spectrophotomètre.

	$A^{NA}_{665brut}$	B^{NA}_{brut}	$A^A_{665brut}$	B^A_{brut}
Blanc	0,006	0,003	0,005	0,002
S1	0,006	0,003	0,005	0,001
S2	0,013	0,003	0,010	0,004
S3	0,021	0,012	0,018	0,011
S4	0,061	0,001	0,037	0,001
S5	0,019	0,001	0,014	0,001
S6	0,024	0	0,017	0
S7	0,018	0,009	0,012	0,008
S8	0,006	0,001	0,004	0
S9	0,032	0,001	0,023	0,002

Tableau 7 : les résultats des absorbances non acidifiés et acidifiés calculés de la chlorophylle.

	ANA665	AA665
Blanc	0,003	0,003
S1	0,003	0,004
S2	0,001	0,006
S3	0,009	0,007
S4	0,06	0,036
S5	0,018	0,013
S6	0,024	0,017
S7	0,009	0,004
S8	0,005	0,004
S9	0,031	0,021

Annexe III

Tableau 8 : Valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur. (Journal Officiel de la République Algérienne, 2006)

Paramètres	Unités	Valeurs limites
Température	°C	30
pH	-	6.5 à 8.5
MES	mg/L	35
DBO ₅	mg/L	35
DCO	mg/L	120
Azote Kjeldahl	mg/L	30
Phosphates	mg/L	02
Phosphore total	mg/L	10
Cyanures	mg/L	0.1
Aluminium	mg/L	03
Cadmium	mg/L	0.2
Fer	mg/L	03
Manganèse total	mg/L	01
Mercure total	mg/L	0.01
Nickel total	mg/L	0.5
Plomb total	mg/L	0.5
Cuivre total	mg/L	0.5
Zinc total	mg/L	03
Huiles et Graisses	mg/L	20
Hydrocarbures totaux	mg/L	10
Indice Phénols	mg/L	0.3
Fluor et composés	mg/L	15
Etain total	mg/L	02
Composé organiques chlorés	mg/L	05
Chrome total	mg/L	0.5
(*)Chrome III+	mg/L	03
(*)Chrome VI+	mg/L	0.1
(*) Solvants organiques	mg/L	20
(*) Chlore actif	mg/L	0.1
(*) PCB	mg/L	0.001
(*) Détergents	mg/L	2
(*) Tensioactifs anioniques	mg/L	10

Annexe III

Tableau 9 : Produits chimiques potentiellement présents dans les effluents des usines de dessalement (UNEP, 2001).

Phase de traitement	Objet	Produits chimiques ajoutés	Devenir des produits
Coagulation-filtration	Prévient les salissures et l'encrassement des membranes	Coagulants-floculants	Les agents floculants formés se séparent par décantation et sont éliminés par filtration
Désinfection	Prévient l'encrassement biologique et élimine les microorganismes qui se nourrissent des matières des membranes	Chlore (ou biocides, UV)	Le chlore est retenu dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
Déchloration	Protège les membranes sensibles au chlore	Bisulfate de sodium ou charbon actif granulaire (CAG)	Réagit avec le chlore pour former du sulfate et du chlorure qui sont retenus dans la saumure
Élimination des gaz Dissous	Élimine les gaz nauséabonds, C, le radon et HS	Aération, Dégazage	Oxyde HS et NH ₄ dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
Ajustement du pH à 7	Prévient la corrosion du système de distribution, protège la flore et la faune aquatiques encas de rejet en surface	NaOH, carbonate de sodium anhydre, chaux	Effet sur le pH de la saumure concentrée Le sulfate et le Sodium sont retenus dans la saumure.
Antitartre	Prévient la formation de tartre sur les membranes	Agents antitartre, polyphosphates, acide maléique	Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée
Oxygénation	Accroît l'oxygène dissous à un niveau concourant au développement de la flore et de la faune aquatique	Aération	Accroît l'oxygène dissous dans la saumure concentrée
Corrosion des tuyaux	/	/	Métaux lourds comme Cu, Ti, Zn en fonction de la construction de la tuyauterie

Annexe IV



Photo 1 : Valise multi-paramètres.

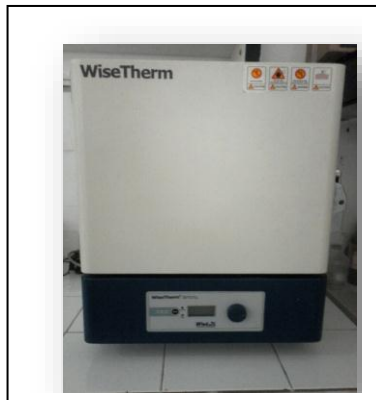


Photo 2 : Four à moufle



Photo 3 : Auto-analyser SAN Plus Système SKALAR



Photo 4 : Etuve



Photo 5 : Dessiccateur.



Photo 6 : DBO-mètre de type VELP.

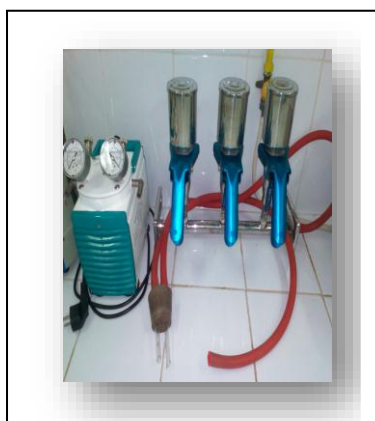


Photo 7 : Dispositif de filtration.



Photo 8 : Spectrophotomètre.



Photo 9 : Centrifugeuse.

Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels.

Le Chef du Gouvernement,

Sur le rapport du ministre de l'éducation nationale,

Vu la Constitution, notamment ses articles 81 et 116 ;

Vu la loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement ;

Vu la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 relative au code des eaux ;

Vu la loi n° 85-05 du 16 février 1985, modifiée et complétée, relative à la protection et à la promotion de la santé ;

Vu la loi n° 89-23 du 19 décembre 1989 relative à la normalisation ;

Vu la loi n° 90-08 du 7 avril 1990 relative à la commune ;

Vu la loi n° 90-09 du 7 avril 1990 relative à la wilaya ;

Vu le décret présidentiel n° 92-304 du 8 juillet 1992 portant nomination du Chef du Gouvernement ;

Vu le décret présidentiel n° 92-307 du 19 juillet 1992 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret n° 92-489 du 28 décembre 1992 fixant les attributions du ministre de l'éducation nationale ;

Décète :

Article 1er. — Le présent décret a pour objet, en application des dispositions de la loi n° 83-03 du 5 février 1983 et de la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 susvisées, de réglementer les rejets d'effluents liquides industriels.

CHAPITRE I

DISPOSITIONS GENERALES

Art. 2. — Au sens du présent décret, il est entendu par rejet tout déversement, écoulement, jets, dépôts directs ou indirects d'effluents liquides industriels dans le milieu naturel.

Art. 3. — Les rejets, tels que définis à l'article 2 ci-dessus, sont soumis à autorisation conformément aux dispositions du présent décret.

L'autorisation détermine les conditions techniques auxquelles sont subordonnés les rejets.

CHAPITRE II

DES CONDITIONS D'OBTENTION, DE RETRAIT OU DE MODIFICATION DES AUTORISATIONS

Art. 4. — Sans préjudice des conditions de l'article 101 de la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983, susvisée, les rejets d'effluents liquides industriels, tels que définis à l'article 2 ci-dessus, ne peuvent être autorisés que :

— s'ils ne dépassent pas à la source les valeurs limites maximales telles qu'annexées au présent décret.

— s'ils remplissent les conditions techniques dont la définition fera, l'objet d'un arrêté du ministre chargé de la protection de l'environnement.

Art. 5. — Les conditions techniques prévues à l'article 4 ci-dessus tiennent compte notamment :

— du débit et du degré de pollution des eaux réceptrices et de leur capacité de régénération naturelle,

— des conditions d'utilisation des eaux réceptrices et des exigences de l'alimentation en eau des populations,

— de la protection de la faune et de la flore et des exigences sanitaires économiques et touristiques,

— de l'importance et de la nature des rejets.

Art. 6. — L'autorisation de rejet prévue à l'article 3 du présent décret, est délivrée par le ministre chargé de l'environnement après avis du ministre chargé de l'hydraulique.

Art. 7. — Les demandes d'autorisation de rejet sont adressées en trois exemplaires au ministre chargé de l'environnement par l'intermédiaire du wali territorialement compétent.

Art. 8. — Les dossiers de demande d'autorisation de rejet comportent notamment :

1) les noms, prénoms, qualité et domicile du demandeur ou si la demande émane d'une collectivité, d'une entreprise publique ou de toute autre personne morale, les indications suivantes : nature, siège, objet, noms, prénoms et qualité du ou des représentants habilités auprès de l'administration,

2) la description de l'emplacement de l'opération projetée et le cas échéant de sa profondeur et des niveaux souterrains dans lesquels elle s'effectue,

3) la nature et l'importance du rejet, les conditions d'évacuation ou de dépôt notamment sa répartition dans le temps, les mesures proposées pour remédier à la pollution des eaux,

4) la nature des agents polluants susceptibles d'altérer la qualité des eaux,

5) la description technique des installations prévues pour éviter d'altérer la qualité des eaux ou de nuire à la salubrité publique.

A la demande est jointe une carte à l'échelle minimale de 1/50.000 sur laquelle est reporté l'emplacement de l'opération projetée.

DECRETS

Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

Le Chef du Gouvernement,

Sur le rapport du ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement,

Vu la Constitution, notamment ses articles 85-4° et 125 (alinéa 2) ;

Vu la loi n° 90-08 du 7 avril 1990, complétée, relative à la commune ;

Vu la loi n° 90-09 du 7 avril 1990, complétée, relative à la wilaya ;

Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;

Vu la loi n° 04-04 du 5 Joumada El Oula 1425 correspondant au 23 juin 2004 relative à la normalisation ;

Vu la loi n° 05-07 du 19 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 28 avril 2005 relative aux hydrocarbures ;

Vu le décret présidentiel n° 04-136 du 29 Safar 1425 correspondant au 19 avril 2004 portant nomination du Chef du Gouvernement ;

Vu le décret présidentiel n° 05-161 du 22 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 1er mai 2005 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels ;

Décète :

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 10 de la loi n° 03-10 du 19 juillet 2003, susvisée, le présent décret a pour objet de définir les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

SECTION 1

DES DISPOSITIONS PRELIMINAIRES

Art. 2. — Au sens du présent décret on entend par rejet d'effluents liquides industriels tout déversement, écoulement, jet et dépôt d'un liquide direct ou indirect qui provient d'une activité industrielle.

Art. 3. — Les valeurs limites de rejets d'effluents liquides industriels sont celles fixées en annexe du présent décret.

Toutefois, en attendant la mise à niveau des installations industrielles anciennes dans un délai de cinq (5) ans, les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels prennent en charge l'ancienneté des installations industrielles en déterminant une tolérance pour les rejets d'effluents liquides industriels émanant de ces installations. Ces valeurs sont fixées et annexées au présent décret.

Pour les installations pétrolières, le délai est de sept (7) ans conformément aux dispositions législatives en vigueur, et notamment celles de la loi n° 05-07 du 19 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 28 avril 2005, susvisée,

En outre et en raison des particularités propres aux technologies utilisées, des tolérances particulières aux valeurs limites sont également accordées selon les catégories industrielles concernées. Ces tolérances sont annexées au présent décret.

SECTION 2

DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES RELATIVES
AUX REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES
INDUSTRIELS

Art. 4. — Toutes les installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent être conçues, construites et exploitées de manière à ce que leurs rejets d'effluents liquides industriels ne dépassent pas à la sortie de l'installation les valeurs limites des rejets définies en annexe du présent décret et doivent être dotées d'un dispositif de traitement approprié de manière à limiter la charge de pollution rejetée.

Art. 5. — Les installations de traitement doivent être conçues, exploitées et entretenues de manière à réduire à leur minimum les durées d'indisponibilité pendant lesquelles elles ne peuvent assurer pleinement leur fonction.

Si une indisponibilité est susceptible de conduire à un dépassement des valeurs limites imposées, l'exploitant doit prendre les dispositions nécessaires pour réduire la pollution émise en réduisant ou en arrêtant, si besoin, les activités concernées.

SECTION 3

DU CONTROLE DES REJETS
D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS

Art. 6. — Au titre de l'autocontrôle et de l'autosurveillance les exploitants d'installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent tenir un registre où sont consignés la date et les résultats des analyses qu'ils effectuent selon des modalités fixées par arrêté du ministre chargé de l'environnement et, le cas échéant, du ministre chargé du secteur concerné.

Les mesures sont effectuées sous la responsabilité de l'exploitant et à ses frais dans les conditions fixées par la réglementation en vigueur.

Art. 7. — Les résultats des analyses doivent être mises à la disposition des services de contrôle habilités.

Art. 8. — Les services habilités en la matière effectuent des contrôles périodiques et ou inopinés des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des rejets d'effluents liquides industriels visant à s'assurer de leur conformité aux valeurs limites fixées en annexe du présent décret.

Art. 9. — Le contrôle des rejets comporte un examen des lieux, des mesures et analyses opérées sur place et des prélèvements d'échantillons aux fins d'analyses.

Art. 10. — L'exploitant de l'installation concernée est tenu d'expliquer, commenter ou fonder tout dépassement éventuellement constaté et fournir les actions correctives mises en œuvre ou envisagées.

Les effets des rejets de la saumure de la station de dessalement de Fouka marine sur la qualité des eaux

Résumé

La pénurie d'eau potable fait partie des problèmes principaux auxquels de nombreux pays sont confrontés. Pour y remédier et répondre aux besoins en eau sans cesse croissant le recours au dessalement de l'eau de mer s'impose et est en constant progrès. Le procédé majoritairement utilisé est l'osmose inverse, mais il n'est pas sans conséquences sur l'environnement car il génère souvent des volumes importants d'effluents de saumure rejetés directement dans le milieu marin.

C'est d'ailleurs dans ce contexte que s'inscrit notre travail, dont l'objectif est d'évaluer les impacts potentiels des rejets de la station de dessalement Fouka sur la qualité des eaux environnantes.

Mais les résultats des analyses physico-chimiques et des paramètres indicateurs de la pollution marine ne révèlent pas un impact notable de la station de dessalement sur la qualité des eaux de surfaces de la zone d'étude, car les rejets de saumure se diluent rapidement en raison des diffuseurs utilisés ; ce qui ne rend pas aisé l'évaluation des effets de telles installations.

Mots clés : *Dessalement ; Osmose inverse ; Saumure ; Eau de mer ; Pollution marine*

Abstract

The shortage of drinking water is one of the biggest problems many countries face. To correct and meet the water needs ever increasing recourse to desalination of sea water is needed and is in constant progress. The process is mainly used reverse osmosis, but it is not without consequences for the environment because it often generates large volumes of brine discharged directly into the marine environment.

This is also in this context that our work is inscribed, which aims to assess the potential impacts of releases of Fouka desalination plant on the quality of the surrounding waters.

But the results of physicochemical analyzes and indicators parameters of marine pollution do not reveal a significant impact of the desalination plant on the quality of surface waters of the study area, because the brine discharges quickly diluted in because broadcasters used; This does not make easy evaluation of the effects of such facilities.

Keywords : *Desalination, reverse osmosis, brine, sea water, marine pollution.*

ملخص

مشكلة نقص مياه الشرب لا يزال يطرح نفسه اليوم في العديد من البلدان. و نظرا لأهمية الموارد المائية الحالية في المحيطات و الحل من تحلية مياه البحر في تقدم مستمر. و يجري حاليا القيام بذلك لتحلية المياه أساسا عن طريق التناضح العكسي، ولكن ليس من دون عواقب بالنسبة للبيئة لأنه غالبا ما يولد كميات كبيرة من المياه المالحة التي تصرف مباشرة في البيئة البحرية.

في هذا السياق فإن الهدف من عملنا هو دراسة الآثار المترتبة على تصريف تحلية مياه المالحة لمحطة فوكا على نوعية لكن نتائج التحاليل الفيزيائية و الكيميائية و مؤشرات التلوث البحري لا تكشف عن وجود تأثير كبير من محطة المياه التحلية على نوعية المياه السطحية لمنطقة الدراسة لأن تصريف المياه المالحة تخفف بسرعة بواسطة موزعات و هذا ما لا يجعل من السهل عملية تقييم آثار هذه المحطات.

الكلمات الدالة: تحلية المياه, التناضح العكسي, المياه المالحة, ماء البحر, التلوث البحري.