

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieure Et De La Recherche Scientifique
جامعة أمجد بوقرة بومرداس
Université M'Hamed Bougara De Boumerdès



Faculté Des Sciences – Département De Chimie

Domaine : Science De La Matière

Filière : Chimie

Spécialité : Chimie de l'Environnement

Mémoire De Projet De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme De Master

Thème

***Détection Des Métaux Lourds Dans Les Eaux De Rejet Du Circuit
De Dessalement***

Présenté Par :

Soutenu le 15/07/2019 Devant le jury :

ZIANI Nesrine

M^r. BOUNOUGHAZ Moussa	Pr	U.M.B.B	Président
M^r. HAMMADI Mohamed	Pr	U.M.B.B	Examineur
M^{me}. BELOUNAS Ouarda	MCB	U.M.B.B	Examinatrice
M^{me}. GHEMMIT Naima	MCA	U.M.B.B	Promotrice

Année universitaire 2018/2019



Dédicace

*C'est avec un cœur plein de joie que je dédie ce modeste travail :
Aux deux bougies qui s'allument rien que pour éclaircir mon
Chemin ; ma très chère mère exemple de courage et mon très cher
Père mon exemple de sagesse. Je prie Dieu le tout puissant de les
Protéger du mal et de les récompenser.*

*A mon mari BEN AMROUCHE Samir pour tout le soutien et les encouragements qu'ils m'ont
prodigué.*

A mes adorables frères ; Zouhir, chouaib et le petit Ziyade

A mes très chères sœurs ; Asma et Sarah

A mes oncles, mes tantes ; Djamila, Houria et Djouher ainsi que Leurs maris

A mes chères cousines ; Imane, Linda, Meriem, Nadia

Et Leila

A ma grande mère et mon grande père que dieu les protège

A mes amis, Fatiha, Naima,

Imane, Nadjia et Roukia

Et sans oublier Miro Habobi ainsi que toute sa famille





REMERCIEMENT

Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH le Tout Puissant,

C'est grâce à lui Ce travail a été réalisé.

Je remercie mes enseignants et toute l'équipe de formation de Master 2

*Je remercie particulièrement Madame GHEMMIT Naima, pour avoir accepté
D'encadrer ce travail et pour ses compétences qui mon permis De mener à bien
cette étude.*

*Mes sincères remerciements vont également à Mr BOUNOUGHAZ Moussa, pour
L'honneur Qu'il m'a fait et d'avoir accepté d'être Président du jury de ce
mémoire.*

*Je tiens à remercier également Les membres du jury pour l'honneur d'avoir
accepté de juger ce modeste travail, s'agite de Mr HAMMADI professeur et
Mme BELOUANAS maitres de conférences au département de chimie.*

*A tous ceux qui ont contribué à l'avancement et la réalisation de ce Mémoire,
j'exprime mes profonds remerciements*



LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I-1 : Le réfractomètre.....	5
FigureI-2 : Refractomètre standard et pro refractomètre.	5
FigureI-3 : Hydromètre à aiguille.....	6
Figure I-4 : Hydromètre flottant.....	6
Figure I-5 : Tableau périodique des éléments chimiques (Google, 2019).	12
Figure I-6 : Source des métaux lourds dans le milieu marine.....	13
Figure I-7 : Schéma général d'une installation de dessalement.	16
Figure I-8 : Coagulation-Floculation.	17
Figure I-9 : Le principe de distillation fractionnée.	19
Figure I-10 : Structure d'une membrane et son principe de fonctionnement.	21
Figure I-11 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.	21
Figure I-12 : Fonctionnement du procédé d'électrodialyse d'eau de mer.	22
Figure I-13 : Les différentes stations de dessalement en Algérie	24
Figure I-14 : Répartition de la consommation d'énergie sur une installation de dessalement par osmose inverse	27
Figure I-15 : Puits côtier en Espagne	29
Figure I-16 : Etat initial du milieu (pas de rejet de saumure	31
Figure I-17 :Etat du milieu après implantation de l'usine de dessalement (rejet de saumure). 31	

CHAPITRE II

Figure II-18 : pH mètre INOLAB 7.....	36
Figure II-19 : Appareil numérique de mesure multiple HQ40D.	36
Figure II-20 : Pompe de filtration sous vide.....	37
Figure II-21 : Spectrophotomètre HACH de type DR 2010.....	37
Figure II-22 : Mesure de la DBO ₅ avec OxiTop.....	39
Figure II-23 : Thermo réacteur HT200S et réactifs LCK (COT).	39
Figure II-24 : Image d'un METTLER TOLEDO pour la mesure de l'alcalinité.	40
Figure II-25 : Image d'un dosimètre METROHM pour le dosage des chlorures.....	40

LIST DES TABLEAUX

CHAPITRE I

- Tableau I-1** : Concentrations des éléments principaux d'une eau de mer de salinité de 35‰
..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau I-2** : Concentrations des différents éléments mineurs dont la concentration est supérieure à 1 µ g/L **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau I-3** : Salinité des eaux de mer **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau I-4** : Solubilités des sels dans l'eau pure à 18°C en g/L... **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau I-5**: Principaux types de pollution des eaux, nature des polluants, et leur origine .
..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau I-6** : Effets soupçonnés ou prouvés de métaux lourds sur la santé humaine... **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau I-7** : Les principaux avantages et inconvénients des procédés de dessalement d'eau
..... **Erreur ! Signet non défini.**

CHAPITRE III

- Tableau III-8** : Les paramètres physico-chimiques de l'eau de mer et de la saumure. **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau III-9** : Concentrations des indicateurs de pollution dans l'eau de mer et dans la saumure **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau III-10** : Concentrations de cations et d'anions de l'eau de mer et de la saumure.
..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau III-11** : Valeurs des longueurs d'ondes requises en analyse ICP-OES..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau III-12** : Concentrations des métaux lourds dans l'eau de mer et dans la saumure obtenues par ICP- EOS. **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau III-13** : Résultats de l'analyse par radiocristallographie.. **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau III-14** : Composition chimique élémentaire exprimée en pourcentage massique (%) des deux échantillons de dépôts récupérés sur le filtre. **Erreur ! Signet non défini.**

LISTE DES ABREVIATIONS

COT : Carbone Organique Totale

DBO₅ : Demande Biochimique En Oxygène Après 5 jours

DCO : Demande Chimique En Oxygène

MES : Matière En Suspension

PCB : PolyChloroBiphényles

Ppt : parte per trillion

UCV : unité de couleur vraie

MSF : Multistage flash

TH : Titre Hydrotimétrique

TA : Titre Alcalinité

TAC : Titre Alcalimétrique

CT : Carbone Totale

CI : Carbone Inorganique

SAA : Spectrométrie D'absorption Atomique

ICP : Spectrométrie D'émission Atomique

DRX : Diffraction par Rayon X

MEB : Microscope Electronique A Balayage

NTU : Nephelometric Turbidity Uni

CRD : Centre De Recherche Et Développement

dB (a) : Décibel (bruit)

TDS: Total Dissolved Solides

ATC: Automatic Temperature Compensation

ED : Electrodialyse

OI : Osmose Inverse

CE : Conductivité Electrique

FX : Fluorescence X

Sommaie

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Liste des Abréviation

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I : SYNTHSE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Introduction.....	3
I.2.1 Eaux douces de surface	3
I.2.2. Eaux souterraines	3
I.2.3. Eaux de mer.....	3
I.3. Composition de l'eau de mer	4
I.3.1. Eléments principaux	4
I.3.2. Autres éléments minéraux	4
I.3.3. Matières organiques	5
I.4.1. Salinité.....	6
I.4.1.1. Définition de la salinité.....	6
I.4.1.2. Salinité de l'eau de mer	6
I.4.1.3. Origine de la salinité.....	6
I.4.1.4. Mesure de la salinité	7
I.4.2. Densité.....	8
I.4.2.1. Hydromètre à aiguille	8
I.4.2.2. Hydromètre flottant	8
I.4.3. Solubilité	9
I.4.5. pH.....	10
I.4.6. Dureté.....	10
I.4.7. Matières en suspension.....	10
I.4.8. Conductivité électrique	11
I.5. Paramètres organoleptiques	11
I.5.1. Couleur	11
I.5.2. Goûts et odeurs.....	11

I.6. Turbidité.....	11
II. Généralités sur la pollution.....	11
II.1. Définition de la pollution.....	11
II.2. Définition des polluants.....	Erreur ! Signet non défini.
II.2.1. Pollution marine.....	12
II.2.2. Type de la pollution marine	12
III. Généralités sur les métaux lourds.....	13
III.1. Définition	13
III.2. Origines des métaux lourds	14
III.3. Classification des métaux lourds.....	14
III.3.1. Les métaux essentiels	15
III.4. Les métaux lourds dans le milieu marin.....	15
III.4.1. Répartition des métaux lourds en milieu marin.....	16
III.4.2. Devenir des métaux dans le milieu marin	16
III.4.2. 1. Bioaccumulation	16
III.4.2. 2. Bioconcentration	Erreur ! Signet non défini.
III.4.2. 3. Bioamplification	Erreur ! Signet non défini.
IV. Dessalement de l'eau de mer	17
IV.1. Définition de dessalement.....	18
IV.1.1. Schéma général d'une installation de dessalement	18
IV.2. Les principes de dessalement.....	18
IV.2.1. Captation de l'eau de mer.....	18
IV.2.2. Prétraitement	18
IV.2.2.1. Coagulation - Flocculation	19
IV.2.2.2. La filtration	19
IV.2.2.3. Le traitement chimique	20
IV.2.2.4. Microfiltration.....	20
IV.3. Les procédés de dessalement	20
IV.3.1. Procédés de distillation.....	20
IV.3.1.1. Distillation à simple effet.....	20
IV.3.1.2. Distillation multi-flash.....	21
IV.3.1.3. Distillation à multiples effets.....	21
IV.3.1.4. Distillation couplée à l'énergie nucléaire	22

IV.3.2. Procédés membranaires	22
IV.3.2.1. L'osmose inverse	22
IV. 3.2.2. Electrodialyse	23
IV.4. Problèmes techniques rencontrés en dessalement.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.4.1. Entartrage	Erreur ! Signet non défini.
IV.4.2. Le colmatage	24
IV.4.3. La corrosion.....	25
IV.5. Le dessalement en Algérie	25
V. Impact de dessalement sur l'environnement	27
V.1. Origine et type des émissions et rejets	28
V.1.1. Émissions atmosphériques.....	28
V.1.2. Rejets chimiques.....	28
V.2. Consommation énergétique	28
V.3. Bruit.....	29
V.4. Impacts sur le paysage.....	29
V.5. Impacts sur l'environnement	30
V.5.1 Impacts dépendant du lieu de prélèvement d'eau de mer	30
V.5.2. Collision d'organismes marins contre les tambours tamiseurs	31
V.5.3. Introduction d'organismes dans le circuit d'eau	31
V.5.4. Impacts liés aux rejets.....	32
V.5.5. Impacts liés à la salinité.....	32
V.5.6. Effets des rejets de produits chimiques	33
V.5.6.1 Effets dus aux produits de la corrosion	34
V.5.6.2. Effets dus aux additifs antitartres.....	34
V.5.6.3 Effets des additifs antisalissure	35
V.5.6.4 Effets de l'additif anti mousse.....	35
V.5.6.5 Effets du concentré (saumure)	35
V.5.7. Effets dus à la chaleur.....	36

CHAPITRE II: MATIRIELS ET METHODES

I.1. Introduction.....	37
I.2. Mode de prélèvement.....	37

I.3. Analyse de paramètres physico-chimiques	37
I.3.1. Température	37
I.3.2. pH.....	37
I.3.3. Conductivité électrique CE	38
I.3.4. Dosage de l'oxygène dissous	38
I.3.5. Matière en suspension MES.....	39
I.3.6. Turbidité.....	39
I.4. Analyse des Paramètres chimiques	40
I.4.1. Demande chimique en Oxygène (DCO)	40
I.4.2. Demande biochimique en oxygène (DBO)	40
I.4.3. Carbone organique total (COT).....	41
I.4.4. Détermination de l'alcalinité.....	41
I.4.5. Détermination de la teneur en Chlorures.....	42
I.4.6. Détermination de la teneur en calcium	42
I.4.7. Détermination de la teneur en calcium – magnésium	Erreur ! Signet non défini. 43
I.4.8. Détermination des indicateurs de pollution.....	43
II.1. Métaux lourds	45
II.2. Spectrométrie d'adsorption atomique.....	46
II.3. Caractérisation spectrale.....	46
II.3.1. Fluorescence X.....	46
II.3.2. Diffraction des rayons X (DRX).....	Erreur ! Signet non défini.
II.3.3. Microscopie électronique à balayage (MEB)	47
I.Introduction.....	48
I.1. Analyses physico-chimiques.....	Erreur ! Signet non défini.
I.1.2. pH.....	48
I.1.3. Conductivité électrique	49
I.1.4. Température	50
I.1.6.Turbidité.....	50
I.1.7. La salinité	51
I.1.8. Matières en suspension MES	51
I.1.9. Demande chimique en oxygène (DCO)	52
I.1.10. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	52
I.1.11. Carbone organique totale (COT).....	52

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

I.2. Indicateurs de pollution.....	52
I.2.1. Nitrates	53
I.2.2. Nitrites.....	53
I.2.3. Phosphates	53
I.3. Composition chimique	53
I.3.1. Sulfates	54
I.3.2. Chlorures	55
I.3.2. Potassium	55
I.3.3. Sodium	56
II. Métaux lourds	58
III. Analyse minéralogique.....	60
III.1. Analyse par la diffraction des rayons X (DRX)	60
III.2. Analyse par la florescence X (FX)	62
IV. Observation au microscope électronique à Balayage (MEB) ...	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion	66
Références bibliographique	69
Annexes	73

Introduction générale

Une quantité équivalente à 97,5% du stock d'eau de la planète est salée et seule une fraction correspondante à 2,5 % se compose d'eau douce. Environ 70% de cette eau douce de la planète est fixée dans les calottes glaciaires des pôles et une partie importante des 30% restants est constituée par des nappes aquifères souterraines de régions reculées. En effet, seule une fraction minuscule de l'eau douce (moins de 1% de l'eau douce totale) est disponible dans les cours d'eau, les lacs et les réservoirs et est facilement accessible à l'homme pour son utilisation directe. En outre, la répartition spatiale et temporelle du stock et du débit d'eau douce est très inégale [1]. Par suite de l'extension des régions arides et aussi de l'utilisation intensive d'eau dans les zones urbaines du monde entier, il est fréquent que l'eau douce ne soit pas disponible dans les quantités souhaitées.

1000 m³ par personne et par an sont le niveau repère au-dessous duquel on considère que la pénurie chronique d'eau entrave le développement et est préjudiciable à la santé humaine. Les ressources en eau de la région méditerranéenne sont limitées, fragiles et menacées. Elles font déjà l'objet d'une exploitation intensive, notamment dans le Sud et à l'Est où la saison sèche se caractérise par sa longueur, avec une pluviométrie annuelle faible. Des sécheresses temporaires qui peuvent être définies comme une pluviométrie inférieure à la moyenne d'une gravité variable par sa durée et son ampleur, ont occasionné un préjudice particulièrement important pour les ressources en eau. Au cours des dernières décennies, la plupart des pays méditerranéens ont connu des périodes de sécheresse prolongées notoires. L'eau est un élément de la vie quotidienne, et elle est si familière qu'on oublie souvent son rôle, son importance et sa nécessité absolue. Sans l'eau, la terre ne serait qu'un astre mort, et aucune vie humaine, biologique, végétale ou animale n'existerait. Devant les besoins croissants en eau douce et l'impossibilité de se contenter des ressources naturelles, l'humanité est conduite à étudier et à développer divers procédés permettant d'obtenir une eau douce à partir des eaux de mer et des eaux saumâtres dans des conditions admissibles techniquement et économiquement. Si l'expérience Algérienne dans le domaine du dessalement remonte aux années soixante, c'est à partir de l'an 2000 et suite aux nombreux cycles de sécheresses sévères, que l'Algérie a intégré dans sa nouvelle politique de l'eau le dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres, comme moyen de mobilisation d'eau complémentaire, pour faire face aux différents plans de développement [1]. Une étude du procédé de dessalement et les caractéristiques chimiques et physico-chimiques, la tenue en métaux lourds de l'eau de mer et la saumure pendant quatre mois et l'impact de rejet sur l'environnement par l'usine de

dessalement-Boumerdes, située dans la ville de Cap-Djinet et nommée Union Temporaire des entreprises Opération et Maintenance (UTEOYM. C.DJ).

Ce mémoire de fin de cycle de Master 2 s'articule sur la détection des métaux lourds dans le circuit de dessalement de l'usine citée précédemment.

Notre travail est structuré en quatre parties :

- Chapitre I : Nous avons consacré une synthèse bibliographique sur la pollution marine, les procédés de dessalement et les métaux lourds,
- Chapitre II : Il englobe les matériels et méthodes mises en œuvre tout au long de la réalisation de ce travail,
- Chapitre III : Il est consacré à interpréter et à discuter l'ensemble des résultats obtenus,
- Conclusion : Ce travail est finalisé par une conclusion qui rassemble les points essentiels obtenus par ce modeste travail et par des perspectives à envisager pour des recherches ultérieures.



Chapitre I

Synthèse Bibliographique



I.1 Introduction

L'eau douce ne représente que 2,5 % du volume total d'eau sur la planète. Elle est inégalement distribuée dans la mesure où certaines régions bénéficient d'excédents considérables, alors que de pénuries chaque année de plus en plus longue avec un taux de 1 000 m³ par personne et par an. Ces régions vulnérables, souvent situées dans les pays en voie de développement, sont d'autant plus exposées que la croissance rapide de la population crée, sur les ressources en eau, une pression supplémentaire [1].

I.2. Sources d'eau

Elles se subdivisent en trois groupes :

I.2.1 Eaux douces de surface

Leur volume total est très faible ; il représente 0,18 millions de km³, soit 0,013 % de l'hydrosphère. Elles sont présentes dans les cours d'eau (ruisseaux, rivières, fleuves) et les lacs. Elles sont très vulnérables à la pollution car elles reçoivent directement les eaux de ruissellement, c'est-à-dire les eaux de pluie ruisselant sur le sol, qui s'infiltrent dans ce dernier ou dans le sous-sol, ou qui rejoignent un cours d'eau.

I.2.2. Eaux souterraines

Elles proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Celles-ci s'introduisent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches constituant le sous-sol, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable.

Les eaux s'accumulent, remplissant le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé nappe. La roche plus ou moins poreuse et donc plus ou moins perméable contenant cette eau est appelée aquifère [2].

I.2.3. Eaux de mer

La mer s'étend sur 71% environ de la surface du globe. L'hémisphère sud est le principal réservoir d'eau de mer. Dans l'hémisphère nord on trouve plusieurs mers salées qui communiquent pour certaines avec l'océan (mer Méditerranée, mer Baltique, etc...). On trouve 30 à 40 grammes de sels dissous pour un kilogramme d'eau de mer.

I.3. Composition de l'eau de mer

I.3.1. Eléments principaux

Si la masse totale des sels dissous peut varier, le rapport des concentrations des différents éléments est stable. Cette constance des proportions est souvent appelée loi de Marquet ou de Dittman. Les éléments principaux, c'est-à-dire ceux qui contribuent d'une façon notable à la masse de sels dissous dans les océans, représentent 11 éléments différents. Leurs concentrations sont données dans le tableau 1.

Tableau I-1 : Concentrations des éléments principaux d'une eau de mer de salinité de 35‰ [3].

Eléments	Concentration (mg/L)	Eléments	Concentration (mg/L)
Chlorure (Cl⁻)	19353	Sodium (Na⁺)	10160
Sulfate (SO₄²⁻)	2712	Magnesium (Mg²⁺)	1249
Bicarbonate (HCO₃⁻)	142	Calcium (Ca²⁺)	413
Bromure (Br⁻)	67	Potassium (K⁺)	387
Fluorure (F⁻)	1	Strontium (Sr²⁺)	8
Bore	4		

I.3.2. Autres éléments minéraux

L'eau de mer contient de nombreux autres éléments à des concentrations beaucoup plus faibles (Tableau 2). Ces éléments, malgré leur faible concentration, ont une importance certaine dans des processus biologiques et organiques. Ils peuvent se trouver sous différentes formes (dissous, colloïdaux ou en suspension).

Tableau I-2 : Concentrations des différents éléments mineurs dont la concentration est supérieure à 1 μ g/L [3].

Eléments	Concentration (μ g/L)	Eléments	Concentration (μ g/L)
Lithium (Li)	170	Cuivre (Cu)	3
Aluminium (Al)	10	Zinc (Zn)	10
Silicium (Si)	3000	Arsenic (As)	3
Phosphate (P)	70	Rubidium (Rb)	120
Titane (Ti)	1	Molybdène (Mo)	10
Vanadium (V)	2	Iode (I)	60
Manganèse (Mn)	2	Baryum (Ba)	30
Fer (Fe)	10	Uranium (U)	30

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

I.3.3. Matières organiques

Les basses concentrations de matières organiques dans l'eau de mer rendent leur analyse chimique très compliquée. Les composés sont difficiles à isoler car dilués dans un milieu contenant beaucoup d'autres éléments à de plus fortes concentrations. Par convention, on sépare par filtration sur des filtres de 0,5 μ m les matières dissoutes des matières organiques particulaires.

Les matières organiques particulaires sont principalement constituées d'animaux et végétaux ou leurs résidus. Elles peuvent représenter de 10 à 60% de la matière en suspension.

I.4. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer et des eaux saumâtres

Les principales caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer sont présentées comme suit :

I.4.1. Salinité

I.4.1.1. Définition de la salinité

La salinité est la quantité totale des résidus solides (en grammes) contenu dans 1 kg d'eau de mer, quand tous les carbonates ont été transformés en oxydes, le brome et l'iode remplacé par le chlore et que toute la matière organique a été oxydée.

Il est très difficile d'estimer la salinité par analyse chimique directe (séchage et pesée du résidu solide), car certains corps présents, notamment les chlorures, s'échappent au cours du dernier stade de séchage [4].

I.4.1.2. Salinité de l'eau de mer

La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques (Atlantique, Manche, Mer du Nord, Pacifique) est de l'ordre de 35 g/L et c'est cette valeur qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitations– évaporations. La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques (Tableau 3).

Tableau I-3 : Salinité des eaux de mer [5].

Mer	Salinité en g/l
Mer Méditerranée	36 à 39
Mer Rouge	~ 40
Mer Baltique	7
Mer Caspienne	13
Mer Morte	270
Golfe Arabo–Persique	40 à 70
Mer Noire	20

I.4.1.3. Origine de la salinité

La salinité de mer provient de l'action des eaux de ruissellement et des eaux souterraines sur la croûte continentale. Les ions (Na^+ , Cl^- , ...) apportés par les rivières se concentrent dans l'eau de mer, car ces éléments sont peu réactifs avec les particules et les minéraux marins. La salinité de l'océan ne varie presque plus avec le temps car les apports (ruissellement) et les départs (sédimentation et altération) de sels s'équilibrent. Il y a une autre source de salinité

des eaux souterraines qui représente un problème actuel : c'est l'intrusion marine, c'est-à-dire le retour des eaux de mer vers les nappes qui se trouvent sur le littoral après l'abaissement de niveaux de ces nappes causé par la surexploitation [5].

I.4.1.4. Mesure de la salinité

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la salinité. A titre d'exemple, on citera la Réfractométrie. Il s'agit d'utiliser un appareil qui mesure l'indice de réfraction d'une gouttelette d'eau posée sur sa vitre (Figure 1).

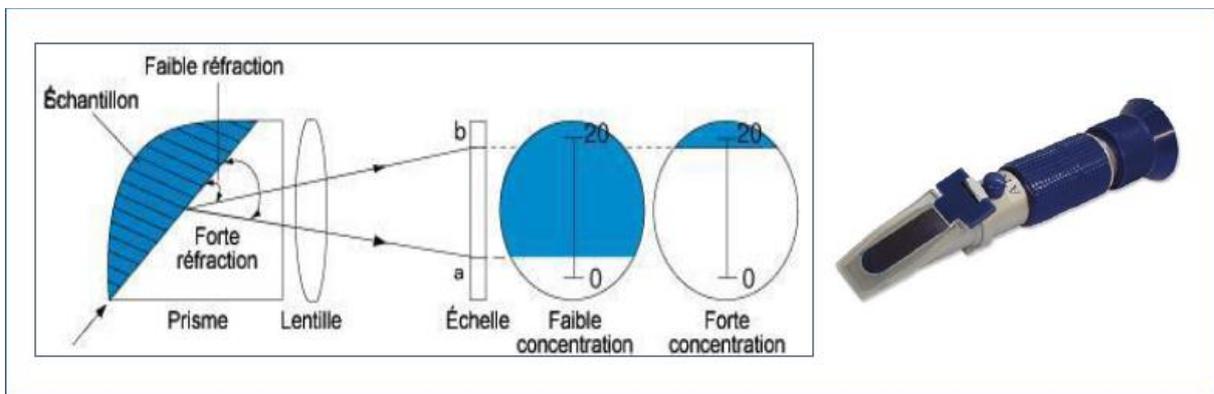


Figure I-1 : Le réfractomètre [6].

Puisque l'indice de réfraction dépend de la température, la plupart des appareils dédiés à L'aquariophilie effectuent une correction dite ATC qui, dans une plage de l'ordre de 20 à 30°C permet d'afficher directement la salinité en ppt ou en ‰ (pour mille) [6]. La plupart d'entre eux affiche aussi la densité qu'aurait l'échantillon à une certaine température souvent à 20°C comme le montre l'indication dans l'exemple ci-dessous à gauche, ou précise S.G à 20°C comme à droite (Figure 2). Puisque la densité dépend de la température ; par exemple sur l'image de gauche la densité = 1,0145 à 20°C ; à 25°C elle atteindrait 1,0188 ; on voit que cette différence est négligeable.

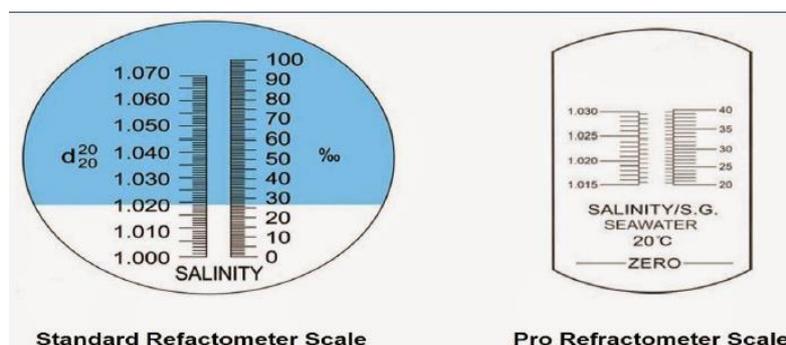


Figure I-2 : Refractomètre standard et pro refractomètre [6].

I.4.2. Densité

Elle est le rapport de la masse volumique de l'eau de mer à celle de l'eau distillée à une température de 40 °C. La densité des océans est en moyenne de l'ordre de 1,035 à 1,036. Elle varie avec la salinité, la température et la pression. La densité est mesurée par le densimètre ou hydromètre à flotteur. Il en existe de 2 types :

I.4.2.1. Hydromètre à aiguille

Il présente l'avantage d'être bon marché et facile à utiliser mais il est peu précis à cause des frottements des paliers de l'aiguille notamment en raison des concrétions de sel dont ils peuvent faire l'objet (Figure 3).

Il comporte souvent une échelle de densité (Specific Gravity) et en ppt à une température donnée [6].

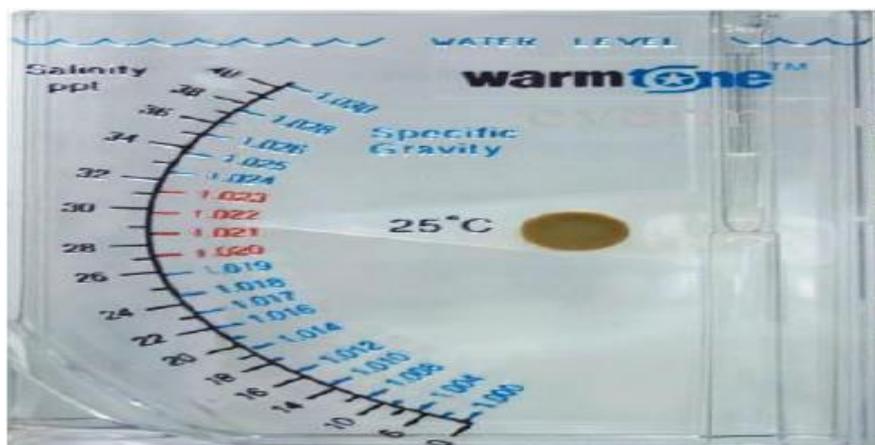


Figure I-3 : Hydromètre à aiguille [6].

I.4.2.2. Hydromètre flottant

Consiste en un cylindre creux, lesté et gradué. Il s'enfonce plus ou moins dans le liquide à mesurer selon sa densité. Il comporte aussi parfois un thermomètre comme sur l'image ci-contre (Figure 6). La densité du liquide est lue directement [6].



Figure I-4 : Hydromètre flottant [6].

I.4.3. Solubilité

La solubilité d'un composé ionique ou moléculaire, appelé soluté, est la quantité maximale de moles de ce composé que l'on peut dissoudre ou dissocier, à une température donnée, dans un litre de solvant. La solution ainsi obtenue est saturée (Tableau 4).

Tableau I-4 : Solubilités des sels dans l'eau pure à 18°C en g/L [3].

Elément	Na	Ca	Mg	K	Ba	Sr
Cl	360	730	560	330	370	510
SO ₄	170	2	350	110	0.002	0.11
NO ₃	840	1220	740	300	90	70
CO ₃	190	0.013	1	1080	0.02	0.011
F	45	0.016	0.076	930	1.6	0.1

- Les sels de Sodium Cl, SO₄, NO₃, et F sont très bien solubles,
- Les Nitrates de Na, Ca, Mg, K, Ba et Sr sont très bien solubles,
- Les sels de Calcium et de Strontium SO₄, CO₃, et F ont une solubilité très limitée,
- Les carbonates ont aussi une solubilité très limitée pour les Ca, Mg, K, Ba et Sr.

Les sels ayant une solubilité basse peuvent causer l'entartrage dans les stations d'osmose inverse provoqué par la précipitation [3].

I.4.4. Température

L'eau de mer est, en général, plus ou moins froide suivant la latitude. Chaude à l'Équateur (26°C en surface dans l'océan, plus de 30°C dans les mers intérieures l'été), froide aux pôles (1 à 3°C) en surface. L'océan Indien à latitude égale est plus chaud que l'Atlantique. A la même latitude dans un même océan les températures sont différentes.

Dans l'hémisphère Sud le phénomène est inverse : ce sont les façades Ouest des continents qui sont plus froides que les côtes Est. Les différences de température sont également importantes suivant les profondeurs.

Les couches superficielles de la mer peuvent être réchauffées ou refroidies par l'air ambiant. Dans les régions polaires, la température des eaux est plus basse au pôle Sud qu'au pôle Nord. Les échanges thermiques entre la surface de l'eau de mer et l'atmosphère sont très importants le climat est influencé par la température de l'eau de mer. Les océans se réchauffent moins

vite et se refroidissent moins vite également que la terre. Pour cette raison, les régions qui bordent l'océan jouissent d'un climat océanique, plus tempéré (doux et humide) [7].

I.4.5. pH

L'eau de mer faiblement alcaline et son pH moyen est de 8,2 avec des variations entre 7 et 8,4. Les variations de pH ont une certaine analogie avec celle d'oxygène dissous. Ceci s'explique en considérant l'activité synthétique de certains organismes : une forte production d'oxygène s'accompagne d'une diminution de la teneur en CO_2 et par conséquent d'une augmentation du pH ; l'oxydation de la matière organique diminue la teneur en oxygène de l'eau en produisant du CO_2 et par conséquent elle abaisse le pH. Dans certaines conditions le pH peut prendre des valeurs particulières. Notamment dans les bassins isolés où il peut y avoir production d' H_2S . Le pH peut approcher des valeurs voisines de 7 ou tomber à des valeurs nettement plus acides.

De même, une augmentation de pression de 100 bars produit une diminution du pH de l'ordre de 0,02 [8].

I.4.6. Dureté

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+). Elle est souvent due aux ions Ca^{++} et Mg^{++} .

La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO_3 par litre.

Dans l'eau, on peut déterminer :

- La dureté totale ou titre hydrotimétrique TH qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne ;
- La dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium ;
- La dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium ;
- La dureté carbonatée correspond à la teneur en hydrogénocarbonate et carbonate de calcium et de magnésium [9].

I.4.7. Matières en suspension

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux.

Elles sont en fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, du régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc.

Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution [9].

I.4.8. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm^2 de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm . L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m). La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau [9].

I.5. Paramètres organoleptiques

Les différents paramètres organoleptiques se traduisent comme suit :

I.5.1. Couleur

Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV. Elle peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques acides. Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire [10].

I.5.2. Goûts et odeurs

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur agréable. La plupart des eaux, qu'elles soient traitées ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur. Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère [11].

I.6. Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, la pluviométrie joue un rôle important vis-à-vis de ce paramètre dans les eaux superficielles et souterraines selon leur origine [12].

II. Généralités sur la pollution

II.1. Définition de la pollution

La contamination au sens stricte utilisée pour décrire le fait qu'un certain produit chimique est présent dans certain habitat et/ ou les organismes vivant à concentration supérieur à la normale par des causes non naturelles.

La pollution est définit comme toute forme de contamination dans un écosystème, cette dernière a un impact sur les organismes dans ce dernier, en changeant le taux de croissance et de la reproduction des espèces [13].

II.2. Définition des polluants

Ce sont des substances naturelles ou d'origine anthropique que l'homme introduit dans un biotope donné dont il modifie et augmente la teneur dans l'eau, l'air ou les sols dans le cas où elle y était spontanément présente [14].

II.2.1. Pollution marine

La pollution marine définie par le groupe d'experts sur les aspects scientifiques de la pollution marine (GESAMP), dans le cadre de l'ONU, Convention sur le droit de la mer (UNCLOS) 1982, comme "L'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans l'environnement marin (y compris les estuaires) entraînant de tels effets délétères effets nocifs sur les ressources biologiques, les dangers pour la santé humaine, activités marines, y compris la pêche, la dégradation de la qualité de l'eau de mer, et réduction des équipements " [13].

II.2.2. Type de la pollution marine

De nombreux critères ont été retenus afin de réaliser une classification de pollution marine, un des critères les plus évidents consiste à grouper les agents polluants selon leur nature, comme le montre le tableau 5.

Tableau I-5: Principaux types de pollution des eaux, nature des polluants, et leur origine [15].

Type de pollution	Nature	Source
Physique		
Pollution thermique	Rejet d'eau chaude	Centrale thermique
Pollution radioactif	Radio-isotope	Installation nucléaires
Chimique		
Engrais	Nitrates, phosphates	Agriculture, lessives
Eléments toxiques	Mercure, cadmium, plomb, aluminium, arsenic....	Industries, agriculture, pluies acide, combustion
Pesticides	Insecticides, herbicide, fongicide	Agriculteur, industries
Organochlorée	PCB, solvants	Industries
Composé organiques de synthèses	Nombreuses molécules	Industries
Détersifs	Agents tensio-actifs	Effluents domestiques
Matières organiques fermentescibles	Glucide, lipides, protides, acides nucléiques	Effluents domestiques, agricoles, industries
Hydrocarbures	Pétrolé et dérivés	Industrie pétrolière, Transport
Microbiologiques	Bactéries, virus, champignons	Effluents urbains et délavage

III. Généralités sur les métaux lourds

III.1. Définition

Un métal est une matière, issue le plus souvent d'un minerai, dotée d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant ainsi aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie, l'orfèvrerie....

On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas metalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 grammes

par cm³. On retrouve dans certaines publications anciennes l'appellation de « métal pesant ». Quarante et un métaux correspondent à cette définition générale auxquels il faut ajouter cinq metalloïdes, ces métaux sont présents dans le tableau périodique représentée par la figure 4.

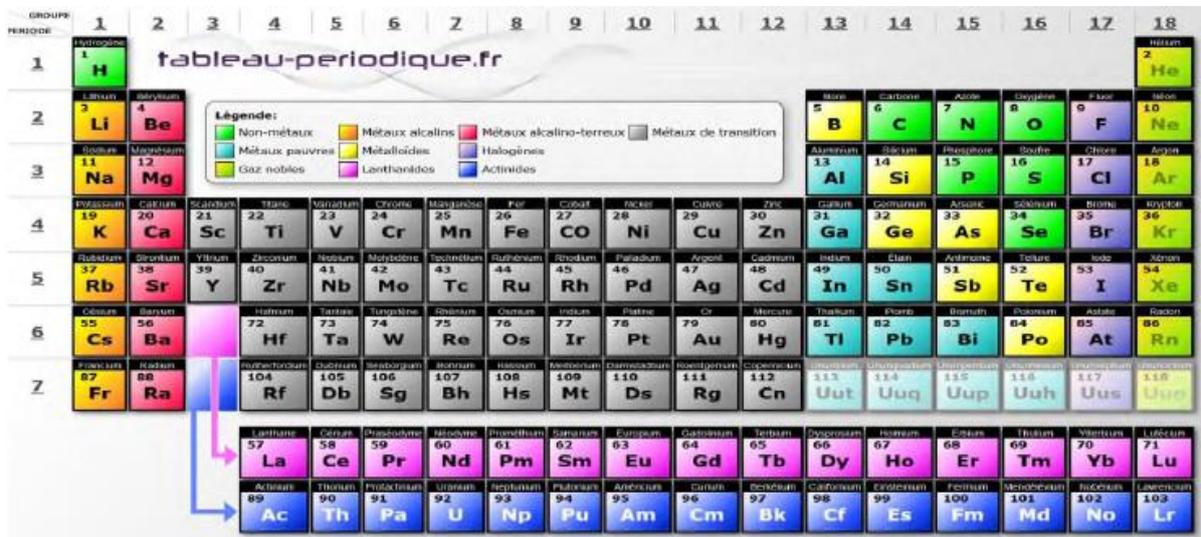


Figure I-5: Tableau périodique des éléments chimiques (Google, 2019)

L'appellation métaux lourds est cependant est une appellation courante qui n'a ni fondement scientifique, ni application juridique.

Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles. On dit que les métaux sont présents « en traces ».ils sont aussi « la trace » du passé géologique et de l'activité de l'homme [16].

III.2. Origines des métaux lourds

Les métaux lourds peuvent provenir de plusieurs sources d'origine naturelles ou anthropiques. La dernière phase de la circulation d'un polluant dans la biosphère est constituée par la contamination des êtres vivants et parfois par la bioaccumulation dans l'organisme de ces derniers [17].

III.3. Classification des métaux lourds

Les éléments traces, et les métaux lourds en particulier, peuvent être toxique, néanmoins un nombre d'entre eux, tels que Cu, Co, Mn, Zn, B sont aussi indispensables à la croissance des organismes vivants [18].

III.3.1. Les métaux essentiels

Un métal est considéré comme essentiel lorsqu'il remplit des fonctions biochimiques bien précises dans l'organisme et que son absence entraîne l'apparition des symptômes pathologiques qui disparaissent lorsque le composé est à nouveau présent [19].

Les éléments essentiels peuvent provoquer deux sortes de réactions différentes : si un organisme ne contient pas suffisamment de l'un des éléments sous la forme d'un composé acceptable, une fonction peut être inhibée. Si un élément se trouve en concentration trop élevée, il peut avoir un effet toxique [20].

III.3.2. Les métaux non-essentiels

Un élément métallique est dit non-essentiel lorsqu'on ne lui connaît aucune fonction biologique particulière. Généralement ces composés entraînent des effets toxiques délétères à partir de concentrations pouvant être très faibles [19], tels que le plomb, le cadmium, le mercure, l'arsenic, le nickel dont la présence est indésirable pour l'organisme [21].

III.4. Les métaux lourds dans le milieu marin

Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en de très faibles quantités. Ils sont acheminés dans les écosystèmes marins par voie atmosphérique et par le biais des cours d'eau. Ces éléments peuvent être incorporés dans les sédiments, les eaux, les matières en suspension et les organismes marins [17].

Ces polluants ont la particularité d'être toxique et non biodégradable, ils s'accumulent dans les différents niveaux de la chaîne alimentaire ce qui représente un danger pour la santé humaine (Figure 6).

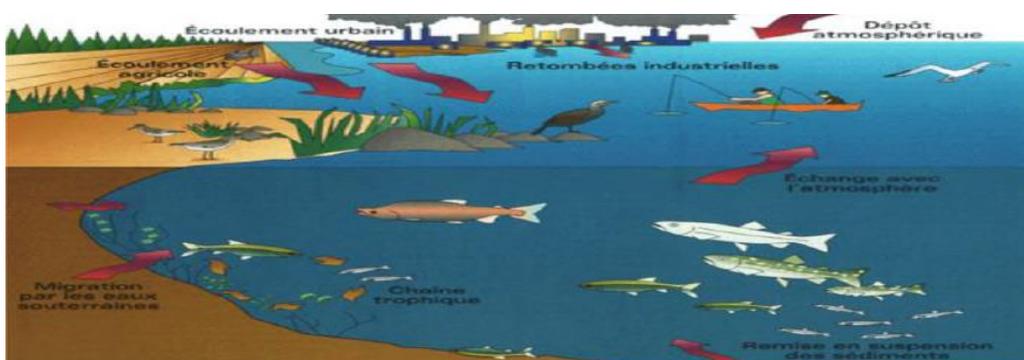


Figure I-6 : Source des métaux lourds dans le milieu marine [17].

III.4.1. Répartition des métaux lourds en milieu marin

Une fois arrivés dans l'environnement aquatique, les métaux se répartissent entre les différents compartiments de l'environnement aquatique (l'eau, les solides en suspension, les sédiments et le biote). Les métaux présents dans l'environnement aquatique peuvent exister sous forme de complexes, de particules ou en solutions.

III.4.2. Devenir des métaux dans le milieu marin

III.4.2. 1. Bioaccumulation

C'est un processus d'absorption par lequel les êtres vivants peuvent accumuler dans leurs organismes des nutriments soit des substances présentes naturellement dans son environnement ou des polluants organiques de synthèses [15].

III.4.2. 2. Bioconcentration

C'est un processus par lequel une substance se trouve présente dans un organisme vivant à une concentration supérieure à celle de son milieu environnant. Il n'existe pas de différence entre les processus de bioaccumulation et de bioconcentration, la bioconcentration est un cas particulier de la bioaccumulation.

III.4.2. 3. Bioamplification

Si la concentration du contaminant qui connaît un accroissement au fur et à mesure qu'il circule vers les maillons supérieurs d'un réseau trophique, on parle de bioamplification qui peut être considérée comme un cas particulier de la bioaccumulation [19].

Tableau I-6 : Effets soupçonnés ou prouvés de métaux lourds sur la santé humaine.

Métal	Maladies organiques	Effets neurologiques et psychiatriques
Aluminium	Douleurs articulaires, décalcification des os, anémie.	Démence, Alzheimer, Parkinson, Encéphalopathie avec des perturbations de mémoire, de concentration et de mobilité.
Arsenic	Diabète de type 2.	Atteintes au système nerveux, menant à des faiblesses, surdité, paresthésies, psychoses organiques avec somnolence, troubles, stupeur, délires, schizophrénie.
Cadmium	Lésions rénales et pulmonaires, fragilisation des os, anémies, augmentation du risque de cancer en cas d'inhalation.	Aucune référence trouvée à ce stade
Mercure	Lésions du cerveau, maladies autoimmunes (arthrite rhumatique, lupus, sclérose en plaques), maladies cardiovasculaires (hypertension et autres), cancer du foie.	Diminution de l'intelligence, troubles de la parole, agitation, agressivité, troubles visuels et auditifs, poly neuropathie, myasthénie grave, Alzheimer.
Nickel	Allergies, dermatites, eczémas.	Maux de tête, vertiges, manque de sommeil
Plomb	Effets hématologiques et cardiovasculaires (hypertension) atteintes rénales.	Dépressions allant jusqu'au suicide, manque d'attention, atteinte à l'intelligence visuelle et aux fonctions motrices, troubles de mémoire, difficultés d'apprentissage, états de fatigue, agitation, agressivité, psychoses, hallucinations, périphérique.

IV. Dessalement de l'eau de mer

L'augmentation de la population amène de nombreuses régions du monde à se trouver en manque d'eau; pour cela de nombreuses solutions ont été envisagées pour pallier ce problème, y compris le dessalement de l'eau de mer qui contient plusieurs méthodes physiques qui permettent l'obtention de l'eau douce à partir de l'eau de mer, et qui est au même temps un danger sur l'environnement [22, 23].

IV.1. Définition de dessalement

Le dessalement s'appelle dessalage ou désalinisation. Il consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou une eau saumâtre d'origine continentale [24].

IV.1.1. Schéma général d'une installation de dessalement

Le processus de dessalement d'eau de mer se fait en quatre étapes :

- La captation de l'eau de mer,
- Le prétraitement,
- Les différents procédés de dessalement,
- Le post-traitement ou minéralisation.

On appelle le taux de conversion le rapport de la quantité d'eau douce produite par rapport à la quantité d'eau saline pompée [25].

Nous présentons ci-dessous le processus de dessalement d'eau de mer dans le cas où le procédé utilisé est l'Osmose inverse (Figure 6) :

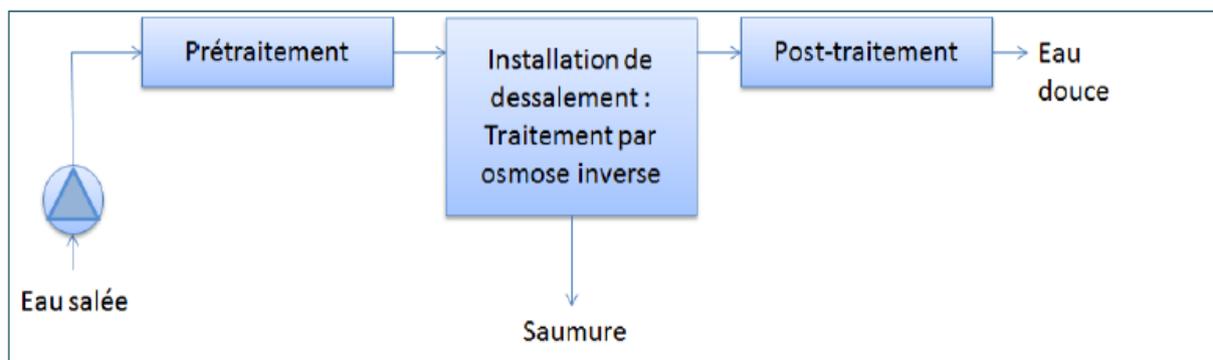


Figure I-7: Schéma général d'une installation de dessalement [25].

IV.2. Les principes de dessalement

IV.2.1. Captation de l'eau de mer

La captation de l'eau de mer consiste à pomper l'eau de mer vers la station de dessalement, cette eau doit être bonne du point de vue matières en suspension. Ils sont utilisés dans cette étape deux types de technologies :

- Les forages côtiers: soit verticaux soit sous forme des galeries horizontales permettant d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stables,

- La prise d'eau de surface: peut être faite en pleine mer. Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la côte, protégé des pollutions et des forts courants [26].

IV.2.2. Prétraitement

IV.2.2.1. Coagulation - Flocculation

L'opérateur de coagulation-floculation a pour but la croissance des particules (qui sont essentiellement de floccs colloïdaux) par déstabilisation des particules en suspension puis formation de floccs par agrégation [27]. Les floccs ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite.

- **Coagulation:** la charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles tendent à éloigner les particules les unes des autres et, par conséquent, à les stabiliser dans la solution.

Le but principal de la coagulation est de déstabiliser ces particules pour favoriser leur agglomération [28].

Les coagulants sont des produits capables de neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau [29].

- **Floculation:** la floculation est le processus physico-chimique au cours duquel des matières en suspension dans un liquide s'agglomèrent pour former des particules plus grosses, généralement très poreuses, nommées floccs. Ces derniers sédimentent beaucoup plus rapidement que les particules primaires dont ils sont formés. La floculation peut avoir lieu naturellement ou elle peut être accélérée par l'ajout d'un flocculant [27].

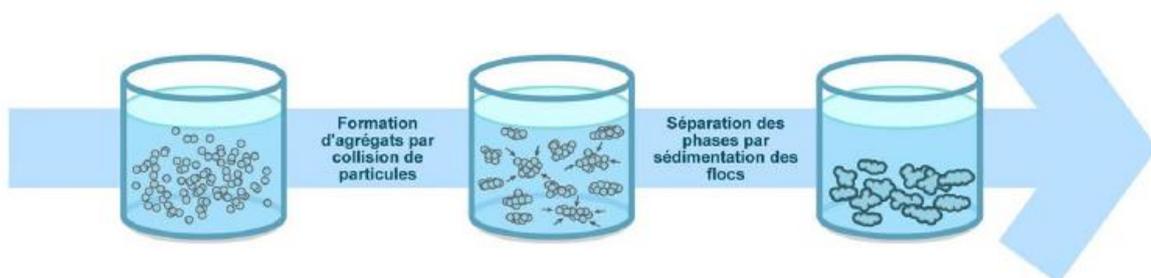


Figure I-8: Coagulation-Floculation [28].

IV.2.2.2. La filtration

Dans le cas de la filtration sur sable, la séparation s'effectue le long d'un milieu poreux (le sable), plus ou moins tortueux, qui se colmatara en profondeur au fur et à mesure de l'accumulation des particules en suspension lors du passage du fluide. Plusieurs autres types de filtres reposent sur ce principe (filtre à cartouche, filtre à disque,...). Un milieu poreux représente un ensemble de grains ou d'agrégats autour desquels des espaces vides appelés pores, sont interconnectés ou non. Le matériau doit être perméable à un écoulement de fluide [30].

IV.2.2.3. Le traitement chimique

Après la filtration à sable, des équipements de dosage font partie de prétraitement chimique appliqué à l'eau de mer avant l'entrée dans les membranes (acidification, addition de bisulfite de sodium et dosage d'anti-incrustant [31].

IV.2.2.4. Microfiltration

La microfiltration consiste à éliminer d'un fluide les espèces dont les dimensions sont comprises entre 0,05 à 10 μ m. Les espèces sous la forme de solutés ou de particules sont retenues à la surface de la membrane par effet d'exclusion.

Les membranes les plus utilisées sont poreuses en polyamides ou polypropylène, ou encore inorganiques (en oxyde métallique ou céramique). La pression transmembranaire varie environ de 0,05 à 3 bars. La microfiltration se prête non seulement à la séparation solide-liquide mais aussi liquide- liquide des émulsions d'huile dans l'eau [25].

IV.3. Les procédés de dessalement

IV.3.1. Procédés de distillation

La distillation occupe aujourd'hui environ 60% du marché mondial du dessalement. Elle est la plus vieille et la plus rustique des techniques de dessalement [33].

IV.3.1.1. Distillation à simple effet

Elle reproduit en milieu industriel le processus naturel de dessalement. Et il s'agit de chauffer l'eau de mer pour en vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite ne contient des sels, et suffit alors de refaire passer cette vapeur à l'état liquide en la refroidissant pour obtenir de l'eau potable [33].

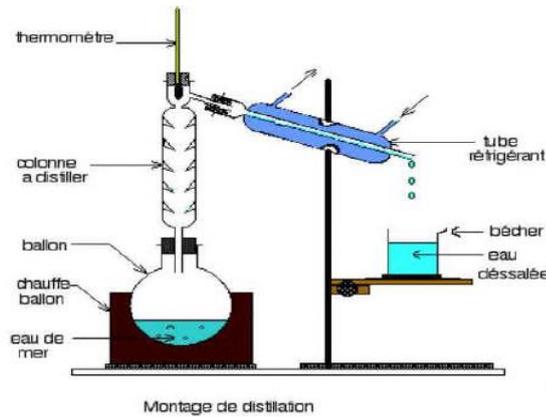


Figure I-9 : Le principe de distillation fractionnée [33].

L'inconvénient majeur de ce procédé est leur consommation énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau.

IV.3.1.2. Distillation multi-flash

L'intérêt du multi-flash réside dans son faible coût énergétique. En effet, plus la pression est basse, plus la température à laquelle l'eau passe à l'état gazeux est faible. Pour ce procédé, l'eau de mer est envoyée dans des conduits au bout desquels elle est chauffée à 120 °C, puis elle est ensuite introduite dans un compartiment où règne une pression réduite (sa température d'ébullition est donc plus basse) [33].

L'eau est alors instantanément transformée en vapeur par détente appelée Flash. La vapeur ainsi créée va monter au contact des premiers conduits dans lesquels passent l'eau de mer. Les conduites sont assez froides, ce qui provoque la condensation de cette vapeur qui est alors récupérée à l'état liquide. Pour l'eau qui ne s'est pas évaporée dans ce compartiment, elle est récupérée puis transférée dans un deuxième compartiment du même type mais avec une pression atmosphérique encore plus basse. Ainsi l'opération est répétée plusieurs fois à la suite (d'où le nom de multi-flash). Il existe des usines de dessalement dans lesquelles l'opération se répète dans 40 compartiments [33].

IV.3.1.3. Distillation à multiples effets

La distillation à effets multiples est moins courante car elle ne permet pas de produire de grandes quantités d'eau douce et son installation est délicate et coûteuse. Mais cette technique permet des économies de l'ordre de 15 à 20% par rapport au multi-flash. Le principe simple consiste en une association en série de modules évaporateur/condensateur dont la disposition

permet de limiter les pertes thermiques et assurer une grande faisabilité technique. De plus, ce procédé permet d'optimiser la récupération de la chaleur latente de condensation de l'eau [33].

IV.3.1.4. Distillation couplée à l'énergie nucléaire

L'énergie nucléaire devrait pouvoir émerger, dans un avenir proche, comme une importante source de puissance pour le dessalement. Des programmes de développement de réacteurs nucléaires dédiés au dessalement sont actuellement en cours. Les filières les plus évidentes sont celles qui ont été conçues pour la production de chaleur pour le chauffage urbain (notamment en Russie) [33].

IV.3.2. Procédés membranaires

Les membranes ont les capacités de différencier et séparer sélectivement les sels et l'eau. En utilisant ces capacités mais différemment dans chaque cas, deux procédés de dessalement à membrane ont été développés et sont actuellement disponibles au marché; l'électrodialyse(ED) et l'osmose inverse(OI) [34].

IV.3.2.1. L'osmose inverse

Est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phases [33].

Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laisse pas passer les particules, les sels dissous et les molécules organiques de 10^{-7} mm de tailles. La teneur en sel de l'eau osmosée est de l'ordre de 0,5g/L [33].

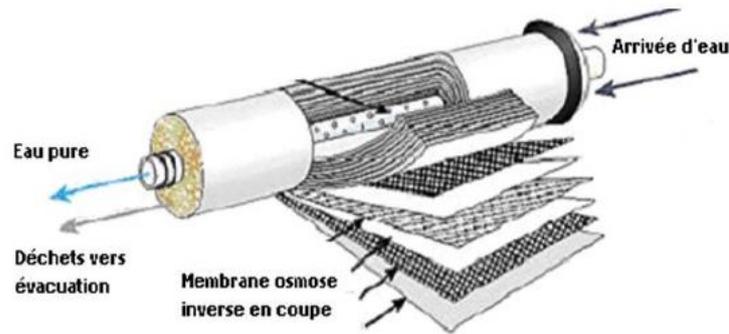


Figure I-10 : Structure d'une membrane et son principe de fonctionnement [33].

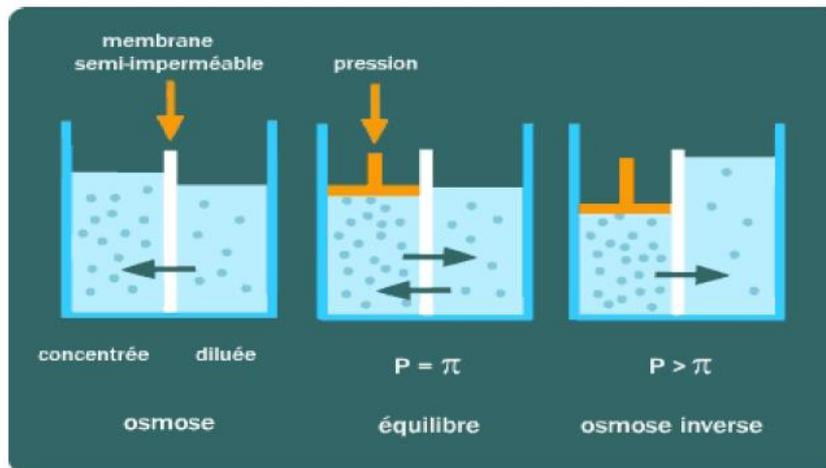


Figure I-11: Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse [33].

IV. 3.2.2. Electrodialyse

L'électrodialyse est un procédé de nature électrochimique. Il permet d'extraire en partie ou en totalité des ions contenues dans une solution en très peu ionisées [35].

Un électro-dialyseur fonctionne de la manière suivante : deux compartiments 1 et 2 sont séparés par des membranes alternativement anionique et cationique. Comme leur nom l'indique sous l'action d'un champ électrique, les premières ne se laissent franchir que par des anions, les secondes par les cations [35].

Les cations migrent dans le sens du courant électrique. Ils peuvent sortir du compartiment en traversant la membrane cationique, mais ils ne peuvent pas sortir du compartiment 2, car ils trouvent sur leur chemin une membrane anionique.

Les anions migrent dans le sens inverse du courant électrique. Ils peuvent eux aussi sortir du compartiment en traversant la membrane anionique, mais ils ne peuvent pas sortir du compartiment 2 car la membrane cationique les empêche [35].

En conséquence, le compartiment s'appauvrit en sels dissous : on l'appelle compartiment de dilution. Le compartiment 2 s'enrichit en sels dissous : on appelle compartiment de concentration [35].

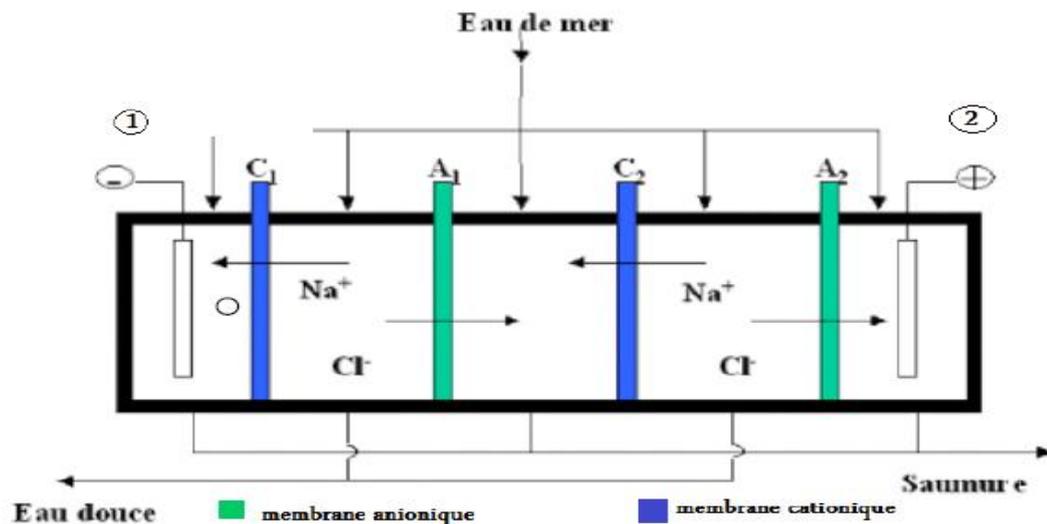


Figure I-12 : Fonctionnement du procédé d'électrodialyse d'eau de mer

IV.4. Problèmes techniques rencontrés en dessalement

IV.4.1. Entartrage

L'entartrage est un dépôt de sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces d'échanges. A cause des ions présents dans les eaux salines (calcium, magnésium, bicarbonates et sulfate).

Ces dépôts sont constitués principalement par de carbonate de calcium (CaCO_3) ; de l'hydroxyde de magnésium (Mg(OH)_2) et de sulfate de calcium (CaSO_4)....etc.

Par la diversité de leurs origines, les dépôts de tartre ont des conséquences considérables sur le fonctionnement des installations de dessalement à savoir :

- Réduction de la section de passage,
- Dégradation des états de surface,
- Par leur très forte adhérence, les tartres mènent à une constance de débit,
- Augmentation des pertes de charge pour un débit constant,
- Obturation des conduites du fait de la diminution de son diamètre par les dépôts de tartre [36].

IV.4.2. Le colmatage

Les eaux brutes naturelles peuvent également contenir des substances organiques, des microorganismes. En osmose inverse ces organismes qui sont retenus par les membranes peuvent les encrasser et trouver des conditions favorables à leur développement. Elles forment alors un bio-film qui peut conduire au colmatage des membranes. Ce phénomène a des conséquences directes sur la capacité de production des installations et le coût du processus. Comme pour les autres problèmes, il est possible de réduire le colmatage par un prétraitement adéquat : dans certains cas une étape de coagulation-floculation suivie d'une filtration sera indispensable [36].

IV.4.3. La corrosion

C'est la dégradation d'une substance, en particulier un métal ou un alliage, provoquée par l'action chimique d'un liquide ou d'un gaz sur la substance. Le terme corrosion s'applique plus particulièrement à l'action graduelle d'agents naturels, tels que l'air ou l'eau salée sur les métaux. Les principales conséquences de la corrosion sont [37]:

- Rupture des conduites,
- Augmentation de la rugosité,
- Fuites d'eau,
- Pollution de l'eau produite par des agents extérieurs.

IV.5. Le dessalement en Algérie

Les ressources hydriques de l'Algérie restent limitées. Tout d'abord, pour des raisons climatiques : la pluviométrie, irrégulière, oscille entre 100 et 600 mm/an seulement. L'Algérie se trouve parmi les pays du monde qui sont sous le seuil de pénurie adopté par la banque mondiale, il faut mobiliser toutes les ressources d'eau disponible pour sécuriser l'alimentation en eau potable. De ce fait, le dessalement des eaux de mer est la solution adéquate de cette problématique [38].

- L'unité Kahrama, installée à Arzew (tout près d'Oran), a été réceptionnée en 2005. Elle fournit 90 000 m³ d'eau dessalée par jour et concourt à l'alimentation en eau potable de plus de 500 000 habitants [38].
- Une autre station de dessalement est en cours de réalisation à Mactaa, non loin d'Oran, également. Elle est d'une capacité de 500 000 m³ d'eau par jour ; c'est le plus important des projets de stations de dessalement actuellement retenus [38].

- La station du Hamma, sa capacité de production est de 200 000 m³/j,
- La station de dessalement de Skikda, dont la capacité de production est de 100 000 m³/j [38].
- La station de Béni Saf, petit port situé dans la wilaya de Aïn-Témouchent, d'une capacité de 200 000 m³ d'eau potable destinée à alimenter environ un million 400 000 habitants [39].
- D'autres stations de dessalement d'eau de mer seront opérationnelles à partir de l'année 2008. Elles sont localisées à Zéralda (Alger-Ouest), à Cap Djinet (à l'Est d'Alger), à Sidna Ouchaa, Honaïne et AïnTourk dans la wilaya d'Oran [39].

A celles-ci, s'ajoutent deux autres stations qui seront en service dès 2009 : il s'agit de celles de Jijel et d'El Kala. Par ailleurs, 21 autres petites stations gérées par l'Algérienne des Eaux, accumulant une capacité globale de près de 60 000 m³/ par jour sont appelées à répondre aux besoins en eau potable de petites localités. Leur réalisation est programmée sur budget de l'État [40].

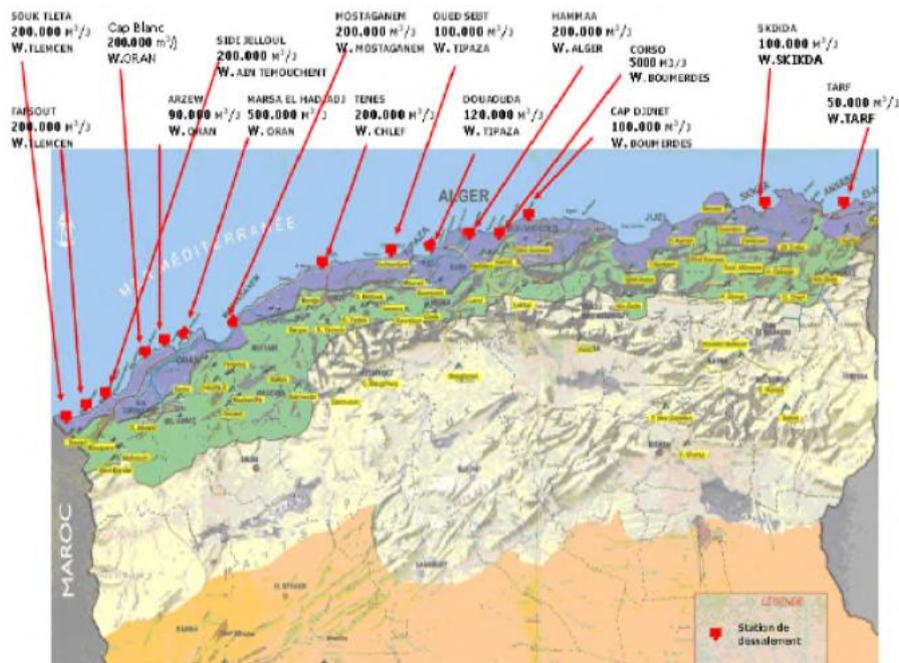


Figure I-13: Les différentes stations de dessalement en Algérie [39].

Tableau I-7 : Les principaux avantages et inconvénients des procédés de dessalement d'eau

Distillation	Avantages	Inconvénients
	<p>Indépendance à la variation de la qualité d'eau brute,</p> <p>Utilisation pour des grandes capacités de production d'eau,</p> <p>Exploitation relativement aisée,</p> <p>Une eau produite présentant un TDS faible requis particulièrement pour les besoins industriels.</p>	<p>Un taux de conversion bas (inférieur à 35%),</p> <p>Une consommation spécifique d'énergie relativement élevée (8 à 25 KWh/m³ selon le procédé),</p> <p>Une non flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau,</p> <p>Un coût d'investissement élevé.</p>
Osmose inverse	<p>Un taux de conversion élevé (supérieur à 55%),</p> <p>Une consommation spécifique d'énergie basse (3 à 5 KWh/m³),</p> <p>Un coût d'investissement relativement bas,</p> <p>Une durée de mise en œuvre réduite.</p>	<p>Sensibilité à la variation de la qualité d'eau brute et surtout aux pollutions,</p> <p>Nécessité d'un personnel qualifié,</p> <p>Exploitation relativement difficile surtout au niveau du prétraitement,</p> <p>Un coût de maintenance élevé dû aux frais de renouvellement des membranes d'une durée de vie ne dépassant pas 7 ans à présent.</p>

V. Impact de dessalement sur l'environnement

Le dessalement de l'eau de mer a des impacts sur l'environnement qui influent principalement sur le milieu marin, ainsi que sur la faune et la flore aquatique, ces impacts proviennent du rejet (saumure) produit au cours du dessalement comme les produits chimiques utilisés dans le nettoyage des modules d'osmose inverse [17].

Le dessalement peut aussi influe sur les équipements de la station, sur la qualité de l'air et la lumière.

V.1. Origine et type des émissions et rejets

V.1.1. Émissions atmosphériques

En général, les émissions atmosphériques des usines de dessalement consistent seulement en azote et oxygène provenant d'usines de distillation qui utilisent des procédés de désaération pour réduire la corrosion, en rejets des éjecteurs (usines MSF) ou des dégazeurs (usines OI).

En outre, la production d'énergie destinée à être utilisée dans les usines de dessalement accroît les émissions atmosphériques. Des augmentations substantielles des émissions atmosphériques peuvent également se produire si une centrale thermique ou une installation de production couplée est construite dans le cadre d'un projet de dessalement [41].

V.1.2. Rejets chimiques

Toutes les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que le post-traitement de l'eau produite. La plupart des produits sont utilisés avant tout comme agents biocides, antitartres, anti salissures et anti mousses, et ils finissent par modifier la composition de la saumure concentrée. La présence de certains métaux, qui sont des produits de la corrosion du circuit, influent aussi sur la composition de la saumure concentrée [1].

V.2. Consommation énergétique

Le coût énergétique du dessalement doit être comparé aux autres dépenses énergétiques, pour mieux évaluer son importance. Prenons un exemple. Une usine à osmose inverse de petite taille produit environ 25 000 mètres cubes par jour d'eau douce. Pour cela, elle consomme 100000 kilowatt.heures par jour. Si on considère que la dépense quotidienne en eau s'élève en moyenne à 130 litres par personne, une telle usine pourra alimenter en eau 48 000 foyers de quatre personnes par jour [42].

Les techniques utilisées pour le dessalement de l'eau sont très consommatrices en énergie, même si la tendance est à la baisse, notamment grâce au développement de l'osmose inverse et une bonne répartition de consommation d'énergie (Figure 13) et d'autres technologies innovantes.

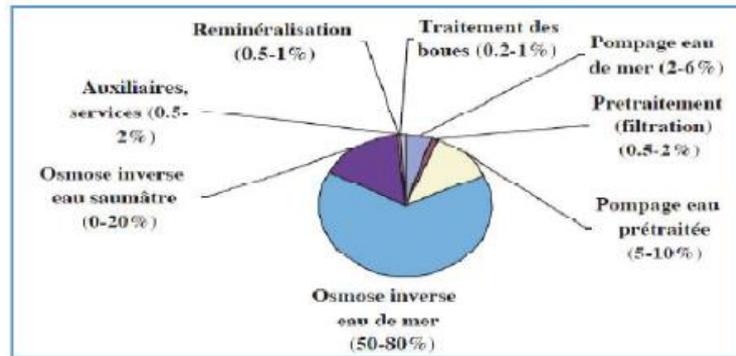


Figure I-14 : Répartition de la consommation d'énergie sur une installation de dessalement par osmose inverse [43].

Or, cette énergie est le plus souvent fournie par des combustibles fossiles qui présentent pour l'environnement l'inconvénient d'émettre des polluants atmosphériques, notamment du dioxyde de carbone (CO_2), des oxydes de soufre et d'azote et des particules solides.

Il a ainsi été estimé que le système de production espagnol rejetait 680 grammes de CO_2 par mètre cube d'eau dessalée, ce qui, pour une production de plusieurs millions de mètres cubes par jour se traduirait par l'émission dans l'atmosphère de plusieurs milliers de tonnes de CO_2 par jour. Cette contribution à effet de serre est loin d'être négligeable dans le contexte actuel de lutte contre le réchauffement climatique [44].

V.3. Bruit

Une usine de dessalement d'eau de mer par osmose inverse est une usine bruyante. En général ce bruit est produit par des pompes à haute pression et par les turbines utilisées pour la récupération d'énergie, le niveau de bruit est plus de 90 dB(A). L'usine devrait être située loin des secteurs peuplés et être équipée de technologie acoustique appropriée pour réduire le niveau de bruit [45].

V.4. Impacts sur le paysage

L'usine de dessalement représente une zone continue de machines et ouvrages auxiliaires couvrant une grande superficie. L'usine de dessalement influence aussi sur les sites adjacents car les caractères existants du paysage est de nature touristique.

V.5. Impacts sur l'environnement

Le principal impact environnemental associé aux procédés de dessalement provient de la production de saumure : solution à forte teneur en sels qui résulte de la « concentration » de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre dessalée.

Cependant, il ne faut pas oublier, lors d'une éventuelle évaluation, l'impact environnemental causé par une station de dessalement, comme les problèmes de dégradation paysagère, bruits, émissions de gaz (CO, NOx), ou encore les rejets associés comme les eaux provenant du nettoyage (filtres de sable, membranes et dépôts) [46].

En plus, des effets combinés qui affectent la physiologie des plantes et qui se résument par une salinité (pression osmotique), une concentration en ion Na⁺ et une concentration en ion Cl⁻, nous nous trouvons en présence de contraintes anthropiques et climatiques que l'on peut résumer de la façon suivante :

- Dégradation du sol et des plantations par les rejets de résidus,
- Stagnation des rejets libres d'eau de rinçage de la station de déminéralisation, inondation des terres agricoles par les eaux chargées de résidus et dépérissement d'arbres,
- Contamination de la nappe phréatique, disparition de la végétation naturelle et salinisation effrénée des terres agricoles,
- Perte de la biodiversité et fragilisation des écosystèmes,
- Diminution de la pluviométrie,
- Conflits d'usage.

V.5.1 Impacts dépendant du lieu de prélèvement d'eau de mer

Si l'eau est prélevée dans des puits côtiers (Figure 14), les effets sur les écosystèmes marins sont réduits non seulement aux captages, mais aussi aux lieux de rejets. L'eau étant plus pure aux puits côtiers qu'au large (filtration par le sable), elle nécessite en effet moins de traitements chimiques. En revanche, cette option a l'inconvénient de ne pas être adaptable aux usines de grande échelle en raison du faible débit prélevable dans ces puits. A l'inverse, si l'eau est captée aux large, différentes perturbations des écosystèmes marins peuvent être observées [47].



Figure I-15 : Puits côtier en Espagne [45].

Il faut ajouter à ces effets les impacts liés aux canalisations permettant de conduire l'eau de mer jusqu'à l'usine. Ces structures, enfouies dans le sol, nécessitent une autorisation spéciale par les autorités nationales compétentes (en raison des impacts qu'elles peuvent causer lors de leur implantation et pendant leur utilisation).

V.5.2. Collision d'organismes marins contre les tambours tamiseurs

Les dispositifs de prélèvement de l'eau installés par les usines de dessalement ne sont pas sans impacts sur les écosystèmes locaux. En effet, dans le but d'empêcher des débris ou des gros organismes de pénétrer dans le réseau d'eau de l'usine, des tambours tamiseurs (structures de prélèvement) d'un maillage moyen de 5 mm sont placés entre le dispositif d'apport et les pompes d'alimentation.

Des organismes marins tels que les poissons peuvent heurter ces tambours et se blesser (écaillage, troubles de l'orientation etc.). Ces troubles physiques peuvent être à l'origine d'une mortalité accrue due aux maladies et à l'augmentation de la prédation [44].

V.5.3. Introduction d'organismes dans le circuit d'eau

Un des problèmes majeurs associés au captage d'eau est l'aspiration d'organismes marins dans le circuit d'eau. Le maillage de 5 mm des tambours permet d'épargner les organismes de moyenne et grande taille. En revanche, l'entraînement dans le circuit d'eau peut tuer un grand nombre de petits organismes marins tels que le phytoplancton, le zooplancton (petits invertébrés, bactéries etc.) et les alevins, bien que les impacts au niveau des populations n'aient pas été clairement établis.

Cet effet d'entraînement peut être réduit par une faible vitesse d'aspiration et par une prise d'eau en surface (comme c'est le cas pour de nombreuses grosses usines) ou dans des zones biologiquement peu actives telles que des eaux profondes au large [48].

V.5.4. Impacts liés aux rejets

Les scientifiques s'accordent sur le fait que les impacts des effluents issus de ces usines sont principalement dus à la forte concentration en sels et dans une moindre mesure à la présence de produits chimiques (utilisés pour le fonctionnement de l'usine) et à la température potentiellement élevée de ces eaux.

Les rejets des usines de dessalement sont soumis aux réglementations du protocole « Tellurique » de la convention de Barcelone à laquelle ont adhéré de nombreux pays européens côtiers de la méditerranée : France, Espagne, Egypte, Liban, Lybie, etc.

Cette convention prévoit des valeurs limites de rejets pour de nombreux éléments (sels, chlore, température, etc.) et l'obligation de réaliser une étude d'impact (dossier examinant les conséquences environnementales d'un projet) avant la construction de l'usine.

V.5.5. Impacts liés à la salinité

La principale caractéristique des eaux rejetées par les usines de dessalement est sa forte salinité. On la qualifie ainsi de saumure. Pour les usines à procédé thermique, le taux de conversion de l'eau de mer en eau douce est en moyenne de 10%, c'est à dire qu'avec 10L d'eau salée est produit 1L d'eau pure. Ainsi, la concentration des effluents issus de ces usines est en moyenne 10 % plus concentrée que l'eau d'alimentation. Dans ce procédé, les eaux de rejets sont souvent diluées par des eaux de refroidissement (eau de mer classique), ce qui donne donc un effluent seulement 5% plus concentré que l'eau de mer naturelle.

Pour les usines à procédé membranaire en revanche, l'eau de rejet est de 30 % à deux fois plus concentrée [41].

La forte salinité des eaux de rejets est à l'origine des principaux impacts des usines de dessalement sur les écosystèmes marins. Le rejet de saumure dans la mer aboutit en effet à la formation d'un système stratifié de couches de plus en plus salées en allant vers le fond, ce qui diminue 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 [43].

Ce phénomène peut conduire à des modifications du milieu local (Figure 15 et 16):

- 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.

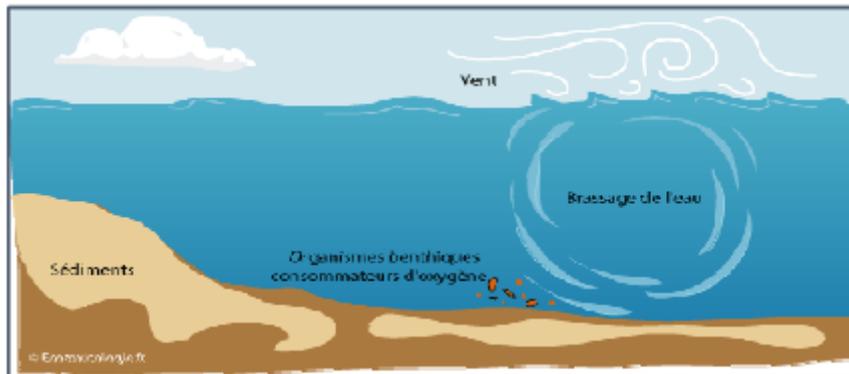


Figure I-16 : Etat initial du milieu (pas de rejet de saumure) [17].

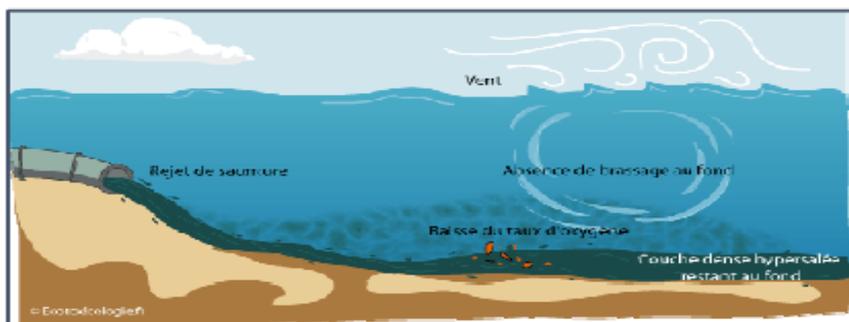


Figure I-17:Etat du milieu après implantation de l'usine de dessalement (rejet de saumure) [17].

L'énergie thermique (procédé de distillation) ou l'énergie mécanique (procédé d'osmose inverse) nécessaires au processus de dessalement de l'eau de mer sont à l'origine d'une augmentation de la température de l'eau et donc d'une température élevée de la saumure.

Pour les usines à procédé membranaire, l'augmentation de température entre l'eau de mer et la saumure est relativement faible : une élévation de 0,65°C a été relevée dans les eaux de rejets de l'usine Fujairah aux Emirats arabes unis [41].

En revanche, pour les usines à procédé thermique, cette élévation de température est bien plus conséquente, de l'ordre de 2,8°C en moyenne.

V.5.6. Effets des rejets de produits chimiques

Certains des composés chimiques rejetés par les usines de dessalement peuvent avoir des conséquences sur les écosystèmes marins. Par exemple, il a été montré que les produits antitartres rejetés par les usines de dessalement étaient des éléments nutritifs qui stimulaient la productivité primaire. Ces produits peuvent donc induire une prolifération d'algues dans des milieux qui habituellement en comptent peu, comme en mer méditerranée. De même, les produits anti-salissures rejetés par ces mêmes usines auraient des effets stérilisants sur certains organismes [421].

Les rejets de saumure issus des usines d'osmose inverse ne contenant que des traces de certains métaux lourds, la contamination du milieu induite est généralement peu importante et donc sans effet pour la faune et la flore locale. En revanche, les quantités de métaux lourds rejetés par les usines à distillation sont plus élevées et, pouvant donc affecter les organismes situés dans la zone de rejet saumure, car ils se retrouvent dans les matières en suspension dont se nourrissent les microorganismes planctoniques.

A partir de certains seuils de concentrations, ces matières sont toxiques voir mortelles et peuvent déstabiliser certains échelons du réseau trophique et les équilibres de l'écosystème.

La saumure contient également les résidus des produits chimiques ayant servi aux prétraitements, dont certains peuvent entraîner une acidification de l'eau, affectant certains organismes et en particulier les coraux. Le méta bisulfite de sodium, utilisé pour le déchloration de l'eau d'alimentation ou en tant que biocide, a également un effet toxique, sur le phytoplancton notamment. Certaines de ces substances sont, en plus, bioaccumulables, et peuvent donc se retrouver très concentrées en haut de la chaîne alimentaire, dans les poissons notamment [45].

V.5.6.1 Effets dus aux produits de la corrosion

Les usines de dessalement par distillation rejettent des métaux tels que le cuivre, le nickel, le fer, le chrome et le zinc dans le milieu marin.

Ces métaux ne se trouvent pas à l'état d'ions libres mais forment des complexes inorganiques et organiques qui sont adsorbés sur les matières en suspension et déposent en s'accumulant dans les sédiments. Comme, dans ce cas, le problème ne réside pas dans la concentration effective du métal mais dans sa charge totale atteignant l'environnement, on ne peut atténuer les effets en diluant le rejet.

V.5.6.2. Effets dus aux additifs antitartres

Une action précoce contre l'entartrage est obtenue avec l'adjonction de phosphates polymères. L'ortho phosphate, produit de l'hydrolyse des poly phosphates, est un macroélément nutritif qui stimule la productivité primaire. Dans une zone marine oligotrophe comme la mer Méditerranée, le rejet d'un macroélément nutritif peut avoir des effets drastiques tels que des efflorescences algales, des proliférations d'algues macroscopiques, etc. Ces dernières années, les agents antitartres les plus largement utilisés ont été les polymères de l'acide maléique. L'utilisation de ces produits permet d'empêcher l'apparition d'effets eutrophisants.

Il convient de prendre en compte le recours à l'acide sulfurique pour faciliter l'action des agents antitartres sur les membranes d'usines OI. Une étude d'impact sur l'environnement de l'effluent de l'usine de dessalement OI TIGNE à Malte a montré que les valeurs du pH de la saumure étaient plus basses (7,3) que celles du pH de l'eau de mer ambiante [1].

V.5.6.3 Effets des additifs antisalissure

La chloration est un bon auxiliaire mais un mauvais maître en ce sens qu'elle est très économique et efficace mais qu'elle n'est pas correctement maîtrisée ; elle donne naissance à des dérivés tels que les thiolométhanés qui sont soumis à réglementation en raison de leurs effets cancérigènes.

Si le chlore est un agent antisalissure à large spectre, il présente aussi des effets étendus sur le milieu marin quand il est rejeté avec la saumure. Il occasionne des effets biologiques par son action stérilisante intrinsèque et des effets chimiques en halo gênant les constituants organiques de l'eau de mer [1].

V.5.6.4 Effets de l'additif anti mousse

Les agents anti mousses sont des détergents. Les détergents ont des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire. Les effets sur l'écosystème marin n'ont pas été étudiés mais pourraient être négligeables.

V.5.6.5 Effets du concentré (saumure)

Le volume total de saumure libéré dans le milieu marin est déterminant pour les dommages qu'il peut induire. Un rejet de saumure concentré en grandes quantités appelle un examen plus soigneux des impacts potentiels sur l'environnement que s'il s'agit d'un rejet en petites quantités.

La longueur de l'émissaire, sa distance au rivage, son niveau au-dessus du fond de la mer, l'existence ou non d'un diffuseur, ainsi que la profondeur de l'eau et les caractéristiques hydrologiques (courants, vagues) peuvent conditionner la dispersion de la saumure et l'efficacité de la dilution au point de rejet et, prévoie de conséquence, l'impact potentiel sur l'environnement.

V.5.7. Effets dus à la chaleur

Normalement, les usines de distillation rejettent la saumure à une température qui est environ supérieure de 10 à 15°C à celle de l'eau de mer. On obtient 1°C de plus que la température ambiante dès que le concentré est dilué de dix fois son volume par l'eau de la zone marine réceptrice. Ce 1°C de plus que la température ambiante n'a pas d'importance écologique et n'est pas significativement démontrable. Ce cas se présente lorsqu'il existe un brassage et un échange suffisants avec l'eau de mer du concentré [1].

En Conclusion, Il convient de traiter avec précaution la problématique liée à ces rejets, car le volume de saumure produit par litre d'eau dessalée, ainsi que la teneur en sels, dépend de la technique de dessalement employée et de la composition saline de l'eau utilisée.

La décharge nulle de saumure s'obtient au moyen d'un procédé d'évaporation des concentrés produits qui permet d'obtenir des résidus secs. Cette technique nécessite une forte augmentation du capital d'investissement et de la consommation d'énergie. Par conséquent, ce choix n'est applicable que lorsqu'il n'existe aucune autre solution de rejet des saumures. De même, il convient de tenir compte de la contamination acoustique résultant de l'exploitation d'une station de dessalement, notamment lorsque les installations se trouvent près des agglomérations.

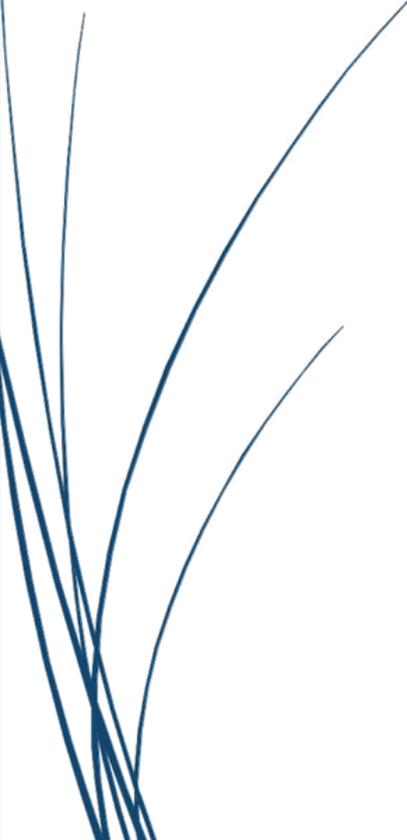
En matière de contrôle des rejets, c'est sans doute l'agriculture qui pose le plus de problèmes. En effet, les eaux d'irrigation et les eaux de pluies, entraînent par lessivage les produits chimiques épandus sur les cultures. Par ce processus, les sols, les rivières et parfois les nappes phréatiques sont contaminées.

La lutte contre la pollution passe donc par la législation et son application mais aussi par l'amélioration des techniques : utilisation de produits moins nocifs et en doses plus réduites en particulier pour l'agriculture, meilleures performances des unités de dessalement des eaux.



Chapitre II

Matériels et méthodes



I.1. Introduction

Dans ce travail, nous avons prélevé des échantillons d'eau de mer et de saumure en vue de réaliser les analyses suivantes :

- Détermination des concentrations des métaux lourds,
- Analyses physico-chimiques .

Nous soulignons que l'objectif principal de ce travail est de comparer entre les paramètres physico-chimiques de l'eau de mer et de la saumure ainsi que la teneur en métaux lourds pour ces deux types d'échantillons, pour une période de quatre mois.

I.2. Mode de prélèvement

La caractérisation des différents échantillons de la station de dessalement de cap-djinet (l'eau de mer et l'eau de saumure) ont été réalisés au niveau de division technologie et développement ex CRD de Boumerdes.

Les échantillons d'eaux ont été prélevés en vue de l'analyse physico-chimique selon la procédure suivante :

- Le contenant doit être propre, mais ne doit pas être nécessairement stérilisé, nous avons utilisé des bouteilles en plastique de 500 ml et de 1 litre et parfois des bouteilles en verre qui sont au préalable rincées avec de l'eau distillée au moins trois fois,
- Il faut laisser couler l'eau à un débit maximal pendant 5-10 secondes et ensuite 2-5 minutes à débit moyen avant de prélever un échantillon,
- Ouvrir l'emballage, le remplir et le fermer immédiatement.

I.3. Analyse de paramètres physico-chimiques

I.3.1. Température

C'est une grandeur physique mesurée soit à l'aide d'un thermomètre, pH-mètre, ou bien un multimètre.

I.3.2. pH

C'est l'une des caractéristiques fondamentales de l'eau, il donne une indication de l'acidité ou de la basicité de l'échantillon de l'eau, sa méthode de mesure est basée sur l'utilisation d'un pH-mètre de marque Inolab pH 7310 (figure 18), en procédant comme suit :

- * On prélève à l'aide d'une pipette une prise d'essai de 50 ml et on l'introduit dans un bécher propre,

- * On rince abondamment l'extrémité de l'électrode avec l'eau distillée,
- * On immerge l'électrode dans l'échantillon de l'eau sous agitation magnétique,
- * Après stabilisation de pH, on lit sa valeur sur l'écran de l'appareil.



Figure II-18 : pH mètre INOLAB 7.

I.3.3. Conductivité électrique CE

La conductivité électrique d'une eau traduit l'aptitude que possède celle-ci à laisser le courant électrique, le transport des charges se faisant par l'intermédiaire des ions contenus dans l'eau. La mesure de CE est réalisée au moyen d'un multimètre de marque HACH HQ 40d figure 19, selon le mode opératoire utilisé pour la mesure du pH, sauf que la cellule utilisée ici est en platine et la lecture de CE dans ce cas est en mS/cm.

I.3.4. Dosage de l'oxygène dissous

- **Principe**

L'ampoule Accu Vac Oxygène dissous HRDO contient un réactif scellé sous vide dans une ampoule de 12 ml. Lorsque la pointe de l'ampoule Accu Vac est de coloration jaune qui vire au violet, l'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration de l'eau en oxygène dissous.



Figure II-19 : Appareil numérique de mesure multiple HQ40D.

I.3.5. Matière en suspension MES

Les matières en suspension (MES) constituent l'ensemble des particules minérales et /ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée, et les éléments non dissous, plus l'eau en contient, plus elle devient turbide.

Les MES sont déterminées par la méthode de la double pesée selon la norme NF T90 105, dont l'appareillage contient un équipement de filtration sous vide (figure 20), papier filtre avec le diamètre des pores est égale à 45 μ m et le four pour le séchage.



Figure II-20 : Pompe de filtration sous vide.

I.3.6. Turbidité

Une eau turbide est un trouble, cette caractéristique vient de la teneur de l'eau en particules en suspension, la détermination de la turbidité mesure une propriété optique de l'échantillon d'eau qui résulte de la dispersion et de l'absorption de la lumière par les particules de matière en suspension présents dans l'échantillon. La quantité de turbidité mesurée dépend de différentes variables telles que la taille, la forme et les propriétés de réfraction des particules. Il n'existe pas de relation directe entre la turbidité d'une eau et sa teneur en matières en suspension.

L'appareillage utilisé pour la mesure de la turbidité est constitué du Spectrophotomètre de marque DR2010 doté de cellules en verre de 25 ml, illustré sur la figure 21.



Figure II-21 : Spectrophotomètre HACH de type DR 2010

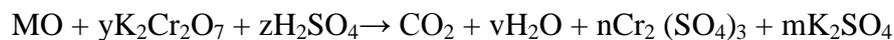
I.4. Analyse des Paramètres chimiques

I.4.1. Demande chimique en Oxygène (DCO)

La valeur de la DCO indique la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique d'une eau, qu'elle soit ou non biodégradable. Elle s'exprime en mg d'O₂/L ou à l'aide d'une oxydation, le bicarbonate de potassium K₂CrO₇.

- **Principe**

Les substances oxydables réagissent avec le bichromate de potassium sulfurique, en présence de sulfate d'argent. Le chlorure est masqué avec du sulfate de mercure. La coloration du Cr³⁺ sera déterminée photométriquement.



La cuve LCK514 contient 65% d'acide sulfurique, sulfate de mercure et bichromate de potassium.

- **Appareillage**

- * Thermoréacteur HT 200S LANGE HACH,
- * Spectrophotomètre DR 1900 LANGE HACH,
- * Micropipette de 0-1 ml.

I.4.2. Demande biochimique en oxygène (DBO)

La demande biochimique en oxygène (DBO₅) est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques (biodégradables) par voie biologique (oxydation des matières organiques biodégradables par des bactéries).

- **Principe**

En fonction de la DCO mesurée et de la valeur de la DBO suspectée, il est introduit une quantité connue d'eau dans un flacon de mesure qui est relié au système manométrique. L'oxygène qui est absorbé par les micro-organismes pour dégrader la matière organique, est remplacé par l'air au-dessus de l'échantillon dans le flacon. Le CO₂ produit est absorbé par la

soude. La différence de pression est directement affichée à l'échelle manométrique en mg/l de DBO_5 .



Figure II-22: Mesure de la DBO_5 avec OxiTop.

I.4.3. Carbone organique total (COT)

- **Principe**

Le carbone Total (CT) et le carbone inorganique Total (CIT) sont transformés en dioxyde de carbone (CO_2) par oxydation (pour CT) ou acidification (CIT). Le CO_2 quitte la cuve d'analyse, lorsqu'il traverse une membrane pour pénétrer dans la cuve indicatrice. La variation de couleur de l'indicateur est soumise à une évaluation photométrique. Le COT est la différence entre les valeurs CT et CIT (Cf. Figure 23).



Figure II-23 : Thermo réacteur HT200S et réactifs LCK (COT).

I.4.4. Détermination de l'alcalinité

Les valeurs de l'alcalinité ont été déterminé à l'aide d'un dosimètre METTLER TOLEDO, pour cela 50 ml d'eau à analyser ait été agité par agitation magnétique dans une bêche de 100 ml relié a un pH mètre. Si le pH de la solution est supérieur à 8,3 on ajoute de l'acide

chlorhydrique (0,1N) pour déterminer $[\text{CO}_3^{2-}]$. Pour la lecture des valeurs $[\text{HCO}_3^-]$, on ajuste avec une solution d'acide jusqu'à l'obtention d'un pH égal à 4,3.



Figure II-24 : Image d'un METTLER TOLEDO pour la mesure de l'alcalinité.

I.4.5. Détermination de la teneur en Chlorures

Le dosage des chlorures a été effectué à l'aide d'un dosimètre METROHM contenant une solution de nitrate d'argent AgNO_3 (0,1N). Dans un bécher de 50 ml, on introduit un volume de 20 ml d'eau à analyser puis on met le bécher sous agitation magnétique, après on titre avec de la solution d' AgNO_3 jusqu'à apparition d'une coloration rouge brun. On note le volume d' AgNO_3 affiché par le dosimètre.



Figure II-25 : Image d'un dosimètre METROHM pour le dosage des chlorures

I.4.6. Détermination de la teneur en calcium

Dans un bécher de 50 ml on introduit un volume 20 ou 25 ml d'eau à analyser, on y ajoute 5ml de solution de KOH ou NaOH, quelques gouttes de triéthanolamine pour masquer l'effet du fer, et une pincée de calcon. Mettre sous agitation et titrer avec de la solution d'EDTA

jusqu'au virage de la coloration du rose au bleu (violet). Par la suite, on note le volume v_v affiché sur le dosimètre.



Figure II-26 : Image d'un dosimètre METROHM pour le dosage de calcium.

I.4.7. Détermination de la teneur en calcium – magnésium

Dans un bêcher de 50 ml on introduit un volume 20 ou 25 ml d'eau à analyser, on ajoute quelques gouttes de TEA pour masquer le fer, et on verse dans le bêcher 5 ml de la solution tampon. Mettre sous agitation et titrer avec la solution d'EDTA jusqu'au virage de la couleur rouge brunâtre au bleu et on note le volume v_v affiché sur le dosimètre.

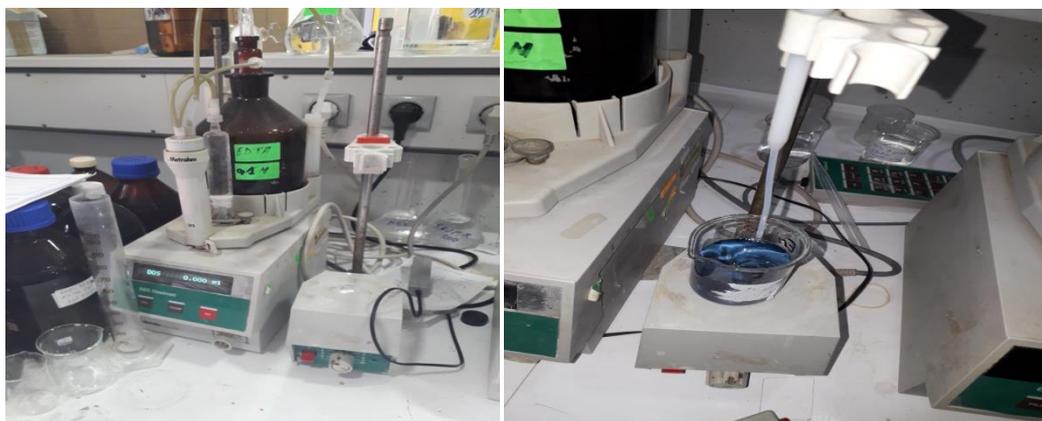


Figure II-28 : Image d'un dosimètre METROHM pour le dosage de calcium – magnésium.

I.4.8. Détermination des indicateurs de pollution

On détermine les paramètres ci-dessous à l'aide d'un spectrophotomètre colorimètre « DR1900 » à une longueur d'onde égale à 860 nm en utilisant des réactifs différents appelés les LCK.

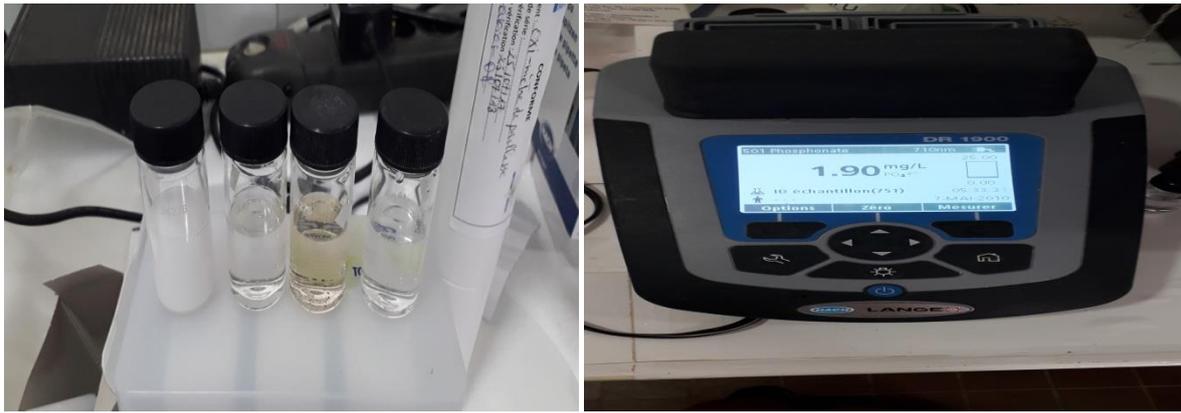


Figure II-29 : Image d'un Spectrophotomètre DR1900 LANGE HACH

➤ Phosphate

Le phosphate dans les eaux naturelles et usées se trouve uniquement sous forme de phosphates.

• Principe

La seule forme de phosphate susceptible d'être déterminée directement est l'orthophosphate, toutes les autres formes requièrent un prétraitement pour les transformer en orthophosphate.

L'orthophosphate réagit avec le molybdate en milieu acide pour produire un complexe phosphomolybdate. L'acide ascorbique réduit le complexe donnant une coloration intense de bleu de molybdène.

Le mode opératoire descriptif de l'analyse des phosphates est détaillé en annexe N°2.

➤ Sulfate

Les sulfates se retrouvent dans les eaux douces, eaux de mer et eaux industrielles, pour des teneurs comprises entre 0 et 70 mg/l de SO_4 .

• Principe

Les ions sulfate présentent dans l'eau réagissent avec le baryum contenu dans le réactif Sulfaver 4 produisant une turbidité due aux sulfates de baryum insolubles. La valeur de la turbidité obtenue est proportionnelle à la concentration en sulfate.

Le mode opératoire relatif à l'analyse des sulfates est détaillé en annexe N°2.

➤ Nitrates

La détermination des nitrates se fait pour des gammes moyennes comprises entre [0 et 4,5 mg/l] et fortes comprises entre [0 et 30 mg/l]. Elles s'appliquent aux eaux de surface, eaux usées et eaux de mer.

- **Principe**

Le cadmium métallique contenu dans les gélules de réactifs réduit les nitrates présents dans l'échantillon en nitrites. Les nitrites réagissent en milieu acide avec l'acide sulfanilique pure en formant un complexe coloré ambre. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration en nitrites.

Le mode opératoire relatif à l'analyse des nitrates est détaillé en annexe N°2.

- **Nitrite**

La détermination de nitrite pour de faibles teneurs comprises entre [0 et 0,3 mg/l] et de fortes teneurs comprises entre [0 et 1 mg/l] pour les eaux douces, eaux résiduaires et eaux de mer.

- **Principe**

- * Pour les faibles teneurs, le principe consiste en la réaction des nitrites présentent dans l'échantillon avec l'acide sulfanilique, pour former un sel de diazonium qui réagit avec l'acide chromotrope pour produire un complexe coloré rose dont la coloration est proportionnelle à la quantité des nitrites présentes.
- * Pour les fortes concentrations, on utilise de sulfate ferreux en milieu acide pour réduire les nitrites en oxyde nitreux. L'ion ferreux se combine avec l'oxyde nitreux pour former un complexe brun verdâtre dont la coloration est proportionnelle aux nitrites présents.

II.1. Métaux lourds

Le dosage des métaux a été effectué par spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-OES).

- **Principe**

Cette méthode consiste à mesurer l'émission de lumière par une technique de spectroscopie optique. Les échantillons sont nébulisés et l'aérosol ainsi produit est transporté dans une torche à plasma où se produit l'excitation. Les spectres d'émission caractéristiques sont produits par un plasma à couplage inductif par haute fréquence (ICP). Les spectres sont dispersés par un spectromètre à réseau et l'intensité des raies est évaluée par un détecteur. Les signaux du (des) détecteur(s) sont traités et contrôlés par un système informatique. Lors du dosage des éléments à l'état de traces, une correction appropriée du bruit de fond est utilisée pour compenser les variations des concentrations du bruit de fond.

II.2. Spectrométrie d'adsorption atomique

La spectrométrie d'adsorption atomique est une méthode de référence pour le dosage des métaux dans les eaux ainsi que la teneur en sodium potassium sera également déterminé.

- **Principe**

Le principe consiste à aspirer l'échantillon sous forme liquide dans un atomiseur électrothermique, le procédé d'atomisation se déroule en trois étapes :

- * Séchage de l'échantillon à 110°C pendant 20 à 30 sec afin d'évaporer les composants volatils,
- * La décomposition s'effectue souvent à 500°C pour la volatilisation des composants réfractaires ainsi que la pyrolyse des composés organiques,
- * Dans l'atomisation, la puissance maximale est appliquée pour monter la température aussi rapidement que possible à la température d'atomisation sélectionnée, le résidu analytique se volatilise et se dissocie en atomes libres qui absorbent la lumière de la source SAA.

II.3. Caractérisation spectrale

La caractérisation spectrale est fait l'objet d'identifier la structure d'eau de mer et de la saumure pour effectuer les analyses par DRX, FX, MEB

II.3.1. Fluorescence X

- **Principe**

Fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire globale permettant d'identifier et de déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent un échantillon. Cette technique peut être utilisée pour des matériaux très variés : minéraux, céramique, ciments ... Sous forme solide elle permet l'analyse de tous les éléments chimiques du Béryllium (Be) à l'Uranium (U) dans des gammes de concentration allant de quelque ppm à 100%, avec des résultats précis et surtout reproductibles.

II.3.2. Diffraction des rayons X (DRX)

- **Définition**

La diffraction des rayons X (DRX) est une méthode universellement utilisée pour identifier la nature et la structure des produits cristallisés. Cette méthode ne s'applique, jusqu'à récemment, qu'à des milieux cristallins présentant les caractéristiques de l'état cristallin, c'est-à-dire un arrangement périodique et ordonné des atomes dans des plans réticulaires (hkl) tridimensionnels. La méthode permet ainsi clairement de distinguer les produits amorphes (verres....) des produits cristallisés.

II.3.3. Microscopie électronique à balayage (MEB)

- **Principe**

La microscopie électronique à balayage MEB, ou « Scanning Electron Microscopy » SEM, est une technique puissante d'observation de la topographie des surfaces. Cette technique est fondée principalement sur la détection des électrons secondaires émergents de la surface sous l'impact d'un très fin pinceau d'électrons primaires qui balaye la surface observée. Elle permet d'obtenir des images avec un pouvoir séparateur souvent inférieur à 5nm et une grande profondeur de champ.



Chapitre III

Résultats et discussions

I. Introduction

Le but de ces analyses est d'estimer la qualité physico-chimique d'une eau de mer ainsi celle de la saumure, de contrôler les paramètres qui permettent de déceler et d'évaluer les niveaux de pollution de ces eaux.

I.1. Analyses physico-chimiques

Les résultats d'analyses des échantillons d'eau de mer et de rejet prélevés en période allant du mois de Février 2019 au mois de Mai 2019, sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau III-8 : Les paramètres physico-chimiques de l'eau de mer et de la saumure.

Paramètre	Unité	Eau de mer				Saumure				Norme 06-141
		Février	Mars	Avril	Mai	Février	Mars	Avril	Mai	
Ph	/	8,18	8,12	8,19	8,04	7,93	8,02	8,1	7,97	5,5-8,5
Conductivité	mS/cm	56,14	58,87	54,58	60,75	92,86	87,17	89,24	90,05	-
Température	°C	16,2	17,14	18,06	17,28	17,8	18,2	20,18	19,9	30
Turbidité	NTU	14	14	16	15	3	6	7	4	-
O₂ dissous	mg/l	9,53	8,12	8,04	9,23	9,50	9,25	8,68	9,46	-
Salinité	g/l	34,9	34,8	34,9	34,7	68,4	65,8	73,2	67,9	-
MES	mg/l	9,27	6,55	7,12	7,79	3,32	2,97	2,63	2,78	
DCO	mg/l	8526	-	-	-	12713	-	-	-	120
DBO₅	mg/l	30.1	-	-	-	28,2	-	-	-	35
COT	mg/l	49,3	-	-	-	189,51	-	-	-	-

I.1.2. pH

Le pH des échantillons d'eau de mer est presque constant, ceci est dû à la fluctuation des bicarbonates et carbonates dans ces milieux. Le pH des eaux superficielles est généralement compris entre 8,04 et 8,19 (voir la figure III-30). Il peut s'élever jusqu'à 8,5, quand la consommation du carbone par l'activité photosynthétique est forte.

En revanche le pH de la saumure est compris entre 7,93 et 8,1 avec une moyenne mensuelle de 8. On remarque une légère différence entre le pH de l'eau de mer et celui de la saumure qui

est due à la réduction de l'activité ionique des ions H^+ suite à l'augmentation de la force ionique de la saumure.

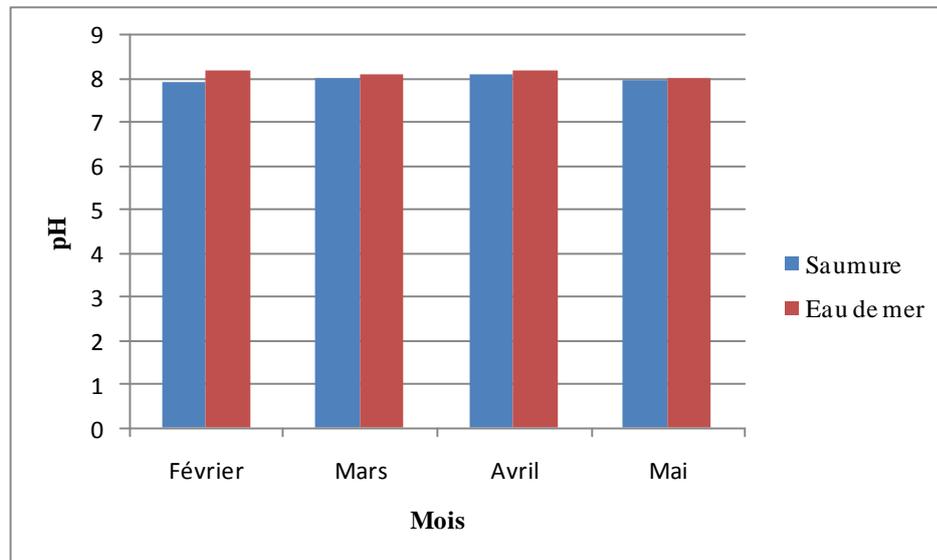


Figure III-30: Variation mensuelle du pH de l'eau de mer et de la saumure.

I.1.3. Conductivité électrique

Nous constatons facilement sur la III-Figure 31 que les valeurs de la conductivité électrique sont importantes pour l'eau de mer avec une valeur moyenne mensuelle de 57,58 mS/cm et beaucoup plus importantes pour la saumure avec une valeur de 89,83 mS/cm, cela est due à la forte présence d'ions liés contenus dans ces eaux.

Nous retenons que la conductivité électrique est directement proportionnelle à la quantité des solides dissous dans l'eau. Ainsi plus la concentration en solide dissout sera importante, plus la conductivité sera élevée.

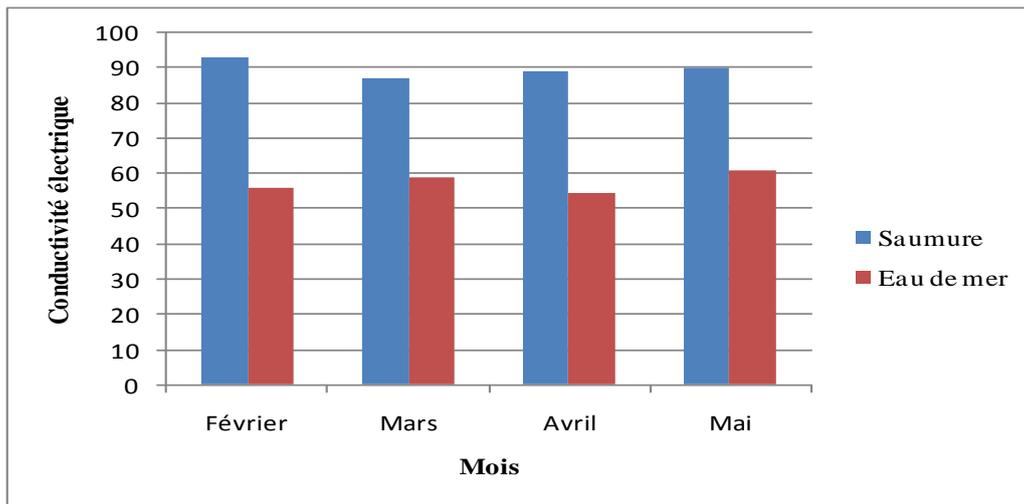


Figure III-31: Variation mensuelle de la conductivité électrique de l'eau de mer et la saumure.

I.1.4. Température

La température moyenne de l'eau de mer varie de 16,2 à 18,06 °C et celle de la saumure est entre 17,8 et 20,18 °C (Figure III-32). Nous constatons donc une petite variation de température moyenne mensuelle qui est de 1,85 °C, cela est dû à la chaleur acquise pendant le processus de dessalement.

Cette élévation de température favorise l'activité ionique, d'où nous pouvons expliquer les variations de la conductivité électrique citée plus haut.

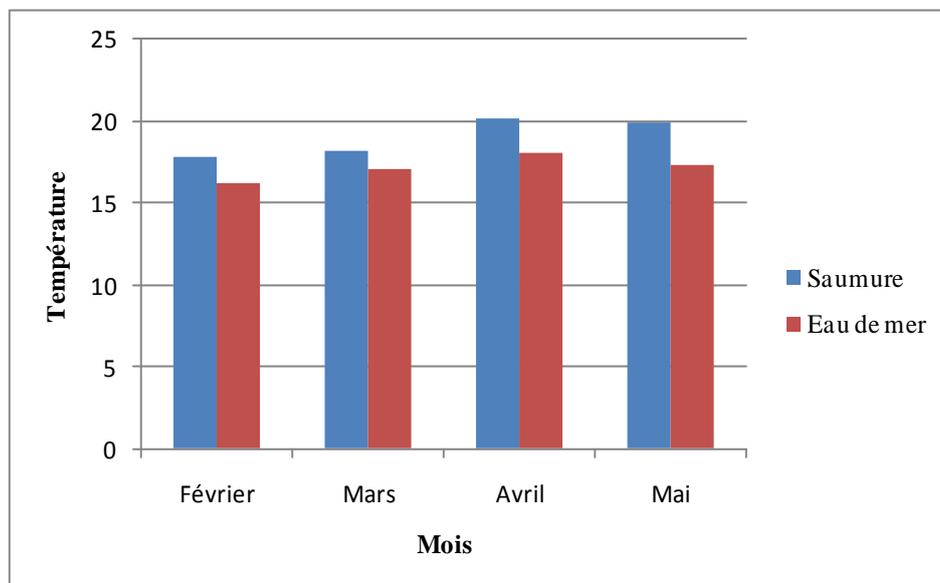


Figure III-32 : Variation mensuelle de la température de l'eau de mer et la saumure.

I.1.6. Turbidité

La figure III-33 montre la variation mensuelle de la turbidité de l’eau de mer et saumure. En effet, nous avons enregistré une diminution de la turbidité de la saumure par rapport à celle de l’eau de mer à cause de la réduction des matières en suspension. Ceci prouve l’efficacité de l’étape de prétraitement de l’eau de mer.

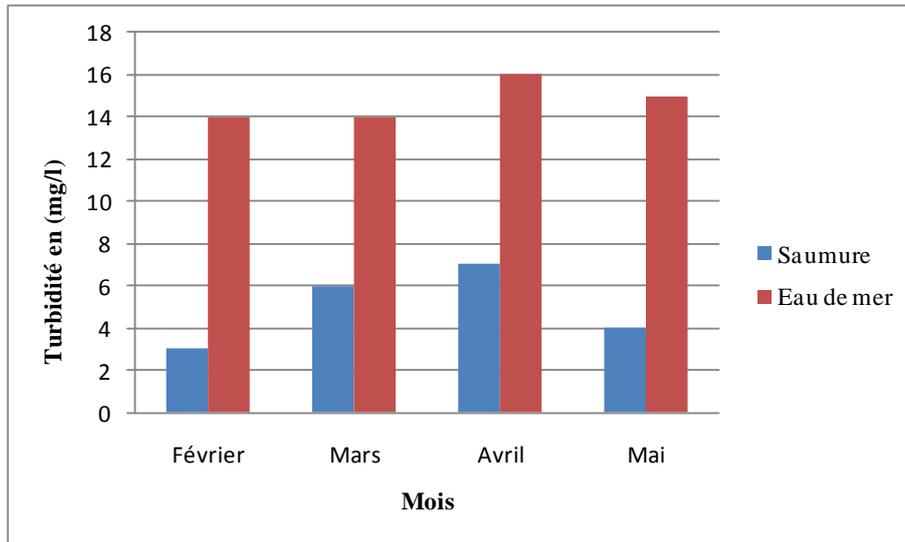


Figure III-33 : Variation mensuelle de la turbidité l’eau de mer et la saumure.

I.1.7. La salinité

D’après les résultats obtenus la salinité de l’eau mer est comprise entre 34,7 et 34,9 g/l, par contre celle de la saumure a doublé par rapport à celle de l’eau de mer 65,8 - 73, 2 g/l. ceci confirme les rejets quotidien important de sels dans l’environnement marin.

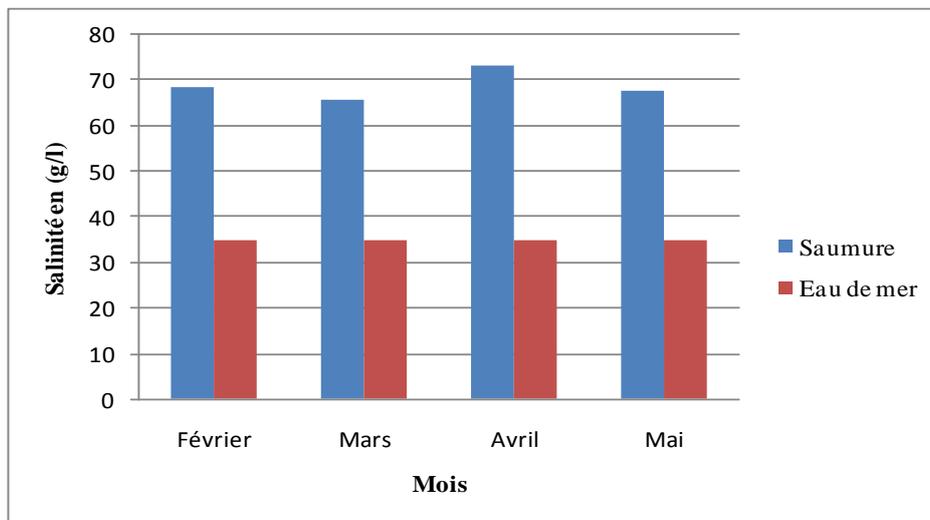


Figure III-34 : Variation mensuelle de la salinité de l’eau de mer et de la saumure.

I.1.8. Matières en suspension MES

La figure III-35 montre que la teneur de l'eau de mer en MES varie de 6,55 à 9,27 mg/l avec une valeur moyenne mensuelle de 7,86 mg/l. Cette dernière est inférieure à celle de la saumure qui n'a pas dépassé une valeur de 3,32 mg/l. nous déduisons que les MES sont arrêtés dans le système de filtration, ce qui protège le colmatage des conduites ainsi que les équipements de dessalement. Ces résultats confirment les valeurs obtenues de la turbidité.

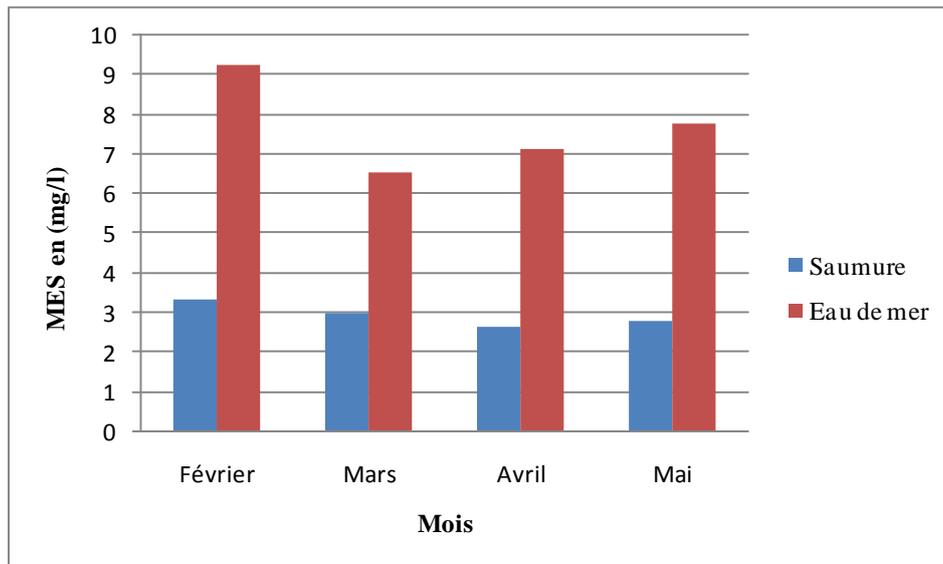


Figure III-35 : Variation mensuelle de MES de l'eau de mer et la saumure.

I.1.9. Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO peut être réalisée plus rapidement que la DBO₅ et donne une idée de la matière organique totale présente, alors que la DBO₅ ne mesure que la matière organique naturellement biodégradable, c'est pourquoi les valeurs de la DCO sont nécessairement supérieures aux valeurs de la DBO₅.

La valeur trouvée de la DCO dans les rejets de la saumure est très importante (12713 mg/l), alors que celle de l'eau de mer est de l'ordre de 8526 mg/l. Ce qui confirme que la présence des matières organique oxydable est en forte teneur dans ces eaux.

I.1.10. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

Elle vise à déterminer les matières organiques dues aux flux polluants dont la dégradation est assurée par des micro-organismes aérobies.

La DBO₅ dans notre rejet est estimée à 28,2 d'O₂/l et dans l'eau de mer est de 30,1d'O₂/l. Ces valeurs sont inférieures à la norme.

I.1.11. Carbone organique totale (COT)

La caractérisation de l'échantillon a révélé une valeur de COT égale à 189,51 mg/l dans la saumure et 49,3 mg/l dans l'eau de mer, ce qui fait que notre rejet est riche en carbone organique par rapport à l'eau de mer ; sa présence entrainera une pollution très prononcée pour le milieu environnemental.

I.2. Indicateurs de pollution

Il est à noter que les indicateurs de pollution de l'eau de mer ou de rejet de la saumure sont de nombre trois, il s'agit leur teneurs en nitrates, nitrites et phosphates. Les résultats de concentration de ces indicateurs de pollution dans l'eau de mer et dans la saumure sont représentés en tableau III-9.

Tableau III-9 : Concentrations des indicateurs de pollution dans l'eau de mer et dans la saumure.

Indicateurs de pollution	Unité	Eau de mer				Saumure			
		Février	Mars	Avril	Mai	Février	Mars	Avril	Mai
Nitrate NO_3^-	mg/l	6,7	6,23	3,8	4,27	4	3,49	2,15	4,05
Nitrites NO_2^-	mg/l	3	2,65	3,14	3,6	3,45	3,72	4	4,12
Phosphate PO_4^{3-}	mg/l	10,12	9,25	12,17	9,02	17,36	18,77	20	17,98

I.2.1. Nitrates

Les résultats d'analyse des nitrates ont montré que la saumure contient des valeurs plus faibles à celles de l'eau de mer. Ceci peut être au fait que la majorité des nitrates ont été réduites avant leur rejet dans l'environnement.

I.2.2. Nitrites

Les valeurs de nitrites enregistrées dans la saumure sont légèrement supérieures à celles de l'eau de mer. Ceci prouve le résultat trouvé précédemment, notamment la teneur faible en nitrates dans la saumure.

I.2.3. Phosphates

En ce qui concerne les phosphates, nous avons enregistré des valeurs presque doublée pour la saumure durant la période de prélèvement.

I.3. Composition chimique

La composition chimique de l'eau de mer et de la saumure en cations et en anions est regroupée sous forme de tableau ci-dessous.

Tableau III-10 : Concentrations de cations et d'anions de l'eau de mer et de la saumure.

Anions et cations	Unité	Eau de mer				Saumure			
		Février	Mars	Avril	Mai	Février	Mars	Avril	Mai
Sulfate SO_4^{2-}	mg/l	1710	2430	2045	2200	3201	3878	2987	3400
TAC	F°	19,07	14,27	20,30	12,59	28,78	20,67	27,98	20,32
Bicarbonate HCO_3^-	mg/l	232,69	174,15	247,81	153,61	351,13	252,23	341,42	247,84
Chlorures Cl^-	mg/l	19415	19279	19571	20142	32645	33456	34142	44171
Calcium Ca^{2+}	mg/l	384,76	405,1	342,68	438,87	822,64	713,62	807,63	732,66
Magnésium Mg^{2+}	mg/l	1785,8	1661	1812,1	1656	2271,5	2072,7	2045,22	1909,3
TH	F°	830,52	784,1	830,79	790,62	1139,6	1030,7	1042,87	968,21
Potassium K^+	mg/l	425,77	457,4	362,9	451,62	692,53	836,94	784,16	796
Sodium Na^+	mg/l	17209	22231	11780	11570	28545	41910	23960	22870

I.3.1. Sulfates

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

organismes appelés bactéries sulfato-réductrices, qui deviennent donc dominant, car ils ont plus de substrats à transformer. Si la teneur en sulfate est faible, les bactéries productrices de méthane deviennent dominantes. A la lumière de nos résultats, les saumures rejetées dans l'environnement aquatique ont une concentration élevée en sulfates, d'une valeur allant de 2987 à 3878 mg/l avec une teneur moyenne 3366,5 mg/l plus élevée que celle de l'eau de mer. Ces teneurs élevées en sulfates proviennent aussi des produits utilisés dans les prétraitements comme l'injection du bisulfite de sodium Na_2SO_3 dans le circuit de dessalement qui sert à neutraliser le chlore. Sachant que le chlore actif utilisé permet de détruire les organismes présents dans l'eau de mer.

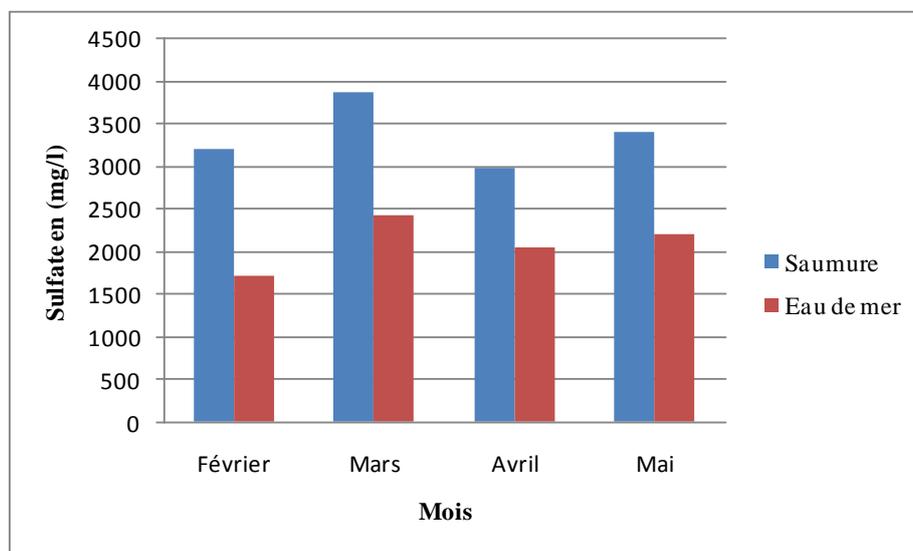


Figure III-36 : Variation mensuelle du sulfate de l'eau de mer et de la saumure.

I.3.2. Chlorures

Les chlorures sont très solubles dans l'eau, il est difficile à les éliminer. L'analyse montre un taux en chlorures élevé dans le point de rejet allant de 32645 à 44171 mg/l par rapport à l'eau de mer.

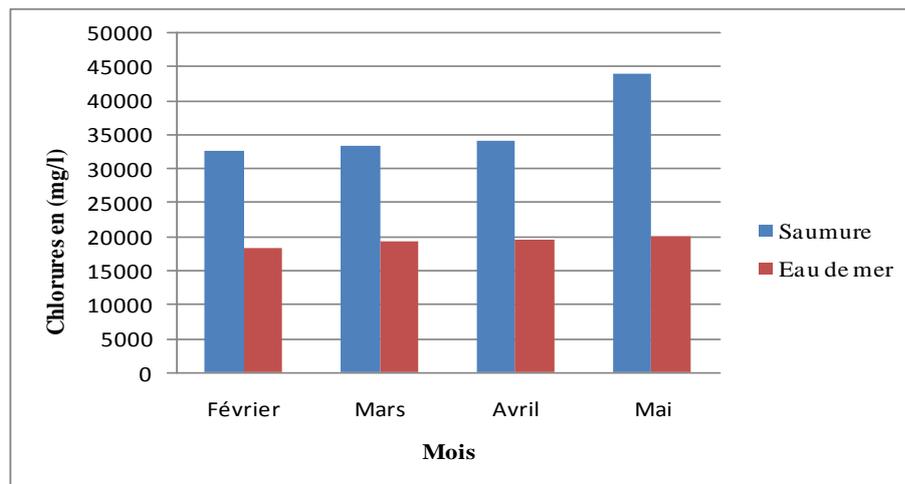


Figure III-37 : Variation mensuelle des chlorures de l'eau de mer et de la saumure.

I.3.2. Potassium

L'analyse de potassium a montré une teneur élevée dans le point de saumure qui varie entre 692,53 et 836,94 mg/l par rapport à l'eau de mer qui est de l'ordre de 410,15 mg/l.

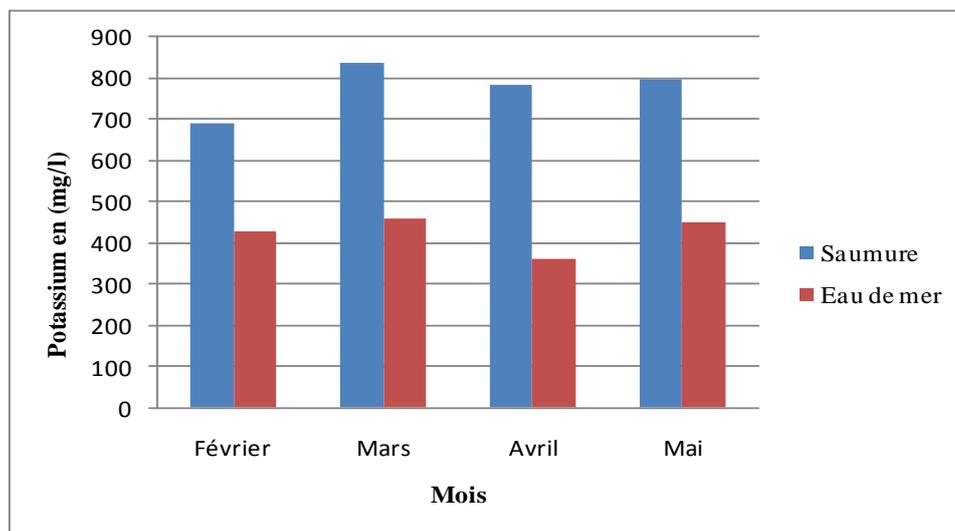


Figure III-38: Variation mensuelle du potassium de l'eau de mer et de la saumure.

I.3.3. Sodium

Le Sodium est très soluble dans l'eau, d'après la figure III-39 la teneur de cet ion dans la saumure est nettement élevée (allant de 22870 à 41910 mg/l) par rapport à l'eau de mer qui dépasse pas une valeur de 22231 mg/l.

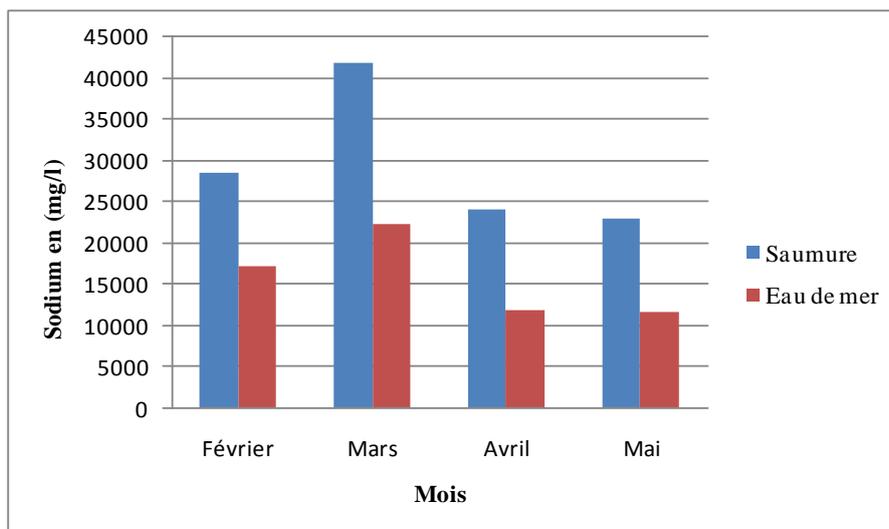


Figure III-39: Variation mensuelle du sodium de l'eau de mer et de la saumure.

II. Métaux lourds

La longueur d'onde requis en analyse ICP-OES pour chaque métal lourd est mentionné sur le tableau III-11.

Tableau III-11 : Valeurs des longueurs d'ondes requises en analyse ICP-OES

Métal lourd	Longueur d'onde (nm)
Cd	228.802
Cr	267.71
Cu	327.393
Fe	238.204
Mn	257.610
Ni	231.604
Pb	220.353
Zn	206.200

Les résultats des concentrations des métaux lourds par ICP- EOS des échantillons prélevés pendant la période de quatre mois 18/ 02/ 2019, 14/ 03/ 2019, 18/04/2019 et 20/05/2019 sont mentionnés sur le tableau III-12.

Tableau III-12 : Concentrations des métaux lourds dans l'eau de mer et dans la saumure obtenues par ICP- EOS.

Métal	Eau de mer ($\mu\text{g/l}$)				Saumure ($\mu\text{g/l}$)			
	Février	Mars	Avril	Mai	Février	Mars	Avril	Mai
Cd	90,54	8,67	21,2	9,4	91,26	9,44	26,04	13,21
Cr	34,97	< 1	< 1	< 1	39,39	0,34	9,57	< 1
Cu	15,32	< 1	< 1	5,8	17,11	< 1	< 1	11
Fe	73,35	70,52	69,37	72,05	31,86	29,39	32,43	30,43
Mn	51,82	< 1	< 1	2,6	48,80	< 1	2,25	4,2
Ni	44,34	4,08	4,37	49,11	25,83	4,56	4,91	30,12
Pb	740,3	41,1	33,58	60,27	787,1	53,35	75,68	115
Zn	3,30	5,19	21,77	10,9	6,95	40,40	71,77	26,2

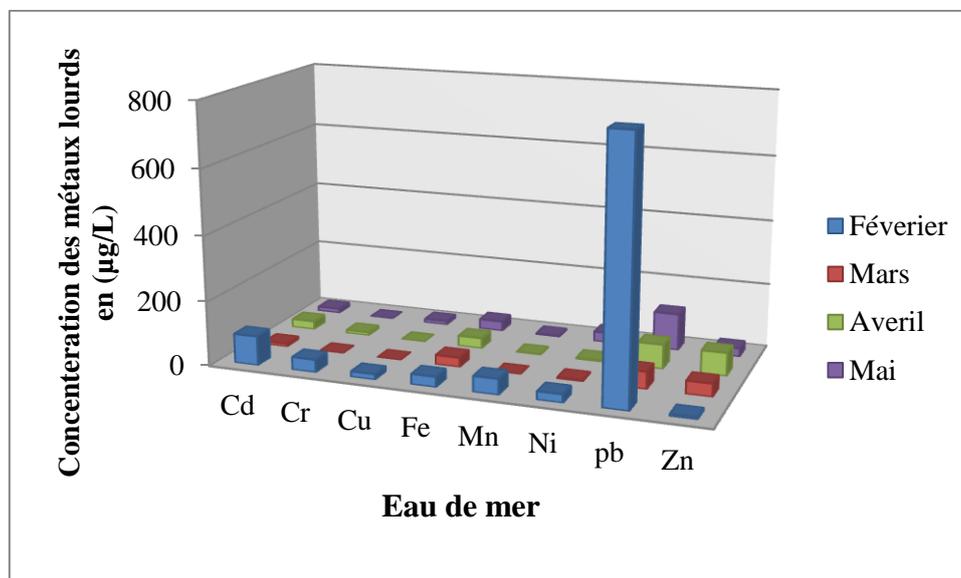


Figure III-40: Variation mensuelle de la teneur en métaux lourds dans l'eau de mer.

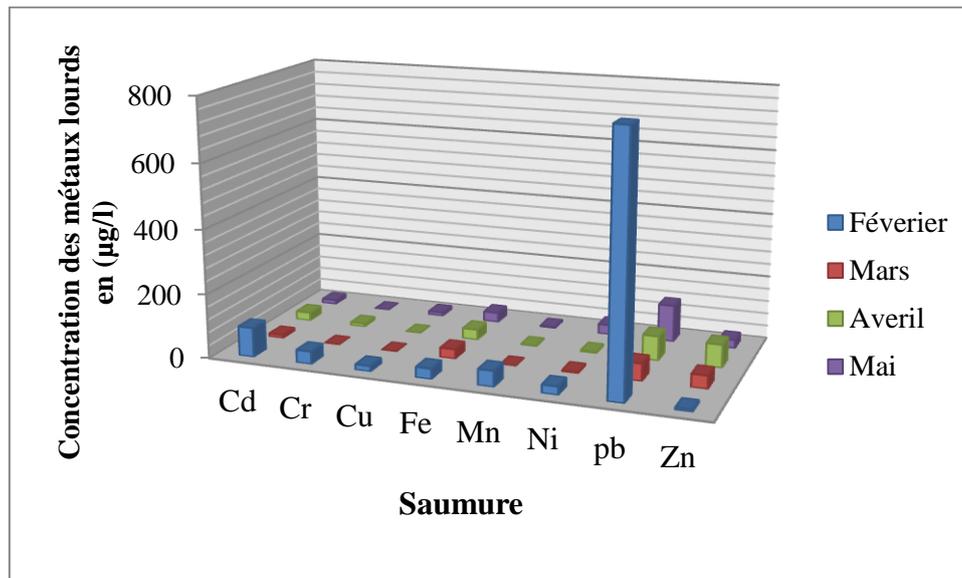


Figure III-41: Variation mensuelle de la teneur en métaux lourds dans la saumure.

L'analyse des métaux lourds par ICP-OES dans l'eau de mer et les rejets de saumure provenant de station de dessalement de Cap-Djinet indique la présence de plomb en grande concentration surtout en mois de février en dépassant la norme. Par contre, une concentration régulière pour les autres mois ne dépassant pas la norme.

Les éléments métalliques Cd, Cr, Cu, Ni, Mn et Zn ont des concentrations variables pendant la période estimée à quatre mois et inférieures à la norme.

Le Fe est présent dans l'eau de mer avec une teneur qui varie entre 69,37 et 73,35 µg/l tandis que dans la saumure, il est de l'ordre de 72,05 µg/l. Cette variation est due au passage du fer à travers les membranes qui retient une quantité minimale du fer.

La présence de ces métaux dans ces eaux pourrait être due soit au composé organométallique présent, ou aux produits de la corrosion du matériel d'équipement de la station. En l'occurrence, la majorité de matériaux utilisés dans le circuit de dessalement sont en alliage cupro-nickel (CuNi10Fe) et en titane.

III. Analyse minéralogique

III.1. Analyse par la diffraction des rayons X (DRX)

L'enregistrement des diffractogrammes intensité en fonction de l'angle 2 théta a été enregistré par un balayage du goniomètre « PAN Alytical EMPYREAN, $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$, V: 45 kV, I: 40 mA » entre 2 et 70 degré, nous a permis d'enregistrer le spectre caractéristique de l'échantillon analysé. Les figures III-43 et III-44 représentent respectivement le diffractogrammes de deux échantillons de la saumure et de l'eau de mer.

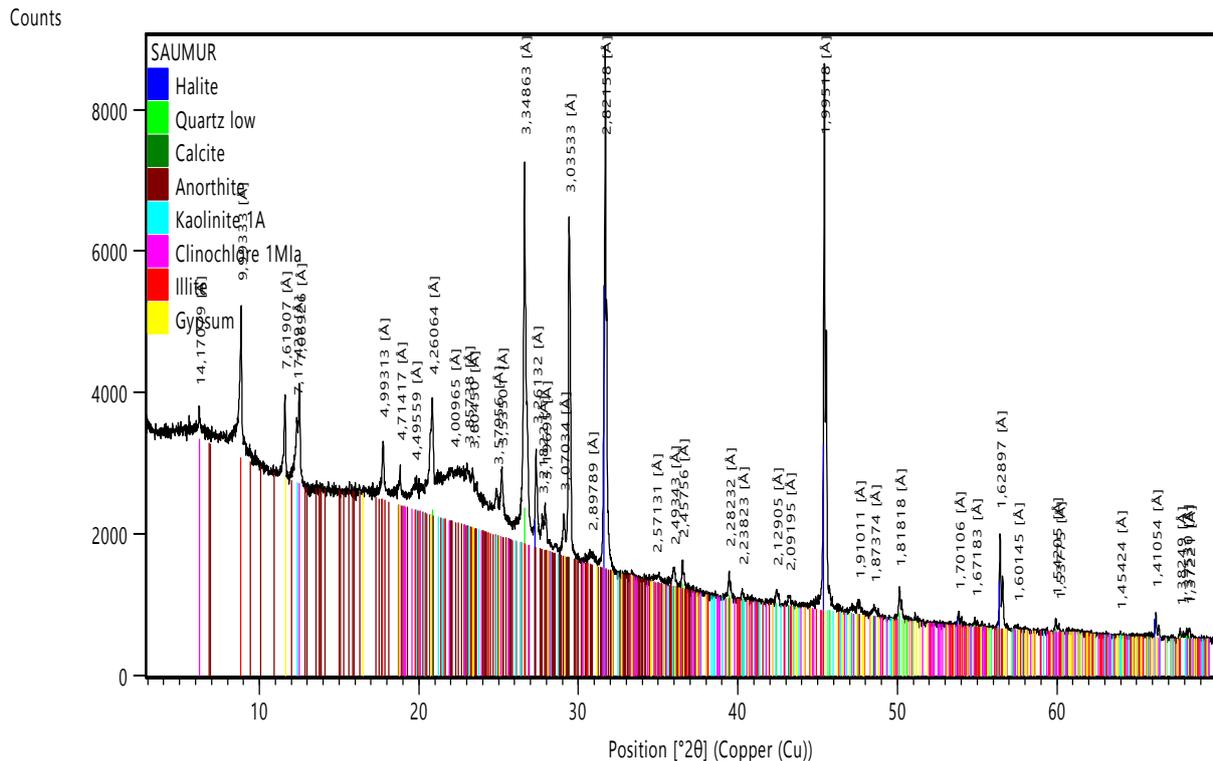


Figure III-42: Diffractogramme de la saumure.

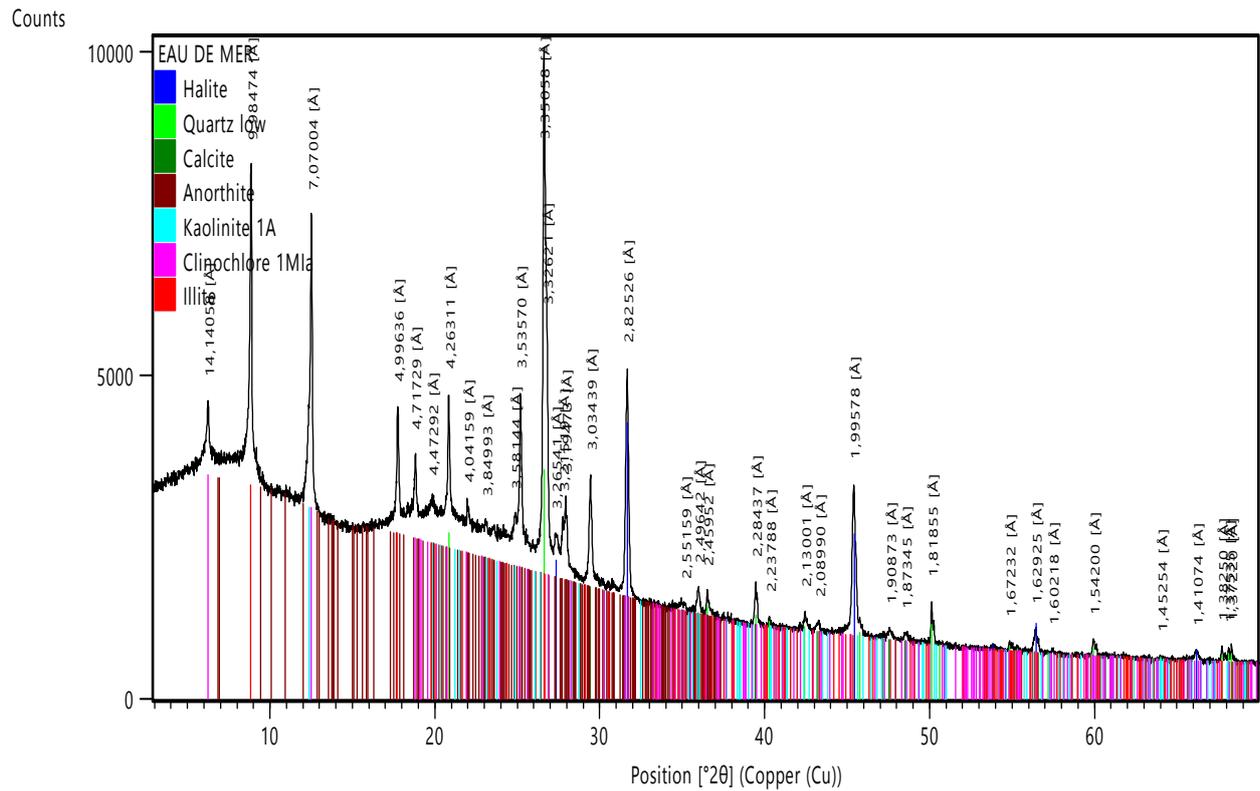


Figure III-43: Diffractogramme de l'eau de mer.

Les résultats de l'analyse par radiocristallographie des différents constituants sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III-13 : Résultats de l'analyse par radiocristallographie.

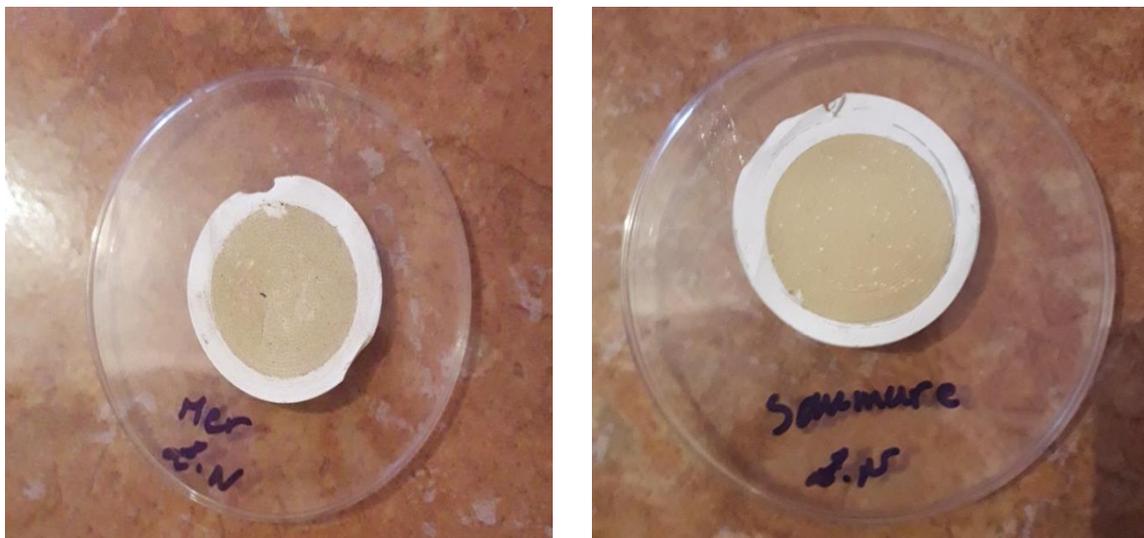
Saumure		EAU DE MER	
Quartz	SiO ₂	Quartz	SiO ₂
Halite	Na Cl	Halite	Na Cl
Gypse	CaSO ₄ .2H ₂ O	////	////
Anorthite	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite	CaAl ₂ Si ₂ O ₈
Calcite	CaCO ₃	Calcite	CaCO ₃
Argiles :		Argiles :	
- Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	- Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
- Illite	2K ₂ O.3MgO.Al ₂ O ₃ .24SiO ₂ .12H ₂ O	- Illite	2K ₂ O.3MgO.Al ₂ O ₃ .24SiO ₂ .12H ₂ O
- Clinocllore	Mg _{3.75} Fe ²⁺ _{1.25} Si ₃ Al ₂ O ₁₀ (OH) ₈	- Clinocllore	Mg _{3.75} Fe ²⁺ _{1.25} Si ₃ Al ₂ O ₁₀ (OH) ₈

D'après ces résultats, nous pouvons conclure que :

- Les deux diffractogrammes contiennent l'Halite « NaCl », le quartz « Si O₂ », l'Anorthite « Ca Al₂ Si₂ O₈ », la Calcite « CaCO₃ », et les Argiles : (Kaolinite « Al₂Si₂O₅(OH)₄ », Illite « 2 K₂O.3Mg O.Al₂O₃.24 SiO₂.12H₂O » et Clinochlore « Mg_{3.75} Fe²⁺_{1.25} Si₃ Al₂O₁₀ (OH)₈ ») sauf le Gypse « CaSO₄.2H₂O » présent uniquement dans la saumure.

III.2. Analyse par la fluorescence X (FX)

Les résultats de l'analyse chimique exprimés en pourcentage massique (%) des deux échantillons de dépôt sur filtre sont portés sur le tableau III-14.



Eau de mer après
filtration de 1L

Saumure après
filtration de 1L

Figure III-45 : dépôt de l'eau de mer et de rejet de la saumure.

Tableau III-14 : Composition chimique élémentaire exprimée en pourcentage massique (%) des deux échantillons de dépôts récupérés sur le filtre.

% élément chimique	Eau de Mer	Saumure
Na ₂ O	3,42	5,51
MgO	1,24	1,91
Al ₂ O ₃	5,92	6,53
SiO ₂	20,11	21,16
P ₂ O ₆	0,12	0,15
SO ₃	0,79	1,28
K ₂ O	0,95	0,99
CaO	2,23	3,23
TiO ₂	0,17	0,17
MnO	0,02	0,01
Fe ₂ O ₃	0,71	0,73
Cl	7,07	9,94
Cr ₂ O ₃	<0.001	0.002
CuO	<0.001	<0.001
ZnO	0,0065	0,0036
BaO	<0.001	<0.001
SrO	<0.001	<0.001
ZrO ₂	<0.001	<0.001
Rb ₂ O ₃	<0.001	<0.001
Br	0,0074	0,0200
Total	42,76	51,63

- A l'issue des résultats de l'analyse chimique, nous constatons que la composition chimique des deux échantillons « Eau de mer » et « Saumure » est très similaire et elle est constituée essentiellement de Silice (Si), de Chlorures (Cl⁻), d'Aluminium (Al), de Sodium (Na), de Calcium (Ca) et de Magnésium (Mg). Quant au reste des éléments chimique, ils sont en faible concentration ou à l'état de traces.

IV. Observation au microscope électronique à Balayage (MEB)

La morphologie et la topographie de surfaces des échantillons ont été caractérisées par la microscopie électronique à balayage (MEB) en mode électrons secondaire utilisant un microscope FEI Philips (quanta 650).

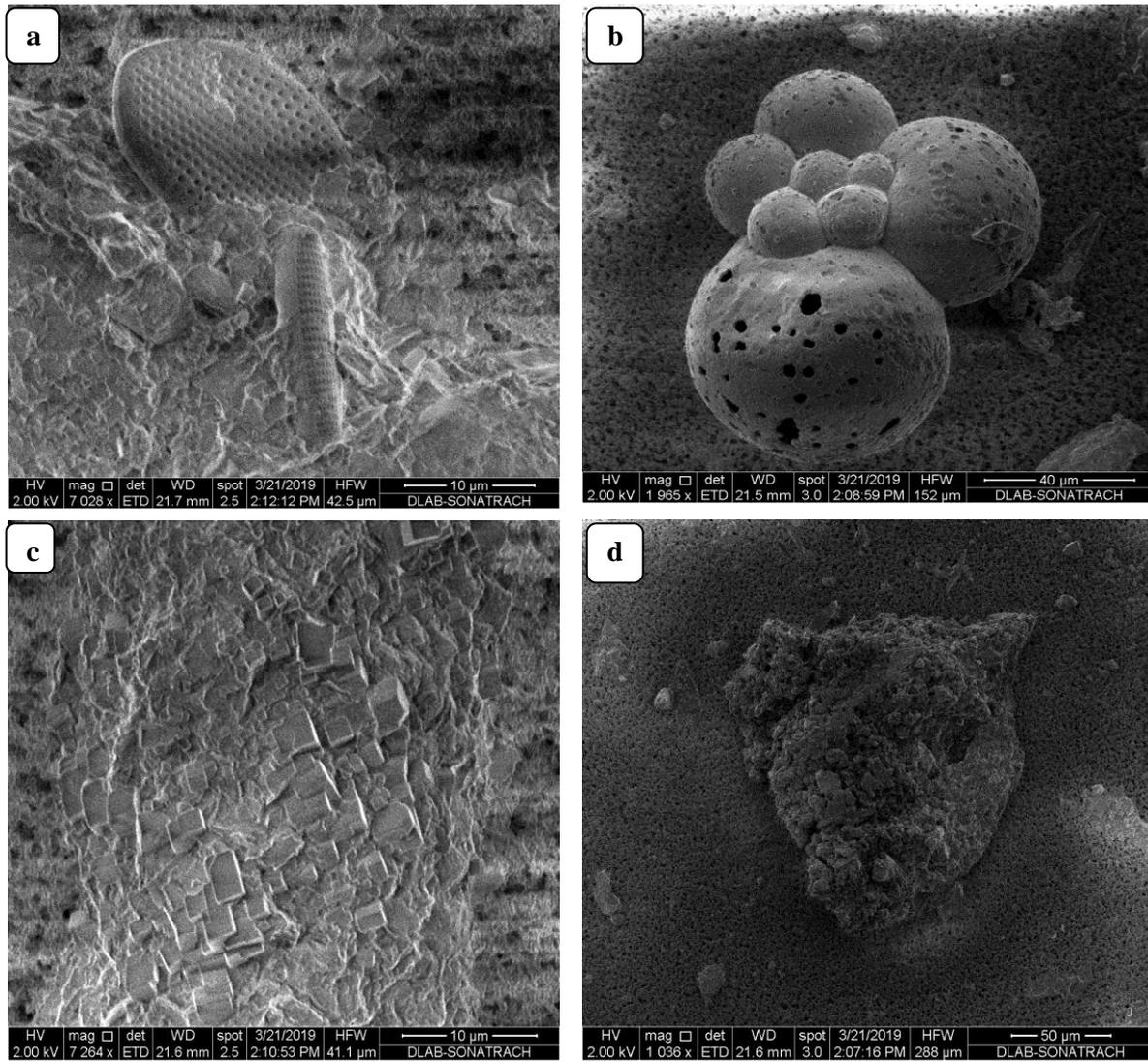
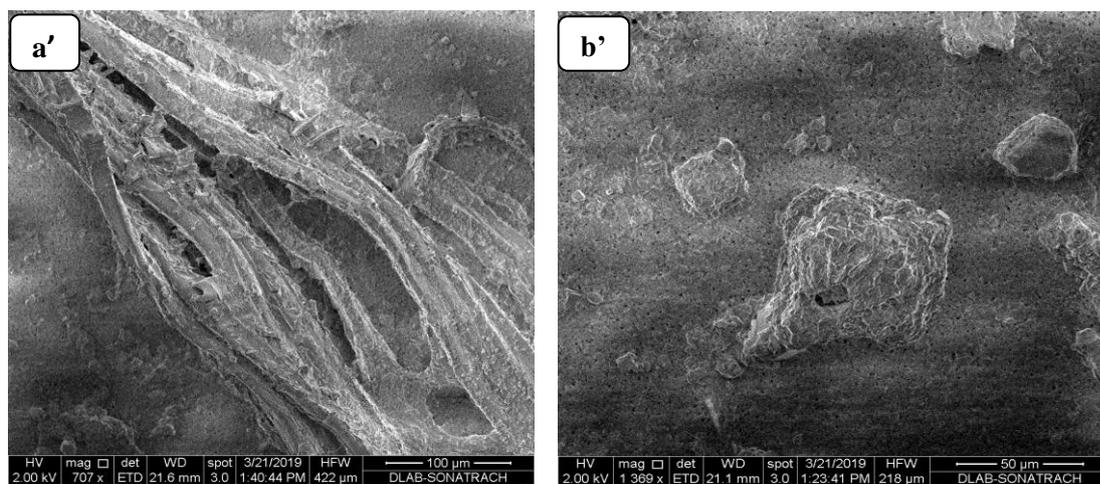


Figure III-46 : Micrographies en MEB de résidu de l'eau de mer.



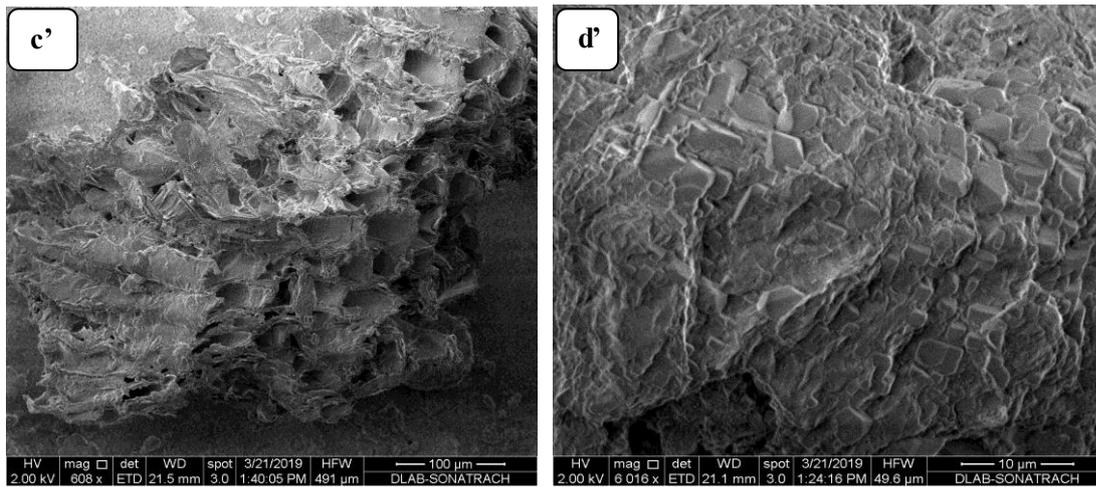


Figure III-46 : Micrographies en MEB de résidu de la saumure.

Les observations au MEB révèlent la présence d'agglomérats de cristaux cubiques relatifs à l'Halite images (c, d, b' et d') des deux figures III-45 et III-46. L'image (a) représente la bactérie appelée *Thalassiosira* spp, par contre celle de l'image (b) est due à la Foraminifères. Sachant que les deux bactéries vivent dans le milieu marin. En ce qui concerne, les images (b') et (c'), elles représentent des plantes détruites et frittées par l'effet de sel.

Conclusion

Le dessalement est un enjeu particulièrement important pour l'avenir des régions sujettes aux pénuries d'eau. C'est une méthode d'avenir pour pallier aux problèmes d'eau douce. Elle permet une utilisation et une gestion économe des ressources en eau et la mise en œuvre des moyens appropriés pour faciliter l'accès à l'eau potable.

Le procédé de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse a connu un grand développement et présente beaucoup d'avantages. Sur le plan environnemental, il fonctionne à basse température, ce qui prévient une pollution thermique.

Dans la station de dessalement, les étapes de prétraitement utilisées garantissent le bon entretien de l'équipement de la station, produisant une eau douce de bonne qualité.

Ces résultats montrent bien, l'intérêt de l'implantation de l'usine de dessalement-Boumerdes, située dans la ville de Cap-Djinet et nommée Union Temporaire des entreprises Opération et Maintenance (UTEOYM. C.DJ) est pour résoudre le problème de pénurie en eau potable de la ville de Boumerdes et même les villes limitrophes.

La saumure comparativement à l'eau de mer présente une salinité beaucoup plus élevée et elle est doublée par rapport à celle de l'eau de mer. Ce qui est l'inconvénient majeur du dessalement lorsque de tonnes de saumure sont rejetés quotidiennement dans la mer depuis la station de dessalement. Ces rejets hyper-salins de station effectuée à proximité du rivage risquent de contaminer la nappe phréatique et de causer la perte d'espèces végétales.

Les objectifs visés dans ce travail sont est la détection des métaux lourds dans les eaux de rejet de l'usine de dessalement de Cap-Djinet en comparant les résultats obtenus avec la norme Algérienne N° **06-141** relative au rejet dans l'environnement.

Les analyses physico-chimiques des paramètres mesurés pour une période de quatre mois de l'année en cours, il s'agit des mois Février, Mars, Avril et Mai, ont montré que la saumure possède une forte teneur en sels, confirmé par la valeur importante de la conductivité électrique (89,83 mS/cm).

L'analyse des métaux lourds par ICP-OES dans l'eau de mer et les rejets de saumure provenant de station de dessalement de Cap-Djinet indique la présence de plomb en

grande concentration surtout en mois de Février en dépassant la norme. Par contre, une concentration régulière pour les autres mois ne dépassant pas la norme.

Les éléments métalliques Cd, Cr, Cu, Ni, Mn et Zn ont des concentrations variables pendant la période estimée à quatre mois et inférieures à la norme.

Le Fe est présent dans l'eau de mer avec une teneur qui varie entre 69,37 et 73,35 µg/l tandis que dans la saumure, il est de l'ordre de 72,05 µg/l. Cette variation est due au passage du fer à travers les membranes qui retient une quantité minimale du fer.

La présence de ces métaux dans ces eaux pourrait être due soit au composé organométallique présent, ou aux produits de la corrosion du matériel d'équipement de la station. En l'occurrence, la majorité de matériaux utilisés dans le circuit de dessalement sont en alliage cupro-nickel (CuNi10Fe) et en titane.

L'analyse par DRX de la boue de saumure récupérée après séchage a révélé la présence de différentes formes cristallines qui sont respectivement l'Halite « NaCl », le quartz « Si O₂ », le Gypse « CaSO₄.2H₂O », l'Anorthite « Ca Al₂ Si₂ O₈ », la Calcite « CaCO₃ », et les Argiles : (Kaolinite « Al₂Si₂O₅(OH)₄ », Illite « 2 K₂O.3Mg O.Al₂O₃.24 SiO₂.12H₂O » et Clinochlore « Mg_{3.75} Fe²⁺_{1.25} Si₃ Al₂O₁₀ (OH)₈ ». Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la boue par la fluorescence X et par les observations au MEB qui révèlent la présence d'agglomérats de cristaux cubiques relatifs à l'Halite ainsi la présence de bactéries de types *Thalassiosira* spp et Foraminifères qui vivent dans le milieu marin.

A l'heure actuelle, le dessalement d'eau de mer à travers notre pays se fait par les mêmes procédures que celles de la station de Cap-Djinet. Il serait alors intéressant de souligner les recommandations suivantes :

- Restituer à l'eau de façon équilibrée les minéraux en phase de déminéralisation. Sachant qu'une eau faiblement minéralisée est plus corrosive pour la tuyauterie,
- Recourir à une eau de dessalement pour alimenter une région devra être pris avec la plus grande prudence et après une étude approfondie de l'apport total de minéraux dont bénéficie la population cible. L'idéal serait d'entreprendre des études épidémiologiques occasionnelles, en vue de mesurer les effets que peut avoir sur la santé,

- Les saumures doivent impérativement passer un contrôle exhaustif de toxicité qui tient compte des caractéristiques du système récepteur et prêter une attention particulière à la dilution du concentrât.

Références bibliographique

- [1] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP), Dessalement de mer dans les pays méditerranéens, Plan d'action pour la méditerranée, Réunion des Points Focaux du PAM Athènes, 11-14 septembre 2001.
- [2] BAKALOWICZ, M., Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée, Corse, 1999
- [3] HENRI, L., KAMEL, F., Dessalement de l'eau de mer et des saumâtres par Osmose Inverse, Middle East Desalination Research Center en collaboration avec L'université Saad Dahlab de Blida, Algérie, Janvier 2008.
- [4] LE CALVÉ, O., Propriétés Physiques du Milieu Marin, Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var, France, 40pages, mai 2002
- [5] HAMANI, A., Etude des performances du pilote d'électrodialyse dans la déminéralisation des eaux saumâtres, Mémoire de fin d'études, Ecole nationale supérieure de l'hydraulique Abraoui Abdelah, 100 pages, 2013
- [6] HERVÉ, M., Composition et Salinité de l'eau de mer, pp.1-8, mars 2014
- [7] MOULIN, B., Le kayak et la mer, édition le Canotier, 2004
- [8] HABET, L., Contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement, Mémoire de Magister, Université M'Hamed Bougara Boumerdes, 153pages, 2012
- [9] ATALLAH, A., Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station HONAIN. Mémoire de fin d'étude, Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 99 pages, 2014
- [10] ALPHA, S. M., Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDMSA dans la ville de Bamako, Thèse de doctorat en pharmacie, université de bamako, 2005
- [11] MONIQUE, H., Les eaux naturelles et les eaux de consommation, Saint Laurent, 1991
- [12] SAVARY P, Guide des analyses de la qualité de l'eau, territorial éditions, pp75-115, 2010
- [13] Potter G., (2013). Marin pollution .Ed 1 Bookboon.11p
- [14] Ramade F., (1998). Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Edt Ediscience international. Paris.485p
- [15] Ramade F., (2007). Introduction à l'écotoxicologie : fondamentale et applications. Edt Lavoisier TEC & DOC. Paris. 65p, 68p

- [16] Miquel G., (2001). Rapport sur les effets des métaux sur l'environnement et la santé. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. N°2979 Assemblée Nationale, N°261 Sénat
- [17] Baghdadi Mazini D., (2012). Pollution de l'environnement et santé humain : mesure, évaluation et impact des contaminations chimique et biologiques dans les produits de la pêche au niveau du littoral marocain. Thèse de doctorat. Université Abdelmalek Essaadi. Tanger
- [18] Olivier A., (2005). chimie et pollution des eaux souterraine. Ed Lavoisier. Paris. 219p
- [19] Chalghmi H., (2015). Etude de la pollution marine par les hydrocarbures et caractérisation de leurs effets biochimiques et moléculaires sur palourde ruditapes sp. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux. France
- [20] BLIEFERT C et PERRAUD R., (2001). Chimie de l'environnement. 2ème Édition, Ed. De Boeck Université, Bruxelles. pp370-381
- [21] Bourrelrier P-H et Berthelin J., (1998). Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion. Acadimie des sciences. Rapport N°42. Lavoisier. Paris. 140p, 179p
- [22] O.M.S, 1986 ; « Directives de qualité pour l'eau de boisson ». Vol. 3 : contrôle de la qualité de l'eau de boisson destinée à l'approvisionnement des petites collectivités. Genève
- [23] BAZIZ N, 2008 ; « Etude sur la qualité de l'eau potable et risques potentiels sur la santé cas de la ville de Batna, mémoire de magister », Université Colonel Elhadj Lakhdar Batna
- [24] www.acpoitiers.fr/math_sp/Pedago/CAPPHY/PHICHI.PDF, consulté le : 12/02/2019
- [25] MAUREL, A., Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2eme édition, TEC&doc.286p, 2006
- [26] ALOUANE H, 2010 ; « Evaluation des teneurs en nitrates dans les sols et dans les eaux captées et émergentes en zones à vocation agricole Impact des nitrates sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine ». Mémoire de magister, Université Mentouri Constantine
- [27] La commission locale de l'eau, 2004 ; « rendement de réseau d'eau potable, définition des termes utilisé ». Version juin 2004 (www.sage-nappes33.org).consulté le : 13/02/2019
- [28] DERRUAU M ,2001 ; « Les formes du relief du terrestre, Notions de géomorphologie ».Paris, Armand Colin, 1969, 8ème édition, ISBN 2200210140
- [29] KAROUT S, 2009 ; « Estimation des pertes thermiques dans des systèmes de dessalement par voie solaire » . Mémoire de Magister, Université Mentouri de Constantine

- [30] COULIBALY K, 2005 ; « Etude de la qualité physico- chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako ». Thèse de doctorat, , Université de Bamako
- [31] www.cap-science.net consulté le : 21/02/2019
- [32] DEGUMENT, (2005), Mémento technique de l'eau, Tome 1, France
- [34] SAMAKE H ,2002 ; « Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000ET 2001 ».Thèse pour obtenir le grade de Docteur en pharmacie, Université de Bamako, Bamako.
- [35] BECHAC.J, BOUTIN .P , 1998 ; « Traitements des eaux usées », paris, 130 p.
- [36] N. GHAMMIT. Caractérisation du pouvoir entartant de l'eau de mer, étude de l'effet anti-dépôt de l'acide 2-hydroxy, 4-methyl, benzyl phosphonique par chronométrimétrie impédance complexe et MEB. Thèse de magister, université m'hamed bougara boumerdes 2003.
- [37] VILAGINES R, 2003 ; « introduction à l'hydrologie », deuxième édition: LAVOISER, Médicales internationales et TEC & DOC.
- [38] LAGARDETTE. J, 2006 ; « l'eau potable et l'assainissement », édition : Johan et encyclopédie.
- [39] ONTARIO, 2006 ; « Document d'aide technique pour les normes, directives et objectives associés à la qualité de l'eau potable en Ontario » PIBS 4449f 01
- [40] ALPHA S.M, 2005 ; « Qualité organoleptique de l'eau de consommation produit et distribuer par l'EDMSA dans la ville de Bamako ». Doctorat en pharmacie, université de Bamako. Bamako.
- [41] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP), Impacts environnementaux du dessalement d'eau de mer, Posté par Jean-Luc Dothee, 17 février 2003.
- [42] http://www.encycloecolo.com/Dessalement_d%27eau_de_mer#L.27impact_environnemental du dessalement (encycloecolo.com. 2019)
- [43] AMICAL DES INGENIEURS DU GENIE RURAL MAROC (AIGR), Le dessalement des eaux : Une opportunité pour les régions en pénurie d'eau, séminaire international, Mai 2009.
- [44] <http://www.ecotoxicologie.fr/Dessalement.php> (ecotoxicologie.fr.2019)
- [45] HABET, L., Contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement, Mémoire de Magister, Université M'Hamed Bougara Boumerdes, 153pages, 2012.

[46] PLAN D'ACTION POUR LA MEDITERRANEE, Réunion des Coordonnateurs nationaux pour le MED POL, San Gemini, Italie, 27 - 30 mai 2003.

[47] <http://www.actu-environnement.com/ae/news/wwf/dessalement/rapport/2913.php4>
(WWF, 2007)

[48] LATTEMANN, S., Le dessalement est-il écologique, Dossier spécial - par Sabine Lattemann, mensuel n°421, page 62, juillet 2008

Annexe 1

Valeurs limites des paramètres de leurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels (2006)

24 Rabie El Aouel 1427 23 avril 2006		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 26		5
<p>Art. 11. — Les opérations de contrôle, telles que définies ci-dessus, donnent lieu à la rédaction d'un procès-verbal établi à cet effet.</p> <p>Le procès-verbal comporte :</p> <ul style="list-style-type: none"> — les noms, prénoms et qualité des personnes ayant effectué le contrôle, — la désignation du ou des générateurs du rejet d'effluents liquides industriels et de la nature de leur activité, — la date, l'heure, l'emplacement et les circonstances de l'examen des lieux et des mesures faites sur place, — les constatations relatives à l'aspect, la couleur, l'odeur du rejet, l'état apparent de la faune et de la flore à proximité du lieu de rejet et les résultats des mesures et des analyses opérées sur place, 				
<ul style="list-style-type: none"> — l'identification de chaque échantillon prélevé, accompagné de l'indication de l'emplacement, de l'heure et des circonstances de prélèvement, — le nom du ou des laboratoires destinataires de l'échantillon prélevé. 				
<p>Art. 12. — Les méthodes d'échantillonnage, de conservation et de manipulation des échantillons ainsi que les modalités d'analyses sont effectuées selon les normes algériennes en vigueur.</p>				
<p>Art. 13. — Toutes dispositions contraires au présent décret et notamment les dispositions du décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993, susvisé, sont abrogées.</p>				
<p>Art. 14. — Le présent décret sera publié au <i>Journal officiel</i> de la République algérienne démocratique et populaire.</p>				
<p>Fait à Alger, le 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006.</p> <p style="text-align: right;">Ahmed OUYAHIA.</p>				

ANNEXE I				
VALEURS LIMITES DES PARAMETRES DE REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS				
N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	"	30	40
5	Phosphore total	"	10	15
6	DCO	"	120	130
7	DBO5	"	35	40
8	Aluminium	"	3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables	"	0,005	0,01
10	Cyanures	"	0,1	0,15
11	Fluor et composés	"	15	20
12	Indice de phénols	"	0,3	0,5
13	Hydrocarbures totaux	"	10	15
14	Huiles et graisses	"	20	30
15	Cadmium	"	0,2	0,25
16	Cuivre total	"	0,5	1
17	Mercure total	"	0,01	0,05
18	Plomb total	"	0,5	0,75
19	Chrome Total	"	0,5	0,75
20	Etain total	"	2	2,5
21	Manganèse	"	1	1,5
22	Nickel total	"	0,5	0,75
23	Zinc total	"	3	5
24	Fer	"	3	5
25	Composés organiques chlorés	"	5	7

PH : Potentiel d'hydrogène
DBO₅ : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours
DCO : Demande chimique en oxygène
MES : Matière en suspension

Annexe N° 2

Mode opératoire de l'analyse des indicateurs de pollution

1) Pelage de mesure des différents indicateurs de pollution

	La gamme (mg/l)	Le blanc	Le temps	La longueur d'onde (nm)
Nitrate (NO₃⁻)	0 – 30	Eau d'ionisé	Min 1 – Max 5	400
Nitrite (NO₂⁻)	0 – 150	Echantillon	15	585
Sulfate (SO₄²⁻)	0 – 70	Echantillon	Min 1 – Max 5	450
Phosphate (PO₄³⁻)	0 – 2,5	Echantillon	2	890

2) Dosage des Nitrates par colorimétrie

REACTIFS	APPAREILLAGES
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gélules de NitraVer5 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cellules en verre de 25 ml de capacité ➤ Spectrophomètre U.V/visible de type DR 2010

- **MODE OPERATOIRE**

1. Mettre en marche le DR 2010 en appuyant sur la touche POWER ;
2. Introduire le numéro de programme mémorisé pour le dosage des nitrates fortes concentration. Presser : 355 READ/ENTER, l'affichage indique : REGLER nm à 500. Tourner alors le bouton de réglage des longueurs d'ondes jusqu'à ce l'affichage indique : 500nm. Presser alors : READ/ENTER, l'affichage indique : mg/l N-NO₃H ;
3. Prendre deux cellules en verre et remplir chacune d'elle de 25 ml d'échantillon ;
4. Verser le contenu d'une gélule de NitraVer5 dans un des flacons, celui-ci constituera l'échantillon préparé le second servira de blanc ;
5. Presser SHIFT TIMER puis agiter pendant une minute le flacon lorsque le minuteur sonne, presser à nouveau SHIFT TIMER, un temps de réaction de 5 minutes commence ;

6. Lorsque le minuteur sonne, l'affichage indique mg/l N-NO₃⁻H, placer alors le blanc dans le puits de mesure et fermer le capot ;
7. Presser : ZERO ; l'affichage indique : ATTENDRE puis : 0,0 mg/l N-NO₃⁻H.
8. Effectuer alors la lecture, pour cela retirer d'abord le bouchon de l'échantillon préparé, puis le placer dans le mesure et fermer le capot ;
9. Presser READ/ENTER : l'affichage indique : ATTENDRE puis le résultat en mg/l s'affiche.

3) Dosage des Nitrites par colorimétrie

REACTIFS	APPAREILLAGES
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gélules de Nitriver2 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cellules en verre de 25 ml de capacité ➤ Spectrophotomètre U.V/visible de type DR 2010.

• MODE OPERATOIRE

1. Mettre en marche le DR 2010 en appuyant sur la touche POWER ;
2. Introduire le numéro de programme mémorisé pour les nitrites fortes concentration. Presser : 373 READ/ENTER l'affichage indique : régler nm à 585 ;
3. Tourner le bouton de réglage des longueurs d'ondes jusqu'à ce que l'affichage indique : 585 nm ;
4. Presser : READ/ENTER l'affichage indique : mg/l NO₂⁻H ;
5. Prendre les deux cellules en verre et remplir chacune d'elle de 25 ml d'eau à analyser : ajouter le contenu d'une gélule de Nitriver2 dans l'une d'elle, boucher le flacon pour dissoudre le réactif. Cette cellule constituera l'échantillon préparé ;
6. Presser : SHIFT TIMER, une période de réaction de dix minutes commence ;
7. Placer l'échantillon exempt de réactif dans le puits de mesure. Lorsque le minuteur sonne ; l'affichage indique : mg/l NO₂⁻H ;
8. Presser : zéro ; l'affichage indique : attendre puis 0,0 mg/l NO₂⁻H ;
9. Retourner l'échantillon préparé deux fois, puis le placer dans le puits de mesure en ayant retiré auparavant le bouchon, fermer le capot ;
10. Presser : READI ENTER, l'affichage indique : ATTENDRE puis le résultat en mg/l de nitrites s'affiche.

4) Dosage des Sulfates colorimètre

REACTIFS	APPAREI
➤ Réactif Sulfaver4 en gélules	➤ Cellules en verre de 25 ml de capacité ➤ Spectrophotomètre U.V/visible de type DR 2010

• MODE OPERATOIRE

1. Mettre en marche le DR 2010 en appuyant sur la touche POWER ;
2. Introduire le numéro de programme mémorisé pour les sulfates (SO_4^{2-}). Presser : 680 READ/ENTER, l'affichage indique : REGLER nm à 450, tourner le bouton de réglage des longueurs d'ondes jusqu'à ce que l'affiche indique : 450 nm ;
3. Presser : READ/ENTER, l'affichage indique : mg/l SO_4^{2-} ;
4. Remplir une cellule de 25 ml avec d'eau à analyser. Ajouter le contenu d'une gélule de réactif Sulfaver4 ;
5. Presser alors SHIFT TIMER, une période de réaction de 5 minutes commence ;
6. Lorsque le minuteur sonne, l'affichage indique : mg/l SO_4^{2-} . Remplir un second flacon avec 25 ml d'eau à analyser (le blanc) et le placer dans les points de mesure puis fermer le capot ;
7. Presser : ZERO, l'affichage indique : ATTENDRE puis : 0,0 mg/l SO_4^{2-} ;
8. Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure après avoir retiré le bouchon, fermer le capot ;
9. Presser : READ/ENTER : l'affichage indique ATTENDRE puis le résultat en mg/l de sulfate (SO_4^{2-}) s'affiche.

4) Dosage des phosphates par colorimétrie

REACTIFS	APPAREILLAGES
➤ Gélules de phosver3	➤ Cellules en verre de 25 ml de capacité ➤ Spectrophotomètre U.V/visible type DR 2010

• **MODE OPERATOIRE**

1. Mettre en marche le DR 2010 en appuyant sur la touche POWER ;
2. Introduire le numéro de programme mémorisé pour les phosphates presser :490 READ/ENTER. l'affichage de longueur indique : REGLER mn à 890 ;
3. Tourner le bouton de réglage de longueur d'onde jusqu'à ce que l'affichage indique 890 nm ;
4. Presser READ/ENTER, l'affichage indique : mg/l PO_4^{3-} ;
5. Remplir un flacon colorimétrique avec 25 ml d'échantillon ;
6. Ajouter le contenu d'un gélule de réactif phosver3 au flacon (échantillon préparé), agiter pour mélanger ;
7. Lorsque le minuteur sonne, presser : SHIFT TIMER, une période de réaction de 2 min commence.
8. Remplir un autre flacon colorimétrique avec 25ml d'échantillon (le blanc), le placer dans le puits de mesure, fermer le capot ;
9. Lorsque le minuteur sonne, l'affichage indique : 0,0 mg/l PO_4^{3-} ;
10. Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure et fermer le capot ;
11. Presser READ/ENTER, l'affichage indique :ATTENDRE, puis le résultat en mg/l de PO_4^{3-} .

Annexe 3

- **Spectromètre à absorption atomique**

- **Appareillage**

- * Spectromètre à absorption atomique ZEENIT 700,
- * Des lampes à cathodes creuses.



Spectromètre d'adsorption atomique ZEENIT 700.

- **Mode opératoire**

- * On filtre l'échantillon, on analyse le filtrat,
- * On change la lampe pour chaque métal analysé (le choix de la lampe est lié à l'élément à analyser),
- * On introduit l'échantillon dans l'atomiseur à travers le nébuliseur,
- * On lit la valeur sur l'écran.
- * On dilue l'échantillon si l'absorbance est supérieure à 2 pour que la loi de Lambert-Beer soit valide.

- **Fluorescence X**

- **Condition d'analyse FX**

Spectromètre séquentiel (à dispersion de longueur d'onde) Brker-Axs :S8 TIGER.
Anode en rhodium.

Logiciel pour le traitement des données : Spectra plus.

La concentration d'un échantillon inconnu est déterminée par des courbes d'étalonnage qui sont tracées pour chaque élément après avoir fixé tous les paramètres

de mesure (KV-mA, cristal analyseur, collimateur, la longueur d'onde d'émission, le temps de mesure et le détecteur)

La perte au feu (PAF) est obtenue par calcination de l'échantillon dans un four à 1050°C pendant deux heures, elle exprime la fraction volatile de l'échantillon (humidité, CO₂, matière organique etc.).



Fluorescence X

- **Principe spectroscopie des rayons X (DRX)**

La spectroscopie des rayons X sur monocristal permet d'étudier les structures cristallines. La diffraction sur poudres est principalement utilisée pour l'identification de phases. C'est une méthode non destructive utilisée pour l'analyse qualitative et quantitative d'échantillons polycristallins. Cette technique est basée sur les interactions de la structure cristalline d'un échantillon avec des radiations de courte longueur d'onde.

- **Conditions d'analyse DRX**

Diffractomètre **PANalytical** : **Empyrean**, tube **radiogène** céramique à anticathode de cuivre, puissance du générateur à RX : 40 mA, 45 kV

Logiciel pour l'acquisition des données : **DataCollector** de **PANalytical**

Logiciel pour traitement des données : **HighScore Plus** de **PANalytical**

Longueur d'onde **CuK α** [Å] : 1,5418

Angle de départ [$^{\circ}$ 2Th.] : 2,0000

Angle final [$^{\circ}$ 2Th.] : 70,0000 roches totales

Taille du pas [$^{\circ}$ 2Th.] : 0,0170

Temps du pas [s] : 87,2256



Spectroscopie des rayons X (DRX)

Résumé

Les objectifs visés dans ce travail sont est la détection des métaux lourds dans les eaux de rejet de l'usine de dessalement de Cap-Djinet en comparant les résultats obtenus avec la norme Algérienne N° 06-141 relative au rejet dans l'environnement.

Les analyses physico-chimiques des paramètres mesurés pour une période de quatre mois de l'année en cours, il s'agit des mois Février, Mars, Avril et Mai, ont montré que la saumure possède une forte teneur en sels, confirmé par la valeur importante de la conductivité électrique (89,83 mS/cm). L'analyse des métaux lourds par ICP-OES dans l'eau de mer et les rejets de saumure provenant de station de dessalement de Cap-Djinet indique la présence de plomb en grande concentration surtout en mois de Février en dépassant la norme. Par contre, une concentration régulière pour les autres mois ne dépassant pas la norme. Les éléments métalliques Cd, Cr, Cu, Ni, Mn et Zn ont des concentrations variables pendant la période estimée à quatre mois et inférieures à la norme.

Mots clés : Dessalement, Eau de mer, Saumâtre, Analyse physico-chimiques, Métaux lourds, DRX, FX, MEB.

Abstract

The objectives of this work are the detection of heavy metals in the waste water of the desalination plant of Cap-Djinet by comparing the results obtained with the Algerian norm N° 06-141 relating to the rejection in the environment.

The physico-chemical analyzes of the parameters measured for a period of four months of the current year, February, March, April and May, have shown that the brine possesses a high salt content, confirmed by the high value of the electrical conductivity (89,83 mS/cm). The analysis of heavy discharges by ICP-OES in seawater and brine discharges from the Cap-Djinet desalination set indicates the presence of lead in high concentration, especially in February, exceeding the norm. On the other months not exceeding the norm. The metallic elements Cd, Cr, Cu, Ni, Mn and Zn have varying concentration during the estimated four.

Key words: Desalination, Sea water, the physico-chemical analyzes heavy metals, DRX, FX, and MEB.

المخلص

أظهرت التحليلات الفيزيائية والكيميائية للمعايير التي تم قياسها لمدة أربعة أشهر من العام الحالي، فيفري مارس، إبريل و مايو ان المحلول الملحي يحتوي على نسبة عالية من الملح والتي تؤكدها القيمة العالية للتوصيل الكهربائي 89,83 مس/سم . يشير تحليل المعادن الثقيلة من قبل ICP-OES في تصريف مياه البحر والمحلول الملحي من مجموعة تحلية رأس جنات الى وجود الرصاص في تركيز عالٍ، خاصتا في فيفري، وهو ما يتجاوز القاعدة. من ناحية أخرى، تركيز منتظم للأشهر الأخرى، لا يتجاوز القاعدة. العناصر المعدنية Cd, Cr, Cu, Ni, Zn لها تركيزات متفاوتة خلال الأشهر الأربعة .

الكلمات الرئيسية : تصفية مياه البحر، المعادن الثقيلة، الملوحة، المياه المالحة، التحليلات الفيزيائية والكيميائية