

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A. MIRA – BEJAIA  
Faculté de Technologie  
Département de Génie des Procédés



**Mémoire de fin d'études**

Présenté par

**MESSAOUDI Thiziri & RAMTANI Amina**

En vue de l'obtention du diplôme de

**Master**

En Génie Chimique

**Thème**

**Analyses physico-chimiques de l'eau de mer destinée pour le dessalement  
du COMPLEXE agroalimentaire CEVITAL-Bejaia**

Soutenu le 04/07/2023

**Devant le jury composé de :**

**Nom et Prénom**

<b>M<sup>me</sup> D.AMOURA</b>	<b>M.C. B</b>	Université de Bejaia	Présidente
<b>M<sup>r</sup> R. MAIZIA</b>	<b>M.C. B</b>	Université de Bejaia	Examineur
<b>M<sup>r</sup> R. KETRANE</b>	<b>M.C. A</b>	Université de Bejaia	Encadrant
<b>M<sup>r</sup> Y.MAZOUZ</b>	<b>Chef d'unité</b>	CEVITAL – Bejaia	Encadrant de stage

**Année Universitaire 2022/2023**

## ***Remerciements***

*Nous remercions tout d'abord Dieu le tout Puissant de nous avoir donné la force et la volonté pour mener à bien ce travail.*

*Nous exprimons nos vifs remerciements, notre profonde gratitude et notre reconnaissance à notre encadrant **Mr. KETRANE Rachid**, pour sa précieuse contribution tout au long de notre mémoire. Ses conseils éclairés, son expertise et son dévouement ont grandement enrichi notre expérience de recherche et ont joué un rôle essentiel dans notre réussite.*

*Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à **Mr. MAZOUZ Youcef**, notre encadrant au sein de CEVITAL, pour sa disponibilité et le temps précieux qu'il nous a offert tout au long de notre stage.*

*C'est avec un grand plaisir que nous remercions **Mme. AMOURA Damia** pour avoir accepté de présider le jury et **Mr. MAIZIA Radouane** maître de conférences classe (B) à l'université de Bejaia qui a bien voulu examiner ce mémoire.*

*Nous adressons également à tous nos enseignants durant nos cursus universitaires, pour leurs disponibilités et leurs précieux conseils.*

*Enfin à tous ceux qui nous ont soutenu durant ce travail directement ou indirectement, par leur amitié et leur sympathie, trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.*

# Dédicace

Je dédie ce mémoire :

**A Mes Très chers Parents,**

Pour l'amour qu'ils m'ont toujours donné, leurs encouragements et toute l'aide qu'ils m'ont apportée durant mes études.

Puisse Dieu leur accorder santé, bonheur, prospérité et longue vie afin que je puisse un jour combler de joie leurs vieux jours.

**A Mes Frères,**

SOFIANE et MASSINISSA

**A Ma Chère Sœur KAHINA et Son Mari SALIM,**

Pour ses soutiens moraux et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

**A Mon Neveu et Ma Nièce,**

ISHAK & HOUDA

**A Ma Chère Binôme Mina,**

Pour son entente et sa sympathie.

**A Mes chères Amies,**

Pour leur aides et supports dans les moments difficiles.

**A Toute Ma famille.**

Thiziri

## *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail avant tout à la mémoire de *mon très cher père* qui nous a quitté subitement en silence, mais que je suis toujours envahie par sa présence dans mon cœur.

« Que Dieu le tout puissant lui accorde sa sainte miséricorde et l'accueille dans son vaste Paradis ».

*À ma très chère maman,*

Qui n'a pas cessée de m'encourager et prier pour moi et qui représente pour moi la source d'amour et de tendresse.

*À mes deux grands frères,*

*LAMINE* qui est malgré loin de nous mais notre lien fraternel reste inébranlable.

*ABDERREZAK* qui fait de son mieux pour combler le vide laissé par notre cher père.

*À mes deux belles sœurs,*

*SIHEM* et *FERIEL* qui ont été comme des sœurs pour moi.

*À ma nièce et mes deux neveux,*

*FATIMA.Z, WALID et BRAHIM*

À toute *ma famille* sans exception.

À mon *cher binôme THIZIRI,*

Pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

Je dédie aussi à *tous mes professeurs,*

Qui nous a prodigués de précieux conseils pour réussir notre parcours et consolider notre formation. Je les remercie pour leurs encouragements et leur disponibilité.

Ainsi qu'à *tous mes amies,*

Pour tout ce que nous avons partagé, échangé ensemble durant ces années.

*Amína*

## Liste des abréviations

---

### Liste des abréviations

#### A

**ADE** : Algérienne Des Eaux.

**AOC** : Assimilable Organic Carbon.

**ASTM** : American Society for testing and materials.

#### B

**BFR** : Biofilm Formation Rate.

#### C

**C** : Conductivité.

**COD** : Chemical Oxygen Demand.

#### D

**DBO** : Demande Biologique en Oxygène.

**DPD** : Diéthyl-p-PhénylèneDiamine.

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène.

#### E

**EDTA** : Ethylène Diamine Tétra Acétique.

#### L

**LEM** : Laboratoire Etude Maritime.

#### M

**MED** : Multi Effect Distillation.

**MES** : Matières En Suspension.

**MFI** : Modified Fouling Index.

**min** : minute.

**MO** : Matières Organiques.

**MSF** : Multi Stage FLASH.

#### N

**NET** : Noir Eriochrome T.

---

## Liste des abréviations

---

**NTU** : Nephelometric Turbidity Unit.

### O

**OI** : Osmose Inverse.

### P

**pH** : Potentiel d'Hydrogène.

### S

**S** : Salinité.

**SDI** : Silt Density Index.

**SED** : Simple Effect Distillation.

**SWC** : Sea Water Composite.

### T

**TA** : Titre Alcalimétrique.

**TAC** : Titre Alcalimétrique Complet.

**TC** : Taux de Convention.

**TDS** : Total des Solides Dissous.

**TH** : Titre hydrométrique total.

**TOC** : Total Organic Carbon.

**TOD** : Teneur en Oxygène Dissous.

**TSS** : Total des Solides en Suspensions.

### U

**UV** : Ultra-Violet.

### V

**VCD** : Vapor Compression Distillation.

---

## Liste des figures

---

### Liste des figures

#### Présentation de l'entreprise de CEVITAL

<b>Figure 1 :</b> Situation géographique du complexe de CEVITAL.....	3
<b>Figure 2 :</b> Cycle de l'eau dans le complexe agro-alimentaire CEVITAL.....	5

#### CHAPITRE I

<b>Figure I.1 :</b> Principaux composants de l'eau de mer .....	7
<b>Figure I.2 :</b> Schéma général d'une installation de dessalement .....	14
<b>Figure I.3 :</b> Les différents procédés de dessalement .....	15
<b>Figure I.4 :</b> Classification des procédés membranaires selon la taille de séparation .....	17
<b>Figure I.5 :</b> Osmose et osmose inverse .....	18
<b>Figure I.6 :</b> Schéma de l'installation d'une unité osmose inverse .....	19
<b>Figure I.7 :</b> Principe de fonctionnement de la filtration frontale .....	22
<b>Figure I.8 :</b> Principe de fonctionnement de la filtration tangentielle .....	23
<b>Figure I.9 :</b> Performances des membranes SWC .....	31
<b>Figure I.10 :</b> Performance Membrane HYDRANAUTICS SWC5.....	32
<b>Figure I.11 :</b> Performance membrane LG SW 440 R G2 .....	33

#### CHAPITRE II

<b>Figure II.1 :</b> Localisation des stations de prélèvements d'eau et des sédiments.....	34
<b>Figure II.2 :</b> Photos de l'échantillonnage effectué par les techniciens LEM.....	35
<b>Figure II.3 :</b> Fluxogramme de l'analyse de titre hydrométrique (TH).....	37
<b>Figure II.4 :</b> Fluxogramme de l'analyse du titre alcalimétrique (TA) .....	39
<b>Figure II.5 :</b> Fluxogramme de l'analyse du titre alcalimétrique complet (TAC).....	40
<b>Figure II.6 :</b> Fluxogramme de l'analyse des chlorures (Cl <sup>-</sup> ).....	41

#### CHAPITRE III

<b>Figure III.1 :</b> Mesure in situ de la Température dans la zone d'étude.....	46
----------------------------------------------------------------------------------	----

---

## Liste des figures

---

<b>Figure III.2</b> : Mesure in situ de Potentiel Hydrogène dans la zone d'étude .....	.47
<b>Figure III.3</b> : Mesure in situ de la Salinité dans la zone d'étude .....	.48
<b>Figure III.4</b> : Mesure in situ de l'Oxygène Dissous dans la zone d'étude.....	.48
<b>Figure III.5</b> : Mesure in situ de la Conductivité dans la matrice eau de mer.....	.49
<b>Figure III.6</b> : Mesure in situ de la Turbidité dans la zone d'étude .....	.50
<b>Figure III.7</b> : Teneurs en éléments minéraux (Ca, K, Mg, Na, Cl, SO <sub>4</sub> , B, F, Sr, Ba) dans la matrice eau de mer .....	.51
<b>Figure III.8</b> : Teneurs en sels nutritifs dans la matrice eau de mer.....	.54
<b>Figure III.9</b> : Teneurs en dioxyde de carbone, des carbonates, des bicarbonates et de la dureté en tant que CaCO <sub>3</sub> dans la matrice eau de mer .....	.56
<b>Figure III.10</b> : Teneurs en métaux lourds (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, Hg) dans la matrice sédiments marins .....	.57
<b>Figure III.11</b> : Teneurs en matière organique dans la matrice eau de mer .....	.58
<b>Figure III.12</b> : Teneurs en total des solides dissous (TDS) dans la matrice eau de mer.....	.59
<b>Figure III.13</b> : Teneurs en total des solides en suspension (TSS) dans la matrice eau de mer.....	.59
<b>Figure III.14</b> : Demande biologique en oxygène (DBO <sub>5</sub> ) dans la matrice eau de mer.....	.60
<b>Figure III.15</b> : Demande chimique en oxygène (DCO) dans la matrice eau de mer .....	.60

---

## Liste des tableaux

---

### Liste des tableaux

#### CHAPITRE I

<b>Tableau I.1.:</b> Salinité des eaux de mer .....	7
<b>Tableau I.2:</b> Eléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35 g/l.....	8
<b>Tableau I.3:</b> Concentrations des différents éléments mineurs .....	8
<b>Tableau I.4:</b> Compositions moyenne de la mer méditerranée .....	9
<b>Tableau I.5:</b> Classification des eaux d'après leurs pH.....	12
<b>Tableau I.6:</b> Expression de la minéralisation des eaux en fonction de la conductivité électrique .....	13
<b>Tableau I.7:</b> Prétraitement approprié pour chaque colmatage .....	20
<b>Tableau I.8:</b> Différents modules d'osmose inverse .....	24
<b>Tableau I.9:</b> Avantages et inconvénients des membranes organiques suivant leur composition .....	26
<b>Tableau I.10:</b> Matériaux constitutifs de membranes et tenue à la température et au pH.....	27
<b>Tableau I.11:</b> Valeurs guide de conception .....	29
<b>Tableau I.12:</b> Recommandations de la qualité de l'eau d'alimentation.....	30

#### CHAPITRE II

<b>Tableau II.1:</b> Classification de l'eau selon la valeur du TH .....	38
<b>Tableau II.2:</b> Détermination de $\text{CO}_3^{2-}$ et $\text{HCO}_3^-$ à partir du TA et TAC .....	40

#### CHAPITRE III

<b>Tableau III.1:</b> valeurs seuils selon la circulaire n°004/MDRTE/91 émanant du MDRTE pour l'immersion des déblais de dragage des enceintes portuaires en mer ouverte .....	57
<b>Tableau III.2:</b> Comparaison des résultats des paramètres physico-chimiques.....	61
<b>Tableau III.3:</b> Comparaison des valeurs moyennes des métaux lourds étudiés aux valeurs limites .....	62

---

# **Sommaire**

## SOMMAIRE

---

## SOMMAIRE

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Présentation de l'entreprise de CEVITAL .....</b>	<b>2</b>
1.Présentation de CEVITAL .....	2
2.Étapes d'évolution de l'entreprise.....	2
3.Situation géographique.....	3
4.Principales activités du complexe agroalimentaire CEVITAL- Bejaia .....	4
5.Production d'eau de process au niveau du complexe agroalimentaire CEVITAL .....	4
6.Cycle de l'eau dans le complexe agro-alimentaire CEVITAL.....	4
<b>Chapitre I : Etude bibliographique. ....</b>	<b>6</b>
<b>I.1.Généralités sur les eaux.....</b>	<b>6</b>
I.1.1. Définition de l'eau .....	6
I.1.2. Différents types de source naturelle de l'eau .....	6
I.1.2.1. Eaux souterraines .....	6
I.1.2.2. Eaux de surface .....	6
I.1.2.3. Eaux de mer .....	7
I.1.3. Composition chimique de l'eau de mer .....	7
I.1.3.1. Composition en sels minéraux .....	7
I.1.3.2. Autres éléments minéraux.....	8
I.1.3.3. Composants minéraux présents dans l'eau de la mer Méditerranée .....	8
I.1.3.4. Composition en gaz dissous .....	9
I.1.3.5. Matières organiques .....	9
I.1.3.6. Oxygène dissous .....	9
I.1.4. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer.....	10
I.1.4.1. Propriétés physiques .....	10
I.1.4.1.1. Température .....	10
I.1.4.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH).....	10
I.1.4.1.3. Densité .....	11
I.1.4.1.4. Conductivité électrique .....	11
I.1.4.1.5. Turbidité.....	11
I.1.4.2. Propriétés chimiques .....	11
I.1.4.2.1. Salinité .....	11

---

## SOMMAIRE

I.1.4.2.2. Alcalinité.....	11
I.1.5. Propriétés de l'eau douce .....	12
I.1.5.1. Propriétés organoleptiques.....	12
I.1.5.1.1. Turbidité.....	12
I.1.5.1.2. Couleur.....	12
I.1.5.1.3. Gout et saveur .....	12
I.1.6. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau douce .....	12
I.1.6.1. Propriétés physiques .....	12
I.1.6.1.1. Potentiel hydrogène (pH).....	12
I.1.6.1.2. Conductivité électrique .....	12
I.1.6.1.3. Température .....	13
I.1.6.1.4. Matières en suspension (MES) .....	13
I.1.6.2. Propriétés chimiques.....	13
I.1.6.2.1. Dureté.....	13
I.1.6.2.2. Alcalinité.....	13
<b>I.2. Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse .....</b>	<b>14</b>
I.2.1. Définition du dessalement.....	14
I.2.2. Schéma générale d'une installation de dessalement .....	14
I.2.3. Principales technologies de dessalement de l'eau de mer.....	14
I.2.3.1. Procédés thermiques .....	15
I.2.3.1.1. Congélation .....	15
I.2.3.1.2. Distillation.....	15
I.2.3.1.2.1. Distillation à simple effets .....	15
I.2.3.1.2.2. Distillation à multiples effets .....	16
I.2.3.1.2.3. Distillation par détentes successives.....	16
I.2.3.1.2.4. Distillation à compression de vapeur.....	16
I.2.3.2. Procédés membranaires.....	16
I.2.3.2.1. Electrodialyse.....	17
I.2.3.2.2. Osmose inverse .....	17
I.2.3.2.2.1. Principe d'osmose .....	17
I.2.3.2.2.2. Principe d'osmose inverse .....	18
I.2.3.2.2.3. Pression osmotique .....	18
I.2.4. Installation de dessalement par osmose inverse.....	19

## SOMMAIRE

I.2.4.1. Prise d'eau de mer .....	19
I.2.4.2. Poste de prétraitement .....	19
I.2.4.3. Système d'osmose inverse .....	20
I.2.4.4. Poste traitement.....	20
I.2.5. Avantages et inconvénients du dessalement par l'osmose inverse .....	20
I.2.6. Problèmes techniques rencontrés en dessalement.....	21
I.2.6.1. Entartrage .....	21
I.2.6.2. Corrosion.....	21
I.2.4.3. Colmatage .....	21
<b>I.3. Critères d'analyse d'eau de mer pour le dessalement .....</b>	<b>22</b>
I.3.1. Généralité sur les membranes .....	22
I.3.1.1. Principe de fonctionnement .....	22
I.3.1.1.1. Filtration frontale .....	22
I.3.1.1.2. Filtration tangentielle .....	22
I.3.1.2. Caractéristiques générales d'une membrane.....	23
I.3.1.2.1. Taux de production .....	23
I.3.1.2.2. Taux de conversion .....	23
I.3.1.2.3. Taux de rejection.....	24
I.3.1.3. Configuration des membranes .....	24
I.3.1.4. Types de membranes d'osmose inverse.....	25
I.3.1.4.1. Membranes organiques .....	25
I.3.1.4.2. Membranes minérales ou inorganiques.....	26
I.3.1.4.3. Membranes composites.....	27
I.3.1.4.4. Membranes à charge électrique.....	27
I.3.1.5. Durée de vie de la membrane.....	27
I.3.2. Estimation du potentiel de colmatage .....	28
I.3.2.1. Silt Density Index (SDI) .....	28
I.3.2.2. Modified Fouling Index (MFI) .....	28
I.3.3. Normes de qualité .....	29
I.3.4. Choix des membranes .....	29
I.3.4.1. Membrane FILMTEC .....	29
I.3.4.1.1. Recommandations pour la qualité de l'eau d'alimentation.....	29
I.3.4.2. Membrane HYDRANAUTICS.....	30

## SOMMAIRE

I.3.4.2.1. Caractéristiques de la membrane d'eau de mer HYDRANAUTICS .....	30
I.3.4.2.2. Avantages.....	30
I.3.4.2.3. Performances des membranes d'eau de mer HYDRANAUTIC.....	31
I.3.4.2.4. Exemple Model Hydranautics SWC5 .....	31
I.3.4.3. Membranes d'osmose inverse LG CHEM eau de mer .....	32
I.3.4.3.1. Avantages des membranes d'osmose inverse LG eau de mer.....	32
I.3.4.3.2. Exemple Model LG CHEM .....	33
I.3.5. Conclusion .....	33
<b>Chapitre II : Mise en œuvre expérimentale .....</b>	<b>34</b>
II.1. Localisation des stations de prélèvements.....	34
II.2. Mesure in situ .....	35
II.3. Méthodes Conductimétriques .....	35
II.3.1. Potentiel d'hydrogène (pH) .....	35
II.3.1.1. Principe.....	35
II.3.1.2. Matériels .....	35
II.3.1.3. Mode opératoire.....	36
II.3.2. Conductivité.....	36
II.3.2.1. Principe .....	36
II.3.2.2. Matériels .....	36
II.3.2.3. Mode opératoire.....	36
II.4. Méthodes titrimétriques .....	36
II.4.1. Titre hydrométrique total (dureté total) .....	36
II.4.1.1. Principe.....	36
II.4.1.2. Matériels .....	36
II.4.1.3. Mode opératoire.....	37
II.4.2. Détermination du titre hydrométrique calcique (TH Ca <sup>++</sup> ) .....	37
II.4.2.1. Principe.....	37
II.4.2.2. Matériels .....	37
II.4.2.3. Mode opératoire.....	38
II.4.3. Titre Alcalimétrique (TA) .....	38
II.4.3.1. Principe.....	38
II.4.3.2. Matériels .....	38
II.4.3.3. Mode opératoire.....	38

## SOMMAIRE

---

II.4.4. Titre Alcalimétrique Complet (TAC).....	39
II.4.4.1. Principe .....	39
II.4.4.2. Matériels .....	39
II.4.4.3. Mode opératoire.....	39
II.4.5. Chlorures .....	40
II.4.5.1. Principe .....	40
II.4.5.2. Matériels .....	40
II.4.5.3. Mode opératoire.....	41
II.5. Analyse spectrophotométrique UV- Visible.....	41
II.5.1. Orthophosphates .....	42
II.5.1.1. Définition.....	42
II.5.1.2. Principe .....	42
II.5.1.3. Matériels .....	42
II.5.1.4. Mode opératoire.....	42
II.5.2. Phosphate total.....	42
II.5.2.1. Principe .....	42
II.5.2.2. Matériels .....	42
II.5.2.3. Mode opératoire.....	42
II.5.3. Le Fer.....	43
II.5.3.1. Principe .....	43
II.5.3.2. Matériels .....	43
II.5.3.3. Mode opératoire.....	43
II.5.4. Silice .....	43
II.5.4.1. Principe .....	43
II.5.4.2. Matériels .....	43
II.5.4.3. Mode opératoire.....	43
II.5.5. Chlore libre .....	44
II.5.5.1. Principe .....	44
II.5.5.2. Matériels .....	44
II.5.5.3. Mode opératoire.....	44
II.5.6. Manganèse .....	44
II.5.6.1. Principe .....	44
II.5.6.2. Matériels .....	44

---

## SOMMAIRE

II.5.6.3. Mode opératoire.....	45
II.5.7. Aluminium .....	45
II.5.7.1 Principe.....	45
II.5.7.2. Matériels .....	45
II.5.7.3. Mode opératoire.....	45
<b>Chapitre III : Résultats et discussions.....</b>	<b>46</b>
III.1. Paramètres physico-chimiques .....	46
III.1.1. Température .....	46
III.1.2. Potentiel Hydrogène (pH) .....	46
III.1.3. Salinité.....	47
III.1.4. Oxygène Dissous.....	48
III.1.5. Conductivité .....	49
III.1.6. Turbidité .....	49
III.2. Matières minérales .....	50
III.2.1. Eléments majeurs .....	50
III.2.2. Autres éléments minéraux (sels nutritifs) .....	53
III.3. Matières calco-carboniques.....	55
III.4. Métaux lourds (Cu, Ni, Zn, Pb, Cd, Hg) .....	56
III.5. Matières organiques .....	58
III.6. Paramètres biologiques .....	58
III.6.1. Total des solides dissous (TDS) .....	58
III.6.2. Total des solides en suspension (TSS) .....	59
III.6.3. Demande biologique en oxygène (DBO <sub>5</sub> ) et demande chimique en oxygène (DCO).....	60
III.7. Synthèse .....	61
III.7.1. Paramètres physico-chimiques .....	61
III.7.2. Eléments minéraux .....	62
III.7.3. Métaux lourds.....	62
III.7.4. Matières organiques .....	63
III.7.5. Paramètres biologiques .....	63
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>64</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>66</b>

# **Introduction générale**

### Introduction générale

A l'heure actuelle et à l'échelle mondiale, on assiste à une intensification des activités industrielles et agricoles ainsi qu'à une augmentation rapide de la population et la croissance du niveau de vie.

L'industrie agroalimentaire est l'une des grandes consommatrices d'eau et cette dernière peut avoir plusieurs utilisations possibles : lavage, process....

Le dessalement existe depuis plusieurs décennies et les technologies de dessalement se sont considérablement développée au fil des ans et continue d'évoluer.

Le Complexe agroalimentaire CEVITAL de Bejaia est confronté à un manque important d'eau pour alimenter sa nouvelle usine de trituration de graines oléagineuses.

Le procédé de trituration permet d'obtenir une huile brute qui sera par la suite raffinée en vue de produire de l'huile de table destinée à la consommation.

Pour faire face à ce défi, l'entreprise se tourne vers le dessalement de l'eau de mer comme solution afin de satisfaire ses besoins en eau. Le dessalement, bien que coûteux et énergivore, permettrait à Cevital d'obtenir de l'eau douce utilisable lorsque les autres sources d'eau sont insuffisantes. Cette mesure s'inscrit dans les efforts de l'entreprise pour trouver des solutions durables et à long terme pour gérer ses besoins en eau dans le contexte de la pénurie d'eau actuelle.

L'objectif de ce travail est d'analyser l'eau de mer à proximité du port de Bejaia afin de déterminer quels sont les paramètres qui nécessitent un prétraitement pour le dessalement par osmose inverse. Le travail présenté dans ce mémoire s'articule autour de deux parties : une partie théorique et une partie pratique. La première partie est consacrée à la revue bibliographique, structurée autour d'un chapitre subdivisé en trois sections majeures. Dans la première section, sont présentés les différents types d'eau, plus particulièrement l'eau de mer ainsi que les paramètres physico-chimiques. Dans la seconde, sont décrits les différents procédés de dessalement de l'eau de mer avec un intérêt particulier pour l'osmose inverse. La troisième section, est consacré aux membranes ainsi que les valeurs admissibles des eaux à traiter.

La deuxième partie contient deux chapitres. Ainsi, le deuxième chapitre porte sur le matériel et méthodes. Quant au troisième chapitre, il sera consacré à la discussion des résultats obtenus il sera enfin suivi par une conclusion générale.

# **Présentation de l'entreprise de CEVITAL**

## **Présentation de l'entreprise de CEVITAL**

### **1. Présentation CEVITAL**

CEVITAL est un Groupe familial qui s'est bâti sur une histoire, un parcours et des valeurs qui ont fait sa réussite et sa renommée.

Première entreprise privée algérienne à avoir investi dans des secteurs d'activités diversifiés, elle a traversé d'importantes étapes historiques pour atteindre sa taille et sa notoriété actuelle.

Industrie agroalimentaire et grande distribution, électronique et électroménager, sidérurgie, industrie du verre plat, construction industrielle, automobile, services, médias... Le Groupe CEVITAL s'est construit, au fil des investissements, autour de l'idée forte de constituer un ensemble économique.

Porté par 18 000 employés répartis sur 3 continents, il représente le fleuron de l'économie algérienne, et œuvre continuellement dans la création d'emplois et de richesse [1].

### **2. Étapes d'évolution de l'entreprise**

L'entreprise de CEVITAL a rencontré plusieurs étapes d'évolution durant sa création [1] :

- 1971, lancement de la construction métallique.
  - ✓ 1971, participation dans SOCOMEG ;
  - ✓ 1975, création de PROFILOR ;
  - ✓ 1979, acquisition de SOTECOM ;
  - ✓ 1984, acquisition de SACM ;
  - ✓ 1985, création d'ENALUX ;
  - ✓ 1986, création de NORD METAL : Fabrication de grillage et toile à tamis ;
  - ✓ 1986, création de METALLOR : Fabrication de tubes en acier.
- 1988, création de MELAT SIDER (SIDÉRURGIE).
- 1991, reprise des activités IBM en Algérie et création du journal quotidien LIBERTÉ.
- 1997, création de HYUNDAI motors Algérie : Distribution de véhicules et services après-ventes (distribution officielle de la marque Coréenne en Algérie).
- 1998, création de CEVITAL SPA INDUSTRIES AGROALIMENTAIRES.
- 2005, c'est le lancement de trois nouveaux projets, dont deux sur le site de larbaa (verre plat ; fabrication industrielle de produits manufacturés en béton), et l'acquisition des eaux minérales LALLA KHADIDJA.
- 2006, création de NUMIDIS ET IMMOBIS et acquisition de COJEK.

## Présentation de l'entreprise de CEVITAL

- 2007, création de MFG (verre plat) et de SAMHA (Assemblage et distribution de produits électriques et électroménagers de marque SAMSUNG Electronics en Algérie).
- 2008, création de NOLIS (transport maritime), commercialisation du verre plat en Europe et création de NUMILOG.
- 2009, augmentation de la production de sucre de 1 M T/AN.
- 2013, acquisition des marques OXXO (France) et ALAS (Espagne).
- 2014, acquisition des marques BRANDT (France) et AFFERPI (Italie) ex LUCCHINI PIOMBINO.

### 3. Situation géographique

CEVITAL est implanté au niveau du nouveau quai du port de Bejaia à 3 Km au sud-ouest de cette ville, à proximité de la RN 26. Elle est limitée au Nord et au Nord-est par la mer méditerranée, à l'Ouest par le port de Bejaia, au Sud-est par l'entreprise Sonatrach et enfin au Sud-ouest par l'entreprise Naftal. Cette situation géographique de l'entreprise lui a beaucoup profité, étant donné qu'elle lui confère l'avantage de proximité. En effet, elle se trouve proche du port et de l'aéroport. En plus, elle est équipée d'un laboratoire, qui sert à effectuer les différents analyses et mesures de contrôle du fonctionnement de l'installation, pour assurer le suivi de la qualité de l'eau brute, l'eau de l'unité de l'osmose, les eaux de la chaufferie et de la cogénération [2].



Figure 1 : Situation géographique du complexe de CEVITAL [2].

### 4. Principales activités du complexe agro-alimentaire CEVITAL-Bejaia

Le site du CEVITAL de Bejaia est composé de deux principaux pôles [3] :

- Le pôle sucre : Il est composé de la direction de sucre solide et de la direction de sucre liquide. Il assure la mise en œuvre et le pilotage du processus technique de raffinage du sucre.
- Le pôle corps gras : Il est composé de trois sous directions : la direction raffinage d'huile, la direction margarinerie et la direction conditionnement d'huile.
- Ces pôles de stockage et du raffinage se charge de la mise en œuvre du processus de production. En effet, il veille au respect des paramètres de production de la margarine, de la fabrication des emballages et de la mise en bouteille de l'huile raffinée. Il fonctionne en continue (24/24) en trois équipes (3\*8 h).

Pour cela, CEVITAL a besoin de grandes quantités d'eau pour répondre à tous ces besoins.

### 5. Production d'eau de process au niveau du complexe agroalimentaire CEVITAL- Bejaia

Sources d'alimentation en eau de l'entreprise [3] :

Au niveau de CEVITAL, l'eau utilisée provient trois principales sources :

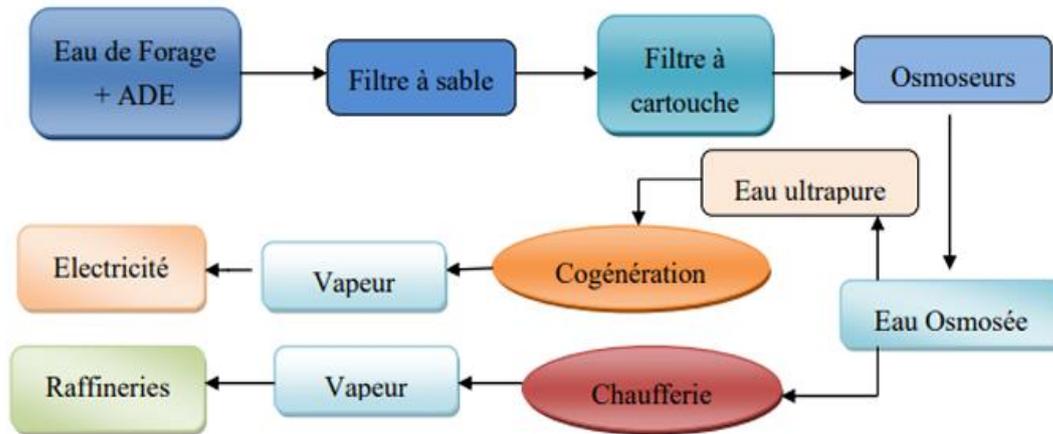
- La première source est une eau de forage issue d'un puits situé à IBOURASSEN, environ 12 Km du complexe à OUED GHIR (Bejaia). Cette source est composée de quatre puits ouverts. Chaque puits possède une pompe 40 m de profondeur ce qui envoie environ (9000-10000) m<sup>3</sup>/jour.
- La deuxième source située au niveau d'ADE (Bejaia), qui elle-même reçoit une partie de son approvisionnement en eau.
- Néanmoins, les sources actuelles ne sont pas suffisantes pour répondre aux besoins, car au cours des dernières années, la quantité d'eau disponible a diminué en raison de l'augmentation de la consommation et des conditions de sécheresse. Cela nous pousse à considérer une troisième source, à savoir le dessalement de l'eau de mer.

### 6. Cycle d'eau dans le complexe agroalimentaire CEVITAL-Bejaia

Le cycle de l'eau au niveau de CEVITAL s'effectue depuis la source (forage, ADE) jusqu'à la production d'une eau ultra pure en passant par la chaîne de traitement (forage + ADE, Osmose, chaufferie et cogénération) [3].

## Présentation de l'entreprise de CEVITAL

---



**Figure 2 :** Cycle de l'eau dans le complexe agro-alimentaire CEVITAL [3].

# **Chapitre I**

## **Etude bibliographique**

## CHAPITRE I :

### Etude bibliographique

#### I.1. Généralités sur les eaux

##### I.1.1. Définition de l'eau

L'eau, appelée  $H_2O$  dans la nomenclature chimique, est une solution aqueuse diluée. A l'état liquide, sa présence est essentielle au maintien de la vie dans tous les organismes connus [4]. A l'état pur, l'eau est un liquide à température ambiante qui est incolore, inodore et sans saveur. Elle se compose de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène [5].

##### I.1.2. Différents types de source naturelle de l'eau

Les différentes sources d'eaux brute se trouvent dans : les eaux souterraines, eaux de surface et eaux de mer. Les caractéristiques générales de chacune de ces sources reflètent l'interaction de l'eau et du milieu environnement [6].

###### I.1.2.1. Eaux souterraines

Les eaux souterraines, enfouies dans le sol, sont généralement protégées des sources de pollution. Les caractéristiques de ces eaux changent très peu au fil du temps, de sorte que les usines de purification n'ont pas à résoudre les problèmes dus aux variations brusques et importantes de la qualité de l'eau brute.

Les eaux souterraines ont les caractéristiques suivantes [6] :

- Faible turbidité ;
- Faible contamination bactérienne ;
- Température constante ;
- Indice de couleur faible ;
- Flux stable ;
- Dureté élevée ;
- Concentration élevée de fer et de manganèse.

###### I.1.2.2. Eaux de surface

Lorsque la ressource provient d'une nappe phréatique, le prélèvement se fait par puits ou forage. Les réseaux d'observation qui permettent une recherche de qualité et la mesure des débits contribuent à cette gestion. On peut faire la distinction entre les eaux de ruissellement qui se déplacent d'un endroit à un autre et les eaux stagnantes qui s'accumulent à un endroit tel qu'une mare, un lac, ou une flaque, ... La qualité de ces eaux de surface est plus ou moins acides, plus ou moins chargées de particules de la terre ou de sol est souvent un élément important pour les cultivateurs, les pisciculteurs et les buveurs [7].

**I.1.2.3. Eaux de mer**

L'eau de mer est une solution de H<sub>2</sub>O contenant de nombreuses substances très différentes. Jusqu'à 2/3 des éléments chimiques naturels se trouvent dans l'eau de mer [8].

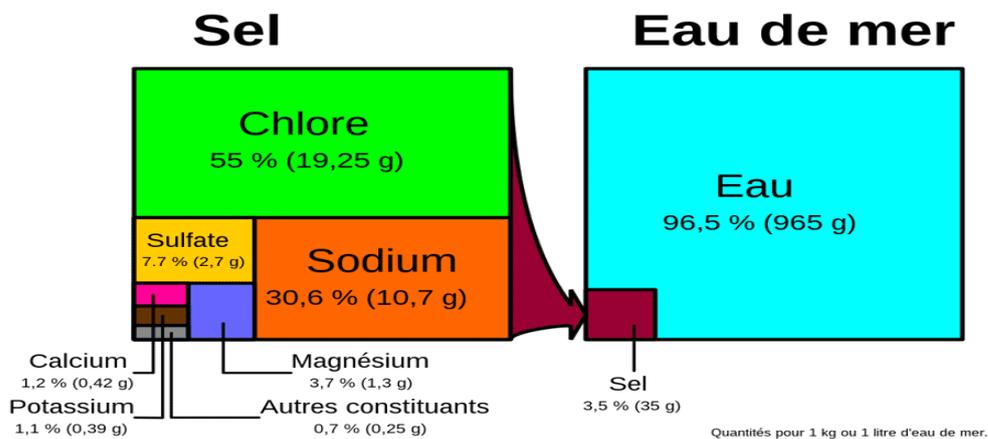
La caractéristique la plus importante de l'eau de mer est sa salinité, c'est-à-dire sa teneur globale en sel (chlorure de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne de l'eau de mer et des océans est de 35 g/l [9].

**Tableau I.1:** Salinité des eaux de mer [10].

Origine	Salinité (g/l)
Mer Baltique	17
Mer Noir	22 à 25
Océans Atlantique et pacifiques	32 à 38
Mer Rouge-Golfe Arabiques	40 à 47
Mer Morte	270
Mer Méditerranée	37 à 40

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce [6].

**I.1.3. Composition chimique de l'eau de mer**



**Figure I.1:** Principaux composants de l'eau de mer [11].

**I.1.3.1. Compositions en sels minéraux**

Les principaux éléments qui contribuent d'une façon notable à la masse de sels dissous dans les océans, représentent 11 éléments différents. Leurs concentrations sont indiquées dans le tableau ci-dessous [12].

**Tableau I.2:** Eléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35g/l [12].

Anions		Cations	
Eléments	Concentration (g/l)	Eléments	Concentration (g/l)
Chlorure (Cl <sup>-</sup> )	19,353	Sodium (Na <sup>+</sup> )	10,160
Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	2,721	Magnésium (Mg <sup>2+</sup> )	1,249
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,142	Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	0,413
Bromure (Br <sup>-</sup> )	0,067	Potassium (K <sup>+</sup> )	0,387
Fluorure (F <sup>-</sup> )	0,001	Strontium (Sr <sup>2+</sup> )	0,008
Bore	0,004		

### I.1.3.2. Autres éléments minéraux

L'eau de mer contient de nombreux autres éléments à des concentrations beaucoup plus faibles. Malgré leurs faibles concentrations, ces éléments ont une certaine importance dans les processus biologiques et organiques. Ils se présentent sous différentes formes (dissous, colloïdaux ou en suspension) [12].

**Tableau I.3:** Concentration des différents éléments mineurs [12].

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

### I.1.3.3. Composants minéraux présents dans l'eau de la mer Méditerranée

La salinité de l'eau de mer méditerranée est d'environ 38 g/l, Il s'agit d'une valeur moyenne sur les analyses du site faites par Anjou Recherche. La concentration en composants minéraux est présentée dans le tableau I.4 (analyses faites par Anjou Recherche mi-2006) [13].

**Tableau I.4:** compositions moyenne de la mer méditerranée [13].

Eléments	Concentrations (g /l)
Na <sup>+</sup>	11,750
Mg <sup>2+</sup>	1,410
Ca <sup>2+</sup>	0,450
K <sup>+</sup>	0,435
Sr <sup>2+</sup>	0,0081
B <sub>total</sub>	0,0053
Cl <sup>-</sup>	21,700
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,960
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0,172
Br <sup>-</sup>	0,071

#### I.1.3.4. Composition en gaz dissous

Dans les eaux océaniques de surface bien mélangées, la composition typique des gaz dissous est de 64 % d'azote (N<sub>2</sub>), 34 % d'oxygène (O<sub>2</sub>) et 1,8 % de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), très au-dessus de ce dernier des 0,04 % qui est à l'air libre [8].

#### I.1.3.5. Matières organiques

Les faibles concentrations de matières organiques dans l'eau de mer compliquent grandement l'analyse chimique. Les composés sont dilués dans des milieux contenant de fortes concentrations de nombreux autres éléments, ce qui rend la séparation difficile. Par convention, on sépare par filtration sur des filtres de 0,5µm les matières dissoutes des matières organiques particulaires. Parmi les matières organiques dissoutes, on trouve des chlorophylles et caroténoïdes, de la vitamine B12, des monosaccharides, des amino-acides. Les matières organiques particulaires sont principalement constituées d'animaux et végétaux du zooplancton (ou leurs résidus). Elles peuvent représenter de 10 à 60% de la matière en suspension [12].

#### I.1.3.6. Oxygène dissous

L'oxygène (dioxygène O<sub>2</sub>) est particulièrement abondant en surface, où la photosynthèse domine sur la respiration, et est généralement minimale à 400 m de profondeur, où les effets de diffusion à l'air libre et de photosynthèse n'atteignent plus, mais où la densité des organismes consommateurs est encore élevée, ils l'épuisent. La température, plus faible dans les fonds profonds, affecte la solubilité des carbonates [8].

L'oxygène dissous est un paramètre clé contrôlant la plupart des processus biologiques. Dans le milieu marin, les niveaux en oxygène dissous sont le résultat de nombreux facteurs :

- Échanges à l'interface air-océan ;

- Diffusion et mélanges au sein de la masse d'eau ;
- Réactions de photo réduction ;
- Réactions d'oxydation chimique ;
- Absorption par les organismes aquatiques pour la respiration (décomposition bactérienne des matières organiques) ;
- Production par les organismes aquatiques lors de la nitrification (synthèse biologique).

À part ces facteurs, la concentration de l'oxygène dissous dépend également de lois physiques: pression atmosphérique, pression de vapeur saturante, température de l'eau et salinité. Pour une valeur donnée de chacun de ces paramètres, la solubilité maximale de l'oxygène dans l'eau est appelée saturation. Le pourcentage d'oxygène par rapport à la saturation est un élément nécessaire à l'étude du milieu marin. Les états de sursaturation et de sous-saturation sont alors caractéristiques des phénomènes physico-chimiques, chimiques et biologiques suscités [14].

#### **I.1.4. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer**

##### **I.1.4.1. Propriétés physiques**

###### **I.1.4.1.1. Température**

La température de l'eau de mer est l'échange de chaleur qui est liée entre la masse d'eau et l'environnement. Plusieurs facteurs sont à l'origine d'augmentation de la température, notamment :

- L'absorption de radiations solaires ;
- Le flux de chaleur à l'intérieur de la terre transmis par les fonds océaniques ;
- La condensation de la vapeur d'eau ;

Elle diminue par le rayonnement de surface, convection de chaleur vers l'atmosphère et par évaporation [15].

Les eaux de la mer méditerranée se caractérisent par une température variable entre 12 et 30°C [33].

###### **I.1.4.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH)**

Le pH de l'eau de mer varie de 7,5 à 8,4 (le plus souvent de 8,0 à 8,2), est légèrement alcalin et varie avec la température. Lorsque ce dernier augmente, le pH a tendance à baisser et à devenir plus acide. Il change également en fonction de la salinité, de la pression de l'eau, de la profondeur de l'eau et de l'activité vitale des organismes marins [8].

**I.1.4.1.3. Densité**

Rapport de densité de l'eau de mer à l'eau distillée à 4°C. La densité des océans se situe en moyenne entre 1,035 et 1,036. Elle varie avec la salinité, la température et la pression. La densité est mesurée avec un hydromètre ou un hydromètre à flotteur [16].

**I.1.4.1.4. Conductivité électrique**

L'eau de mer a une conductivité électrique élevée, ce qui contribue à la polarité de l'eau et à l'abondance des ions dissous. Un ion est un atome qui est chargé positivement ou négativement et échange donc des électrons avec le milieu. Ils peuvent absorber et libérer des électrons vers les particules voisines. La conductivité varie principalement avec la température et la salinité (plus la salinité est élevée, plus la conductivité est élevée) et sa mesure permet de connaître la salinité à une température contrôlée [8].

La conductivité est l'inverse de la résistivité. Exprimé en  $S.m^{-1}$  (Siemens par mètre) ou  $mS.cm^{-1}$  (Micro siemens par centimètre). Celle de l'eau de mer avec une salinité de 35 g/l à pression atmosphérique normale et température de 15 C° : C (1 atm, 15 C°) = 4,2914 S/m [16].

**I.1.4.1.5. Turbidité**

La turbidité est liée à la présence de diverses particules organiques, argiles, colloïdes, plancton, etc. Elle peut être favorisée par la pluviométrie. En eau profonde, la turbidité empêche la transmission de la lumière, une diminution de l'intensité lumineuse a pour effet de limiter voire d'éliminer la végétation [17].

**I.1.4.2. Propriétés chimiques****I.1.4.2.1. Salinité**

La salinité fait référence à la quantité de solides dissous dans un kilogramme d'eau de mer. Face aux difficultés pratiques et au manque de reproductibilité des mesures de poids pour déterminer cette masse [17].

**I.1.4.2.2. Alcalinité**

L'alcalinité de l'eau de mer est essentiellement due à la présence de carbonates, d'hydrogencarbonates et de borates. Elle est définie comme la quantité d'ions hydrogène (mmol) nécessaire pour neutraliser les bases faibles présentes dans 1 kg d'eau de mer [17].

### I.1.5. Propriétés de l'eau douce

#### I.1.5.1. Propriétés organoleptiques

##### I.1.5.1.1. Turbidité

Pour l'eau potable, la turbidité maximale acceptable est de 5 NTU. Le but est de le trouver inférieur ou égal à 1 NTU. Une eau convenablement filtrée a une turbidité inférieure ou égale à 0,5 U.T [6].

##### I.1.5.1.2. Couleur

Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV. Elle peut être causée par certaines impuretés minérales (fer) mais aussi par certaines matières organiques acides [18].

##### I.1.5.1.3. Goût et odeur

La flaveur est le terme utilisé pour décrire la sensation ressentie dans la bouche lors de l'absorption de nourriture ou d'un liquide [19].

- Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustative, olfactive et sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche.
- L'odeur est un paramètre subjectif, et peut être définie comme l'ensemble des sensations perçue par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.

### I.1.6. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau douce

#### I.1.6.1. Propriétés physiques

##### I.1.6.1.1. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH (potentiel hydrogène) mesure la concentration d'ions  $H^+$  dans l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité.

Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques et dépend de nombreux facteurs, dont l'origine de l'eau [18].

**Tableau I.5:** Classification des eaux d'après leurs pH [18].

pH < 5	Forte acidité : présence d'acides minéraux ou organique dans l'eau naturelle
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée : majorité des eaux de surface
5.5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH=8	Forte alcalinité, évaporation intense

##### I.1.6.1.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique de l'eau représente la propriété d'une solution de conduire le courant électrique, en fonction de la qualité des ions présents dans l'eau (en microsiemens par centimètre). Elle augmente avec la température et la concentration en sel dissous [20].

La minéralisation des eaux en fonction de la conductivité est indiquée dans le tableau I.6.

**Tableau I.6:** Expression de la minéralisation des eaux en fonction de la conductivité électrique [19].

La conductivité ( $\mu\text{s/cm}$ )	La minéralisation de l'eau
Conductivité < 100	Très faible
100 < conductivité < 200	Faible
100 < conductivité < 333	Moyenne
333 < conductivité < 666	Moyenne accentuée
666 < conductivité < 1000	Importante
Conductivité > 1000	Elevée

### I.1.6.1.3. Température

Il est important de connaître la température exacte de l'eau. En effet, elle joue un rôle dans la connaissance de la solubilité des gaz, la dissociation des sels dissous, la détermination du pH, l'origine, les éventuels mélanges d'eau, etc [18].

La température de l'eau dépend de plusieurs facteurs :

- Situation géographique, saison ;
- La profondeur (la température en profondeur est généralement plus basse qu'en surface) ;
- La couleur de l'eau (l'eau sombre absorbe plus de chaleur) ;
- Volume d'eau (plus le volume est élevé moins importantes sont les fluctuations de température) [21].

### I.1.6.1.4. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension représentent l'ensemble des particules minérales et organiques présentes dans l'eau. Elles dépendent de la nature du terrain traversé, de la saison, de la pluviométrie, du régime d'écoulement de l'eau, de la nature du rejet, etc [18].

### I.1.6.2. Propriétés chimiques

#### I.1.6.2.1. Dureté : unité °f (degré français)

La dureté de l'eau est liée au lessivage des terrains traversés et elle correspond à la teneur en calcium (Ca) et en magnésium (Mg). On parle de la dureté totale de l'eau ou du titre hydrométrique (TH). Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un volume d'eau par un acide minéral dilué [22].

#### I.1.6.2.2. Alcalinité : unité °f (degré français)

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes. Le titre alcalimétrique (TA) mesure la teneur de l'eau en hydroxydes libres et en

carbonates. Le titre alcalimétrique complet ou TAC correspond à la teneur en hydroxydes libres carbonates et hydrogénocarbonates. Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un volume d'eau par un acide minéral dilué [22].

## I.2. Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse

### I.2.1. Définition du dessalement

Le dessalement appelé aussi désalinisation est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce ou de l'eau potable à partir d'une eau saumâtre ou d'eau de mer [23].

### I.2.2. Schéma général d'une installation de dessalement

Une installation de dessalement peut être subdivisée en quatre postes principaux [34] :

- Une prise d'eau de mer : où s'effectue la prise de l'eau de mer avec des pompes et une filtration grossière.
- Une poste de prétraitement : qui consiste en une filtration plus fine pour protéger les pompes et assurer le bon fonctionnement des pulvérisateurs et ensuite l'addition de quelques produits chimiques pour bloquer la prolifération des organismes vivants et éviter l'obstruction des conduites.
- Une installation de dessalement : proprement dit et dont le principe est relatif au type du procédé choisi.
- Une poste traitement : qui dépend en général de la fonction de l'eau produite. Une reminéralisation est nécessaire dans le cas de l'eau potable et une déminéralisation de finition.

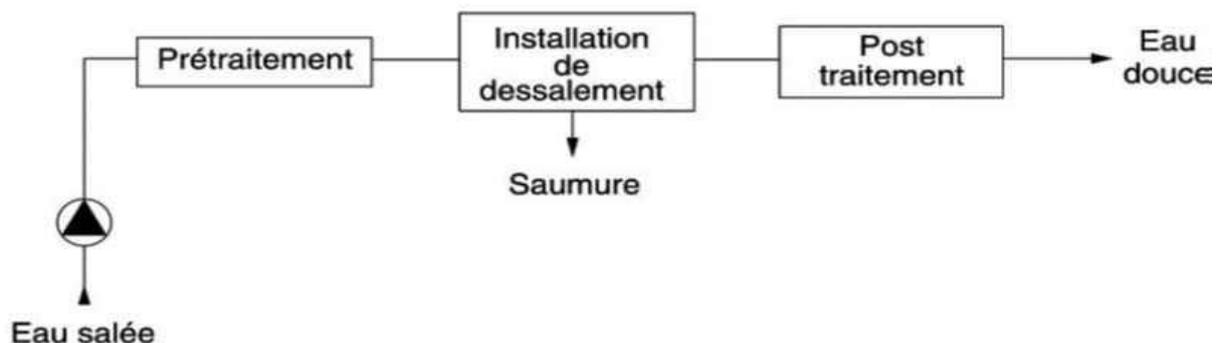


Figure I.2 : Schéma général d'une installation de dessalement [23].

### I.2.3. Principales technologies de dessalement de l'eau de mer

Les technologies actuelles de dessalement de l'eau de mer sont classées en deux catégories, selon le principe appliqué [6] :

- Les procédés thermiques sont les procédés qui font intervenir les changements de phases (congélation et distillation).
- Les procédés membranaires sont des procédés qui utilisent des membranes (électrodialyse et osmose inverse).

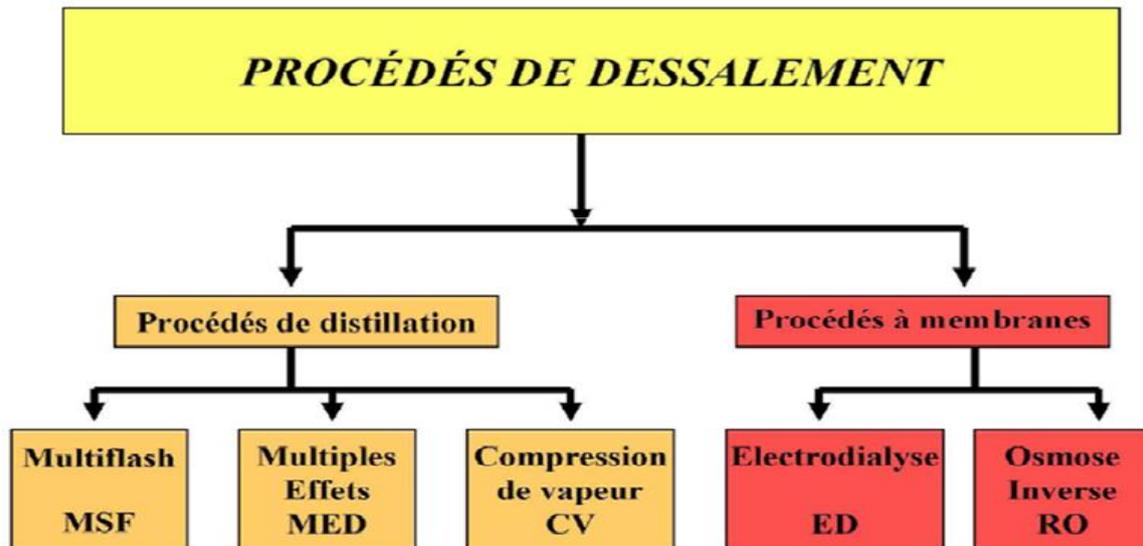


Figure I.3 : Différents procédés de dessalement [23].

### I.2.3.1. Procédés thermiques

#### I.2.3.1.1. Congélation

La technologie de dessalement par congélation a été proposée comme alternative de la distillation et de l'osmose inverse pour le dessalement de l'eau de mer dans plusieurs travaux. Cette technologie peut également être appliquée au traitement des eaux usées.

On distingue deux types de procédés par congélation, congélation directe et indirecte [24].

#### I.2.3.1.2. Distillation

Ce procédé est la première technique historiquement utilisée dans le dessalement de l'eau de mer du fait probablement de sa simplicité. Cette méthode consiste à évaporer l'eau salée grâce à la chaleur dégagée par une chaudière ou plus simplement par le soleil. Ce processus dépose des sels et d'autres composés dissous à mesure que la vapeur d'eau monte. Cette dernière est à nouveau condensée pour recueillir l'eau douce [25].

On distingue alors dans cette technique quatre procédés de distillation :

##### I.2.3.1.2.1. Distillation à simple effets (SED : Simple Effect Distillation)

C'est la forme la plus simple de distillation d'eau de mer. Dans une enceinte fermée, un serpentin de chauffage fait bouillir l'eau de mer. La vapeur formée se condense dans un autre serpentin alimenté en eau de mer froide, un éjecteur ou bien une pompe évacue les gaz qui ne

sont pas condensé. Le condensat et la saumûre sont ensuite récupérés à l'aide des électropompes [16].

#### **I.2.3.1.2.2. Distillation à multiples effets (MED : Multi Effect Distillation)**

On sait que le point d'ébullition de l'eau change avec la pression. Par conséquent, la chaleur dans le condenseur de la vapeur produite dans la première chambre de vaporisation peut être utilisée pour faire fonctionner la barre chauffante dans la seconde chambre à des pressions et des températures plus basses [23].

#### **I.2.3.1.2.3. Distillation par détente successives (MSF : Multi Stage FLASH)**

L'eau de mer est chauffée dans des canalisations à 120°C. Ils sont ensuite expédiés dans des conteneurs à basse pression. Le flash transforme instantanément l'eau en vapeur. La vapeur qui en résulte entre en contact avec les premiers conduits parcourus par l'eau de mer, ces conduits froids provoquent la condensation de cette vapeur et celle-ci est récupérée à l'état d'eau. L'eau qui ne s'est pas évaporée dans ce réservoir est collectée et transférée dans un deuxième compartiment du même type avec une pression atmosphérique plus faible. Ce processus est ensuite répété plusieurs fois de suite, ce qui reste dans le tuyau sont les saumûres [16].

#### **I.2.3.1.2.4. Distillation à compression de vapeur (VCD : Vapor Compression Distillation)**

Faire bouillir l'eau de mer dans une chambre de chauffe isolée. La vapeur produite est aspirée par le compresseur, augmentant la température de saturation. Cette vapeur traverse un faisceau de tubes au bas du boîtier et se condense, faisant bouillir la saumûre [23].

### **I.2.3.2. Procédés membranaires**

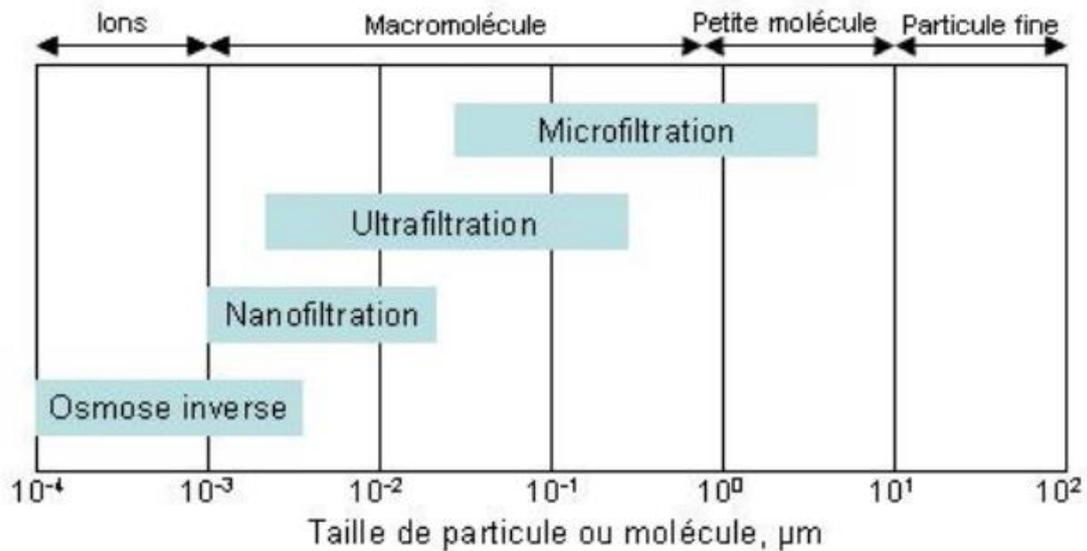
Au lieu d'obtenir de l'eau douce d'eau de mer par évaporation, une membrane sélective pourrait être utilisée pour séparer l'eau et les sels dissous [30].

Les procédés membranaires sont classés par taille selon le type des espèces qu'ils peuvent séparer [31] :

- La microfiltration : diamètre de pores compris entre 0,1 et 10  $\mu\text{m}$  et à basse pression (1 à 2 bar), elle permet la rétention des particules en suspension, des bactéries ;
- L'ultrafiltration : diamètre de pores : compris entre 2 à 100 nm et basse pression (2 à 3 bar), permet de retenir des molécules de poids moléculaires allant de 5 à 500 kDa comme les protéines, les colloïdes, les virus ;
- La nanofiltration : diamètre de pores d'environ 1 nm et fonctionne à pression (5 à 10 bar), offre la capacité, très intéressante de séparer des composés de faible poids moléculaire ;

- L'osmose inverse : diamètre de pores d'environ 0,2 nm et fonctionne à pression ( $\geq 10$  bar), cette méthode est la moins onéreuse pour éliminer de 90 à 99% des contaminants d'un fluide.

Deux procédés utilisant de telles membranes sont actuellement disponibles dans le commerce. Ce sont l'électrodialyse et l'osmose inverse [30].



**Figure I.4:** Classification des procédés membranaires selon la taille de séparation [13].

#### I.2.3.2.1 Electro dialyse (ED : Electro Dialysis)

L'électrodialyse est un procédé de dessalement électro-membranaire qui permet d'éliminer des sels dissous d'une eau saline par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique.

L'électrodialyse est bien adaptée aux eaux saumâtres dont la salinité est assez faible, inférieure à celle de l'eau de mer (salinité entre 1 et 10g/l) [26].

#### I.2.3.2.2. Osmose inverse (OI ou RO : Reverse Osmosis)

##### I.2.3.2.2.1. Principe d'osmose

L'osmose est un mécanisme naturel d'échange présent dans tous les organismes vivants au niveau des cellules. Sous l'effet d'un écart de concentration, les molécules diffusent des régions les plus concentrées vers les moins concentrées, y compris à travers de fines membranes, comme celles des cellules, si leur nature physico-chimique le permet. Si ce n'est pas le cas, c'est l'eau qui va migrer à travers la membrane pour diluer la zone concentrée et équilibrer les concentrations. A l'équilibre, la différence de pression est appelée pression osmotique [27].

### I.2.3.2.2. Principe d'osmose inverse

L'osmose inverse, qui est au contraire un procédé de séparation, est exactement le phénomène inverse : en appliquant une pression suffisante, on force l'eau à quitter la zone concentrée pour rejoindre la zone à faible concentration. La membrane séparatrice doit bien évidemment avoir la capacité de laisser passer les molécules d'eau tout en arrêtant le sel. La pression à exercer dépend de la concentration en sel et sert à empêcher l'eau pure de retourner diluer l'eau salée... par phénomène d'osmose. On comprend aisément que la pression minimale à appliquer est au moins égale à la pression osmotique, qui correspond juste à l'état d'équilibre [27].

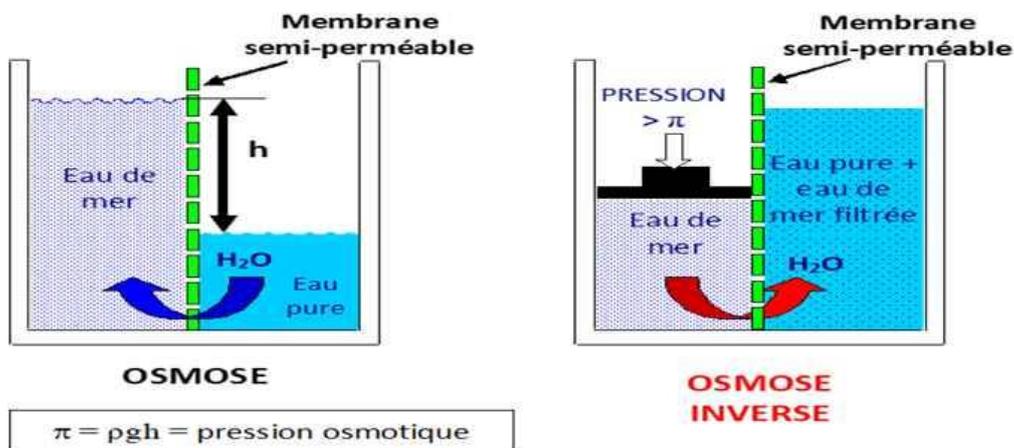


Figure I.5 : Osmose et osmose inverse [9].

### I.2.3.2.2.3. Pression osmotique

La loi de Van 't Hoff nous permet de calculer la pression osmotique qui est exercée par un soluté est égale à la pression qu'aurait exercée ce corps dans son état gazeux parfait, de même volume (V) et de même température (T). Lorsque le soluté se dissocie en  $i$  ions, la pression osmotique augmente d'un facteur  $i$ .

La pression osmotique d'une solution est proportionnelle à la concentration en solutés [13] :

$$\Pi = i.C.R.T$$

Avec :

$\Pi$  : Pression osmotique (bar) ;

$i$  : Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte ;

$C$  : Concentration molaire (mol. L<sup>-1</sup>) ;

$R$  : Constante des gaz parfaits (0,082 L.bar.mol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>) ;

$T$  : Température absolue (K) .

### I.2.4. Installation de dessalement par osmose inverse

Une installation d'osmose inverse contient principalement les postes suivants : la prise d'eau de mer, le prétraitement physico-chimique, le système d'osmose inverse et le post traitement.

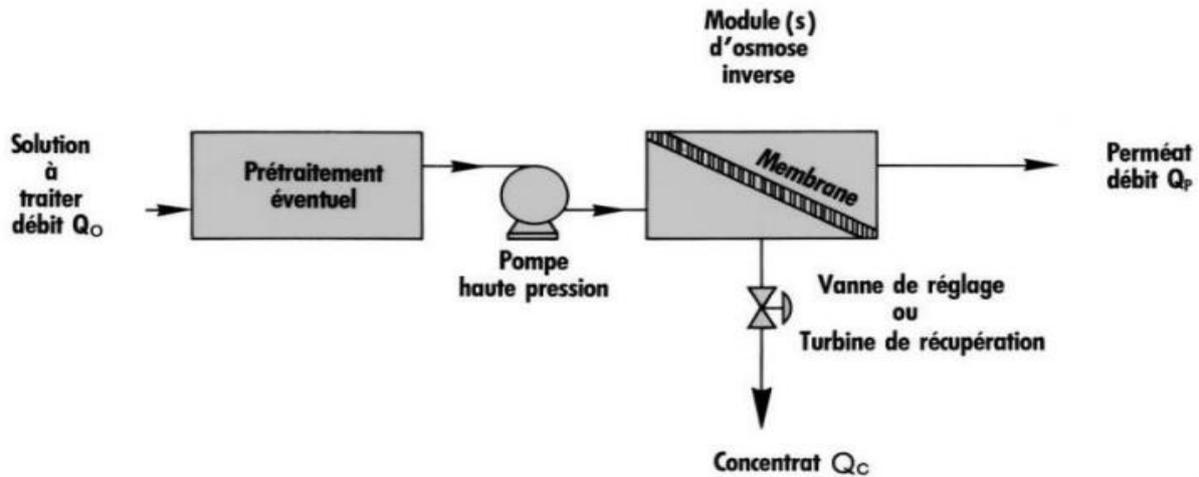


Figure I.6 : Schéma de l'installation d'une unité osmose inverse [23].

#### I.2.4.1. Prise d'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. Deux types de technologies sont utilisés dans cette étape [23] :

- Les forages côtiers : soit verticaux soit sous forme de 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.

#### I.2.4.2. Poste de prétraitement

Le choix du prétraitement est fondamental dans les domaines impliquant des membranes à haute pression (osmose inverse ou nanofiltration). Il s'agit de protéger la membrane contre le colmatage minéral, organique ou bactérien qui engendrerait rapidement un dysfonctionnement de l'étape membranaire, s'il s'avérait insuffisant.

Le prétraitement est destiné pour [33] :

- Réduction considérable de la turbidité de l'eau brute et matières en suspension qui y sont associées ;
- Elimination de toute forme d'hydrocarbures présents dans l'eau brute ;
- Elimination des algues lors de leur développement saisonnier ;

- Réduction significative du pouvoir colmatant de l'eau en traitant les substances minérales ou organiques contenues dans l'eau par adsorption, absorption ou précipitation.

Les différents types du colmatage et les étapes de prétraitement visant à les éliminer sont donnés dans le tableau I.7.

**Tableau I.7:** Prétraitement approprié pour chaque colmatage [32].

Colmatage	Cause	Prétraitement approprié
Biologique	Bactéries, micro-organismes, virus, protozoaires	Chloration
Particulaire	Sable, argile (turbidité, solides en suspension)	Filtration
Colloïdal	Complexes organiques et inorganiques, particules colloïdales, micro-algues	Coagulation + Filtration Optionnel : Floculation/décantation
Organique	Matière Organique (MO): acides humiques et flaviques, biopolymères	Coagulation + Filtration + Adsorption sur charbon actif Coagulation+ Ultrafiltration
Minéral	Calcium, Magnésium, Barium ou Strontium, sulfates et carbonates	Anticalcaire Acidification
Oxydant	Chlore, Ozone, $KMnO_4$	(Meta) bisulfite de soude Charbon Actif en Granulés

#### I.2.4.3. Système d'osmose inverse

Les principaux constituants d'une installation d'osmose inverse sont les suivants [35] :

- La membrane proprement dite ;
- Le module ;
- La pompe haute pression (HP) ;
- Le système de récupération d'énergie.

#### I.2.4.4. Poste traitement

Cette étape dépend essentiellement de l'utilisation prévue de l'eau produite. Il peut s'agir, par exemple, d'une reminéralisation dans la production d'eau potable ou d'un dessalement complet dans la production d'eau d'alimentation de chaudière [33].

#### I.2.5. Avantages et inconvénients du dessalement par l'osmose inverse

Le dessalement de l'eau de mer rencontre des avantages ainsi que des inconvénients comme suite :

- Avantages de l'osmose inverse [15] :
  - Faible investissement en améliorant les performances de la membrane et en réduisant considérablement le coût de la membrane ;
  - Faible consommation d'énergie par rapport aux autres procédés ;
  - Spécialisation des opérateurs non critiques et contrôle simple de l'installation ;
  - Cette procédure réduit la surface de l'implant. Délais courts d'osmose inverse de l'ordre de 50 mois à 6 à 8 mois selon capacité ;
  - Réduire le pompage et le prétraitement de l'eau brute, réduisant ainsi l'impact environnemental ;
  - La teneur en sel de l'eau produite est d'environ 1 g/l, adaptée à un usage domestique.
- Les inconvénients de l'osmose inverse [15] :
  - Les membranes sont semi perméables au colmatage et en particulier au biofouling ;
  - Consommation de pièces de rechanges entraînée par l'oxydation des métaux ;
  - La salinité élevée 45 et 50 g/l entraîne une hausse non négligeable des coûts ;
  - Nécessite un entretien et une exploitation dans les règles.

## **I.2.6. Problèmes techniques rencontrés en dessalement**

### **I.2.6.1. Entartrage**

L'entartrage correspond à la formation d'un dépôt de sels minéraux. C'est un phénomène qui se produit sur les surfaces d'échanges aussi bien thermiques que membranaires qui sont des zones de concentration ionique élevée. L'entartrage est lié à la formation de solides amorphes ou cristallisés qui est fonction de la température et de la composition de l'eau [28].

### **I.2.6.2. 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 [10].

### **I.2.6.3. Colmatage**

Les eaux naturelles (eau de mer ou eaux saumâtres) contiennent la plupart du temps des matières organiques en suspension qui vont avoir tendance à se déposer sur les surfaces d'échange et à les colmater. Il va en résulter une augmentation de la résistance de transfert et une diminution de la capacité de production de l'installation [29].

### I.3. Critères d'analyse d'eau de mer pour le dessalement

Les prétraitements sont en fonction de la capacité d'alimentation d'une membrane osmose inverse. Ils nous permettent de limiter les caractéristiques de l'eau de mer avant l'utilisation pour mieux protéger les membranes.

L'un des principaux facteurs qui limitent l'utilisation des membranes dans presque toutes les applications est le colmatage. Plusieurs paramètres peuvent influencer le degré d'encrassement d'une membrane : la nature et concentration des solutés et des solvants, le type de membrane, la distribution de la taille des pores, les caractéristiques de la surface et des matériaux membranaires et l'hydrodynamique du module [45].

#### I.3.1. Généralités sur les membranes

##### I.3.1.1. Principe de fonctionnement

Les membranes peuvent être utilisées en filtration selon deux fonctionnements principaux : La filtration frontale et la filtration tangentielle. Ces deux modes correspondent à deux technologies et deux approches complètement différentes de la filtration [19].

###### I.3.1.1.1. Filtration frontale

Le flux d'alimentation arrive dans la direction perpendiculaire au plan de la membrane. Les particules solides et les solutés sont retenus à la surface et leur dépôt entraîne une superposition de couches qui vont progressivement provoquer le colmatage par la formation d'un gâteau. Cela exige un nettoyage périodique [25].

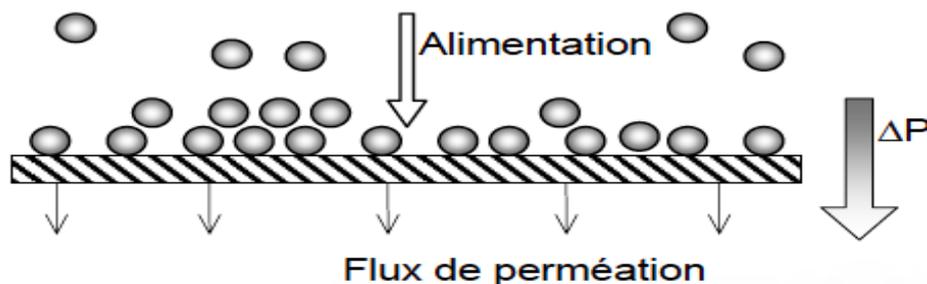


Figure I.7 : Principe de fonctionnement de la filtration frontale [25].

###### I.3.1.1.2. Filtration tangentielle

En filtration tangentielle, le fluide à traiter entre dans le module pour venir au contact de la membrane suivant un flux tangentiel. Dans ce mode de mise en œuvre, il y a donc nécessairement une entrée correspondant à l'alimentation et deux sorties que sont le perméat qui correspond au passage d'une partie du flux initial à travers la membrane et le concentrât ou

retentât qui représente le flux qui n'est pas passé à travers la membrane comme l'illustre la figure I.8 [25].

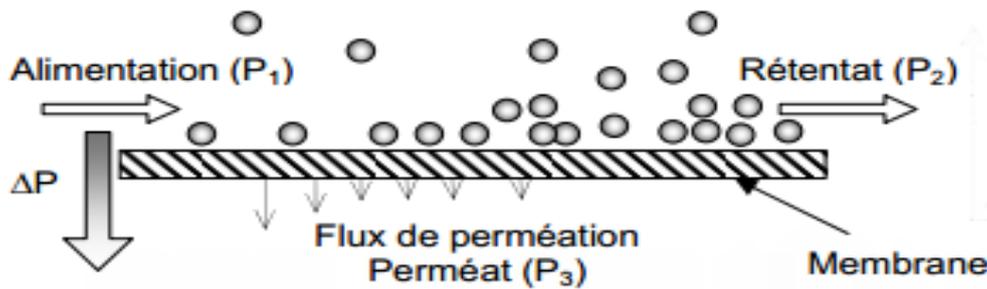


Figure I.8 : Principe de fonctionnement de la filtration tangentielle [25].

### I.3.1.2. Caractéristiques générales d'une membrane

Il y a trois caractéristiques principales que l'on retrouve sur toutes les membranes [48] :

- Le taux de production (vision quantitative) ;
- Le taux de conversion (rendement) ;
- Le taux de rejet (vision qualitative).

Ces trois caractéristiques sont généralement demandées en garantie par les clients, il faut bien en comprendre le sens.

#### I.3.1.2.1. Taux de production

Le taux de production est la capacité d'une membrane à produire une quantité d'eau donnée en un temps donné.

En règle générale nous l'exprimons en litres par heure mais on rencontre aussi cette quantification sous d'autres forme : (l/h, m<sup>3</sup>/h, l/j, m<sup>3</sup>/j) [48].

#### I.3.1.2.2. Taux de conversion

Dans les systèmes simples à une seule membrane sans recirculation, il n'y a qu'un seul taux de conversion qui est celui de la membrane.

Dans les systèmes complexes à plusieurs membranes et/ou avec recirculation il y a deux taux de conversion : le taux de conversion réel et le taux de conversion apparent.

Taux de conversion réel : nous considérerons le taux de conversion membrane par membrane selon la formule [48] :

$$TC = \frac{\text{Débit de perméat}}{\text{Débit d'alimentation}} * 100$$

Le taux de conversion est généralement compris entre 30 et 45%, et dans le cas des eaux saumâtres entre 65 et 85% [42].

**I.3.1.2.3. Taux de rejection**

Le taux de rejet est l'expression de la performance des membranes d'osmose inverse à rejeter la salinité c'est-à-dire à produire de l'eau pure.

Les membranes les moins performantes ont des taux de rejet de 95 à 96%, les plus performantes de 99 à 99,5%.

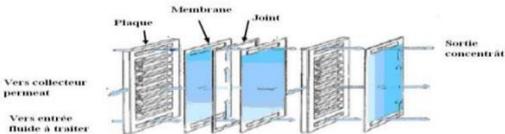
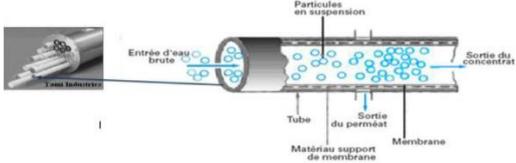
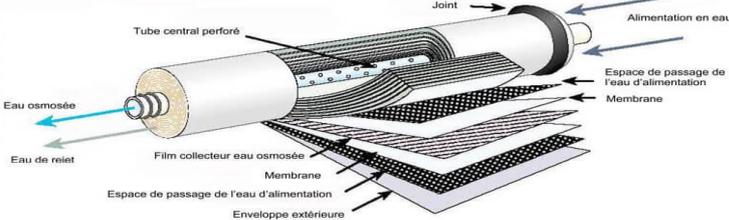
Il va donc rester dans le perméat de 5 à 0,5 % de salinité dissoute qui va représenter la conductivité de l'eau produite [48].

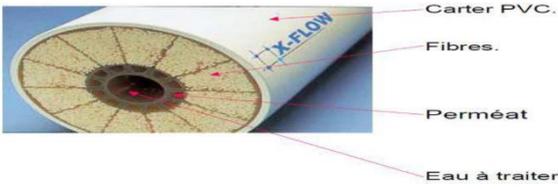
**I.3.1.3. Configuration des membranes**

Il existe plusieurs types de configuration c'est-à-dire plusieurs géométries et de manières dont la membrane est montée et orientée par rapport à l'écoulement de l'eau. Cette configuration est cruciale pour déterminer la performance globale du processus. Les modules membranaires couramment utilisés sont : le module plan, le module tubulaire, le module spiral et le module à fibres creuses [45].

L'ensemble de ces modules sont regroupé dans le tableau ci-dessous avec leurs descriptions

**Tableau I.8:** Différents modules d'osmose inverse [46].

Modules	Description
<p style="text-align: center;"><b>Plan</b></p> 	<p>Les membranes planes sont empilées en millefeuilles séparées par des joints, assurant la circulation des fluides.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Tubulaire</b></p> 	<p>Assemblage des membranes tubulaires (organiques ou minérales) en parallèles, séparées à leurs extrémités par des joints d'étanchéité. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes : le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes, et le concentrat à l'autre extrémité.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Spirale</b></p> 	<p>Les modules spiralés sont des cylindres multicouches, constitués d'une superposition de feuillets de membranes organiques (flexibles) enroulés autour d'un tube percé qui collecte le perméat. Ce dernier s'écoule selon un chemin</p>

	<p>spirale vers le tube central tandis que le concentrat circule le long de l'axe, dans les canaux formés par les feuillets de membranes.</p>
<p style="text-align: center;"><b>A fibres creuses</b></p> 	<p>Les membranes sont assemblées en faisceaux et leurs extrémités sont noyées dans des bouchons de colle, qui isolent le perméat de l'eau à traiter. L'eau circule à l'intérieur des fibres et le perméat est recueilli dans un collecteur sur lequel les faisceaux sont rassemblés.</p>

### I.3.1.4. Types de membranes d'osmose inverse

#### I.3.1.4.1. Membranes organiques

Elles sont fabriquées, pour la plupart d'entre elles, à partir de polymères organiques (acétate de cellulose, polysulfones, polyamides, etc). Les qualités de ces matériaux leur confèrent une grande adaptabilité aux différentes applications. Environ 90 % des membranes d'ultrafiltration et de microfiltration sont constituées de membranes organiques.

Le tableau ci-dessous regroupe les avantages et inconvénients des membranes organiques suivants leur composition en se basant sur les critères suivants [52] :

- Perméabilité ;
- Sélectivité ;
- Stabilité chimique ou thermique ;
- Sensibilité au chlore.

**Tableau I.9** : Avantages et inconvénients des membranes organiques suivant leur composition [52].

Membranes organiques	Avantages	Inconvénients
Acétate de cellulose	Perméabilité élevée Sélectivité élevée Mise en œuvre assez aisée Adsorption des protéines faible => colmatage moindre	Sensible à la température Sensible au pH Sensible au chlore Sensible au compactage Sensible aux microorganismes
Type polyamide	Bonne stabilité chimique, thermique et mécanique.	Grande sensibilité au chlore Faible perméabilité Phénomènes d'adsorption
Type polysulfone	Bonne stabilité thermique et au pH Résistance au chlore 5 mg/l fonctionnement normal 50 mg/l stockage 200 mg/l traitement de choc	Sensible au compactage Adsorptions
Matériaux acryliques	Bonne stabilité thermique et chimique Stockage à sec possible	Faible résistance mécanique Pores de diamètres assez élevés
Matériaux fluorés	Bonne stabilité thermique et chimique	Faible perméabilité Microfiltration uniquement
Membranes composites	Bonnes caractéristiques : perméabilité et sélectivité Stabilité de pH 2 à 11 Bonne tenue en température	

#### I.3.1.4.2. Membranes minérales ou inorganiques

Ces techniques se sont diffusées plus tardivement que les membranes organiques. Ces membranes sont composées de corps entièrement minéraux (matières céramiques, métal fritté, verre). Leur arrivée a permis de travailler dans des conditions extrêmes de température et d'agression chimique, ce qui a ouvert de nouvelles voies dans la séparation par membrane.

Les membranes dites dynamiques sont fabriquées par l'utilisateur à partir de tubes poreux dont le diamètre des pores est compris entre 0,5 et 5  $\mu\text{m}$ . Une dispersion colloïdale de zirconium associée à des copolymères est introduite à l'intérieur des tubes. Certaines de ces membranes peuvent trouver des applications en eaux usées [52].

### I.3.1.4.3. Membranes composites

Elles sont caractérisées par une structure asymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique. Elles peuvent être organiques, organo-minérales ou minérales [37].

### I.3.1.4.4. Membranes à charge électrique

Ces membranes peuvent être denses ou poreuses. Les parois des pores sont chargées d'ions positifs ou négatifs. Les membranes chargées positivement favorisent le passage de cations, celles chargées négativement favorisent le passage d'anions. Donc la séparation avec des membranes chargées est basée principalement sur la répulsion d'ions de même charge, mais aussi par la taille des pores. La séparation est contrôlée par la charge et la concentration des ions [37].

**Tableau I.10 :** Matériaux constitutifs de membranes et tenue à la température et au pH [38].

Membranes	Matériaux	Température maximale admissible en °C	Gamme de pH admissible
Organiques	Acétate de cellulose	40	3 à 8
	Polysulfone	90	2 à 12
	Polyimide	45	4 à 11
	Polyamide	60	2 à 12
	Polyacrylonitrile	60	2 à 11
	Polyvinylidifluorure	70	2 à 12
	Polypropylène	70	2 à 12
Minérales	Céramiques	250	1 à 14
	Carbone / graphite	180	0 à 14
	Acier fritté	400	4 à 14
	Alumine	400	2 à 12

### I.3.1.5. Durée de vie de la membrane

Il est très difficile de déterminer exactement la durée de vie des membranes d'osmose inverse. En effet, la durée de vie dépend de la nature de la membrane mais aussi des conditions d'utilisation [23] :

- qualité du prétraitement ;
- pression de fonctionnement ;
- température de l'eau ;
- pH.

### I.3.2. Estimation du potentiel de colmatage

Pour caractériser le colmatage des membranes d'osmose inverse, différentes méthodes d'évaluation du potentiel de colmatage d'une eau ont été développées. Les plus utilisées sont le (SDI) et (MFI). La méthode est standardisée pour le SDI par l'ASTM (American Society for testing and materials) [47].

#### I.3.2.1. Silt Densité Index (SDI)

Le SDI est considéré comme un paramètre représentatif du potentiel de colmatage d'une eau saline d'alimentation dans un procédé d'OI. Il dépend de la quantité de particules mais également des autres composants colloïdaux [39].

Le SDI de 15 minutes (SDI<sub>15</sub>) est défini par l'ASTM comme l'intervalle requis pour des tests précis et standardisés. Les valeurs SDI de 5 et 10 minutes ne sont que des estimations de la valeur de 15 minutes, bien que la plupart des gens conseillent de mesurer les trois mesures (5, 10, 15 min) [43].

Généralement en OI, les traiteurs d'eau considèrent que valeur du SDI<sub>15</sub> donne les indications suivantes pour la conception des installations ou leur fonctionnement [42] :

- >5 : inacceptable et nécessite des prétraitements supplémentaires ;
- 3-5 : colmatage particulière et requière des lavages fréquents ;
- 1-3 : plusieurs mois entre chaque lavage ;
- <1 : plusieurs années sans colmatage colloïdal.

Un SDI<sub>15</sub> inférieur à 3 est donc préféré avant une installation d'OI. Cependant de nombreuses installations tolèrent des valeurs de SDI<sub>15</sub> entre 4 et 5 correspondants souvent à la gamme atteignable avec les prétraitements conventionnels [42].

#### I.3.2.2. Modified Fouling Index (MFI)

C'est un indice estime le potentiel de colmatage d'une eau, cet indice est nommé « Modified Fouling Index » (MFI). Le MFI est basé sur le fait que la formation de dépôt est proportionnelle à la concentration de la matière colloïdale et particulaire. La mesure du MFI est effectuée avec les mêmes membranes (0,45 µm) que la mesure du SDI. Cet indice a donc aussi pour objectif de caractériser la fraction particulaire des eaux plus que directement le colmatage des membranes d'osmose inverse. Le volume filtré est mesuré à la pression transmembranaire (2,07 bar) toutes les 30 secondes pendant le temps maximum de 20 minutes. Le MFI peut être calculé par SDI [47].

### I.3.3. Normes de qualité

La réglementation impose des paramètres en précisant pour chacun les quantités admises. L'eau d'alimentation traitée doit remplir les conditions suivantes.

**Tableau I.11:** Valeurs guide de conception [40].

Paramètres	Valeurs
SDI difference	< 5
SDI <sub>15</sub>	$1 \leq \text{SDI}_{15} \leq 2$
MES	< 1 mg/l
Turbidité	< 0,3 NTU
TCO	< 3 mg/l
pH	$3 \leq \text{pH} \leq 9$
DBO <sub>5</sub>	< 5 mg/l
DCO	< 3 mg/l

### I.3.4. Choix des membranes

L'entreprise CEVITAL, engagée dans un projet de dessalement de l'eau de mer, est actuellement à la recherche des meilleures membranes d'osmose inverse sur le marché. Parmi les marques étudiées pour ce projet, trois se distinguent particulièrement : FILMTEC, HYDRANAUTICS et LG. Le choix de ces membranes est crucial, car elles joueront un rôle essentiel dans le process.

#### I.3.4.1. Membrane FILMTEC

La membrane FILMTEC™ est une membrane composite à couche mince composée de trois couches : une bande de support en polyester, une intercouche microporeuse en polysulfone et une couche barrière de polyamide ultra-mince sur la surface supérieure, chaque couche est adaptée à des exigences spécifiques.

Cette membrane présente d'excellentes performances en termes de flux, de rejet de sel et de matières organiques, et de résistance microbiologique. Les éléments FILMTEC peuvent fonctionner sur une plage de pH de 2 à 11, sont résistants au compactage et conviennent à des températures allant jusqu'à 45 ° C. Ils peuvent être nettoyés efficacement à pH 1 et pH 13, selon la température. Leur performance reste stable sur plusieurs années, même dans des conditions d'exploitation difficiles [44].

##### I.3.4.1.1. Recommandations pour la qualité de l'eau d'alimentation

Le tableau I.12. Résume les limites des paramètres de qualité de l'eau d'alimentation. Il est recommandé de respecter ces limites pour le bon fonctionnement du système membranaire. Sinon, un nettoyage et/ou une désinfection plus fréquente peut devenir nécessaires. Les

concentrations correspondent à l'entrée dans la membrane pour un flux d'alimentation continu, y compris toute influence sur l'eau d'alimentation provenant de produits chimiques de dosage ou de matériaux de tuyauterie dans la ligne de prétraitement.

**Tableau I.12** : Recommandations de la qualité de l'eau d'alimentation [44].

Composants	Unités	Niveau max
SDI	1	5
MFI <sub>0,45</sub>	1	4
Huile et graisse	mg/l	0,1
TOC	mg/l	3
COD	mg/l	10
AOC	µg/l	10
BFR	pg/cm <sup>2</sup>	5
Chlore libre	mg/l	0,1
Fer ferreux	mg/l	4
Fer ferrique	mg/l	0,05
Manganèse	mg/l	0,05
Aluminium	mg/l	0,05

#### I.3.4.2. Membrane HYDRANAUTICS

Les membrane HYDRANAUTICS sont conçues pour les systèmes de traitement de l'eau et se composent d'un film mince de matériaux polymères d'un film mince de matériaux polymères coulé sur un cadre en tissu plusieurs fois d'épaisseur Angstrom [60].

##### I.3.4.2.1. Caractéristiques de la membrane d'eau de mer HYDRANAUTICS

Les membranes HYDRANAUTICS sont caractérisés comme suite [49] :

- Meilleure résistance aux produits chimiques grâce à l'amélioration de la chimie de la membrane.
- Conception d'entretoise avancée pour réduire le piégeage de petites particules colloïdales.
- Encrassement biologique minimal.
- Dommages d'impact sans pression pendant les opérations du système.

##### I.3.4.2.2. Avantages

Les avantages de la membranes HYDRANAUTICS sont [49] :

- Flux de haute productivité (perméat) ;
- Plus de 99,7 % de rejet de sel ;
- Plus de 92% de rejet de bore ;
- Faibles niveaux d'encrassement biologique et colloïdal ;

- Haute tolérance pour le nettoyage du pH ;
- Faible consommation d'énergie.

**I.3.4.2.3. Performances des membranes d'eau de mer HYDRANAUTIC**

Les performances des membranes d'eau de mer HYDRANAUTIC sont :

<b>SWC®</b>				
<b>Performance for Seawater Membranes</b>				
Element	Min. Salt	Nom. Salt	Permeate Flow	
Type	Rej.,%	Rej.,%	GPD	(m3/d)
SWC1-4040	99.5	99.6	1,200	(4.6)
SWC3+	99.7	99.8	7,000	(26.5)
SWC4+	99.7	99.8	6,500	(24.6)
SWC5	99.7	99.8	9,000	(34)

<b>Test Conditions for SWC</b>	
<b>The stated performance is initial (data taken after 30 minutes of operation), based on the following conditions:</b>	
NaCl Solution, PPM	32,000
Applied Pressure, psig (MPa)	800 (5.5)
Operating Temperature, °F(°C)	77° (25°)
Permeate Recovery	10%
pH Range	6.5-7.0
<b>Application Data*</b>	
Maximum Applied Pressure, psig (MPa) 8-inch	1200 (8.27)
Maximum Applied Pressure, psig (MPa) 4-inch	1000 (6.9)
Maximum Feed Flow, GPM (m³/h)	4 inch -16 (3.6), 8 inch - 75 (17)
Maximum Operating Temperature, °F(°C)	113° (45°)
Feedwater pH Range	3.0-10.0
Maximum Feedwater Turbidity, NTU	1.0
Maximum Feedwater SDI (15 mins)	5.0
Maximum Chlorine Concentration, PPM	<0.1
Minimum Ratio of Concentrate to Permeate Flow for any 8 inch Element	5:1
Maximum Pressure Drop for Each Element, psig	10
*The limitations shown here are for general use. The values may be more conservative for specific projects to ensure the best performance and longest life of the membrane.	

Figure I.9 : Performances des membranes SWC [54].

**I.3.4.2.4. Exemple Model Hydranautics SWC5**

Les membranes SWC5 offrent un rejet de sel et des flux de perméat optimaux. Ils sont choisis lorsque des TDS de perméat plus faible et des pressions d'alimentation plus faibles sont nécessaires. Les membranes SWC5 offrent l'efficacité énergétique la plus élevée aux coûts les plus bas et sont utilisées dans les mégas usines de dessalement [51].

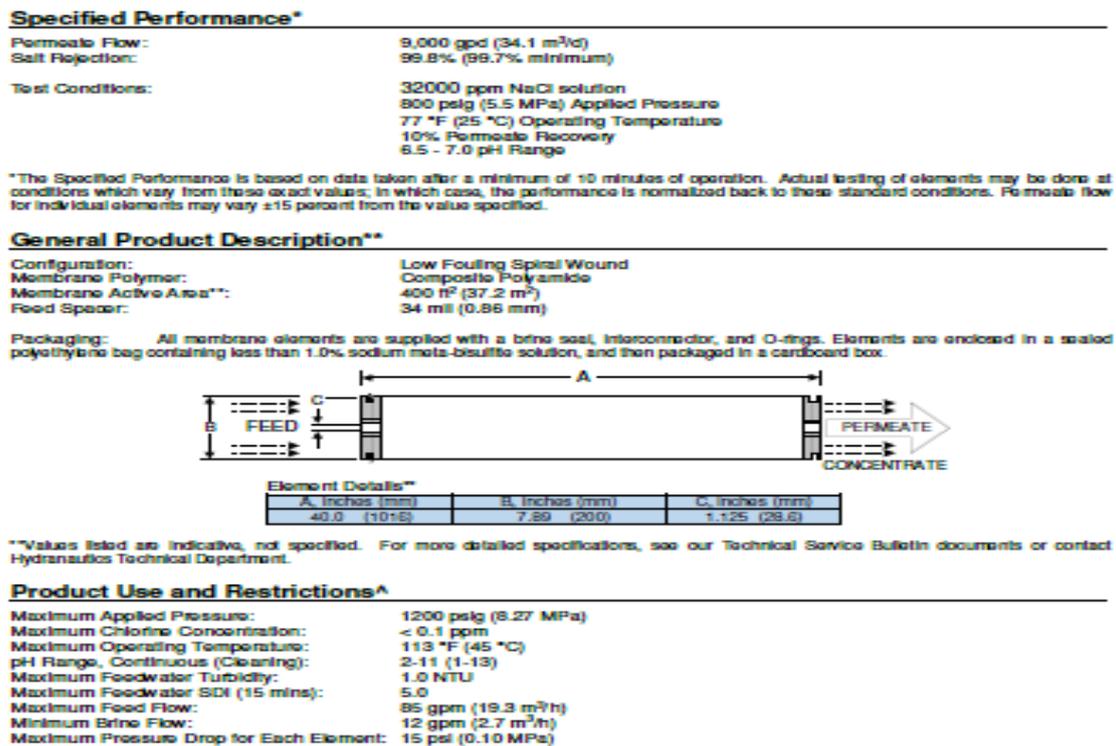


Figure I.10 : Performance Membrane HYDRANAUTICS SWC5 [53].

### I.3.4.3. Membranes d'osmose inverse LG CHEM eau de mer

LG Chem développe et fabrique des membranes d'osmose inverse (RO) avec la technologie NanoH<sub>2</sub>O™ qui sont largement utilisées dans diverses applications allant du dessalement de l'eau de mer à la réutilisation des eaux usées [55].

#### I.3.4.3.1. Avantages des membranes d'osmose inverse LG eau de mer

Les avantages de la membrane osmose inverse d'eau de mer de la marque LG sont [50] :

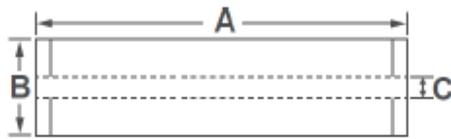
- Créer de l'eau potable à partir d'eau de mer ;
- Rejet de sel stabilisé jusqu'à 99,85 % ;
- Rejet de bore jusqu'à 93% ;
- Amélioration de la qualité du perméat sans augmenter la pression de fonctionnement ;
- Coût énergétique réduit sans sacrifier la qualité du perméat.

#### I.3.4.3.2. Exemple Model LG CHEM

**Product Specifications**

Active Membrane Area, ft <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	Permeate Flow Rate, GPD (m <sup>3</sup> /d)	Stabilized Salt Rejection, %	Minimum Salt Rejection, %	Boron Rejection, %	Feed Spacer, mil
440 (41)	9,900 (37.5)	99.88	99.75	93	28

Test Conditions : 32,000 ppm NaCl, 5 ppm boron at 25°C (77°F), 800 psi (55 bar), pH 8, Recovery 8%.  
Permeate flows for individual elements may vary +/-15%.



A, mm (in.)	B, mm (in.)	C, mm (in.)	Weight, kg (lbs.)
1,016 (40)	200 (7.9)	28.6 (1.125)	16 (35)

All dimensional information is indicative and for reference purpose only. Please contact LG Chem for detailed technical specification.

**Operating Specifications**

For more information and operating guidelines, visit [www.lgwatersolutions.com](http://www.lgwatersolutions.com)

Max. Applied pressure	1,200 psi (82.7 bar)
Max. Chlorine concentration	< 0.1 ppm
Max. Operating temperature	45°C (113°F)
pH Range, Continuous (Cleaning)	2-11 (2-13)
Max. Feedwater turbidity	1.0 NTU
Max. Feedwater SDI (15 mins)	5.0
Max. Feed flow	75 gpm (17 m <sup>3</sup> /h)
Min. Ratio of concentrate to permeate flow for any element	5 : 1
Max. Pressure drop (ΔP) for each element	15 psi (1.0 bar)

**Figure I.11** : Performance membrane LG SW 440 R G2 [56].

**I.3.5. Conclusion**

Les trois marques FILMTEC, HYDRANAUTICS et LG sont bien définies et largement utilisées dans l'industrie du traitement de l'eau de mer. Elles offrent toutes les trois des membranes de haute qualité avec de bonnes performances.

Le choix entre les trois dépendra des besoins spécifiques, des conditions de fonctionnement, des paramètres de traitement de l'eau, ainsi que des exigences de performance et de budget. Il est également important de noter que d'autres membranes telles que Toray, Koch membrane système, GE WATER, et d'autres offrent également d'excellentes options.

# **Chapitre II**

## **Mise en œuvre expérimentale**

## CHAPITRE II : Mise en œuvre expérimentale

Dans le présent chapitre, seront décrit les prélèvements effectués par le laboratoire d'étude maritime ainsi que les analyses d'eau de mer.

Cependant, quelques analyses ont été faites dans le laboratoire d'étude d'analyse du complexe agro-alimentaire CEVITAL qui utilisent deux méthodes d'analyses spécifiques pour contrôler ses eaux : Les analyses physico-chimiques et les analyses spectrophotométriques UV-Visibles.

### II.1. Localisation des stations de prélèvements

La campagne de prélèvement d'eau et de sédiments marins pour analyses chimiques et biologiques au laboratoire a été effectuée durant le mois d'Octobre 2022, au niveau de sept (07) stations réparties entre les isobathes (même profondeur) – 12 m et –16 m (voir Figure II.1) [57].



**Figure II.1** : Localisation des stations de prélèvements d'eau et des sédiments [57].

Les prélèvements d'échantillons d'eau ont été effectués sur les différentes strates de la colonne d'eau (surface, intermédiaire et fond), à l'aide de la bouteille Niskin, tandis que les échantillons de sédiments ont été prélevés à l'aide la benne Van Veen (voir Figure II.2) [57].



**Figure II.2:** Photos de l'échantillonnage effectué par les techniciens LEM [57].

## II.2. Mesure in situ

Lors de la campagne de prélèvement des échantillons d'eau et de sédiment marins, des mesures in-situ ont été effectuées sur chaque échantillon prélevé, et pour six paramètres différents à savoir : Température (T) ; Potentiel Hydrogène (pH) ; Salinité ; Oxygène Dissous ; Conductivité ; Turbidité [57].

## II.3. Méthodes Conductimétriques

### II.3.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

#### II.3.1.1. Principe

C'est la mesure de la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeantes dans une même solution. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions  $H^+$ .

#### II.3.1.2. Matériels

Les matériaux utilisés pour la mesure du pH sont :

- ✓ pH mètre HACH HQ40D;
- ✓ Bêcher.

### II.3.1.3. Mode opératoire

- Etalonner le pH mètre avec deux solutions étalons de pH 7 et 10 ou 4 et 7 (selon la gamme de mesure à réaliser) ;
- Prendre un bécher avec l'eau à analyser ;
- Plonger la sonde du pH mètre dans l'échantillon ;
- Après stabilisation, lire le résultat.

### II.3.2. Conductivité

#### II.3.2.1. Principe

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1 \text{ cm}^2$  de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

#### II.3.2.2. Matériels

- ✓ Conductimètre HACH HQ40D;
- ✓ Bécher.

#### II.3.2.3. Mode opératoire

Après avoir étalonné le conductimètre

- Plonger la sonde de l'appareil préalablement rincée dans un bécher avec l'eau à analyser ;
- Secouer la sonde légèrement afin d'éliminer les bulles d'air ;
- Attendre quelques secondes et mesurer.

### II.4. Méthodes titrimétriques

#### II.4.1. Titre hydrométrique total (dureté total)

##### II.4.1.1. Principe

Le TH total est déterminé par dosage complexométrique en présence de sel disodique (EDTA) et du Noir Eriochrome (NET) comme indicateur coloré. Le sel disodique de l'EDTA (complexons) se combine aux ions calcium puis magnésium en donnant des complexes solubles peu dissociés. La fin de la réaction est mise en évidence par le noir Eriochrome T, qui vire lorsque les dernières traces d'ions magnésium sont complexées.

##### II.4.1.2. Matériels

- ✓ Burette de 100 ml ;
- ✓ Pipette volumétrique de 5 ml ;
- ✓ Bécher de 100 ml ;
- ✓ Flacon erlenmeyer de 250 ml ;

- ✓ De la solution standard d'EDTA 0,02 N ;
- ✓ Solution tampon ammoniacal;
- ✓ Indicateur coloré Noir Eriochrome T (NET).

#### II.4.1.3. Mode opératoire

- Placer dans un bécher de 100 ml et ajouter 1 à 2 ml de la solution tampon pour augmenter le pH à  $10 \pm 0,1$  ;
- Placer dans un flacon Erlenmeyer de 250 ml et ajouter deux gouttes de l'Indicateur Noir Eriochrome T (NET) ;
- Si la coloration est bleue, implique que  $TH = 0$  °f (pas besoin de titrage) ;
- Si la coloration est rouge brique, implique que  $TH \neq 0$  (besoin de titrage) ;
- Titrer avec l'EDTA à 0,02 N en remuant continuellement jusqu'à disparition de la couleur rouge brique et l'apparition de la couleur bleue (fin du titrage) ;
- Noter le volume d'EDTA utilisé (ml).

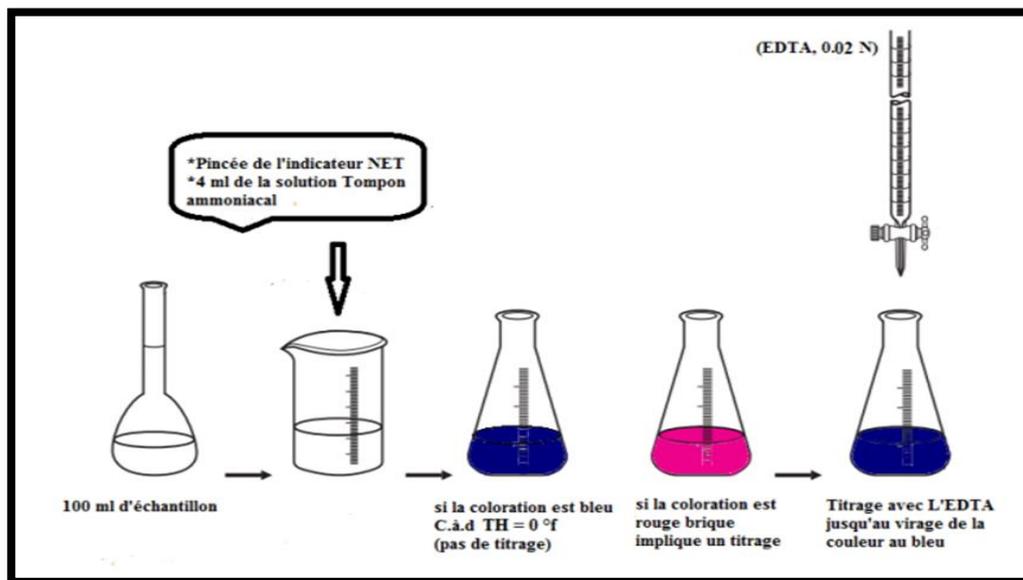


Figure II.3 : Fluxogramme de l'analyse de titre hydrométrique (TH).

## II.4.2. Détermination du titre hydrométrique calcique (TH $Ca^{++}$ )

### II.4.2.1. Principe

Pour le dosage du calcium, on procède de la même manière que pour le titre hydrométrique total en changeant uniquement l'indicateur (NET) par du MUREXIDE.

### II.4.2.2. Matériels

- ✓ Erlenmeyer 250 ml ;
- ✓ Fiole de 100 ml ;

- ✓ Burette graduée de 10 ml ;
- ✓ EDTA (0,02 N) ;
- ✓ Solution de soude caustique à 5 N ;
- ✓ Murexide.

#### II.4.2.3. Mode opératoire

- Prendre 100 ml de l'eau à analyser dans un Erlenmeyer ;
- Ajouter 25 gouttes de NaOH à 5 N (soude), en remuant délicatement ;
- Ajouter une pincée de Murexide (indicateur coloré) et mélanger ;
- Une coloration rose doit alors se développer ;
- Titrer alors avec la solution d'EDTA (sel tétrasodique de l'acide Ethylène Diamine Tétra Acétique) à 0,04 N jusqu'au virage du rose au violet.

**Tableau II.1** : Classification de l'eau selon la valeur du TH [19].

Valeur du TH	Type d'eau
TH < 5°f (50 mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	eau très douce
De 5 à 12°f (50 – 120 mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	eau douce
De 12 à 24°f (120 – 240 mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	eau dure moyenne
De 24 à 36°f (240 – 360 mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	eau dure
TH > à 36°f (360 mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	eau très dure.

#### II.4.3. Titre Alcalimétrique (TA)

##### II.4.3.1. Principe

Cette analyse se fait en présence de phénolphthaléine qui vire du rose fuchsia à l'incolore à un pH de 8,2. Le titre alcalimétrique s'exprime en ppm m/V (ou mg/l) de CaCO<sub>3</sub> ou en degrés français (°f).

##### II.4.3.2. Matériels

- ✓ Burette de 100 ml ;
- ✓ Pipette volumétrique de 5 ml ;
- ✓ Bécher de 100 ml ;
- ✓ Flacon erlenmeyer de 250 ml ;
- ✓ Solution de phénolphthaléine à 1% dans l'éthanol ;
- ✓ Une solution d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0,02 N.

##### II.4.3.3. Mode opératoire

- Placer dans un bécher de 100 ml d'eau ;

- Placer dans un flacon erlenmeyer de 250 ml et ajouter quelques gouttes de l'indicateur coloré phénolphtaléine ;
- S'il n'y a pas de coloration, implique que  $TA = 0$  f (pas besoin de titrage) ;
- Si la coloration est rose, implique que  $TA \neq 0$  (besoin de titrage) ;
- Titrer avec l'acide sulfurique à 0,02 N en remuant continuellement jusqu'à la disparition de la couleur rose (fin du titrage) ;
- Noter le volume de  $H_2SO_4$  utilisé (ml).

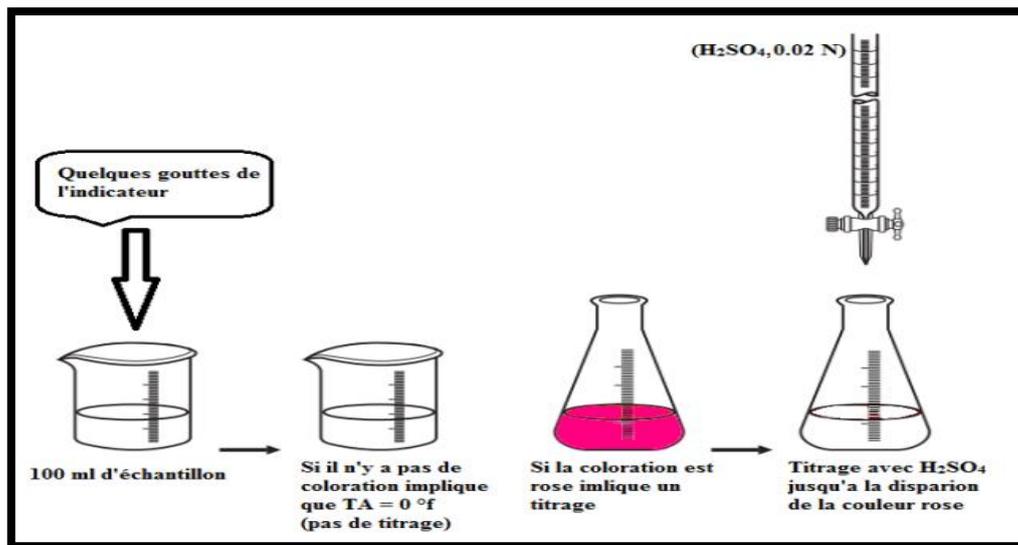


Figure II.4 : Fluxogramme de l'analyse du titre alcalimétrique (TA).

#### II.4.4. Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

##### II.4.4.1. Principe

Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la neutralisation de la totalité des ions hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates par un acide fort ( $H_2SO_4$ ).

##### II.4.4.2. Matériels

- ✓ Burette de 100 ml ;
- ✓ Pipette volumétrique de 5 ml ;
- ✓ Bécher de 100 ml ;
- ✓ Flacon erlenmeyer de 250 ml ;
- ✓ Un indicateur méthylorange ;
- ✓ Une solution d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) 0,02 N.

##### II.4.4.3. Mode opératoire

- Placer dans un bécher de 100 ml ;

- Placer dans un flacon erlenmeyer de 250 ml et ajouter quelques gouttes de l'indicateur coloré méthylorange ;
- Si la coloration est orange, implique que  $TAC = 0$  °f (pas besoin de titrage) ;
- Si la coloration est jaune, implique que  $TAC \neq 0$  (besoin de titrage) ;
- Titrer avec l'acide sulfurique à 0,02 N en remuant continuellement jusqu'à l'apparition de la couleur orange (fin du titrage) ;
- Noter le volume de  $H_2SO_4$  utilisé (ml).

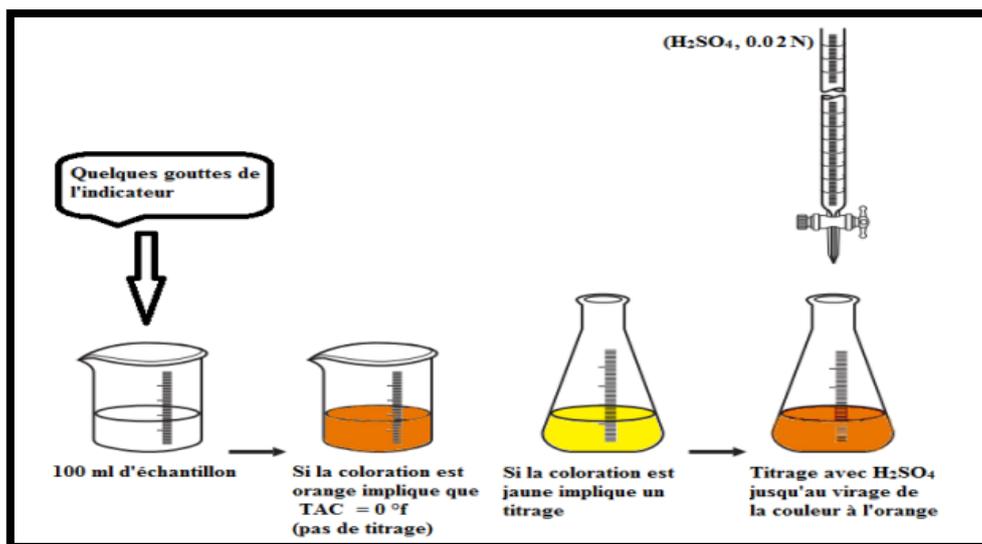


Figure II.5 : Fluxogramme de l'analyse du titre alcalimétrique complet (TAC).

Tableau II.2 : Détermination de  $CO_3^{2-}$  et  $HCO_3^-$  à partir du TA et TAC [16].

	TA=0	TA<TAC/2	TA=TAC/2	TA>TAC/2
$OH^-$	0	0	0	$2 TA - TAC$
$CO_3^{2-}$	0	$2 TA$	TAC	$2 (TA - TAC)$
$HCO_3^-$	TAC	$TAC - 2 TA$	0	0

## II.4.5. Chlorures

### II.4.5.1. Principe

C'est la réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former des chlorures d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition de petit excès d'ions d'argent et formation de chromate d'argent brun rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage.

### II.4.5.2. Matériels

- ✓ Une burette de 100 ml;
- ✓ Un flacon Erlenmeyer de 250 ml ;

- ✓ Un bécher de 100 ml;
- ✓ De la solution titrée de nitrate d'argent 0,01 N ;
- ✓ De l'indicateur coloré chromate de potassium ( $K_2CrO_4$ ).

### II.4.5.3. Mode opératoire

- Placer 100 ml d'échantillon dans le flacon Erlenmeyer ;
- Ajouter 2 ml de la solution indicatrice de  $K_2CrO_4$  ;
- Si la coloration est brune, implique que  $[Cl^-] = 0$  mg/l (pas besoin de titrage) ;
- Si la coloration est jaune, implique que  $[Cl^-] \neq 0$  (besoin de titrage) ;
- Titrer la solution avec du nitrate d'argent ( $AgNO_3$ ) 0,01 N jusqu'à ce que la solution vire à la couleur brune qui est le point de fin de titrage.

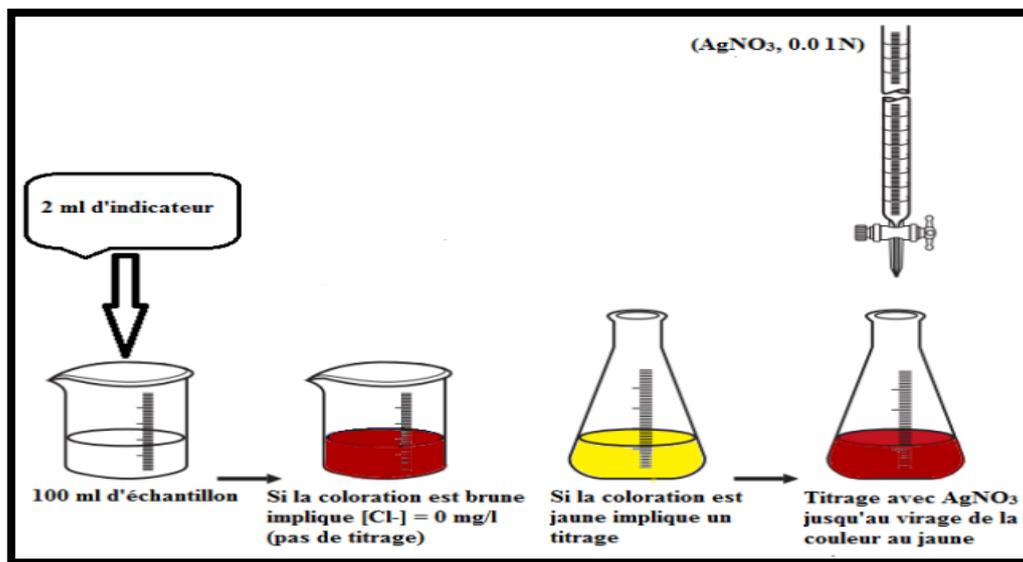


Figure II.6 : Fluxogramme de l'analyse des chlorures ( $Cl^-$ ).

### II.5. Analyse spectrophotométrique UV- Visible

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative et qualitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée. Plus l'échantillon est concentré, plus il absorbe la lumière dans les limites de proportionnalité énoncées par la loi de Beer-Lambert. La densité optique des échantillons est déterminée à la longueur d'onde d'absorption de la substance à étudier, par un spectrophotomètre préalablement étalonné.

CEVITAL utilise la méthode spectrophotométrique UV-Visible souvent pour la mesure des teneurs en silice et en fer existantes dans l'eau.

## II.5.1. Orthophosphates

### II.5.1.1. Définition

Les orthophosphates représentent la forme la plus simple des phosphates ( $\text{PO}_4$ ). Cette molécule existe sous des formes variées dépendant du pH de l'eau et de concentration de sels minéraux.

### II.5.1.2. Principe

Les ions orthophosphates réagissent avec le molybdate d'ammonium pour donner de l'acide phosphomolybdique. Celui-ci sera réduit en bleu de molybdène.

### II.5.1.3. Matériels

- ✓ Cuve ronde NANOCOLOR;
- ✓ Pipette 1 ml;
- ✓ Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS.

### II.5.1.4. Mode opératoire

Après filtration de l'échantillon, ajouter dans une cuve ronde 0,5 ml de l'échantillon à analyser et un NANOFIX phosphate total R3, puis 0,2 ml de phosphate total R4. Fermer, mélanger, nettoyer et mesurer après 10 min. La lecture se fait à une longueur d'onde de 690 nm.

## II.5.2. Phosphate total

### II.5.2.1. Principe

Les polyphosphates se transforment en orthophosphates après chauffage à 100°C pendant 60 min ou 120°C pendant 30 min. Les ions orthophosphates réagissent avec le molybdate d'ammonium pour donner de l'acide phosphomolybdique.

### II.5.2.2. Matériels

- ✓ Cuve ronde NANOCOLOR;
- ✓ Pipette 1 ml;
- ✓ Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS;
- ✓ Bain bouillant;
- ✓ Réactif 2,3 et 4 NANOCOLOR.

### II.5.2.3. Mode opératoire

Dans une cuve ronde, ajouter 0,5 ml de l'échantillon à analyser et un NANOFIX phosphate total R2. Mélanger, et placer dans un bloc chauffant à 100°C pendant une heure.

Sortir la cuve du bloc chauffant et laisser refroidir à température ambiante. Ajouter un NANOFIX phosphate total R3 puis 0,2 ml de phosphate total R4. Fermer, mélanger, nettoyer et mesurer après 10 min. La lecture se fait à une longueur d'onde de 690 nm.

### **II.5.3. Le Fer**

#### **II.5.3.1. Principe**

Le Fer (II) réagit avec un dérivé de la triazine pour donner un complexe violet. La capsule NANOFIX sert pour la réduction de Fe (III) en Fe (II) et pour l'ajustage du pH.

#### **II.5.3.2. Matériels**

- ✓ Cuve ronde NANOCOLOR;
- ✓ Pipette 5 ml;
- ✓ Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS;
- ✓ Réactifs 2 NANOCOLOR.

#### **II.5.3.3. Mode opératoire**

Dans une cuve ronde, ajouter 4 ml de l'échantillon à analyser et un NANOFIX R2 (fermer le tube de NANOFIX immédiatement après l'addition de R2) et mesurer après 10 min. Le blanc est préparé avec 4 ml d'eau distillé et un NANOFIX R2. La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm.

### **II.5.4. Silice**

#### **II.5.4.1. Principe**

La silice dissoute et les silicates réagissent en milieu acide avec le molybdate d'ammonium pour former de l'acide silicomolybdique jaune. Ce dernier sera réduit en un composé bleu par addition d'un réducteur.

#### **II.5.4.2. Matériels**

- ✓ Cuve rectangulaire 5 cm NANOCOLOR;
- ✓ Pipette 1 ml, 20 ml;
- ✓ Fiole de 25 ml;
- ✓ Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS;
- ✓ Réactifs 1, 2 et 3 NANOCOLOR UV/VIS.

#### **II.5.4.3. Mode opératoire**

Introduire respectivement dans une fiole de 25 ml ;

- 20 ml d'échantillon à analyser;
- 1 ml de R1, mélanger et attendre 3 min ;
- 1 ml de R2, mélanger et attendre 1 min ;

- 1 ml de R3;

Ajuster à 25 ml avec de l'eau distillé et mesurer après 15 min après avoir transvaser dans des cuves rectangulaires. La lecture se fait à une longueur d'onde de 690 nm.

### **II.5.5. Chlore libre**

#### **II.5.5.1. Principe**

Le chlore libre réagit avec DPD pour donner une coloration rouge violette par addition d'une quantité définie d'ions iodures. Les turbidités provoquées par des particules en suspensions peuvent être éliminées par centrifugation de l'échantillon. Les oxydants comme le bromure, les bromamines, l'iode et les composés de manganèse de haute simulent le chlore.

#### **II.5.5.2. Matériels**

- ✓ Cuve rectangulaire 5 cm NANOCOLOR;
- ✓ Pipette 1 ml, 20 ml;
- ✓ Fiole 25 ml;
- ✓ Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS;
- ✓ Réactifs 1 et 2 NANOCOLOR.

#### **II.5.5.3. Mode opératoire**

Introduire respectivement dans une fiole de 25 ml ;

- 20 ml de l'échantillon à analyser ;
- 1 ml de R1 mélangé;
- Une pincé de R2, mélangé ;

Ajuster à 25 ml avec de l'eau distillé et mesurer après 30 secondes après avoir transvaser dans des cuves rectangulaires. La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm.

### **II.5.6. Manganèse**

#### **II.5.6.1. Principe**

Les ions manganèse réagissent en milieu alcalin avec la formaldoxime pour donner un complexe orange-rouge.

#### **II.5.6.2. Matériels**

- ✓ Cuve ronde NANOCOLOR;
- ✓ Pipette 1 ml et 5 ml;
- ✓ Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS;
- ✓ Réactifs 2, 3 NANOCOLORS.

### II.5.6.3. Mode opératoire

Dans une cuve ronde, ajouter 04 ml de l'échantillon à analyser et 0,5 ml de R2. Fermer, mélanger et attendre une minute, puis ajouter une cuillère de mesure de R3 et mesurer après 5 min. Le blanc est préparé avec 04 ml de l'échantillon à analyser, 0,5 ml de R2 et une cuillère de mesure de R3.

## II.5.7. Aluminium

### II.5.7.1 Principe

L'ériochromocyanine R développe avec l'aluminium en solution faiblement acide une coloration rouge violette. Les échantillons fortement acides et tamponné doivent être ajustés à pH 6.

### II.5.7.2. Matériels

- ✓ Cuve ronde NANOCOLOR;
- ✓ Pipette 1 ml, 5 ml;
- ✓ Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS;
- ✓ Réactifs 2, 3 et 4 NANOCOLOR.

### II.5.7.3. Mode opératoire

Dans une cuve ronde ajouter :

- 0,5 ml de R2;
- 0,5 ml de R3;
- 04 ml de l'échantillon à analyser ;
- 0,5 ml de R4;
- Fermer et mélanger et mesurer après 5 min. La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm.

Malheureusement, il n'a pas été possible de mesurer les autres paramètres tels que les métaux lourds, le calco carbonique, les matières organiques et biologiques. Cependant, ces analyses ont été réalisées par le Laboratoire Etude Maritime le (LEM).

# **Chapitre III**

## **Résultats et discussions**

## CHAPITRE III : Résultats et discussions

### III.1. Paramètres physico-chimiques

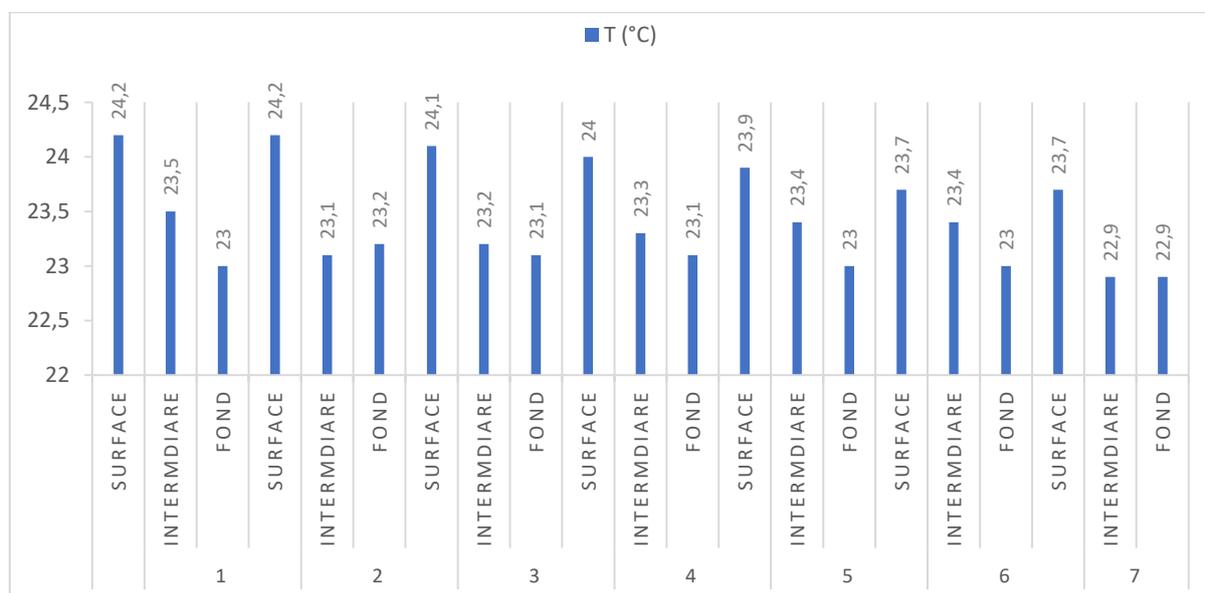
#### III.1.1. Température

La température au niveau de la zone de prélèvement varie entre 22,9 et 24,2°C avec une valeur moyenne de 23,42 °C.

Dans chaque station, la température la plus élevée est constatée à la surface de la mer, tandis que la valeur minimale est observée à la station N°7, à des niveaux intermédiaires et en profondeur. Les stations N°1 et N°2 affichent quant à elles les valeurs maximales à la surface. La température de l'eau de mer n'est pas un paramètre constant mais plutôt elle varie à chaque saison.

Celle de la mer méditerranée est de l'ordre de 12 à 30°C, ce qui fait que la zone d'étude répond à cette norme [33].

En ce qui concerne les membranes, elles sont capables de résister à des températures allant de 40 à 400°C, selon leur nature [38]. Par conséquent, la température de l'eau de mer n'a aucun impact sur leur fonctionnement.



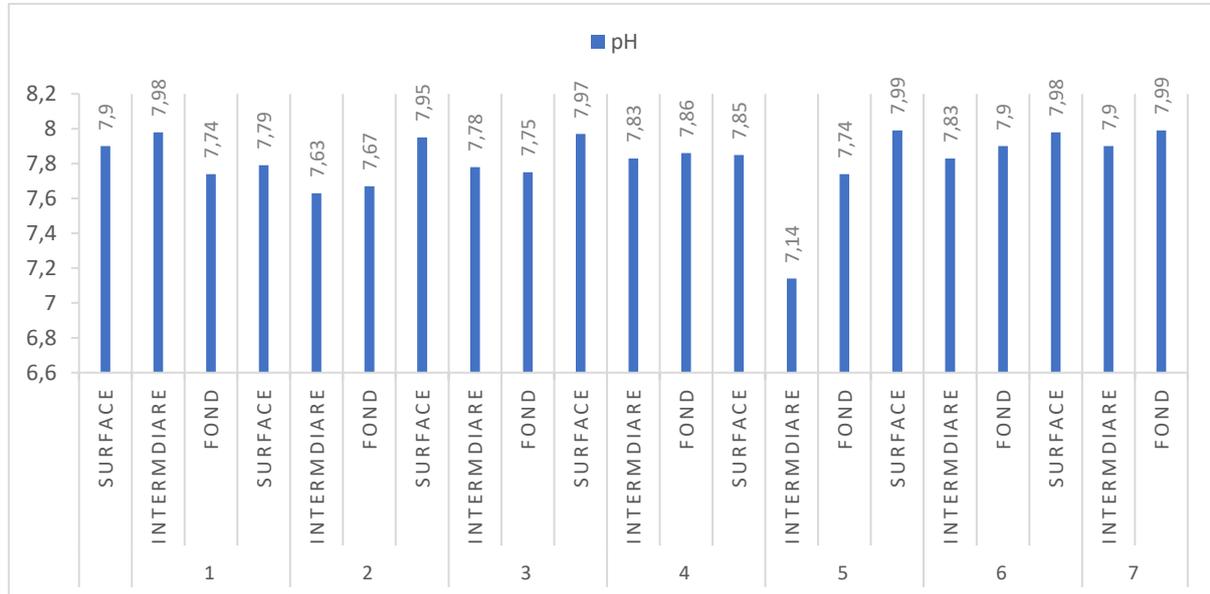
**Figure III.1:** Mesure in situ de la Température dans la zone d'étude.

#### III.1.2. Potentiel Hydrogène (pH)

La valeur du pH enregistrée au niveau de la zone de prélèvement varie entre 7,14 et 7,99 avec une moyenne de 7,81.

La valeur du pH de l'eau de mer varie de 7,5 à 8,4 [8], ce qui implique que ces valeurs sont dans l'intervalle sauf pour la station N°5 qui présente une légère baisse se rapprochant de la neutralité.

La moyenne du pH étudié reste également acceptable pour tous les types de membranes [38].



**Figure III.2:** Mesure in situ de Potentiel Hydrogène dans la zone d'étude.

### III.1.3. Salinité

La valeur de la salinité au niveau de la zone de prélèvement varie entre 37,3 et 37,9 ‰, avec une moyenne de 37,65 ‰.

La valeur la plus faible est enregistré au niveau de la station N°6 (surface) et la valeur maximale est enregistré au niveau de la station N°3 (surface, intermédiaire, fond).

Ces valeurs expérimentales se situent effectivement dans l'intervalle 37 à 40‰ qui représente la salinité de l'eau de mer méditerranée [10].

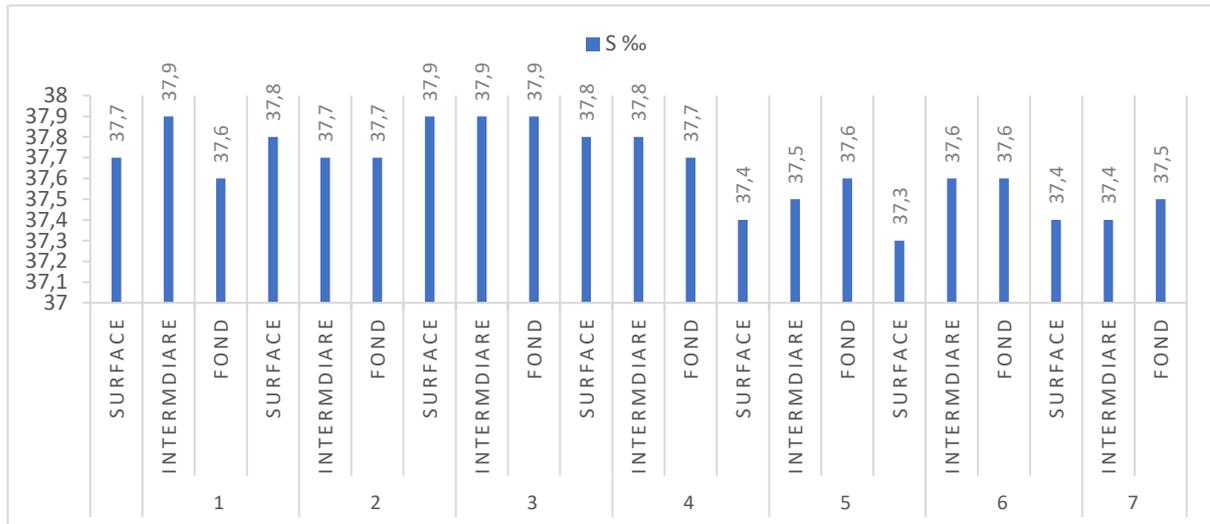


Figure III.3 : Mesure in situ de la Salinité dans la zone d'étude.

### III.1.4. Oxygène Dissous

Les niveaux d'oxygène dissous dans la zone de prélèvement varient entre 7,14 mg/l (zone 4 à l'intermédiaire) et 8,14 mg/l (zone 7 en surface), avec une valeur moyenne de 7,67 mg/l.

En l'absence de processus chimiques et biologiques, la concentration de l'oxygène dans l'eau en contact de l'air n'est fonction que de la pression atmosphérique, de la température de l'eau et de la salinité. La concentration d'équilibre, généralement appelée saturation est, par exemple à 20°C et sous une atmosphère, de 7,3 mg/l dans l'eau de mer de salinité 35 [58].

Du moment que la moyenne de la salinité de la mer méditerrané est de 37 mg/l alors la TOD doit être inférieur à 7,3 mg/l. On remarque alors que la teneur en O<sub>2</sub> dissous a tendance à diminuer. Par ailleurs, ces concentrations augmentent avec l'activité photosynthétique [59].

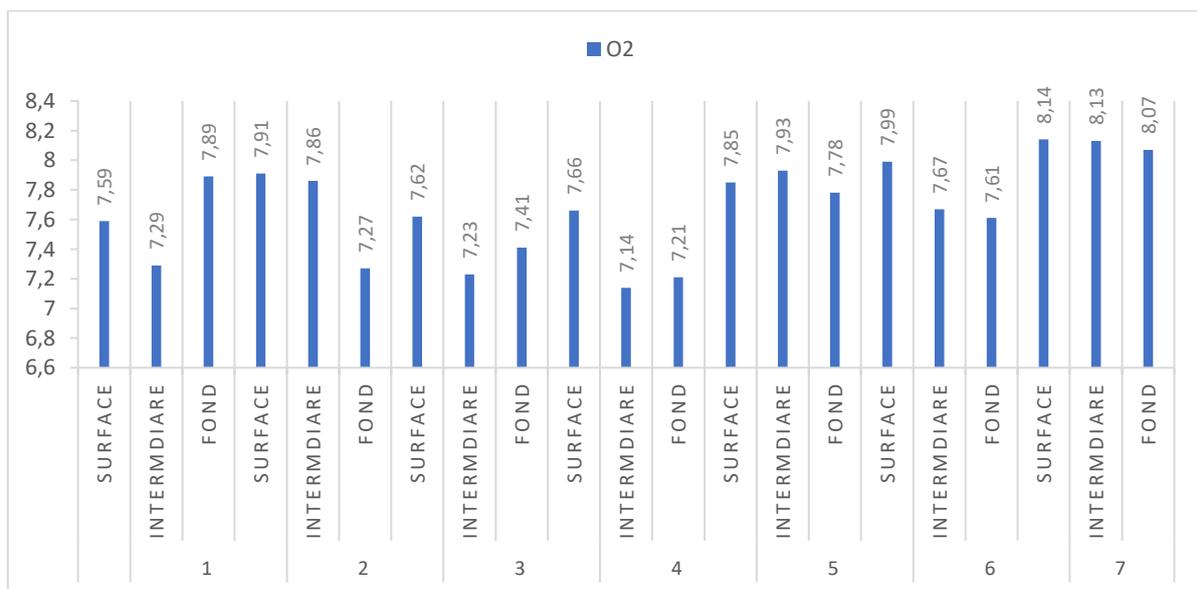
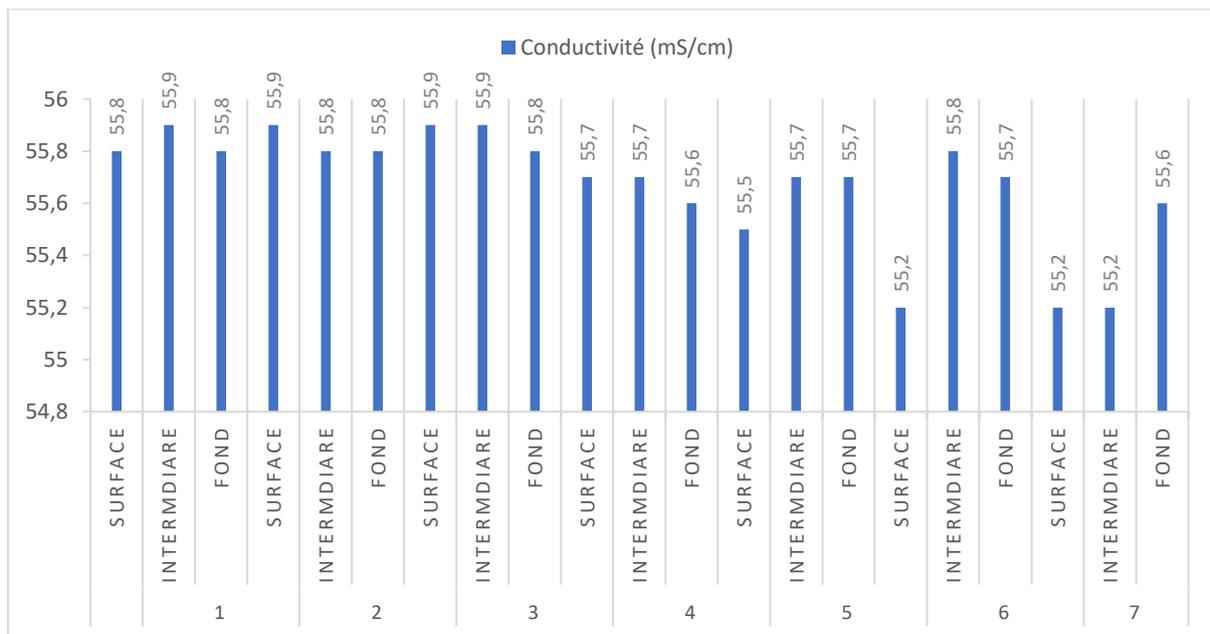


Figure III.4: Mesure in situ de l'Oxygène Dissous dans la zone d'étude.

### III.1.5. Conductivité

Les valeurs de la conductivité enregistrée au niveau de la zone de prélèvement varient entre 55,2 mS/cm et 55,9 mS/cm avec une moyenne de 55,67 mS/cm.

Pour une eau de mer d'une salinité de 35 g/kg à pression atmosphérique normale et température de 15°C :  $C (1 \text{ atm}, 15^\circ\text{C}) = 42,914 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  [16]. Ce qui est en accord avec les valeurs de température et de salinité relevées au sein de la même zone.



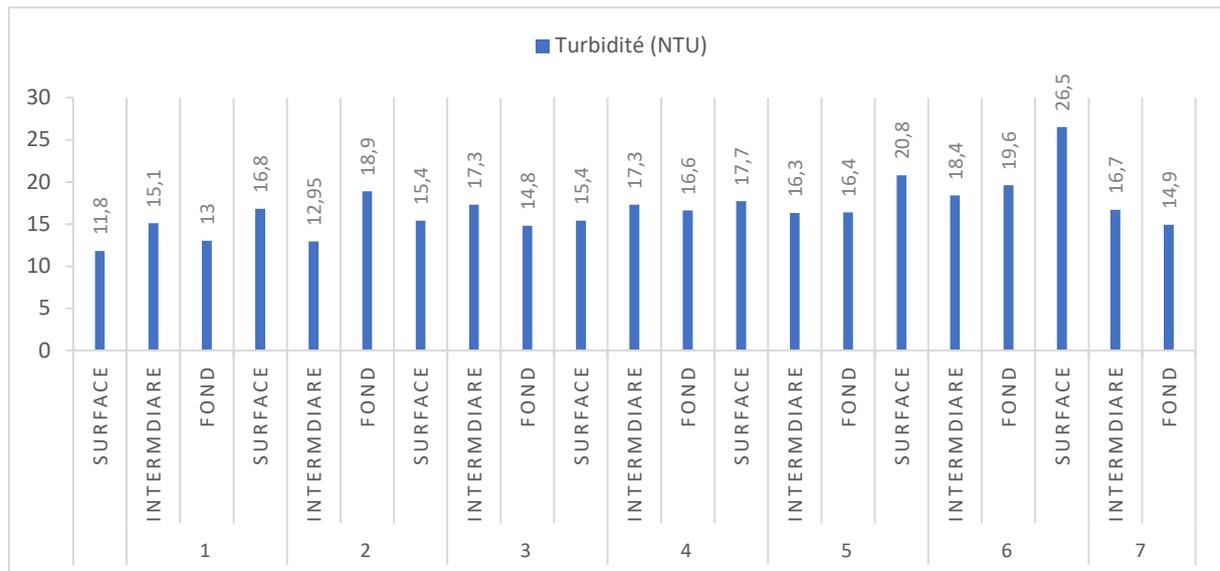
**Figure III.5:** Mesure in situ de la Conductivité dans la matrice eau de mer.

### III.1.6. Turbidité

La turbidité des eaux potables varie de 0,5 à 5 NTU [6].

Les valeurs de turbidité dans la zone d'étude sont plus ou moins élevés, elles sont comprises dans l'intervalle 11,8 à 26,5 NTU avec une moyenne de 16,79 NTU, ceci est dû à la présence de deux Oueds (Oued Sghir et Oued Soummam) qui déversent directement à proximité du port de Bejaia.

La valeur maximale admissible pour la turbidité de l'eau d'alimentation des membranes est de 1 NTU.



**Figure III.6:** Mesure in situ de la Turbidité dans la zone d'étude.

## III.2. Matières minérales

### III.2.1. Eléments majeurs

Les valeurs moyennes des éléments chimiques analysés sont :

- Calcium (Ca) : de 430 à 440 mg/l ;

D'après l'analyse du graphe, on peut observer que les valeurs de concentration sont globalement constantes à 440 mg/l pour la plupart des stations étudiées. Cependant, on remarque une légère variation dans les trois dernières stations, à savoir la station 5 (intermédiaire), la station 6 et la station 7 (surface), où la concentration est égale à 430 mg/l.

- Potassium (K) : 400 mg/l ;

D'après les données du graphe, il est observé que la concentration en potassium reste constante et stable à environ 400 mg/l dans toutes les stations étudiées.

- Magnésium (Mg) : de 1330 à 1350 mg/l ;

D'après les données fournies, on constate que dans chaque station, la valeur la plus élevée est enregistrée dans le fond, atteignant un niveau de 1350 mg/l.

D'autre part, la valeur la plus basse de concentration de 1330 mg/l est relevée dans la zone 5, située en position intermédiaire. Cela suggère que cette zone présente une légère diminution de la concentration par rapport aux autres parties de l'eau échantillonnée.

- Sodium (Na) : de 11050 à 11230 mg/l ;

L'un des éléments majeurs dans l'eau de mer dû à sa valeur très élevée, on note que dans les zones 1 et 5 à l'intermédiaire leurs valeurs sont respectivement 11050-11230 mg/l.

- Chlorures (Cl) : de 19870 à 20200 mg/l ;

Deuxième élément majeur, ou on enregistre les valeurs [19870-20200] mg/l à l'intermédiaire qui sont dans les zones respectivement (5, 1).

- Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) : de 2770 à 2820 mg/l ;

D'après le graphe, on note les différentes valeurs des stations 1 et 5 à l'intermédiaire sont respectivement 2770 et 2820 mg/l.

- Bore (B) : de 3,9 à 4,6 mg/l ;

Elément de faible quantité dans l'eau de mer que l'on enregistre une variation de 3,9 mg/l dans la station 7 au fond et de 4,6 mg/l dans les stations 1, 2 et 3 au fond.

- Fluor (F) : de 0,99 à 1,2 mg/l ;

Comme le bore, le fluor est aussi de très faible quantité dans l'eau de mer et qu'il n'y a pratiquement pas une différence entre les valeurs, d'où la variation est de 0,99 mg/l dans la station N°4 à la surface et de 1,2 mg/l dans la station N°1 au fond.

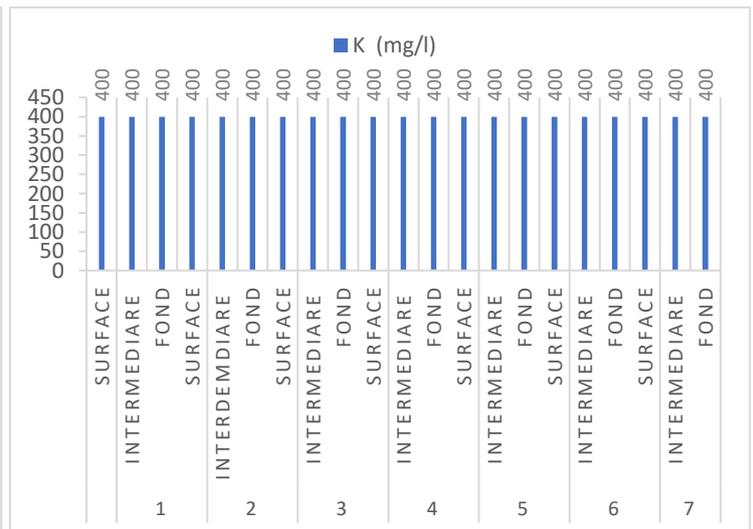
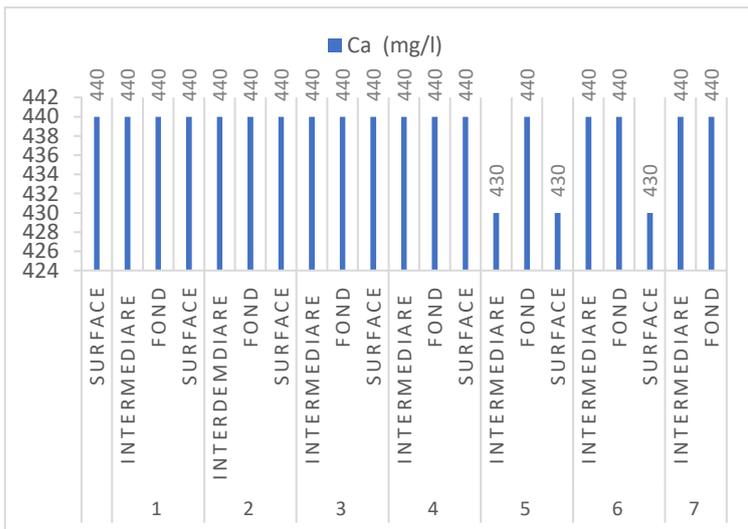
- Strontium (Sr) : de 6,005 à 7,015 mg/l ;

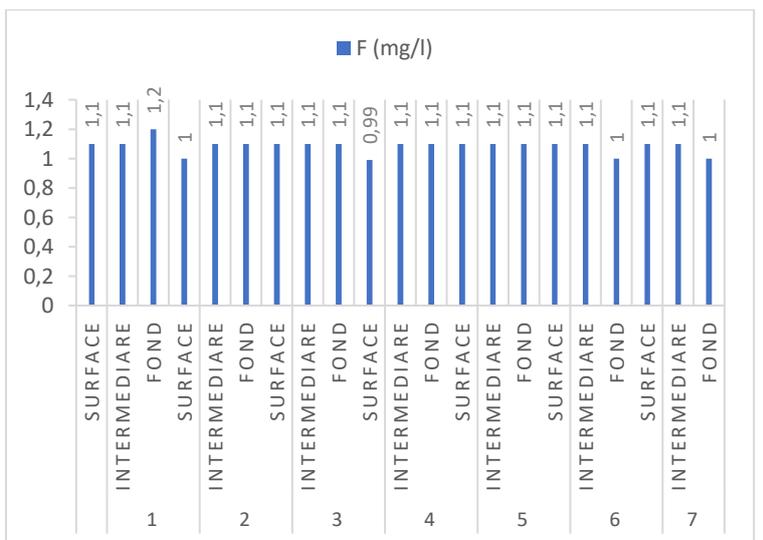
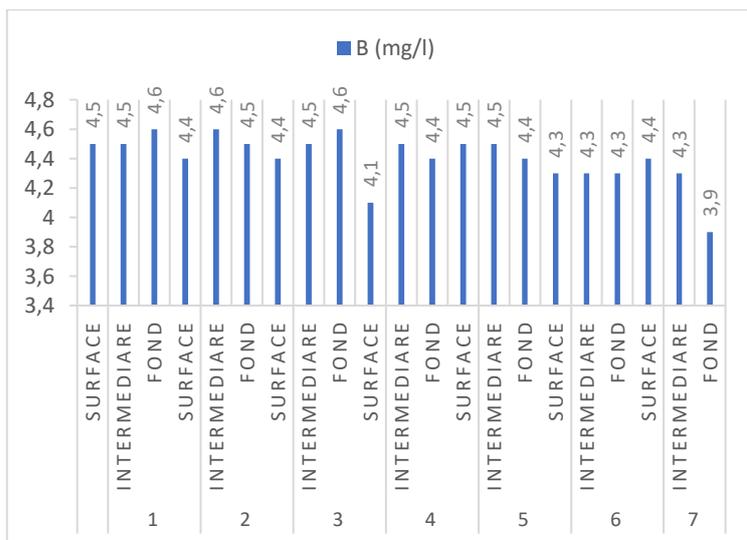
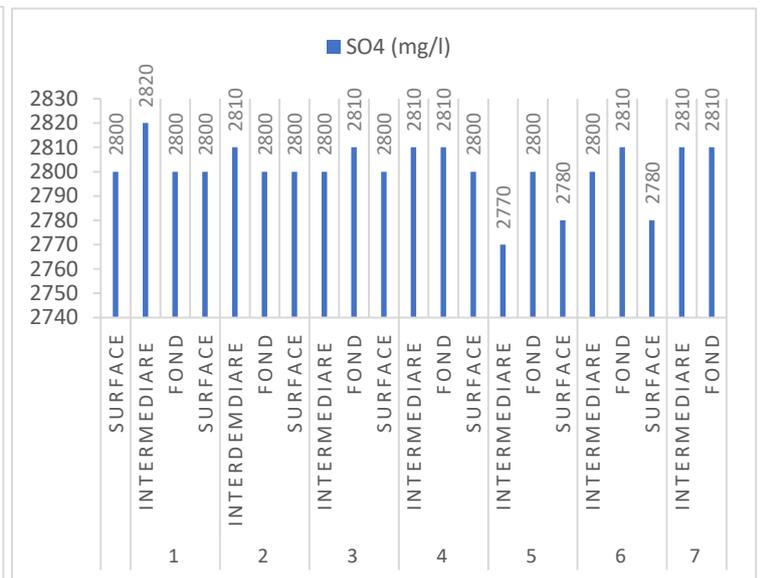
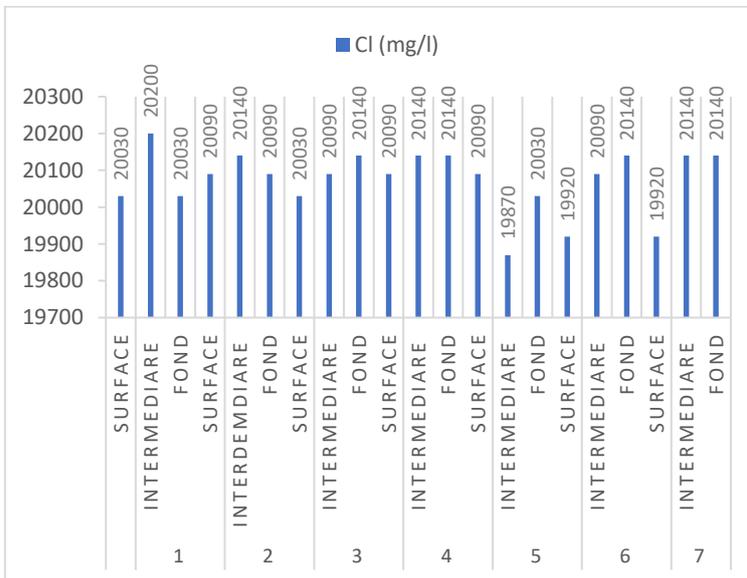
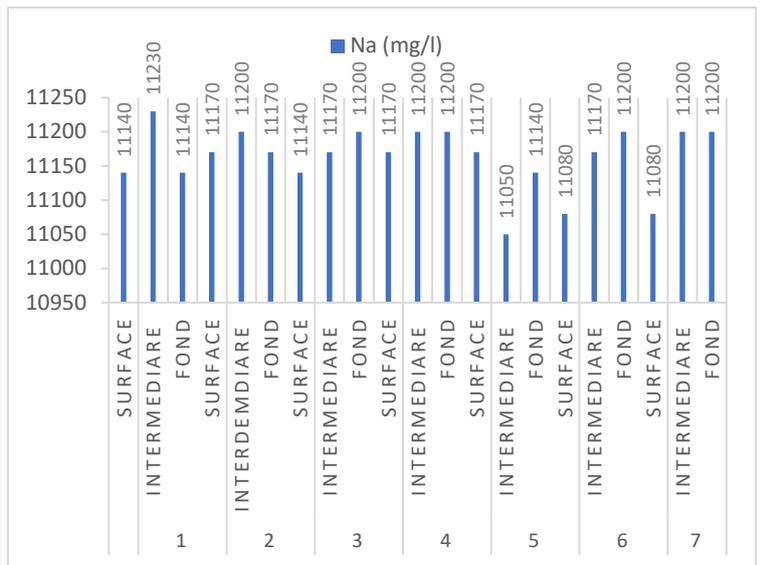
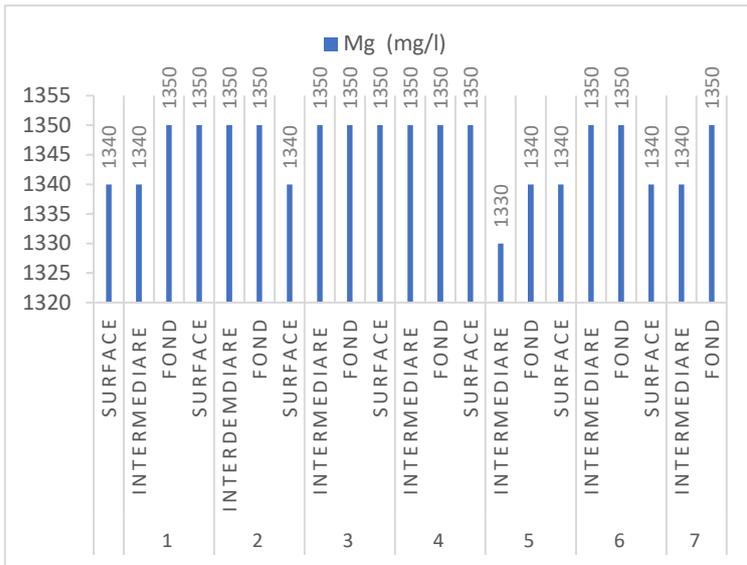
La plus basse valeur du strontium est située dans la zone 7 au fond et la plus élevée est dans la zone 2 à l'intermédiaire.

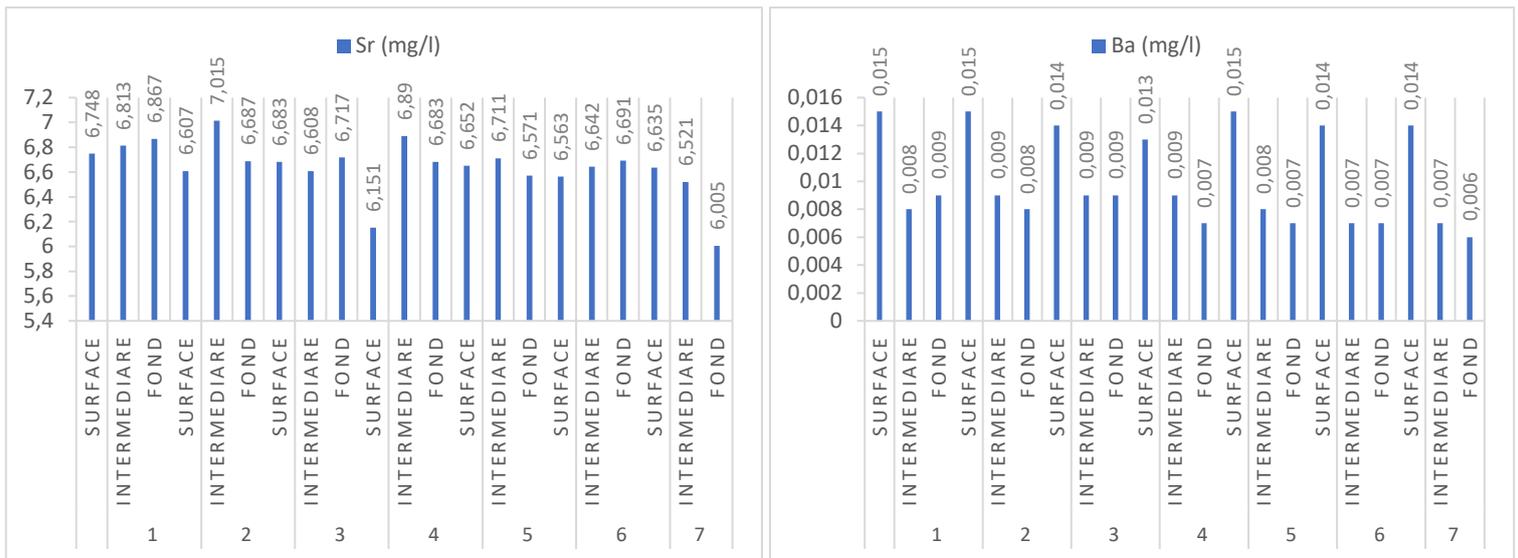
- Baryum (Ba) : de 0,006 à 0,015 mg/l.

L'élément le plus faible ou il se trouve en pratiquement le plus à la surface dans toutes les stations.

Les valeurs des éléments minéraux se rapprochent de ceux d'une composition d'eau de mer standard d'une salinité de 35 g/l.







**Figure III.7:** Teneurs en éléments minéraux (Ca, K, Mg, Na, Cl, SO<sub>4</sub>, B, F, Sr, Ba) dans la matrice eau de mer.

### III.2.2. Autres éléments minéraux (sels nutritifs)

Les valeurs enregistrées restent compatibles avec les campagnes réalisées en mer méditerranée [59].

- Nitrate : de 0,005 à 0,017 mg/l ;

D'après le graphe, les valeurs du nitrate augmentent en s'éloignant du port.

- Phosphate : de 0,001 à 0,011 mg/l ;

Dans chaque station, la valeur la plus élevée se situe dans le fond. Par ailleurs, la valeur la plus basse est de 0,001 mg/l dans la station N°1 à l'intermédiaire et la valeur la plus élevée est de 0,011 mg/l dans la station N°3 au fond.

- Ammoniac : de 0,115 à 0,266 mg/l ;

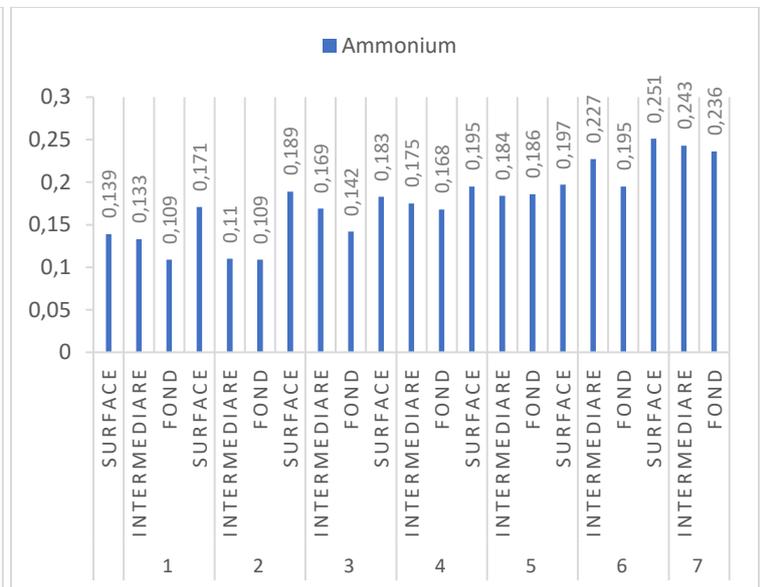
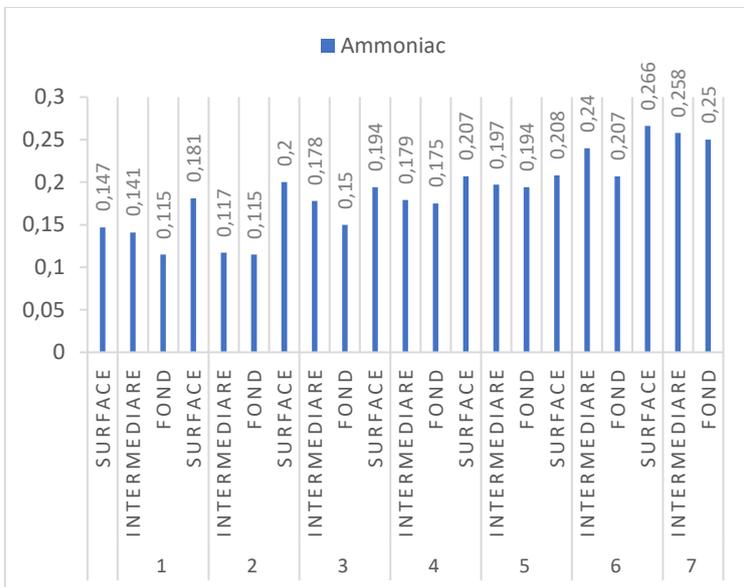
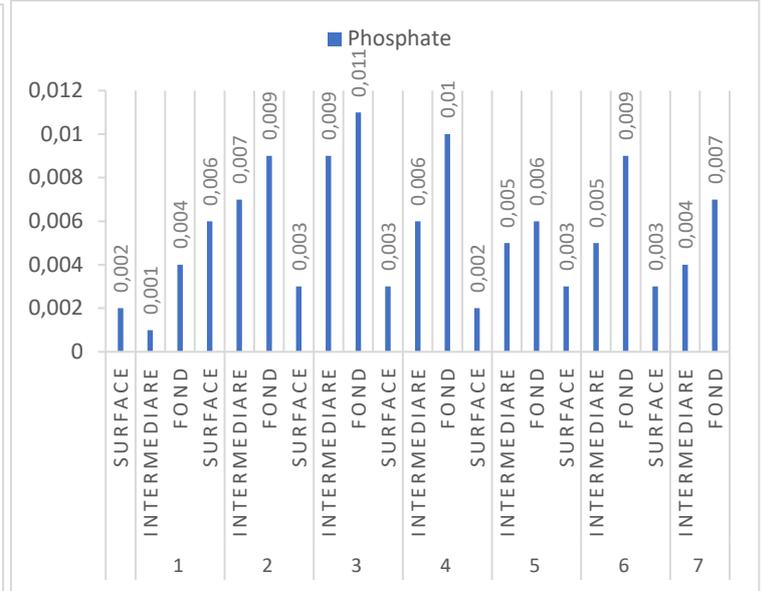
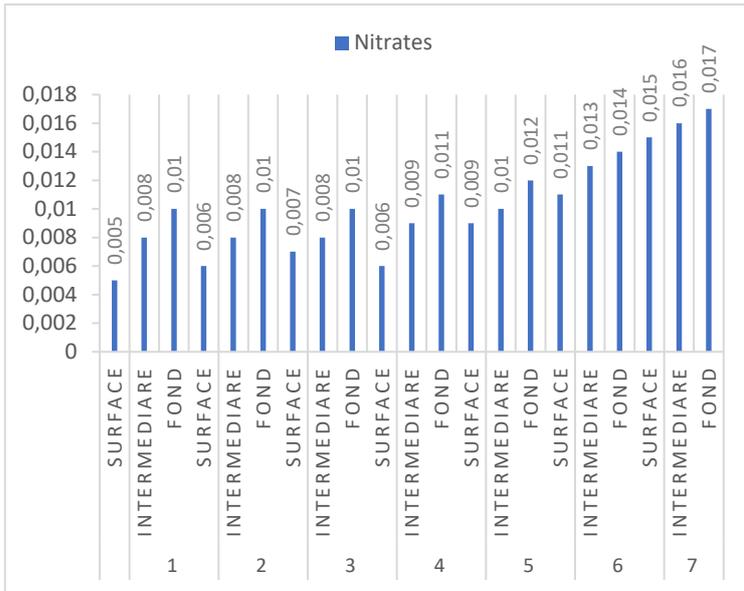
Les valeurs de l'ammoniac enregistrées dans les zones de prélèvement varient entre 0,115 mg/l dans les stations 1 et 2 au fond et 0,266 mg/l dans la station 7 à la surface.

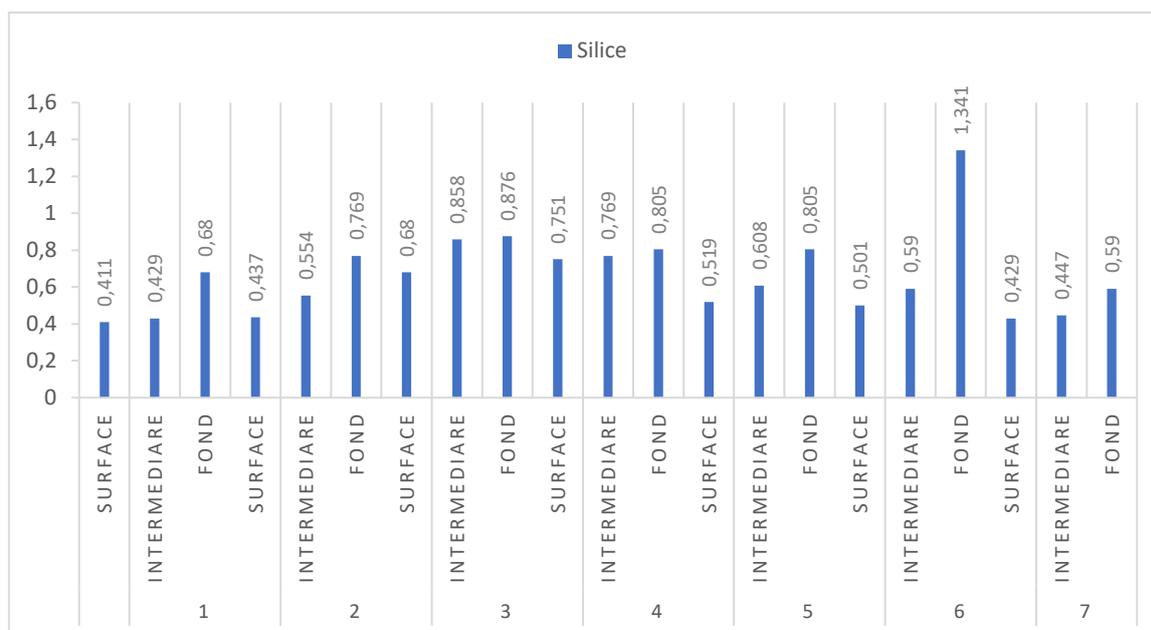
- Ammonium : de 0,109 à 0,251 mg/l ;

Les valeurs les plus faibles se trouvent au fond de la zone d'étude et les plus élevées sont pratiquement à la surface.

- Silice : de 0,411 à 1,341 mg/l.

Contrairement à l'ammonium, les valeurs les plus élevées se trouvent au fond et les plus faibles à la surface.





**Figure III.8:** Teneurs en sels nutritifs dans la matrice eau de mer.

### III.3. Matières calco-carbonique

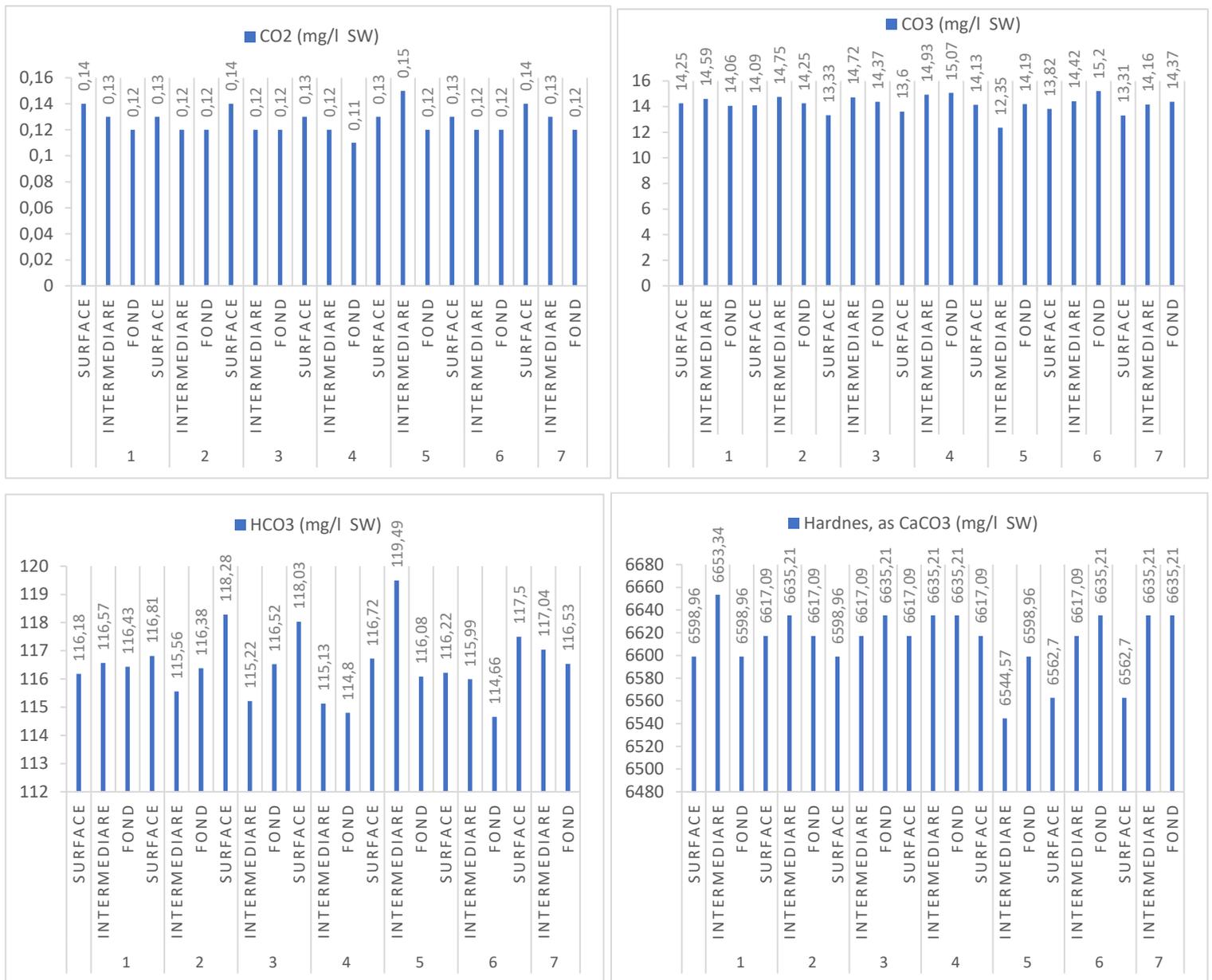
Plus de 95% du carbone se trouve dans l'océan sous forme de carbone inorganique dissous (DIC) ou CO<sub>2</sub> total (TCO<sub>2</sub>). Il se présente comme la somme des concentrations des espèces du carbone inorganique dissous dans l'eau de mer :

$$\text{TCO}_2 = [\text{CO}_2(\text{aq})] + [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

Les bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) constituent environ 90% de TCO<sub>2</sub>, les carbonates (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) 9%, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) 1%, et l'acide carbonique (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) les 0.001% restants. Ces proportions relatives sont assez variables, et TCO<sub>2</sub> varie dans l'océan mondial de 1850 à 2300 μmol/kg (115,5 à 143,6 mg/l) [34], ce qui correspond à une variation de 10 à 13 mg/l pour le CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> et 104-130 mg/l de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Les résultats obtenus pour le CO<sub>2</sub>, les carbonates et les bicarbonates (voir la figure III.9) sont conformes aux valeurs obtenues dans les zones côtières en méditerranée [57].

Les concentrations obtenues de la dureté totale sont comprises dans l'intervalle (6544,57 et 6653,34) mg/l.



**Figure III.9:** Teneurs en dioxyde de carbone, des carbonates, des bicarbonates et de la dureté en tant que CaCO<sub>3</sub> dans la matrice eau de mer.

### III.4. Métaux lourds (Cu, Ni, Zn, Pb, Cd, Hg)

Les métaux lourds ont tendance à s’associer à la matière organique. Le milieu enregistrant de faible taux en matière organique (voir les résultats au-dessous), ce qui explique les faibles teneurs en ces éléments dans le milieu et qui restent toujours en deçà des valeurs seuils de la réglementation en vigueur.

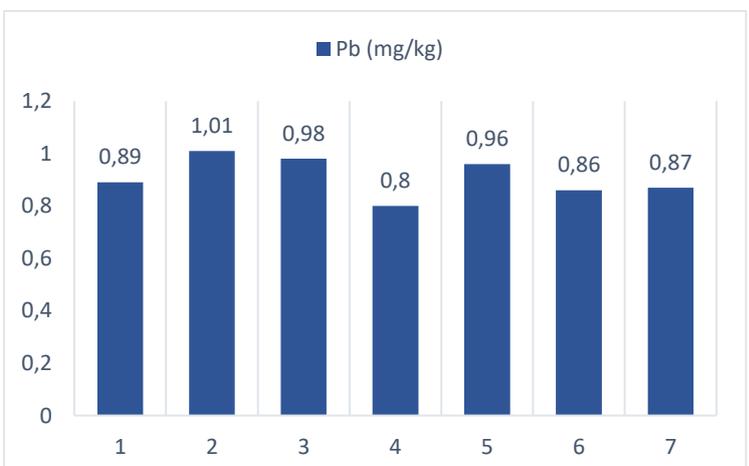
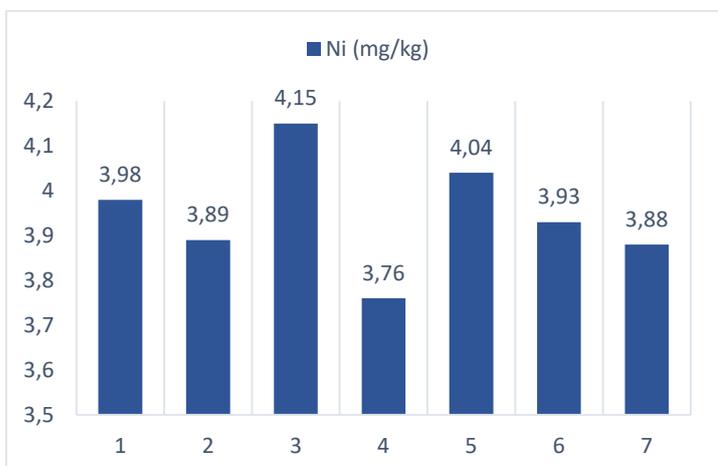
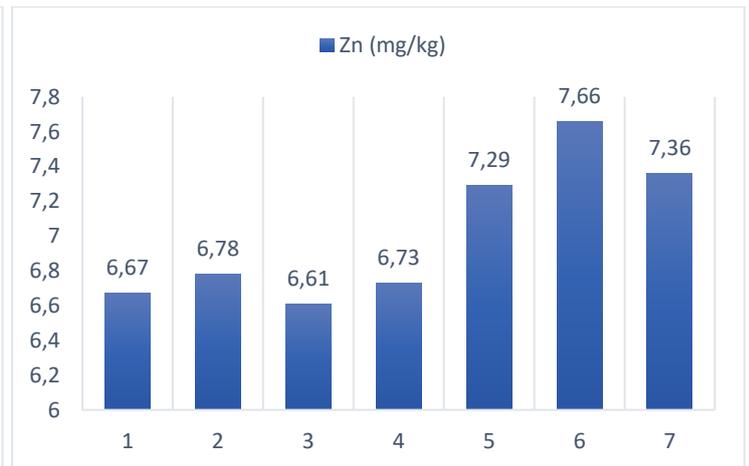
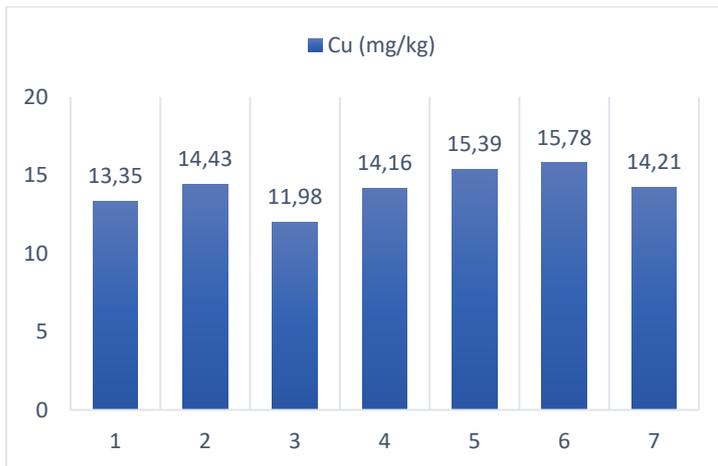
L’exception du mercure au niveau de la station P6, où sa concentration dépasse légèrement les seuils (Hg : 1.5 mg/kg). Cela peut être expliqué par les déversements d’Oued Soummam et

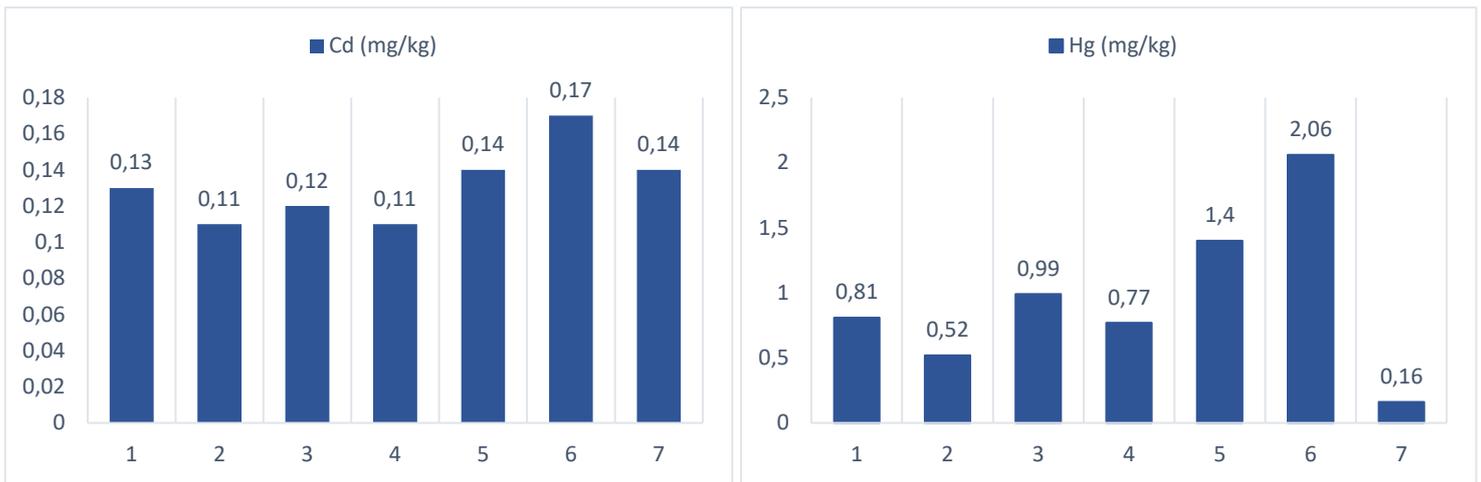
Oued Sghir au niveau de la zone marine du site, s’ajoutant à cela le port de Bejaia et ces activités.

Selon la circulaire n°004/MDRTE/91 émise par le Ministère Délégué pour la Recherche, la Technologie et l’Environnement, il a été établi des concentrations seuils à ne pas dépasser pour l’immersion des déblais de dragage provenant des enceintes portuaires en mer ouverte, comme indiqué dans le Tableau III.1.

**Tableau III.1:** valeurs seuils selon la circulaire n°004/MDRTE/91 émanant du MDRTE pour l’immersion des déblais de dragage des enceintes portuaires en mer ouverte.

Paramètres	Unités	Valeurs limites
Cuivre	mg/kg de matières sèches	150
Zinc		500
Nickel		75
Plomb		250
Cadmium		3
Mercurure		1,5

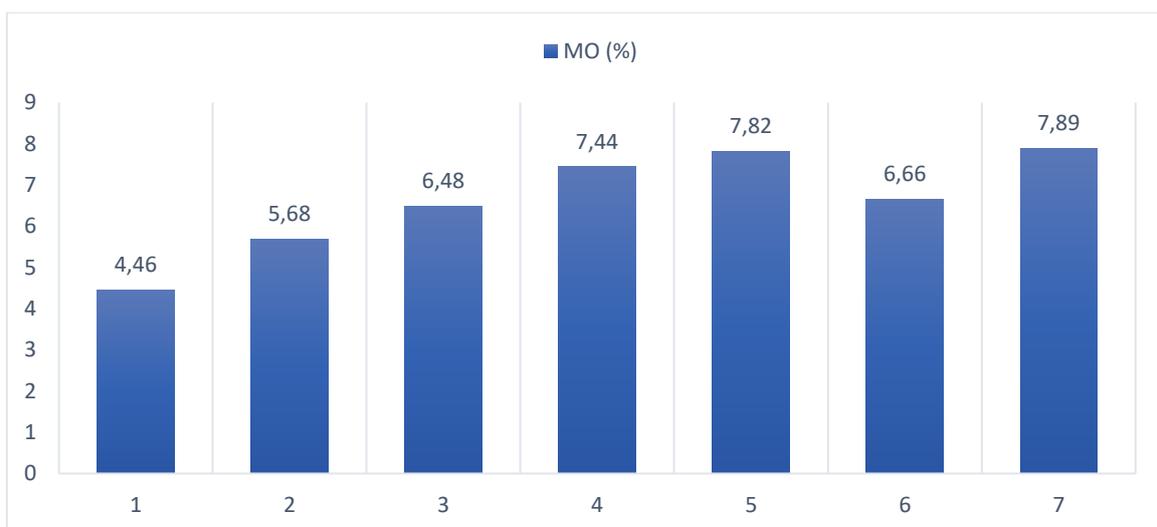




**Figure III.10:** Teneurs en métaux lourds (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, Hg) dans la matrice sédiments marins.

### III.5. Matières organiques

Le fond marin de la zone de prélèvements est caractérisé par une faible quantité en matière organique comprises entre 4,46 et 7,89 %.



**Figure III.11:** Teneurs en matière organique dans la matrice eau de mer.

### III.6. Paramètres biologiques

#### III.6.1. Total des solides dissous (TDS)

Ce paramètre représente la quantité des substances inorganiques dissoute dans l'eau brute.

Les valeurs enregistrées varient dans un intervalle compris entre 36,950 à 38,206 g/l.

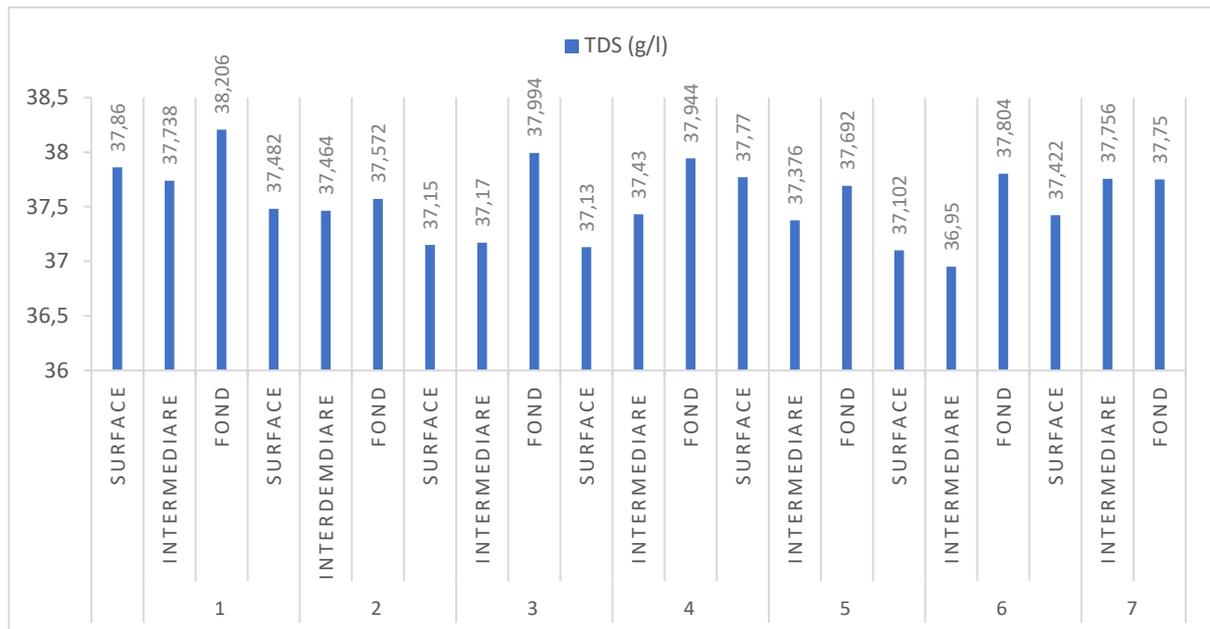


Figure III.12: Teneurs en total des solides dissous (TDS) dans la matrice eau de mer.

### III.6.2. Total des solides en suspension (TSS)

Les solides en suspensions sont décrits comme étant la quantité totale de matière organique en suspension dans une eau brute [57].

Les valeurs de ce paramètre sont comprises entre 0 et 14,4 mg/l.

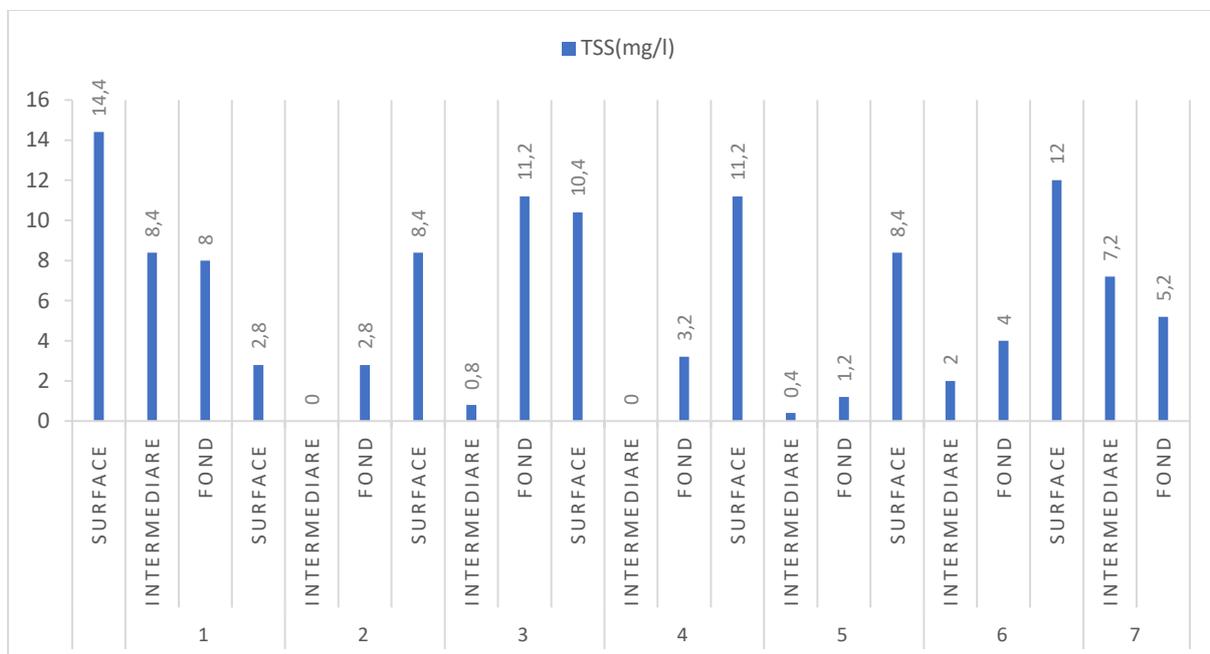


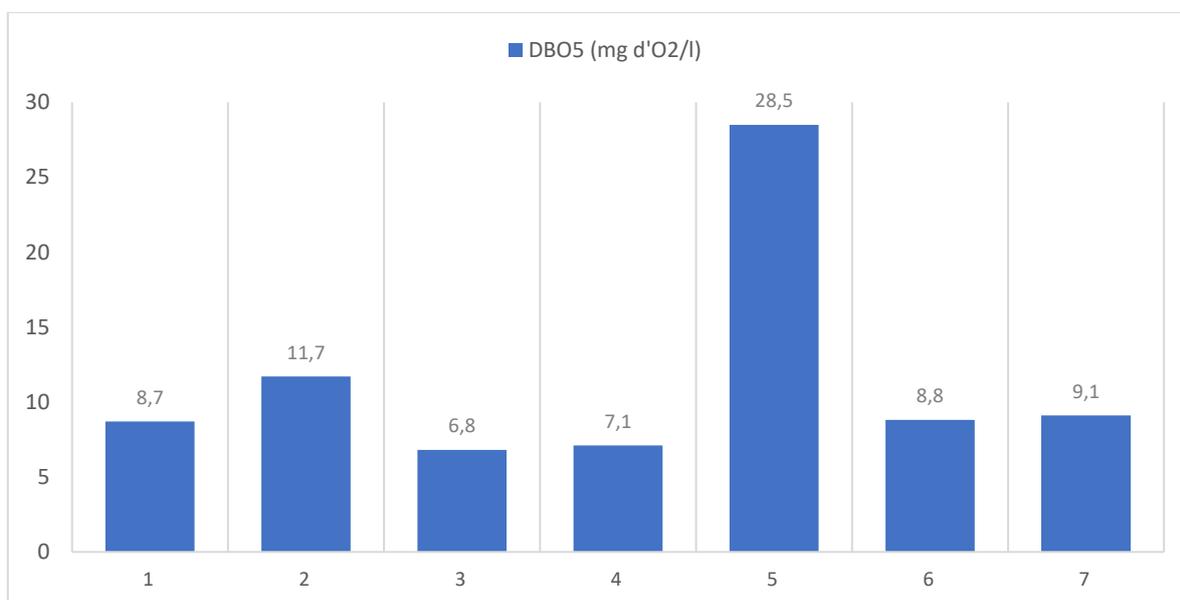
Figure III.13: Teneurs en total des solides en suspension (TSS) dans la matrice eau de mer.

**III.6.3. Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) et demande chimique en oxygène (DCO)**

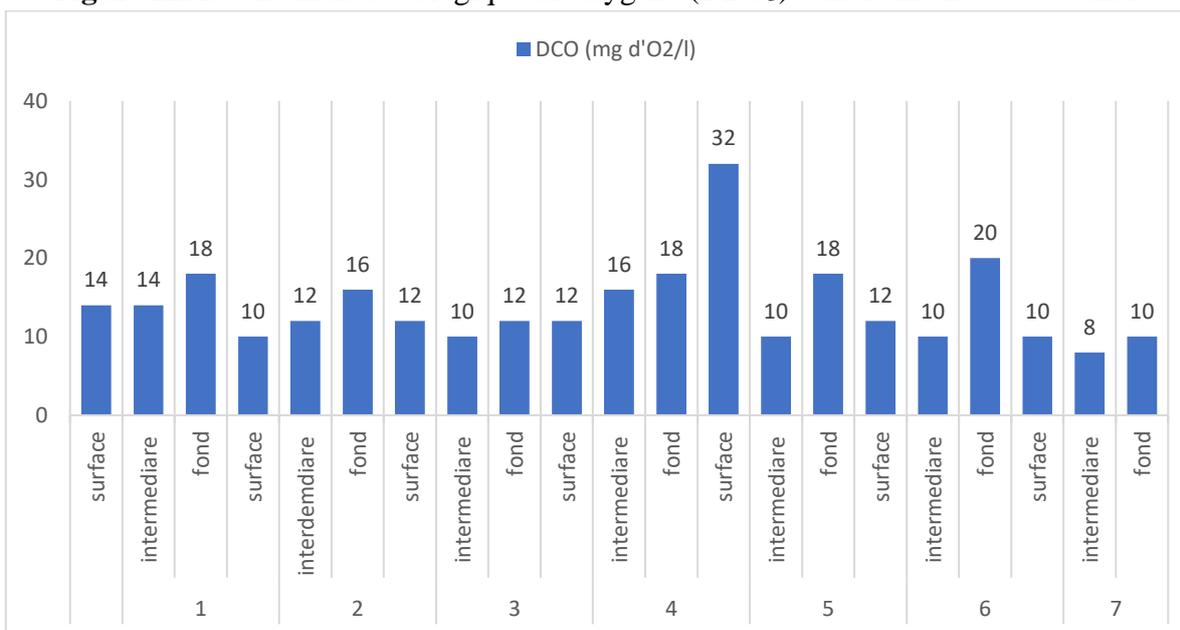
La valeur maximale de la demande biologique en oxygène enregistré se situe dans la station N° 5 d’une valeur de 28,5 mg/l, et la valeur minimale se situe dans la station N° 3 d’une valeur de 6,8 mg/l.

La valeur maximale de la demande chimique en oxygène enregistré se situe dans la station N°5 (surface), et la valeur minimale qui est l’ordre de 8 mg/l dans la station N°7 (intermédiaire).

Suivant la réglementation Algérienne en vigueur (Décret exécutif n°06-141 du 19 Avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d’effluents liquides industrielles (35 mg/l pour la DBO<sub>5</sub> et 120mg/l pour la DCO) les valeurs de la DBO<sub>5</sub> et DCO répondent à cette réglementation.



**Figure III.14 :** Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) dans la matrice eau de mer.



**Figure III.15 :** Demande chimique en oxygène (DCO) dans la matrice eau de mer.

### III.7. Synthèse

#### III.7.1. Paramètres physico-chimiques

Ce tableau présente une synthèse comparative entre les paramètres acceptables d'une eau de mer standard et les valeurs mesurées au niveau de prélèvement dans la zone d'étude.

**Tableau III.2:** Comparaison des résultats des paramètres physico-chimiques.

Eléments	Valeurs admissibles	Valeurs expérimentales Moyennes	Remarques
Température	12 à 30°C	23,42°C	Validée
pH	7,5-8,4	7,81	Validée
Salinité	37‰-40‰	37,65‰	Validée
Oxygène dissous	7,3 mg/l (S=35 g/l)	7,67 mg/l (S=37,65 g/l)	Acceptable
Conductivité	42,914 mS/cm (S=35 g/l, 15°C, 1 atm)	55,67 mS/cm (S=37,65 g/l)	Acceptable
Turbidité	Eau potable : 0,5-5 NTU Membranes : <1 NTU	16,79 NTU	Très élevée

- Concernent la température et le pH, aucun prétraitement n'est nécessaire puisque ces valeurs correspondent à tout type de membrane. Mais il est quand même important de vérifier ces paramètres avant d'acheminer les solutions à travers les membranes afin d'éviter leur endommagement.
- La salinité peut également jouer un rôle important dans le fonctionnement des membranes, chaque type de membrane a ses propres limites de tolérance à la salinité. Il est important de respecter les limites spécifiées par le fabricant pour éviter tout effet néfaste sur les performances de la membrane.
- L'oxygène dissous peut provoquer des problèmes dans les membranes utilisées dans ce processus, entraînant une diminution de l'efficacité et de la durabilité du système. Pour prévenir ces problèmes, plusieurs méthodes de prétraitement sont utilisées à cet effet, notamment : désoxygénation, aération contrôlée ou membranes spéciales.
- La turbidité contient généralement des matières en suspension et des particules colloïdales qui absorbent, diffusent ou défléchissent la lumière. Pour pouvoir éliminer ces particules, il faut appliquer un prétraitement soit par coagulation-floculation voire la filtration.

- La conductivité de l'eau de mer est très élevée en raison de sa forte concentration en sels dissous [8]. Le contrôle de la conductivité est essentiel dans le dessalement d'eau de mer, des mesures régulières de la conductivité sont effectuées tout au long du processus de dessalement pour surveiller les variations de la salinité de l'eau de mer et les performances des membranes d'OI.

### III.7.2. Eléments minéraux

Les prétraitements appropriés pour les éléments minéraux comme le Calcium, Magnésium, Baryum ou Strontium, Sulfates et Carbonates sont l'utilisation de produit antitartre et l'acidification.

Pour les oxydants comme le Chlore, Ozone,  $\text{KMnO}_4$  sont prétraités par (meta)Bisulfite de soude ou par Charbon Actif en Granulés.

Il faut noter que l'on doit éliminer tout le chlore libre ( $\ll 0,1$  mg/l) et même pour certaines membranes, le chlore combiné (chloramine, chlore organique...) [61].

### III.7.3. Métaux lourds

La comparaison des valeurs moyennes des métaux lourds étudiés aux valeurs limites de la norme n°004/MDRTE/91 permet de déterminer les concentrations autorisées en métaux lourds dans l'eau de mer. Ces valeurs limites sont fixées afin de garantir la protection de l'environnement marin et la sécurité sanitaire des eaux traitées.

**Tableau III.3:** Comparaison des valeurs moyennes des métaux lourds étudiés aux valeurs limites.

Paramètres	Unités	Valeurs expérimentales moyennes	Valeurs limites
Cuivre	mg/kg de matières sèches	14,19	150
Zinc		14,23	500
Nickel		3,95	75
Plomb		0,91	250
Cadmium		0,13	3
Mercuré		0,96	1,5

Selon le tableau III.3 pour la zone étudiée, les valeurs moyennes des métaux lourds restent acceptables. Il est tout de même nécessaire de mettre en place un prétraitement approprié pour éliminer ou réduire la présence de métaux lourds avant l'utilisation des membranes osmose inverse.

Des techniques de prétraitement telles que la coagulation-floculation et la filtration, l'adsorption sur charbon actif ou charbon actif en granulés, ou même des processus avancés comme l'ultrafiltration.

#### **III.7.4. Matières organiques**

Malgré que les valeurs des matières organiques soient faibles mais il est quand même nécessaire d'appliquer un prétraitement pour les éliminer.

Les prétraitements nécessaires sont :

- Coagulation et filtration plus adsorption sur charbon actif ;
- Coagulation et ultrafiltration.

#### **III.7.5. Paramètres biologiques**

Les paramètres biologiques dans le dessalement d'eau de mer peuvent inclure des microorganismes, des algues, des virus, des bactéries et autres matières biologiques présentes dans l'eau de mer. Pour assurer un dessalement efficace et prévenir les problèmes opérationnels, certains prétraitements sont utilisés pour éliminer ou réduire ces paramètres biologiques indésirables. Les techniques de prétraitement couramment utilisées sont les produits de chloration, coagulation-floculation, décantation et l'ultrafiltration.

# **Conclusion générale**

### Conclusion générale

L'accès à l'eau est une préoccupation majeure pour le XXIème siècle. Les ressources en eau conventionnelles (eaux souterraines et eaux de surface) s'avèrent de plus en plus insuffisantes. A cet effet, le recours aux eaux non conventionnelles devient un impératif.

Dans le contexte actuel, l'Algérie en général et le groupe Cevital en particulier se dirigent vers le dessalement des eaux de mer pour satisfaire leurs besoins en eau. Ce travail a eu pour objectif de caractériser les eaux de mer à proximité du port de Bejaia (région d'étude) destinées au dessalement par osmose inverse. L'étude a porté sur des échantillons d'eau de mer prélevés au niveau de sept stations différentes réparties entre les isobathes (même profondeur), à savoir entre - 12 et -16 m. Cette caractérisation a été basée sur les aspects qualitatif et quantitatifs des paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

Les paramètres physiques mesurés ont permis d'arriver aux conclusions suivantes :

La température au niveau de la zone de prélèvement varie entre 22,9 et 24,2°C avec une valeur moyenne de 23,42 °C. Cette température moyenne est bien dans la gamme de température des eaux de la mer méditerranée qui sont caractérisées par une variation de 12 à 30°C [33].

La conductivité électrique est comprise entre 55,2 et 55,9 mS/cm avec une moyenne de 55,67 mS/cm.

Le pH de l'eau de mer prélevée varie entre 7,14 et 7,99 avec une moyenne de 7,81. La gamme du pH de l'eau de mer varie de 7,5 à 8,4 [8]. En dehors de la station N°5 où le pH est égal à 7,14, les valeurs du pH des autres stations restent conformes aux valeurs usuelles. La moyenne reste également acceptable pour tous les types de membranes [35].

Les valeurs de salinité de l'eau de mer étudiée, variant entre 37,3 et 37,9 ‰ avec une moyenne de 37,65 ‰, se situent dans la gamme typique de la salinité de l'eau de mer de la Méditerranée, qui varie généralement de 37 à 40 ‰ [10].

Les niveaux d'oxygène dissous dans la zone de prélèvement varient entre 7,14 mg/l (zone 4 à l'intermédiaire) et 8,14 mg/l (zone 7 en surface), avec une valeur moyenne de 7,67 mg/l.

Les valeurs de la turbidité de l'eau de mer étudiée varient de 11,8 à 26,5 NTU. Ces valeurs comparées à celle des eaux potables (0,5 à 5 NTU) [6] restent très élevées.

Les valeurs des paramètres physico-chimiques sont globalement tous conformes à l'exception de la turbidité voire de la conductivité.

## Conclusion générale

---

Les teneurs des éléments traces (Cu, Ni, Zn, Pb, Cd, Hg) sont en très faibles concentrations et qui sont en deçà des valeurs seuils de la réglementation en vigueur.

Les valeurs des teneurs des matières calco-carbonique (le CO<sub>2</sub>, les carbonates et les bicarbonates) montrent que ces eaux sont conformes aux valeurs obtenues dans les zones côtières en méditerranée [57].

Les valeurs enregistrées des matières minérales tels que les éléments majeurs (sels nutritifs) restent compatibles avec les campagnes de mesure réalisées en mer méditerranée [59].

Malgré que les concentrations des matières organiques soient faibles mais il est quand même nécessaire d'appliquer un prétraitement pour les éliminer.

Les paramètres biologiques de prélèvements d'eau au niveau des sept stations sont acceptables pour le dessalement par l'osmose inverse.

Certains prétraitements sont utilisés pour éliminer ou réduire ces paramètres biologiques indésirables comme l'utilisation de produits de chloration, coagulation-floculation, décantation et l'ultrafiltration

Bien que les mesures enregistrées dans les sept (07) stations soient acceptables pour un dessalement efficace, certains paramètres nécessitent un prétraitement pour garantir une performance optimale du processus. Ces paramètres comprennent la salinité, l'oxygène dissous, les métaux lourds et les matières organiques.

À cet effet, un prétraitement approprié permettra de maintenir ces paramètres dans des limites acceptables. Cependant, il existe deux types de prétraitements : prétraitement conventionnel et membranaire. Ces deux types de prétraitements sont souvent utilisés en combinaison pour préparer l'eau de mer avant son passage dans le système d'osmose inverse. Le prétraitement conventionnel permet d'éliminer les impuretés plus grossières, tandis que le prétraitement membranaire cible les contaminants plus fins et les matières organiques dissoutes.

## **Références bibliographiques**

### Références Bibliographiques

[1] [www.cevital.com](http://www.cevital.com)

[2] **Kessai, S. Tizerarine, L. (2020).** Programmation du fonctionnement de la ligne de traitement des eaux par osmose inverse via portail v15 au sein de l'entreprise Cevital de Bejaia, mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master, Université de Bejaia.

[3] **Lahbas, Z. Harfouche, S. (2022).** Analyses physico-chimiques des eaux issues du processus d'osmose inverse – déionisation de l'entreprise agroalimentaire CEVITAL.

[4] [www.culligan.fr/conseils/qu-est-ce-que-l-eau/](http://www.culligan.fr/conseils/qu-est-ce-que-l-eau/)

[5] [www.larousse.fr/dictionnaires/francais/eau/27209#](http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/eau/27209#)

[6] **Desjardins, R. (1997).** Le traitement des eaux, 2<sup>ème</sup> édition revue et enrichie.

[7] [www.africmemoire.com/part.3-chap-i-generalite-sur-leau-775.html](http://www.africmemoire.com/part.3-chap-i-generalite-sur-leau-775.html)

[8] [www.aquaportail.com/definition-6142-eau-de-mer.html](http://www.aquaportail.com/definition-6142-eau-de-mer.html)

[9] **Renaudin, V.** Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, Publié le 18. 11.03, Consulté le 25.04.23.

[10] **Degrement, S. (2005).** Mémento technique de l'eau, Tome2, 10<sup>ème</sup> édition.

[11] **Grobe, H. Wegener, A.** Présentation des principaux composants de l'eau de mer, Institute for polar and, marine research, Wikimedia commons.

[12] **Habet, L. (2012).** Contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement, Mémoire de Magister, Université M'Hamed Bougara Boumerdes,

[13] **Tansakul, C. (2009).** Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse, Thèse de Doctorat, Université de TOULOUSE.

[14] **Chifflet, S. Philippe, G. Renaud, F. (2004).** Manuel d'analyses chimiques dans l'eau de mer, biologie marine N°05.

[15] **Boudraa, L. Slimani, M. (2022).** Étude des performances d'un filtre à sable bicouche de la station de dessalement d'eau de mer (Fouka-Tipaza), mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master, Université de Bejaia.

[16] **Kerrache, S. Saidi, M. (2021).** Etude et caractérisation des procédés de dessalement de l'eau de mer cas pratique (la station de CAP DJINET de la wilaya de BOUMERDES), mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master, Université de Bejaia.

[17] **Rodier, J. (2009).** L'analyse de l'eau, édition DUNOD, Paris.

[18] **Boukellal, I. Hanane, A. (2015).** Etude du procédé de dessalement de l'eau de mer et de la qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station de cap Djinet de la wilaya de

## Références Bibliographiques

---

Boumerdes, mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master, Université de Bejaia.

[19] **Remili, A. Abdelfettah. A. (2020).** Étude du colmatage des membranes des osmoseurs de la ligne de traitement des eaux industrielles du complexe agro-alimentaire Cevital Bejaia, mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master, Université de Bejaia.

[20] **Lahbas, Z. Harfouche, S. (2022).** Analyses physico-chimiques des eaux issues du processus d'osmose inverse – déionisation de l'entreprise agroalimentaire CEVITAL. mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master, Université de Bejaia.

[21] **Hachemaoui, B. (2014).** Qualité physico-chimique de l'eau de mer de souk Tlata, mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master, Université Tlemcen,

[22] [https://lda.lozere.fr/sites/default/files/upload/analyses\\_physico\\_chimiques\\_des\\_eaux\\_ok.pdf](https://lda.lozere.fr/sites/default/files/upload/analyses_physico_chimiques_des_eaux_ok.pdf)

[23] **Maurel, A. (2006).** Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, 2eme édition.

[24] **Rich, A. (2011).** Dessalement de l'eau de mer par congélation sur parois froides : aspect thermodynamique et influence des conditions opératoires, Thèse de doctorat, université de Lyon.

[25] **Amoura, C. Toumi, R. (2020).** Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse, mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master, Université Badji Mokhtar Annaba.

[26] **Laouinate, Z. Khazzar, H.** Étude d'une unité de dessalement d'eau de mer par osmose inverse.

[27] <https://www.encyclopedie-energie.org/le-dessalement-deau-de-mer-et-des-eaux-saumatres/>

[28] **Le Guern, et al. (2003).** Dessalement et recharge artificielle synthèse technico-économique.

[29] **Hadjali, Y. (2012).** Impact des stations de dessalement de l'eau de mer sur le littoral cas de la Station Plage EL Hilel (AIN Témouchent), mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.

[30] **Maafa, A. (2020).** Dessalement de L'eau de mer, mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master Université 08 Mai 1945 de Guelma.

[31] **Hamachi, M.** Cours procédés d'adsorption et séparation membranaire, chapitre 1 : procédés de séparation membranaire.

## Références Bibliographiques

---

- [32] [www.lenntech.fr/procedes/dessalement/pretraitement/dessalement/dessalement-pre-traitement.htm](http://www.lenntech.fr/procedes/dessalement/pretraitement/dessalement/dessalement-pre-traitement.htm)
- [33] **Gaid, K. Treal, Y. (2007)**. Le dessalement des eaux par osmose inverse : l'expérience de Véolia Water, Désaliénation 203.
- [34] **Bégovic, M. (2001)**. Contribution à l'étude du système des carbonates en Méditerranée- Distribution et variation spatio-temporelle de la pression partielle de CO<sub>2</sub> dans les eaux superficielles du bassin Liguro-Provençal, Autre. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.
- [35] **Atallah, A. (2014)**. Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de Honaine, mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen,
- [36] **Berné, F. Cordonnier, J. (1991)**. Traitement des eaux, épuration des eaux résiduaires de raffinage, conditionnement des eaux de réfrigération, édition TECHNIP, Paris.
- [37] **Benaissa, F. Z. (2013)**. Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres, mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen,
- [38] **Agence Française De Sécurité Sanitaire Des Aliments. (2011)**, Lignes directrices pour l'évaluation de l'innocuité des modules de filtration et de l'efficacité des procédés membranaires.
- [39] **Bahmani, F.Z. (2017)**. Etude computationnelle de la déminéralisation des eaux par osmose inverse, mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
- [40] **Bertran, S. et al. (2023)**. Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres par les membranes d'osmose inverse bases, conception et applications cours intensifs, Bejaia : 18-21 Mars 2006, consulté le 15.05.2023.
- [41] **UNEP/MAP. (2003)**. assessment of the sea water desalination activities in the Mediterranean region and environmental impacts, Athens.
- [42] **Monnot. M. (2015)**. Conception d'une filière intensifiée par membrane pour le dessalement autonome d'eau de mer : étude du prétraitement et de son effet sur le biocolmatage. Génie des procédés. INSA de Toulouse, France.
- [43] <https://www.lenntech.com/sdi.htm>
- [44] Complete water solutions, Technical manuel, FILMTEC™ Reverse Osmosis Membranes, Trademark of The Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow.

## Références Bibliographiques

---

- [45] **Ahoulé, D. Ghislain, M. (2016).** Performances comparatives des techniques de nanofiltration et d'osmose inverse pour le traitement d'eau de consommation contaminée à l'arsenic au Burkina Faso, thèse de doctorat, l'université de Montpellier.
- [46] **Moumen, A. (2015).** Etude et dimensionnement des unités d'osmose inverse pour la production des eaux de chaudières, mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master Ecole Mohammadia d'ingénieurs, Université Mohammed v Rabat.
- [47] **Adjed, L. Benanoue, L. (2018).** Etude de Colmatage des Membranes d'Osmose Inverse du Complexe De CEVITAL-Bejaia, mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master, Université de Bejaia.
- [48] **Harez, A. Djelailia, H. (2019).** Etude d'une station de traitement et de production d'eau potable à partir d'un forage Hôpital El-Hadjar, mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master, Université Badji Mokhtar Annaba.
- [49] <https://www.appliedmembranes.com/hydranautics-seawater-swc-series-membranes.html?SID=ddea5b951ed83dc66a52b8381c3ff8ba#features>
- [50] <https://www.appliedmembranes.com/lg-chem-seawater-ro-membranes-swro.html#features>
- [51] <https://membranes.com/solutions/products/ro/swc/>
- [52] **Berland, J.M. Juery, C. (2002).** Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau, Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales office international de l'eau.
- [53] <https://membranes.com/wp-content/uploads/Documents/Element-Specification-Sheets/RO/SWC/SWC5-LD.pdf>
- [54] <http://ozonoargentina.com.ar/fichas/SWCBrochure.pdf>
- [55] [https://www.usinenouvelle.com/expo/membranes-d-osmose-inverse-p208982790.html#:~:text=Membranes%20d'osmose%20inverse%20\(RO,la%20r%C3%A9utilisation%20des%20eaux%20us%C3%A9es.](https://www.usinenouvelle.com/expo/membranes-d-osmose-inverse-p208982790.html#:~:text=Membranes%20d'osmose%20inverse%20(RO,la%20r%C3%A9utilisation%20des%20eaux%20us%C3%A9es.)
- [56] <https://www.lgwatersolutions.com/en/product/seawater-ro/LG-SW-440-R%20G2>
- [57] **LEM, (2022).** Etude de la prise d'eau de la station de dessalement d'eau de mer du complexe agroalimentaire - cevital bejaia, Mission 03 : Qualité de l'eau du sédiment marin.
- [58] **Aminot, A. Kerouel, R (2004).** Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyse.Ed.
- [59] **Ifremer, (2001).** L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France, Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Littoral.
-

## Références Bibliographiques

---

[60] <https://fr.pureaqua.com/membranes-hydranautics/#:~:text=Les%20membranes%20Hydranautics%20sont%20con%C3%A7ues,plusieurs%20fois%20d'%C3%A9paisseur%20Angstr%C3%B6ms>.

[61] **Rovel, J.M. (2010)**. Dessalement de l'eau de mer, Environnement-sécurité, Technologie de l'eau Techniques de l'Ingénieur, Paris.

## Résumé

Le Complexe agroalimentaire CEVITAL de Bejaia est confronté à un manque important d'eau pour alimenter sa nouvelle usine de trituration de graines oléagineuses. Pour faire face à ce défi, l'entreprise se tourne vers le dessalement de l'eau de mer comme solution afin de satisfaire ses besoins en eau.

Pour réaliser un dessalement efficace de l'eau de mer, il est essentiel de passer par plusieurs étapes de prétraitement afin de préparer l'eau avant son traitement par osmose inverse. Les étapes de prétraitement visent à éliminer les impuretés et les contaminants présents dans l'eau de mer, protéger les membranes d'osmose inverse et améliorer l'efficacité globale du processus de dessalement.

Cependant, des analyses de l'eau de mer à proximité du port de Bejaia ont été effectuées afin de déterminer quels sont les paramètres qui nécessitent un prétraitement pour le dessalement par osmose inverse.

**Mots clés :** CEVITAL, eaux de mer, dessalement, osmose inverse, prétraitement, analyses.

## Abstract

The CEVITAL Agro-Food Complex in Bejaia is facing a significant water shortage to supply its new oilseed crushing plant. To meet this challenge, the company turns to seawater desalination as a solution to meet its water needs.

To achieve effective seawater desalination, it is essential to go through several pretreatment stages to prepare the water before its treatment by reverse osmosis. The pretreatment stages aim to remove impurities and contaminants present in seawater, protect the reverse osmosis membranes, and enhance the overall efficiency of the desalination process.

However, analyses of seawater near the port of Bejaia have been conducted to determine which parameters require pretreatment for desalination by reverse osmosis.

**Keywords:** CEVITAL, seawater, desalination, reverse osmosis, pretreatment, analysis.

## ملخص

يواجه المجمع الزراعي الغذائي سيفيتال في بجاية نقصاً كبيراً في المياه لتغذية مصنعه الجديد لطحن البذور الزيتية. لمواجهة هذا التحدي، تتجه الشركة نحو تحلية مياه البحر كحلاً لتلبية احتياجاتها المائية. لتحقيق تحلية فعالة لمياه البحر، من الضروري المرور بعدة مراحل من المعالجة المسبقة لإعداد المياه قبل معالجتها بالتناضح العكسي. تهدف مراحل المعالجة المسبقة إلى إزالة الشوائب والملوثات الموجودة في مياه البحر، وحماية أغشية التناضح العكسي، وتحسين الكفاءة العامة لعملية التحلية. ومع ذلك، تم إجراء تحليلات لمياه البحر بالقرب من ميناء بجاية لتحديد المعايير التي تتطلب معالجة مسبقة لعملية التحلية بالتناضح العكسي.

**الكلمات الرئيسية:** سيفيتال، مياه البحر، تحلية، التناضح العكسي، معالجة مسبقة، تحليل.