

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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

(E.N.S.S.M.A.L)



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCE DE LA MER**

Option : ENVIRONNEMENT

THEME :

**Etude de procédés et suivi du processus de dessalement des eaux de mer : cas station
Fouka marine**

Réalisé par :

- **LOUTIS DEHIA**
- **HACHEB HAYET**

Soutenu le 04/07/2023 devant le jury :

Mme DAHMANI

Maitre de conférences

Présidente

Mr BOUGHERARA A

Maitre-assistant

Examineur

BACHARI HOUMA FOUZIA

Professeur

Promotrice

OULD BOUAMAMA.B

Directeur Qualité HSE

Co-Promoteur

Promotion 2022/2023

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens tout d'abord à remercier Allah le tout puissant, de m'avoir accordée le courage, la patience et la santé pour réaliser et mener au terme mon travail.

*Je tiens à remercier infiniment ma promotrice Mme **HOUMA-BACHARI. F** de m'avoir encadrée, les conseils, les orientations et le temps qu'elle m'a consacré afin de réaliser ce travail*

*Mes remerciements les plus sincères et les plus profonds sont adressés à **MR. BELKACEM OULD BOUAMAMA** qu'était notre Co-Promoteur, d'avoir apportés beaucoup d'informations et d'avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour comprendre le processus de dessalement de la station et de nous avoir accordé de son temps tout au long de notre travail.*

*Je tiens aussi à remercier vivement **Mme DAHMANI** d'avoir accepté de présider ce jury. Mes remerciements à **Mr BOUGHERARA** d'avoir accepté d'examiner mon travail.*

*Je tiens également à remercier **MR. KHATEB MOHAMED** le directeur de la station de dessalement de Fouka, Tipaza, de nous avoir ouvert les portes et pour leur accueil et la confiance qu'ils m'ont accordé dans l'entreprise.*

Enfin je remercie toutes les personnes qui m'ont aidée de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je tiens à dédier ce mémoire à mes chers parents, vous êtes mes piliers, ma source de force et d'inspiration. Votre amour inconditionnel, votre soutien constant et vos encouragements sans faille ont été les moteurs qui m'ont poussé à atteindre mes objectifs. Votre confiance en moi et votre croyance en mes capacités ont été des sources d'inspiration infinies.

Je tiens à dédier cette mémoire à mes chers frères et sœurs, vous êtes bien plus que des membres de ma famille, vous êtes mes complices, mes confidentes et mes meilleurs amis. Depuis notre enfance, nous avons partagé tant de souvenirs, de rires et de moments précieux ensemble. Vous m'avez soutenu(e) de manière inconditionnelle tout au long de mes études, à poursuivre mes rêves et à me dépasser. Vos mots d'encouragement et vos conseils avisés ont été une source de motivation constante.

*Je tiens à dédier ce mémoire à la magnifique **Loutis Amelia**, la fille de mon frère.*

*Je tiens à dédier ce mémoire aux filles de ma sœur **Temzi Amira et Asma**.*

*À Ma promotrice de mémoire Mme **HOUMA-BACHARI. F** pour ses conseils éclairés, son expertise et sa disponibilité. Votre guidage précieux m'a permis de mener cette étude à bien.*

À l'équipe de la station de Fouka Marine, pour leur coopération et leur accueil chaleureux lors de ma visite sur site. Votre contribution et vos informations précieuses ont enrichi cette recherche.

À mes amis et camarades de classe, pour leur soutien moral et leur partage d'expériences. Vos encouragements et nos échanges fructueux ont rendu ce parcours académique plus agréable.

*À mes amis : **RANIA, SAMIRA, SADIA, DALEL, ZAINA, INES, SARAH, KENZA, FATNA, HANANE, AMIRA, ABIR.***

Liste des tableaux

Tableau I.1: Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité 35,000 mg.kg-1 (Copin-Montégut, 1996)	5
Tableau I.2: Concentration moyenne des principaux éléments traces métalliques présents dans une eau de mer (Brown et al., 1997)	6
Tableau I.3: classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit)	10
Tableau I.4: Les effets des métaux lourds étudié sur le milieu aquatique	11
Tableau III.5: Caractéristiques physico-chimiques moyennes de l'eau de mer de Fouka (Zamich, 2014)	34
Tableau IV.6: Les paramètres d'analyse dans les matrices du milieu marin (eau et sédiment)	48
Tableau V.7: Résultats et statistiques des paramètres physico-chimiques de Fouka Marine .	66

Liste des figures

Figure I.1: Le cycle de l'eau	3
Figure I.2: Schéma de la taille des matières organiques dans l'eau de mer.....	7
Figure II.3: Schéma de principe d'une station de dessalement.....	16
Figure II.4: Différents procédés de dessalement. (Topalgerie7)	17
Figure II.5 : Procédé de distillation d'eau de mer. (Source : www.pedagogie.ac-nantes.fr)..	17
Figure II.6: Procédé de distillation a multi-effets. (Source : www.suezwaterhandbook.fr)...	18
Figure II.7: Procédé de distillation multi flash. (Source : culturesciences.chimie.ens.fr)	18
Figure II.8: Principe de fonctionnement de l'électrodialyse. (Source : www.lenntech.fr).....	19
Figure II.9: Principe de l'osmose inverse. (Source : uae.fr)	20
Figure III.10 : Localisation géographique de la station de Fouka. (Google Earth).....	33
Figure III.11: Plan générale de la station de dessalement de Fouka marine. (Source : Kaim Missoum,2016).....	35
Figure III.12: Salle de contrôle de la station de dessalement Fouka marine.	36
Figure III.13 : La prise d'eau de mer au niveau de la station de dessalement Fouka marine. (Source : L. Dehia, H. Hayet ;2023)	37
Figure III.14 : Dégrilleurs et station de pompage d'eau de mer. (Source : Taibi Sarah, 2015)	37
Figure III.15: Filtres à sable. (Source : Loutis Dehia, Hacheb Hayet ;2023).....	39
Figure III.16: Filtres à cartouches.	39
Figure III.17: Les filières d'osmose inverse. (Source : T. sarah,2020)	40
Figure III.18: La pompe HP et l'échangeur de pression ERI utilisé à l'usine.	41
Figure III.19: Station de production du CO2. (Source : L. Dehia, H. Hayet ;2023)	41
Figure III.20: Station de pompage d'eau traitée. (Source : L. Dehia, H. Hayet ;2023).....	42
Figure V.21: Variation de la température au niveau de Fouka Marine.....	67
Figure V.22: Variation de la salinité au niveau de Fouka Marine	67
Figure V.23: Variation de l'oxygène dissous au niveau de Fouka Marine	68
Figure V.24: Variation du pH au niveau de Fouka Marine.....	69
Figure V.25: Variation de la conductivité au niveau de Fouka Marin.....	69
Figure V.26: Variations des TDS au niveau de la surface des stations de Fouka marine.....	70
Figure V.27: Variations des TDS au niveau des stations intermédiaires de Fouka marine	70
Figure V.28: Variations des TDS au niveau des stations de fond.....	71
Figure V.29 : Variations des TSS au niveau de la surface des stations	72
Figure V.30 : Variations des TSS au niveau des stations intermédiaires.....	72
Figure V.31: Variations des TSS au niveau des stations du fond.	73
Figure V.32 : Variations de la DBO5 au niveau des stations.....	74
Figure V.33: Variations de DCO au niveau de la surface des stations.	75
Figure V.34 : Variations de la DCO au niveau des stations intermédiaires.....	75
Figure V.35 : Variations de la DCO au niveau des stations du fond.	76
Figure V.36: Variations du CO2 au niveau de la surface des stations.	77
Figure V.37: Variations du CO2 au niveau des stations intermédiaires	77

Figure V.38: Variations du CO ₂ au niveau des stations du fond.....	78
Figure V.39: Variations du CO ₃ au niveau de la surface des stations	79
Figure V.40: Variations du CO ₃ au niveau des stations intermédiaires.	79
Figure V.41: Variations de CO ₃ au niveau des stations du fond.	80
Figure V.42: Variation du zinc dans les sédiments superficiels de Fouka Marine	87
Figure V.43: Variation du manganèse dans les sédiments superficiels Fouka Marine.....	87
Figure V.44: Variation du cuivre dans les sédiments superficiels de Fouka Marine.....	88
Figure V.45: Variation du Fer dans les sédiments superficiels de Fouka Marine	88
Figure V.46: Variation du plomb dans les sédiments superficiels de Fouka Marine.....	89
Figure V.47: Variation du cadmium dans les sédiments superficiels de Fouka Marin.....	89

LISTE DES ACRONYMES

USGS: United states geological survey

OI : Osmose inverse

UNEP : United nations environment programme

PDAU : plan directeur d'aménagement et d'urbanisme

Kv: kilo volt

RO: reverse osmosis

TSS : total suspended solids

AEC : Algerian Energy Company.

ADE : Algérienne des eaux.

DN1600 : DiamètreNominale 1600.

EDTA : Ethylène Diamine Titraacitique.

ER : Récupérateur d'énergie.

g/cm : Gramme par centimètre.

g/l : Gramme par litre

HP : Haute pression.

J : Jour.

Kg : Kilogramme.

Kv : Kilovolt.

M : Mètre.

m³ : Mètre cube.

Max : Maximum.

MES : Matière En Suspension.

ml : Millilitre.

mm : Millimètre.

M/s : Mètre par seconde.

N : Normalité. Nm : Nanomètre

NTU : L'unité de néphélogétrie (Nephelometric Turbidity Unit).

PEHD : Polyéthylène haute densité

SCADA : Système de contrôle et d'acquisition des données.

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Liste des tableaux

Liste des figures

LISTE DES ACRONYMES

Introduction 1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Cycle de l'eau 3

2. Les différents types d'eaux 4

2.1 Eaux de pluie 4

2.2. Eaux de surface 4

2.3. Eaux souterraines 4

2.4. Eaux saumâtres 4

2.5. Eaux marines 4

3. Composition de l'eau de mer 5

3.1. Constituants majeurs : 5

3.2. Les éléments traces métalliques 5

3.3. Matières organiques 6

4. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer : 8

5. Les indicateurs de pollution 10

5.1. Les matières en suspension (MES) 10

5.2. Turbidité 10

5.3. Demande biologique en oxygène (DBO5) 10

5.4. Demande chimique en oxygène (DCO) 11

6. Les polluants 11

6.1. Les métaux lourds 11

6.2. Les hydrocarbures 12

7. Les sels nutritifs 12

7.1. Différentes formes des sels nutritifs 13

Chapitre II : Le dessalement et ses concepts

1. Le dessalement 16

1.1. Le dessalement en Algérie 16

2. Les procédés de dessalement 16

2.1.	Les procédés de distillation.....	17
2.2.	Les procédés membranaires.....	19
3.	L'impact de dessalement sur l'environnement.....	21
3.1.	Origine et type des rejets.....	21
3.1.3.	Effets des rejets de produits chimiques.....	22

Chapitre III : Zone d'étude

I.	Présentation de la station de dessalement de Fouka.....	33
1.1.	Localisation de la station.....	33
1.2.	Capacité de la station et le mode de fonctionnement.....	34
2.	Plan générale de l'usine.....	34
2.1.	Services de l'entreprise.....	35
3.	Descriptif du process de l'usine.....	36
3.1.	Prise eau de mer.....	37
3.2.	Station de pompage d'eau de mer.....	37
3.3.	Système de prétraitement et filtration.....	38
3.4.	Système d'osmose inverse et réservoir de lavage des filtres.....	40
3.5.	Système de reminéralisation et de production de CO2.....	41
3.6.	Station de pompage d'eau traitée.....	41
3.7.	Traitement des effluents.....	42

Chapitre IV : Matériels et méthodes

1.	Prélèvements et échantillonnage.....	48
2.	Méthodes d'analyse.....	49
2.1.	Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer.....	49
3.	Mesure des paramètres indicateurs de pollution.....	52
4.	Dosage des métaux lourds (Chrome, plomb, Cuivre, Cadmium, Zinc, Fer, Argent).....	55

Chapitre V : Résultats et discussions

1-	Les paramètres physico-chimiques.....	66
1-1-	La température.....	66
1-2-	La salinité.....	67
1-3-	Oxygène dissous.....	68
1-4-	Le potentiel d'hydrogène.....	68
1-5-	La conductivité.....	69
1-6-	TDS.....	70
1-7-	TSS.....	71

1-8-	DBO5	73
1-9-	DCO	74
1-10-	Système des carbonates	76
1-11-	La matière organique	85
2-	Concentration en métaux lourds dans les sédiments superficiels	86
2-1-	Le Zinc (Zn)	87
2-2-	Le Manganèse (Mn).....	87
2-3-	Le Cuivre (Cu)	88
2-4-	Le Fer (Fe).....	88
2-5-	Le Plomb (Pb)	89
2-6-	Le Cadmium (Cd).....	89
	Conclusion générale	90
	Annexes	96

Introduction

La croissance démographique dans le monde s'accompagne d'une augmentation de la demande d'eau potable tandis que l'industrialisation, l'irrigation des sols et l'élévation des niveaux de vie se traduisent par un accroissement supplémentaire de la consommation d'eau douce par habitant. Cette évolution se produit surtout sur une étroite bande de littoral où près de la moitié de la population de la planète vit, et cette proportion atteindra les trois quarts d'ici à 2020 (NRC, 2008).

En Algérie la mobilisation des ressources en eau depuis l'indépendance a été axée en premier lieu sur les ressources souterraines. L'accroissement rapide de la demande en eau dans les secteurs de l'irrigation, de l'industrie ainsi que les besoins incompressibles de la population ont amené les pouvoirs publics à mobilisé de plus en plus des ressources superficielles. Mais la mobilisation des eaux souterraines au nord du pays a atteint son seuil maximal, d'où une surexploitation des nappes superficielles et la détérioration de la qualité de l'eau. L'Algérie est un pays qui possède des ressources hydriques limitées pour des raisons climatiques capricieuses, caractérisées par une pluviométrie irrégulière oscillant entre 100 et 600 mm/an et enregistrant un déficit hydrique estimé à 20% sur cinq ans au début des années 2000 (UNEP/MAP, 2003). Le dessalement se représente une solution efficace face au sérieux problème de pénurie d'eau. Mais, cette solution, selon WWF (Fond Mondial pour la Nature), représente une menace potentielle pour l'environnement à cause de la composition des rejets qui modifié les paramètres de la mer, qui influe également négativement sur la faune et la flore. Il est grand temps d'alerter l'opinion publique sur cette autre catastrophe qui risque d'hypothéquer durablement le développement national. Jusqu'à ce jour les procédés de dessalement en grande masse d'eau de mer se présentent comme un moyen industriel fiable de production d'eau auquel ont recours de nombreux pays. Toutefois, l'Algérie a lancé ces dernières années, un programme ambitieux d'installations de stations de dessalement pour faire face à des problèmes d'alimentation en eau qui s'accroissent par l'explosion démographique, le développement industriel et agricole ainsi que la sécheresse. Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres par osmose inverse a connu un avancement remarquable par rapport aux autres procédés.

La station de Fouka Marine, située sur la côte algérienne, est l'une des installations de dessalement les plus importantes de la région. Elle joue un rôle crucial dans la fourniture d'eau potable à la population locale et dans le soutien aux industries locales.

L'étude des procédés de dessalement utilisés à la station de Fouka Marine et le suivi du processus de dessalement revêtent une importance particulière pour évaluer l'efficacité et la performance de cette installation.

L'objectif de ce mémoire est de réaliser une analyse détaillée des procédés de dessalement mis en œuvre à la station de Fouka Marine et de suivre le processus de dessalement de bout en bout. Cette étude permettra d'identifier les différentes étapes du processus, d'évaluer les technologies utilisées et d'analyser les paramètres clés affectant l'efficacité du dessalement.

➤ Le mémoire se structure autour des points suivants :

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

Chapitre 2 : Le dessalement et ses concepts.

Chapitre 3 : présentations de la zone d'étude

Chapitre 4 : Matériels et méthodes

Chapitre 5 : Résultats et discussions.

En conclusion, ce mémoire vise à approfondir notre compréhension des procédés et du suivi du processus de dessalement des eaux de mer, en se concentrant sur le cas de la station de Fouka Marine. Les résultats de cette étude pourraient avoir des implications importantes pour l'optimisation des installations de dessalement.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Cycle de l'eau

L'eau est un composé omniprésent sur Terre et essentiel à tous les organismes vivants. Le corps humain est composé à 70% d'eau. L'eau existe sous trois états, généralement liquide, et c'est un solvant incolore et inodore particulièrement efficace.

La formule chimique de l'eau pure est H₂O. La matière dans l'eau prend plusieurs formes : en suspension, colloïdale et dissoute. Quand il gèle, il augmente de volume, il gèle et flotte dans un milieu liquide.

L'eau de la Terre dans ses différents états physiques (gaz, liquide et solide) s'engage dans de grands cycles d'évaporation et de précipitation, qui lessivent les affleurements, une extraction méthodique des solubles. Et l'érosion permanente, comme le montre la figure I.1. Ainsi, la boucle est bouclée, ce qui conduit à un bilan global représentant l'égalité des pertes et des gains

$$\text{Précipitation} = \text{ruissellement} + \text{évaporation} + \text{transpiration} + \text{infiltration}$$

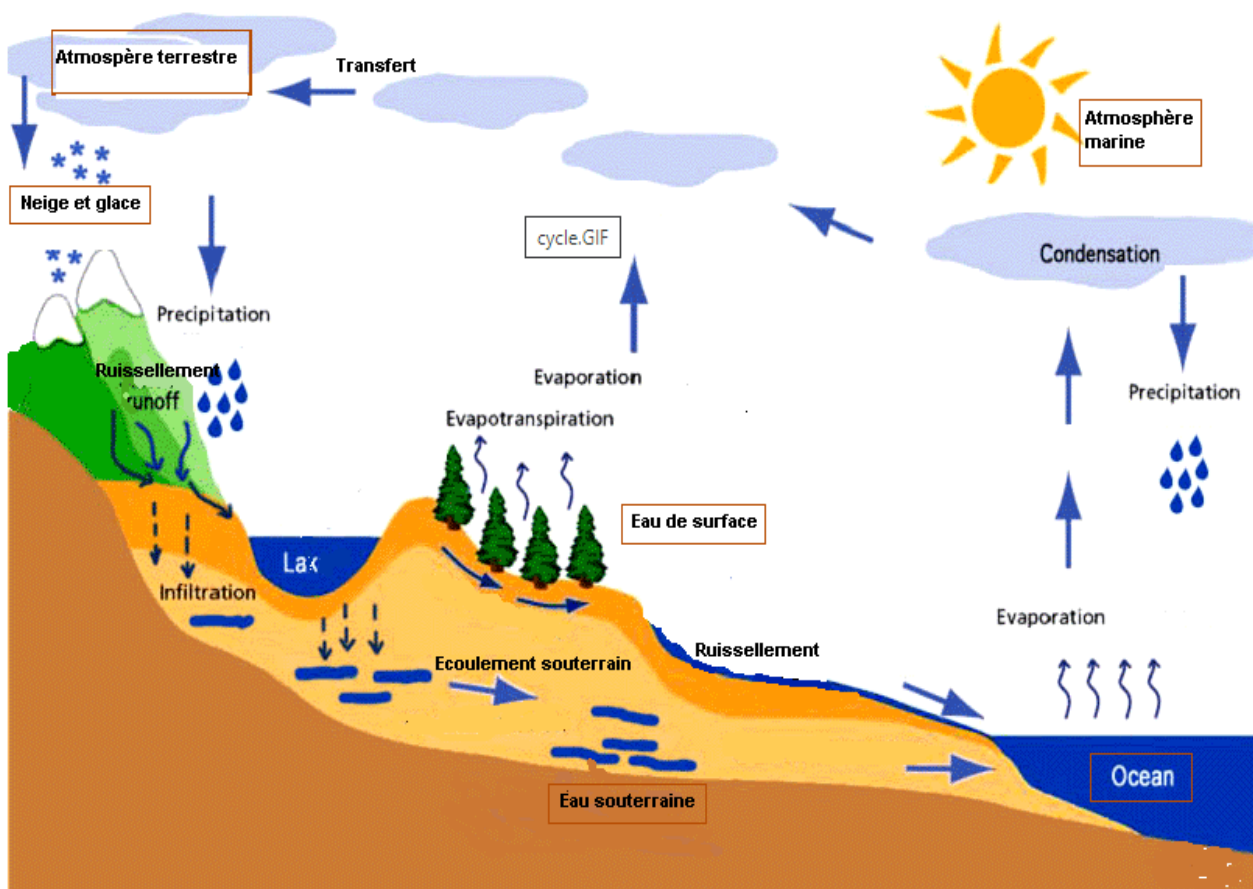


Figure I.1: Le cycle de l'eau

Chapitre I : Synthèse bibliographique

2. Les différents types d'eaux

2.1 Eaux de pluie

L'eau de pluie est une eau de haute qualité pour la consommation humaine. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent pas de sels dissous, elles sont donc très douces (**Des JARDANS**) Compte tenu de leur faible minéralisation, les eaux de pluie sont agressives et peuvent corroder les canalisations. (**G. BRIERE, 2000**)

2.2. Eaux de surface

Les eaux de surface peuvent être divisées en deux catégories : les eaux fluviales et les eaux lacustres. Ces eaux sont caractérisées par des surfaces libres, stockées dans des réservoirs naturels ou artificiels ; toutes les eaux de surface sont de dureté moyenne (**G. BRIERE, 2000**), (**Degrémont 2005**)

2.3. Eaux souterraines

Les eaux souterraines proviennent de sources ou de puits. Elles sont définies par la porosité et la structure du terrain, ces deux paramètres déterminent le type de nappe et le mode de circulation de l'eau (**M, RAPINAT, 1982**)

2.4. Eaux saumâtres

En général, l'eau saumâtre est une eau salée non potable avec une salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 grammes de sel par litre. Il s'agit parfois d'eaux de surface, mais plus souvent d'eaux souterraines qui ont été contaminées par des sels du fait de la dissolution d'une partie des sels présents dans le sol. Leur composition dépend donc de la nature du sol à occuper et de la vitesse de circulation dans ce sol. Les sels dissous les plus importants sont CaSO_4 , CaCO_3 , MgCO_3 et NaCl (**Degrémont 2005**)

2.5. Eaux marines

L'eau de mer est une solution complexe contenant tous les éléments nécessaires à la vie (calcium, silicium, carbone, sodium, chlorures), des matières organiques (teneur de 0,5 à 2 mg) et des gaz dissous naturellement présents dans l'atmosphère. L'eau de mer est légèrement alcaline avec un pH compris entre 7,5 et 8,4 (**RAPINAT, 1982**). La caractéristique la plus importante de l'eau de mer est sa salinité, c'est-à-dire la teneur totale en sels (chlorures, sulfates, carbonates de sodium et de magnésium).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

La salinité moyenne des eaux marines et océaniques est de 35 g/l. Cette salinité peut être différente pour une mer fermée (A, MAUREL, 2006).

3. Composition de l'eau de mer

3.1. Constituants majeurs :

Alors que la masse totale du sel peut varier, le rapport des concentrations des différents éléments est constant. Les principaux éléments, c'est-à-dire ceux qui constituent une part importante de la masse des sels dissous dans les océans, sont représentés par les 11 éléments du tableau ci-dessous.

L'eau de mer contient de nombreux autres éléments à des concentrations beaucoup plus faibles.

Tableau I.1: Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité 35,000 mg.kg-1 (Copin-Montégut, 1996)

Constituant	Concentration (mg.kg-1)
Na ⁺	10770
Mg ²⁺	1290
Ca ²⁺	412,1
K ⁺	399
Sr ²⁺	7,9
B total	4,5
Cl ⁻	19354
SO ₄ ²⁻	2712
HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻	118-146
Br ⁻	67,3
F ⁻	1,3

3.2. Les éléments traces métalliques

Les « éléments traces métalliques » (ETM) sont définis comme les éléments métalliques présents avec une concentration d'environ une partie par billion (10⁻³ mg.kg-1) en masse, ou moins. Le tableau I.2 présente les principaux éléments traces métalliques dans l'eau de mer.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Tableau I.2: Concentration moyenne des principaux éléments traces métalliques présents dans une eau de mer (**Brown et al., 1997**)

Constituant	Concentration ($\times 10^{-3}$ mg.kg ⁻¹)
Titane, Ti	1
Zinc, Zn	0,5
Nickel, Ni	0,48
Aluminium, Al	0,4
Chrome, Cr	0,3
Cadmium, Cd	0,1
Cuivre, Cu	0,1
Fer, Fe	0,055
Manganèse, Mn	0,03
Plombe, Pb	0,002
Mercure, Hg	0,001

3.3. Matières organiques

L'océan est le réservoir principal du carbone organique sur terre, qui contient environ 1018 g de carbone (**Hedges, 1992**). La plupart du carbone organique dans l'océan est sous la forme de matière organique dissoute et principalement de molécules à faible poids moléculaire. Seulement 1% du carbone organique est de la matière organique particulaire (**Benner et al., 1997**). Environ 75 % du carbone organique dissous est de la matière organique dissoute de faible poids moléculaire. Une procédure largement utilisée pour séparer les matières organiques dissoutes des fractions particulières est une filtration à travers une membrane ayant des pores de 0,2 à 1,0 μm . Le plus souvent, une membrane avec des pores de 0,45 μm est utilisée (**Brown et al., 1997, Baldock et al., 2004**). La figure I.2 donne une représentation très schématique et simplifiée de la gamme de taille et des types de matières organiques dans l'eau de mer. La concentration des matières organiques dissoutes et particulières dépend de la profondeur de l'océan : l'eau de mer surfacique a une concentration plus élevée que l'eau en profondeur (**Benner et al, 1997, McCarthy et al., 1996**).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

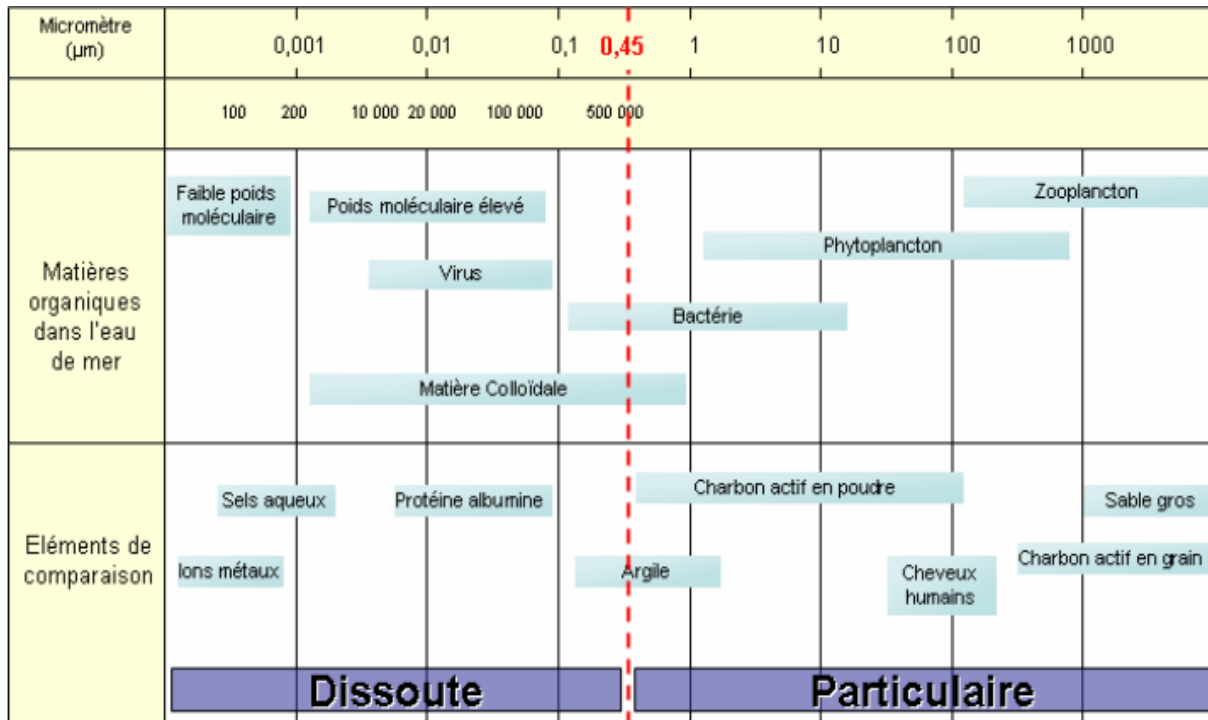


Figure I.2: Schéma de la taille des matières organiques dans l'eau de mer.

(Benner et al, 1997, McCarthy et al., 1996).

3.3.1. Matières organiques dissoute

L'eau de mer contient un mélange complexe de molécules provenant de sources variées, connues sous le terme "matière organique dissoute" (MOD). Alors que chaque molécule est présente à des concentrations faibles, des dizaines de milliers de molécules peuvent être trouvées. Les océans représentent un réservoir considérable de matière organique inerte, et leur volume colossal permet de stocker un total de 685×10^{15} g de carbone par an (**Hansell et Carlson, 2001**).

3.3.2. Matières organiques particulaires

Les matières particulaires dans l'eau de mer peuvent être classifiées selon leur taille. Dans l'eau de mer surfacique, la plupart d'entre elles sont d'origine biologique. Les plus petites particules (moins de 1 µm jusqu'à quelques dizaines de µm) se composent de bactéries et de cellules algales, d'autres débris organiques fins, et des particules inorganiques particulièrement des minéraux d'argile et des composés hydratés insolubles tels que Fe(OH)₃. La gamme de taille allant de quelques dizaines à quelques centaines de µm comporte des grands débris et des agglomérats fécaux, produits de l'agrégation biologique.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

4. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer :

4.1. Température :

La température est l'un des descripteurs de base pour la connaissance du milieu marin, c'est un paramètre très important pour la connaissance des masses d'eaux, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels, dans les cycles biologiques et influe sur la répartition des espèces (**Rodier,1997 ; Millot,1987**).

4.2. Potentiel d'Hydrogène ou pH

C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. Il résulte de la composition ionique de l'eau, et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de dioxyde de carbone (CO₂) à l'interface air-mer, ainsi que la dissolution du calcaire (**Aminot & Kerouel,2004**).

4.3. Conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes métalliques, elle permet d'apprécier la qualité des sels dissous dans l'eau et nous renseigne également sur les degrés de minéralisation de l'eau. La variation de ces concentrations peut avoir des impacts sur le milieu naturel. (**Aminot,1993**)

4.4. La salinité

Est une propriété de l'eau de mer qui est fondamentale à l'étude du milieu marin. Elle correspond à la masse de sels contenue dans 1Kg d'eau de mer. On évalue maintenant la conductivité et on l'exprime en UPS. La salinité de l'eau de mer est en moyenne de 35 UPS soit 35 g /kg. (**Aminot,1993**)

4.5. Total des solides dissous

Les solides dans l'eau se trouvent soit en solution ou en suspension, et se distinguent par le passage de l'échantillon de l'eau à travers un filtre de fibres de verre. Par définition, les matières en suspension sont retenues sur le dessus du filtre, et les solides dissous passent à travers le filtre avec de l'eau. Lorsque la partie filtrée de l'échantillon d'eau est placée dans une coupelle, puis évaporé, les solides dissous dans l'eau restent comme résidu dans la capsule d'évaporation. Cette matière est appelée matières totales dissoutes ou TDS (**SPELLMAN et FRANK, 2008**).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

4.6. Les chlorures

Les chlorures présents dans l'eau potable proviennent des eaux usées et des effluents industriels. La principale source d'exposition humaine au chlorure est l'ajout de sels aux aliments. L'apport de cette source est généralement supérieur à celui de l'eau de boisson. Les concentrations excessives de chlorure augmentent les taux de corrosion des métaux dans le système de distribution, cela peut conduire à une augmentation des concentrations de métaux dans les systèmes d'alimentation en eau potable (OMS, 2003).

4.7. L'oxygène dissous

Est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques, la solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs dont la température la pression et la force ionique du milieu. La concentration en oxygène dissous est exprimée en mg /l. (Aminot,1993)

4.8. Titre alcalimétrique simple (TA)

L'alcalinité est la propriété qui a le plus d'influence sur le traitement particulier sur la coagulation, la désinfection et la mise à l'équilibre.

L'alcalinité mesure les concentrations d'ions d'hydroxyde ; elle est exprimée en tant que concentration équivalente de carbonate de calcium (CaCO₃). (Aminot,1993)

4.9. Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le TAC mesure la teneur en hydrogénocarbonate, hydroxyde libre et en carbonate contenus dans l'eau. Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par l'acide chlorhydrique (HCl) dilué en présence de méthyle orange (Rodier, 2010).

4.10. Dureté totale

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na⁺, K⁺) et H⁺. Elle est souvent due aux ions Ca²⁺ et Mg²⁺. La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO₃ par litre. (Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles, 2005).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

5. Les indicateurs de pollution

5.1. Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension, également connue sous le nom de MES, regroupent toutes les substances minérales ou organiques qui ne se dissolvent pas dans l'eau. Cela inclut les argiles, les sables, les limons, les micro-organismes tels que le plancton, ainsi que les matières organiques et minérales de petite taille. La quantité de MES varie en fonction des saisons et des conditions d'écoulement de l'eau. La présence de MES réduit la transparence de l'eau, ce qui peut diminuer la pénétration de la lumière et affecter la photosynthèse. Les MES sont mesurées en mg/L. (PNUE,1992)

5.2. Turbidité

La turbidité est un élément important de la qualité de l'eau, tant pour la vie aquatique (car elle réduit la transparence, empêche la pénétration de la lumière, ce qui a pour effet de freiner la synthèse chlorophyllienne, élément important de la croissance des plantes) que pour la production d'eau potable (car elle réduit l'efficacité des traitements de potabilisation de l'eau). (Aminot,1993)

Tableau I.3: classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit)

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble
NTU	La plupart des eaux de surface en Afrique atteignent ce niveau de turbidité

5.3. Demande biologique en oxygène (DBO5)

C'est la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes vivants pour assurer l'oxydation et la stabilisation des matières organiques présentes dans l'eau usée. Par convention, la DBO est la valeur obtenue après 5 jours d'incubation (DBO5). L'essai normalisé prévoit un ensemencement microbien à l'aide d'eau usée domestique, d'une eau de rivière ou d'un effluent de station et une incubation à 20°C (Eckenfelder, 1982). La DBO est le meilleur indicateur de pollution organique et peut beaucoup varier au cours de la journée.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

5.4. Demande chimique en oxygène (DCO)

C'est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables par voie chimique dans les conditions opératoires définies (**Bontoux, 1993**). En fait, la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, qu'elles soient d'origine organique ou minérale (chlorure, sulfure, fer ferreux, nitrite et ammoniac).

6. Les polluants

6.1. Les métaux lourds

Dans le milieu aquatique, un métal est un élément chimique qui peut former des liaisons métalliques et perdre des électrons pour former des cations (**Belanger, David, 2007**). Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : Mercure, Plomb, Cadmium, Cuivre, Arsenic, Nickel, Zinc, Cobalt, Manganèse. L'origine des métaux présents dans le milieu marin est double. Naturellement présents dans la biosphère, ils proviennent, d'une part, de l'érosion mécanique et chimique des roches et du lessivage des sols (**Lacoue-Labarthe, 2009**).

6.1.1. Effets des métaux lourds sur le milieu aquatique

Tableau I.4: Les effets des métaux lourds étudiés sur le milieu aquatique

Les métaux lourds	Effets sur le milieu aquatique
Cadmium	Des mollusques bivalves présentent des anomalies dans leur développement embryonnaire et larvaire lorsqu'ils sont exposés à une concentration allant de 0,05 à 1,2 µg. L ⁻¹ , ainsi qu'une inhibition de leur croissance
Plomb	Inhibition de la croissance des moules (<i>mytilus galloprovincialis</i>) Effet sur la croissance de certaines espèces phytoplanctoniques à partir de 0,05 µg. L ⁻¹
Zinc	La concentration du zinc dans les eaux naturelles est généralement faible et diminue encore par suite de son adsorption sur les matières en suspension et les sédiments, la solubilité des sels du zinc peut être importante. Sa toxicité pour les organismes aquatiques n'en fait pas un contaminant prioritaire, bien qu'il agisse, à de fortes concentrations, sur la reproduction des moules et la croissance des larves.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

6.1.2. Piégeage des métaux sur les sédiments

Les métaux sous leur forme majeure se lient aux particules minérales par des interactions ioniques ou avec de la matière organique pour former des complexes métalliques par des liaisons covalentes. De plus, l'adsorption dépend des conditions environnementales (pH, potentiel redox, etc.) ainsi que de l'origine des substances. Ces conditions jouent un rôle clé dans la fixation des cations métalliques sur les sédiments, ainsi que dans la capacité d'adsorption qui peut varier en fonction du métal considéré (**Serpaud et al, 1994**).

6.2. Les hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des composés organiques constitués uniquement de C et de H. On les classe d'après les structures de la chaîne carbonée et d'après le degré de saturation de l'atome de carbone: (alcane, alcène, alcyne et benzéniques). (**Picot et montandon, 2013**)

Ce terme fait aussi référence aux huiles minérales qui comportent des substances telles que les alcanes, les alcènes, etc. Ces substances peuvent limiter l'apport d'oxygène dans les eaux de surface lorsqu'elles sont présentes en concentrations élevées. Ces polluants incluent également les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ainsi que les hydrocarbures aromatiques monocycliques.

Les HAP sont des combinaisons organiques résultant de l'assemblage de plusieurs noyaux benzéniques. Ces composés sont relativement stables et peu solubles dans l'eau. Ils s'adsorbent fortement aux sols et aux matières en suspension et sont, en outre, très solubles dans les graisses ce qui favorise leur bioaccumulation dans les tissus humains et animaux. Plusieurs HAP sont classés comme agents cancérigènes possibles par l'OMS.

Les HAM incluent des polluants comme le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et le xylène dont les impacts sur la santé peuvent être très importants (diminution de la réponse immunitaire, effet neurotoxique, irritation des voies respiratoires). (**Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles, 2001**)

7. Les sels nutritifs

Ce sont des éléments chimiques indispensables à la synthèse de la matière organique. Le terme est souvent réservé aux éléments dont la concentration constitue parfois un facteur limitant (ce qui exclut le carbone inorganique toujours en excès dans la couche de surface des

Chapitre I : Synthèse bibliographique

océans). Le terme est donc synonyme de l'ensemble azote, phosphore et silicium inorganiques dissous. (LACAZE J.C.,1996)

7.1. Différentes formes des sels nutritifs

7.1.1. Azote

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou Minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des acides aminés, de l'urée. Selon son degré d'oxydation, il existe sous trois formes : nitrates, nitrites, ammonium. Ce sont les formes d'azote utilisables par le phytoplancton. (J.Rodier, 2005)

7.1.2. L'ammonium (NH₄⁺)

L'azote ammoniacale est présent sous deux formes en solution, l'ammoniac (NH₃) et l'ammonium dont les proportions relatives dépendent du Ph, de la température et de la salinité du milieu marin (Aminot et chausse-pied,1983). L'Azote ammoniacal provient des excréments animaux et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés.

7.1.3. Nitrates (NO₃⁻)

L'azote sous forme nitrate est la forme la plus courante et stable présente dans les océans, avec une concentration variant entre 0 µmol/L à la surface et jusqu'à 45 µmol/L dans les eaux profondes. (Aminot et al,1983)

7.1.4. Nitrites (NO₂⁻)

L'ion NO₂⁻ se trouve dans le cycle de l'azote et est transitoire, ce qui explique les concentrations faibles d'azote nitreux rencontrées en milieu marin, qui varient de zéro à quelques micromoles par litre. Les concentrations des nitrites varient saisonnièrement, étant les plus élevées en hiver et les plus faibles en été en raison du développement du phytoplancton (Aminot et chausse-pied).

7.1.5. La silice dissoute (SiO₂)

Les diatomées font partie des espèces phytoplanctoniques dont les squelettes sont composés d'un élément nutritif, le silicium (Aminot et Chausse-Pied, 1983). Les concentrations d'acide silicique dans les couches profondes de l'océan sont généralement plus élevées que celles des autres nutriments comme le phosphore ou l'azote, et augmentent progressivement de la surface vers le fond (Jacques, 2006).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Il existe une incertitude quant aux facteurs qui influencent le budget des silicates marins, car ils sont générés à diverses vitesses et par divers processus (**Jacques et Tréguer, 1986**).

Chapitre II : Le dessalement et ses concepts

Chapitre II : Le dessalement et ses concepts

1. Le dessalement

Le dessalement de l'eau est le processus par lequel le sel est retiré de l'eau afin de produire une eau ayant une quantité de sel adéquate pour la consommation humaine, l'agriculture ou les procédés industriels, soit généralement moins de 500 mg/l comme le nom l'indique. (Jones et al.,2019)

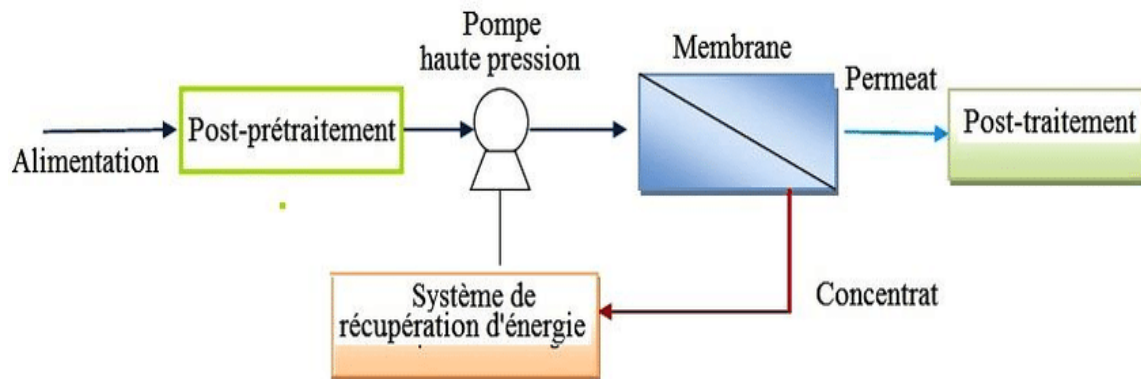


Figure II.3: Schéma de principe d'une station de dessalement.

1.1. Le dessalement en Algérie

Dans le but de renforcer et de sécuriser l'approvisionnement en eau potable de la population, les autorités ont décidé d'exploiter des ressources en eau non conventionnelles, en particulier en utilisant le dessalement, chacune ayant une capacité de 300 000 m³/jour. La première sera située dans la wilaya d'El Tarf, tandis que la seconde sera installée à l'ouest d'Alger. Avec les stations existantes, ces deux nouvelles stations permettront de représenter 25% de la production globale d'eau potable du pays, contre 17% actuellement.

Pour rappel, le programme de dessalement, mis en œuvre à partir de 2003, prévoit la réalisation de 13 stations de dessalement d'une capacité nominale totale de 2,31 millions de m³/j, ce qui représente près de 850 millions de m³/an, pour desservir 8 millions d'habitants.

A ce jour, onze (11) stations, d'une capacité installée de 2,1 millions m³/jour, ont été réalisées et mises en service.

2. Les procédés de dessalement

Les procédés de dessalement peuvent être regroupés en deux catégories : les procédés thermiques à changement de phase et les procédés membranaires sans changement de phase. Les procédés thermiques nécessitent une consommation énergétique important. (BELHOUT et al ; 2013)

Chapitre II : Le dessalement et ses concepts

La figure ci-dessous illustre les différentes techniques de dessalement utilisées à travers le monde.

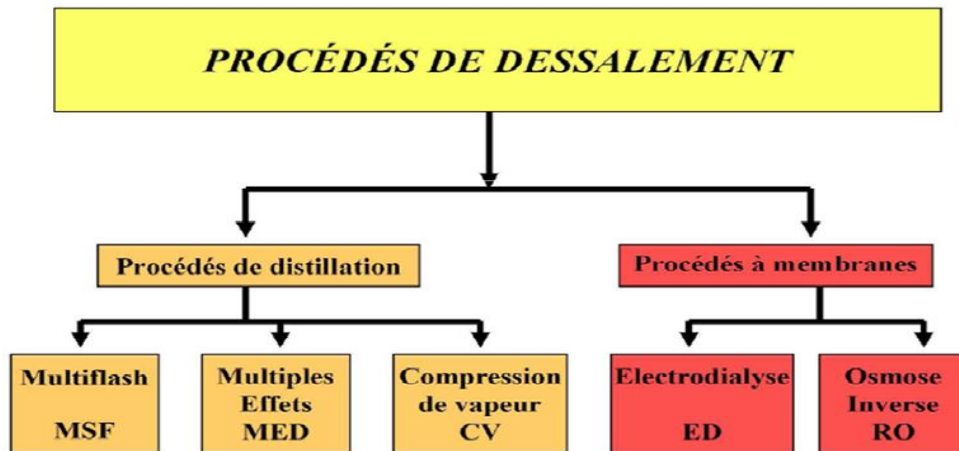


Figure II.4: Différents procédés de dessalement. (Topalgerie7)

2.1. Les procédés de distillation

2.1.1. Distillation à simple effet

La distillation à simple effet est le procédé le plus ancien utilisé pour traiter l'eau salée. Cette méthode est la plus efficace pour éliminer les contaminants présents dans l'eau et consiste à recréer le cycle de l'eau. Il s'agit de faire chauffer l'eau salée afin de produire de la vapeur d'eau, puis de la capturer et de la condenser pour la transformer en eau potable. (USGS)

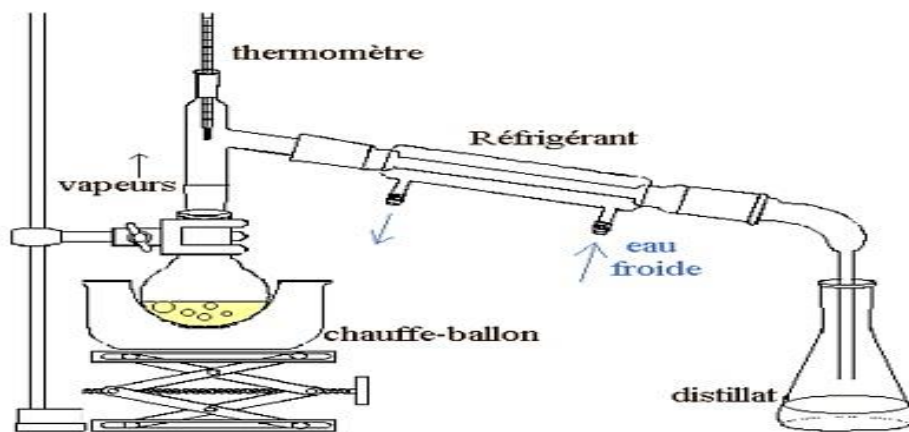


Figure II.5 : Procédé de distillation d'eau de mer. (Source : www.pedagogie.ac-nantes.fr)

Chapitre II : Le dessalement et ses concepts

2.1.2. Distillation a effets multiples

La distillation multi effets est une technique mise en œuvre à grande échelle qui repose sur le principe de la distillation a simple effet. Elle implique l'utilisation successive de plusieurs cellules, chacune servant à évaporer l'eau salée à partir d'un fluide de réchauffage et recueillir la vapeur d'eau produite. Grace a ce procédé, il est possible de produire de l'eau dessalée à des fins industrielles (Rovel,2017).

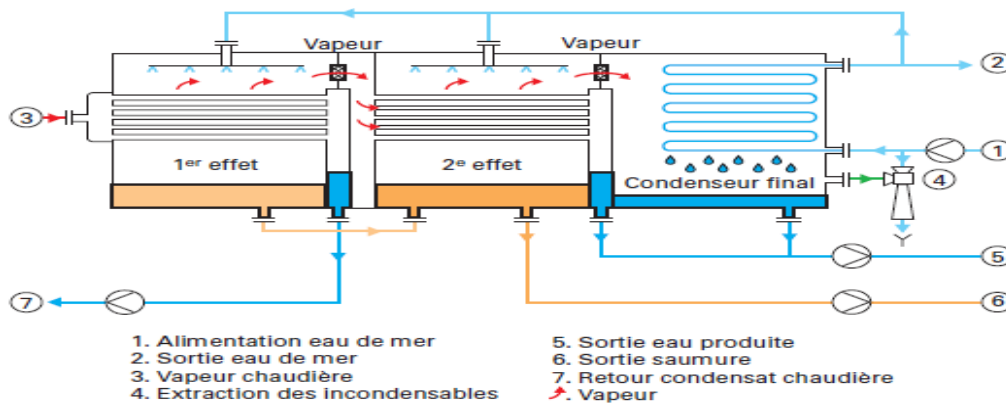


Figure II.6: Procédé de distillation a multi-effets. (Source : www.suezwaterhandbook.fr)

2.1.3. Distillation multi-flash :

Le dessalement multiples flash recrée le processus d'évaporation et de condensation en utilisant un système a doubles serpentins et des pompes. Le serpentin chauffé à l'eau salée produit de la vapeur d'eau tandis que l'autre serpentin a l'eau salée froide condense la vapeur. Les pompes sont utilisées pour évacuer les gaz incondensables, pomper l'eau dessalée et pomper les rejets de saumure (Rovel,2017).

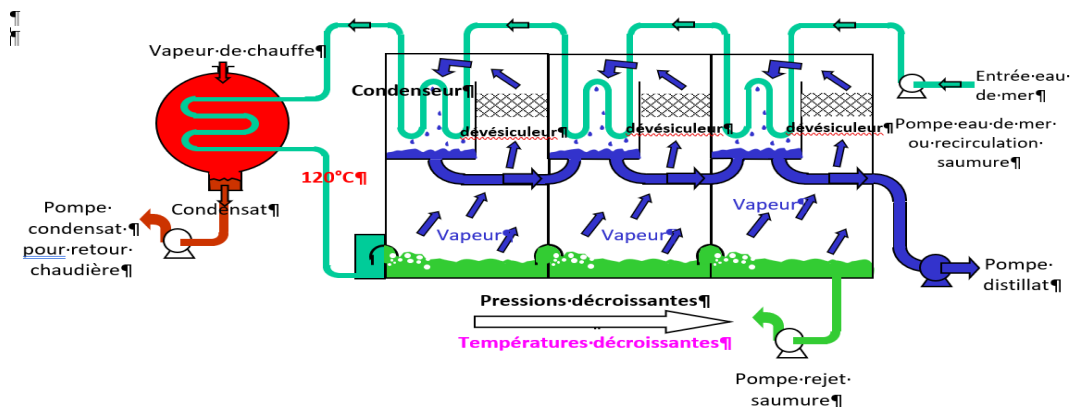


Figure II.7: Procédé de distillation multi flash. (Source : culturesciences.chimie.ens.fr)

Chapitre II : Le dessalement et ses concepts

2.2. Les procédés membranaires

2.2.1. L'électrodialyse

L'électrodialyse est employée pour séparer le sel et l'eau à l'aide d'un champ électrique. Cette technologie est souvent combinée à l'osmose inverse pour obtenir une eau à faible teneur en sels dissous, qui peut alors être utilisée dans les procédés industriels.

Dans ce procédé, les composants ioniques et non ioniques de l'eau sont séparés par la membrane afin d'obtenir un produit final de qualité supérieure. **(Ben Sik Ali, Mnif, Hamrouni et Dhahbi, 2010)**

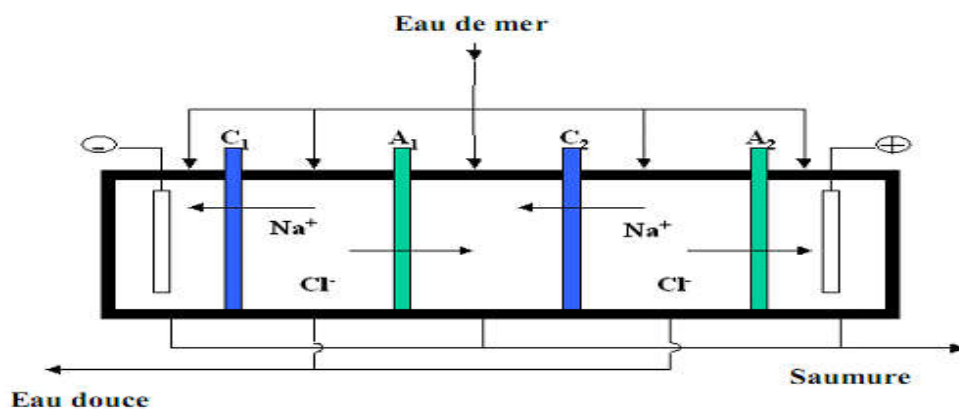


Figure II.8: Principe de fonctionnement de l'électrodialyse. (Source : www.lenntech.fr)

2.2.2. Osmose inverse

Le processus d'osmose vise à équilibrer la concentration en soluté entre deux milieux séparés par une membrane semi-perméable **(BERLAND & JUERY, 2002)**. Lorsqu'une pression est appliquée à la solution concentrée, le flux d'eau dirige de la solution diluée vers la solution concentrée diminue. Si on considère que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression sera dite pression osmotique. Une fois que la pression osmotique est atteinte, le flux d'eau s'annule. Si la pression est augmentée au-delà de la pression osmotique, un flux d'eau inversé se produira, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée ; ceci est connu sous le nom de phénomène d'osmose inverse **(MAUREL, 2006)**.

Chapitre II : Le dessalement et ses concepts

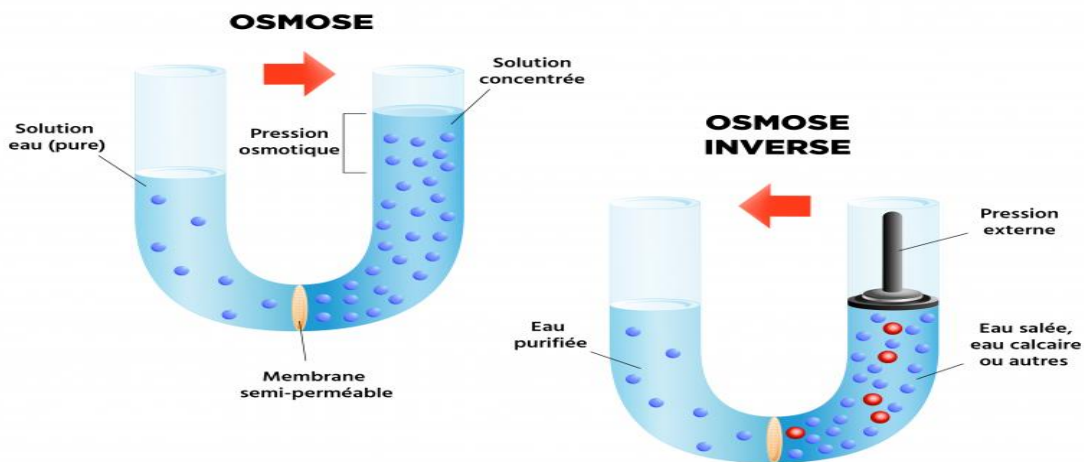


Figure II.9: Principe de l'osmose inverse. (Source : uae.fr)

2.2.2.1. Membranes d'osmose inverse

Les membranes d'osmose inverse sont des membranes poreuses artificielles composées de matériaux organiques (cellulose acétate ou polyamides) ou minéraux. Elles se composent généralement d'une fine couche active, ou "peau", d'une épaisseur comprise entre 0,1 et 1,5 μm , qui contient des micropores sélectifs, soutenue par une ou plusieurs couches plus poreuses et plus résistantes mécaniquement. Les membranes organiques doivent être utilisées dans des conditions strictes (pH entre 2 et 11, température maximale de 50°C).

2.2.2.2. Différents modules des membranes

Les procédés d'osmose inverse, utilisent quatre types différents de modules d'osmose inverse.

- **Modules plans :** Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples : les membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides (BERLAND & JUERY, 2002).
- **Modules tubulaires :** Un module tubulaire contient plusieurs tubes qui peuvent être en série ou en parallèle. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes. Les tubes constituent des canaux d'écoulement tangentiel (BERLAND & JUERY, 2002).
- **Modules spiralés :** C'est un module particulier de membranes planes qui sont enroulées autour d'un axe creux collecteur de perméat. L'ensemble est introduit dans une enveloppe cylindrique dont les sections donnent accès à l'entrée de l'alimentation et à la sortie du rétentat (ELKHABBAZE, 2008)

Chapitre II : Le dessalement et ses concepts

- **Modules à fibres creuses :** Ils contiennent plusieurs milliers de fibres dont le diamètre est de l'ordre de 1 mm. Les faisceaux ainsi obtenus sont encollés aux extrémités de façon à assurer l'étanchéité entre le compartiment (perméat) et l'alimentation. L'alimentation peut se faire à l'intérieur (interne- externe) ou à l'extérieur (externe-interne) des fibres creuses, selon que la peau active est à l'intérieur ou à l'extérieur de la fibre creuse (ELKHABBAZE, 2008).

3. L'impact de dessalement sur l'environnement

Le principal impact environnemental des procédés de dessalement est associé à la production de saumure, une solution fortement concentrée en sels qui résulte de la concentration de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre dessalée. (**Plan d'action, 2003**).

Cela s'ajoute aux contraintes anthropiques et climatiques qui peuvent être résumées comme suit :

- Dégradation du sol et des plantations par les rejets de résidus.
- Les eaux de rinçage chargées de résidus provenant de la station de déminéralisation peuvent stagner et entraîner des inondations des terres agricoles, provoquant ainsi le dépérissement des arbres.
- Contamination de la nappe phréatique, perte de la biodiversité végétale et salinisation excessive des terres cultivées.
- Perte de la biodiversité et fragilisation des écosystèmes.
- Conflits d'usage.

3.1.Origine et type des rejets

3.1.1. Emissions atmosphérique

En général, les usines de dessalement ne produisent que des émissions atmosphériques minimales, principalement constituées d'azote et d'oxygène provenant des usines de distillation qui utilisent des procédés de désaération pour prévenir la corrosion, ainsi que des rejets d'éjecteurs ou de dégazeurs.

Cependant, la production d'énergie nécessaire au fonctionnement des usines de dessalement peut entraîner une augmentation des émissions atmosphériques. Des émissions significativement plus élevées peuvent également survenir si une centrale thermique ou une

Chapitre II : Le dessalement et ses concepts

installation de production combinée est construite en conjonction avec un projet de dessalement (UNEP, 2001).

3.1.2. Les rejets chimiques

En général, les usines de dessalement ont recours à des produits chimiques pour effectuer le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que le post-traitement de l'eau produite. Ces produits sont principalement utilisés comme flocculants, coagulants, antitartres et anticorrosion, et ont pour effet de modifier la composition de la saumure concentrée. De plus, la présence de certains métaux, issus de la corrosion du circuit, peut également affecter la composition de la saumure concentrée (UNEP, 2001).

3.1.3. Effets des rejets de produits chimiques

Certains des composés chimiques rejetés par les usines de dessalement peuvent avoir des conséquences sur les écosystèmes marins.

Par exemple, il a été montré que les produits antitartres rejetés par les usines de dessalement étaient des éléments nutritifs qui stimulaient la productivité primaire. Ces produits peuvent donc induire une prolifération d'algues dans des milieux qui habituellement en comptent peu, comme en mer méditerranée. De même, les produits antisalissures rejetés par ces mêmes usines auraient des effets stérilisants sur certains organismes (UNEP, 2003).

Les rejets de saumure provenant des usines de dessalement par osmose inverse contiennent généralement de faibles quantités de métaux lourds, ce qui limite leur impact sur l'environnement et la vie marine. En revanche, les usines de distillation peuvent produire des quantités plus importantes de métaux lourds dans leur saumure rejetée, ce qui peut avoir un impact sur les organismes vivant dans la zone de rejet, notamment les microorganismes planctoniques qui se nourrissent des matières en suspension. (ecotoxicologie.fr, 2014).

3.6.1. Effets du concentré (saumure)

L'impact environnemental potentiel du rejet de saumure dépend largement du volume total libéré dans le milieu marin. Si de grandes quantités de saumure sont rejetées, cela nécessite une évaluation plus minutieuse des conséquences environnementales que si les quantités sont faibles. La dispersion et la dilution de la saumure au point de rejet peuvent être influencées par différents facteurs tels que la longueur de l'émissaire, sa proximité avec le rivage, sa hauteur au-dessus du fond marin, la présence ou l'absence d'un diffuseur, la profondeur de

Chapitre II : Le dessalement et ses concepts

l'eau et les caractéristiques hydrologiques comme les courants et les vagues. Ces facteurs peuvent avoir une incidence sur l'impact potentiel de la saumure sur l'environnement.

Chapitre III : Zone d'étude

Chapitre III : Zone d'étude

I. Présentation de la station de dessalement de Fouka

La station de dessalement d'eau de mer de Fouka est l'une des 13 projets décidés par le Gouvernement Algérien au début des années 2000 qui faisait suite à 20 ans de sècheresse.

Elle a été Réalisée par l'entreprise "Myah Tipasa" qui représente un groupement d'entreprises constitué d'AEC (Algerian Energy Company) et de la canadienne "SNC Lavallin" et l'espagnole ACCIONA Agua.



Figure III.10 : Localisation géographique de la station de Fouka. (Google Earth)

(Source : L. Dehia, H. Hayet ;2023)

1.1. Localisation de la station

La station de dessalement d'eau de mer de Fouka est localisée dans la wilaya de Tipasa, à 20 km du chef-lieu de wilaya et à environ 35 km à l'Ouest d'Alger. L'usine est située à l'entrée de Fouka et à la sortie de la ville de Douaouda marine.

La commune de Fouka s'étend sur une superficie de 1273 ha et se situe au Nord- Est de la ville de Tipaza. Elle est limitée :

- ✓ Au Nord : la mer Méditerranée ;
- ✓ Au Sud : la commune de Koléa ;
- ✓ A l'Est : la commune de Douaouda ;
- ✓ A l'Ouest : la commune de Bou Ismail ;

Chapitre III : Zone d'étude

L'usine de dessalement s'étend sur une superficie de 4 hectares, et présente une longueur de 300 m et une largeur variant de 70-150 m.

1.2. Capacité de la station et le mode de fonctionnement

Le mode de fonctionnement de la station de dessalement est l'Osmose Inverse (OI), elle est composée de six (6) unités (OI) d'une capacité unitaire de 20 000 m³/jour chacune (Il n'y a pas d'unités en réserve).

La capacité de traitement de la station est de 120.000 m³/jour, basée sur un approvisionnement en eau brute d'environ 273.697 m³/jour.

La production est étalée sur une période de 24h/jour soit 5.000 m³/heure.

1.3. Caractéristiques de l'eau de mer de Fouka

Le tableau II.6 répertorie les paramètres fondamentaux nécessaires pour engager l'opération de dessalement.

Tableau III.5: Caractéristiques physico-chimiques moyennes de l'eau de mer de Fouka (Zamich, 2014)

Les paramètres physico-chimiques	Unité	La moyenne annuelle (2014)
Température	°C	19,7
Salinité	g/l	38,8
Ph	/	8,1
MES	Mg/l	5,8
TDS	g/l	38,59
Chlorure	g/l	21,500
Calcium	Mg/l	503,7
HCO ³⁻	Mg/l	150,5
Conductivité	Ms/cm	52,5

2. Plan générale de l'usine

Les principaux composants de l'usine sont les suivants :

- Deux prises d'eau de mer ouverte avec tête de prise.
- Une station de pompage d'eau de mer.
- Prétraitement : injection de produits chimiques (chlorure ferrique, inhibiteur).
- Un prétraitement de l'eau par filtration gravitaire (filtres à sables) et filtres à cartouches.

Chapitre III : Zone d'étude

Les prétraitements ont pour rôle d'améliorer la qualité de l'eau d'alimentation du système d'osmose inverse afin de protéger les membranes.

- Le dessalement par osmose inverse : système d'osmose inverse, pompes haute pression et système de récupération d'énergie.
- Post-traitement : la reminéralisation par l'ajout des produits alcalins (Chaux) et CO₂ et désinfection par ajout de l'Hypochlorite de sodium.
- Un réservoir d'eau traitée avec une station de pompage pour distribution.
- Réservoir de traitement des effluents.
- Les systèmes auxiliaires : réseaux, contrôles, système de préparation et de dosage de produits chimiques, système de nettoyage des membranes et équipements et produits d'entretien.
- Des bâtiments de services.

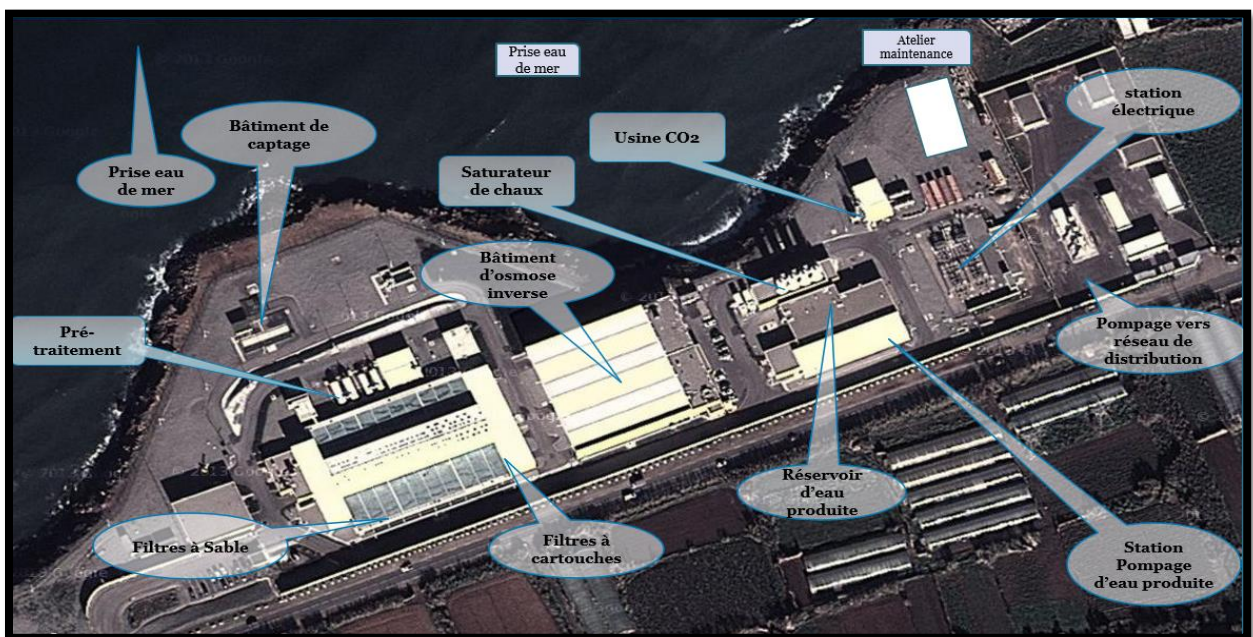


Figure III.11: Plan générale de la station de dessalement de Fouka marine. (Source : Kaim Missoum,2016)

2.1. Services de l'entreprise

➤ Sous station électrique

L'alimentation continue en électricité de l'usine est indispensable. Elle est assurée par 2 lignes Sonelgaz (Mazafran et Hamr el Ain) de 60 KV, alimentant une station de transformation composée de 2 transformateurs de 30 MVA dont la tension de sortie est de 6000 V.

Chapitre III : Zone d'étude

➤ Salle de contrôle :

Toutes les opérations de contrôle et de gestion de l'usine se font à partir d'une salle appelée « salle de contrôle » qui est sous la responsabilité du chef de quart ; elle est équipée de plusieurs ordinateurs et un système automatisé nommés SCADA qui permettent la visualisation et le contrôle des différents paramètres des installations principales de l'usine.



Figure III.12: Salle de contrôle de la station de dessalement Fouka marine.

(Source : L. Dehia, H. Hayet ;2023)

➤ Laboratoire :

Toutes les analyses et le contrôle de la qualité d'eau distribuée à la population selon les normes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) tel que la dureté, l'alcalinité, le pH, la quantité de chlore, la turbidité ... etc., se font dans un laboratoire équipé de tout le matériel nécessaire.

3. Descriptif du process de l'usine

Le procédé de dessalement d'eau de mer par osmose inverse de Fouka compte plusieurs étapes:

- Prise eau de mer ;
- Station de pompage eau de mer ;
- Système de Prétraitement et Filtration ;
- Système d'Osmose inverse ;
- Système de reminéralisations et de production de CO₂ ;
- Station de pompage d'eau traitée ;
- Traitement des effluents.

3.1. Prise eau de mer

Deux tuyaux en polyéthylène ayant un diamètre de 1.600 mm sont utilisés pour prélever l'eau de mer. Cette eau entre ensuite dans le réservoir d'eau de mer et est filtrée par une grille manuelle de 50 mm de diamètre placée entre -13 et -9 m de profondeur et située à 900 m de la côte, afin d'empêcher les particules trop volumineuses d'entrer dans le processus et de protéger les pompes.

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

- Hypochlorite de calcium : pour la désinfection.
- Acide sulfurique : pour la correction du pH.

L'eau sera pompée de ce réservoir au prétraitement de l'usine.



Figure III.13 : La prise d'eau de mer au niveau de la station de dessalement Fouka marine.
(Source : L. Dehia, H. Hayet ;2023)

3.2. Station de pompage d'eau de mer

La station de pompage d'eau de mer relève l'eau jusqu'au système de filtration. Elle est constituée de 7 pompes (6+1) de type centrifuge vertical (refoulant 1.900 m³/h à 22m).



Figure III.14 : Dégriilleurs et station de pompage d'eau de mer. (Source : Taibi Sarah, 2015)

3.3. Système de prétraitement et filtration

La phase de prétraitement est constituée de :

- Une injection de divers réactifs, qui permettent en particulier d'agglomérer les Matières en suspension de manière à ce qu'elles soient retenues sur les filtres à sable (Floculation).
- Filtres à Sable : sont la première phase de la filtration où La plupart des solides et des particules y seront éliminés. La filtration sera double : anthracite + sable.
- Pompes d'eau filtrée : l'eau filtrée sera pompée dans RO en passant par les filtres à cartouche.
- Les Filtres à Cartouche sont la deuxième phase de la filtration et constituant un élément de sécurité pour protéger les membranes d'osmose inverse.

A noter que les produits chimiques employés au cours de la phase de prétraitement sont les suivants :

- L'acide sulfurique : est utilisé pour abaisser le pH dans le rejet RO, ce qui contribue à prévenir l'entartrage et aide à améliorer la coagulation.
- Hypochlorite de calcium : est un agent de désinfection et de prétraitement qui aide à prévenir l'encrassement des membranes.
- Chlorure ferrique : est un agent de coagulation qui permet d'éliminer les solides en suspension dans les filtres à sable.
- Poly électrolyte : est un additif qui favorise la formation de floccs durant le processus de coagulation, ce qui permet d'augmenter leur taille.
- Bisulfate e sodium : permet d'éliminer le chlore libre avant l'utilisation de l'osmose inverse, ce qui prévient de possibles dommages aux membranes.
- Anti-scalant : est un produit qui empêche l'accumulation de résidus provenant des membranes RO.

3.3.1. Description du prétraitement a filtres à sable

20 (18+2) filtres à sables bicouches gravitaires, composées d'une couche de sable et d'une couche d'anthracite, sont traversés et repartis en deux groupes distincts. Les pompes de retro-lavage nettoient les filtres à sable en utilisant de l'eau saumure stockée dans le réservoir saumure et les soufflantes de lavage les nettoient à l'aide d'air.

Chapitre III : Zone d'étude

Après avoir filtré l'eau de mer, elle est envoyée dans le réservoir d'eau filtrée, ou elle sera pompée pour être traitée par osmose inverse.



Figure III.15: Filtres à sable. (Source : Loutis Dehia, Hacheb Hayet ;2023).

3.3.2. Lavage filtres à sable avec retro-lavage

- Il y a trois (2+1) pompes de rétro-lavage.
- Paramètres conception pompe : Débit : 1500 m³/h ; Pression : 01 bar
- On utilisera de la saumure pour ce rétro-lavage. La saumure fonctionnera comme désinfectant pour le bio-encrassement des filtres à sable.
- On utilisera aussi la soufflante pendant la séquence de rétro-lavage.
- Paramètres conception soufflante : Débit : 5000 Nm³/h ; Pression : 0.5 bar.

3.3.3. Description de la station de pompage d'eau filtrée

Sept pompes centrifuges verticales seront utilisées pour pomper 1.900 m³/h d'eau filtrée jusqu'à 50 m, pour alimenter les modules RO via des filtres à cartouche.

3.3.4. Description du prétraitement filtres à cartouche

Le processus de filtration comprend une étape supplémentaire impliquant des filtres à cartouche pour une sécurité supplémentaire et une filtration plus fine.



Figure III.16: Filtres à cartouches.

Chapitre III : Zone d'étude

3.4. Système d'osmose inverse et réservoir de lavage des filtres

Pour que l'osmose inverse puisse démarrer, l'eau prétraitée doit répondre aux critères suivants :

Redox Chlore Pression Turbidité (SDI)

Les pompes à haute pression (jusqu'à 70 bars) aspirent l'eau filtrée et la refoulent à travers les membranes d'osmose. Ces membranes permettent à environ la moitié de l'eau de passer à travers, la débarrassant ainsi de la majorité de son sel et produisant ainsi de l'eau déminéralisée ou Perméat. Après que l'énergie (pression) a été récupérée grâce au système ERI et aux pompes booster, la moitié salée (Concentrât) est acheminée vers un réservoir qui alimente le lavage des filtres à sables et un dispositif de traitement des effluents avant d'être rejetée en mer.

Il y a six (6) filières de production avec une capacité unitaire de 20.000 m³/jour chacune. Chaque filière est composée de :

- Une pompe Haute Pression « HP » de 2 MW ;
- Une pompe booster de 230 kW ;
- Un dispositif de récupération d'énergie (ERI) qui récupère une partie de l'énergie nécessaire à l'osmose inverse, réduisant la consommation totale d'énergie ;
- 216 tubes de pression contenant chacun 7 membranes.

L'Usine est équipée d'un système de nettoyage des membranes (bacs de préparation, pompes, filtre et tuyauteries). A Signaler que les produits chimiques utilisés lors de la phase d'osmose inverse sont l'antitartre (Anti scalant) et du bisulfate de sodium pour protéger les membranes.



Figure III.17: Les filières d'osmose inverse. (Source : T. sarah,2020)



Figure III.18: La pompe HP et l'échangeur de pression ERI utilisé à l'usine.

- **Description lavage et déplacement**

Lorsque le Rack RO s'arrête, il doit être déplacé afin d'utiliser de l'eau pure. Les pompes de lavage et de déplacement sont utilisées pour éliminer l'eau de mer et la saumure (rejet), afin d'éviter l'entartrage des membranes d'osmose inverse.

Notons que Le nettoyage chimique des racks est un nettoyage en profondeur.

3.5. Système de reminéralisation et de production de CO₂

L'eau déminéralisée (Perméat) est trop agressive pour satisfaire aux critères de potabilité. Pour y remédier, l'Usine est équipée d'un système de reminéralisation qui comprend l'injection de CO₂ (Gaz carbonique) produit in-situ à partir du gaz naturel et l'injection de chaux pour augmenter l'alcalinité, la dureté et le pH de l'eau traitée.



Figure III.19: Station de production du CO₂. (Source : L. Dehia, H. Hayet ;2023)

3.6. Station de pompage d'eau traitée

Après sa reminéralisation, l'eau est stockée dans un réservoir de 3 600 m³ où elle est désinfectée à l'aide de chlore. Elle est ensuite acheminée vers le réseau externe grâce à sept

Chapitre III : Zone d'étude

pompes de 800 kW qui débitent 833 m³/h jusqu'à une hauteur de 240 m. L'Usine possède par ailleurs des réseaux d'eau de service, d'incendie et potable.



Figure III.20: Station de pompage d'eau traitée. (Source : L. Dehia, H. Hayet ;2023)

3.7. Traitement des effluents

Les rejets de procédé comprennent les eaux suivantes :

- Le concentrât
- Les eaux de décharge des saturateurs de chaux
- Les eaux de lavage des filtres
- Les eaux de lavage ou flushing de l'osmose inverse.

Les effluents sont envoyés vers le réservoir de traitement pour être neutralisés, puis acheminés vers une conduite en polyéthylène d'un diamètre de 1.400 mm. Un diffuseur est installé à 450 m de la côte pour assurer une dilution rapide de ces eaux dans l'océan et ainsi éviter de perturber les écosystèmes marins.

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Chapitre IV : Matériels et méthodes

1. Prélèvements et échantillonnage

L'étude expérimentale consiste à effectuer des analyses physico-chimiques de l'eau de mer de Fouka marine dans différentes stations.

Le tableau ci-dessous résume les paramètres d'analyses qui ont fait l'objet de cette étude dans deux matrices de milieu marin : eau (surface, intermédiaire et fond) et sédiment (couche de surface).

Tableau IV.6: Les paramètres d'analyse dans les matrices du milieu marin (eau et sédiment)

Paramètres	Matrices et nombres d'échantillons
Paramètres microbiologique (coliformes fécaux, coliformes totaux et streptocoques fécaux, Salmonelles et <i>Escherichia coli</i>)	EAU (06 échantillons)
Matière particulaire : Total des Solides en Suspension (TSS), Total des Solides Dissous (TDS).	EAU (18 échantillons)
Demande en oxygène, sels minéraux et les oligoéléments : (demande biologique en oxygène (DBO ₅), demande chimique en oxygène (DCO), éléments minéraux (azote nitrique, les phosphates, l'ammoniac, l'ammonium et la silice), carbonates, carbone, alcalinité totale (AT), dureté (Hardness, as CaCO ₃) et bicarbonates, calcium, magnésium, chlorures, sodium, potassium et sulfates, fluor, bore, baryum et strontium.	EAU (06 échantillons pour la DBO ₅ et 18 échantillons pour les autres paramètres)
Matière organique (MO)	
Éléments métalliques : Cuivre, Zinc, Nickel, Plomb, Cadmium et Mercure.	Sédiment (06 échantillons pour la MO et 9 échantillons pour les éléments métalliques)

❖ Mode opératoire

Pour chaque site de prélèvement, on a suivi la procédure suivante :

- Préparation des flacons de prélèvement : flacons en plastique de 500 ml étiquetés du nom de l'échantillon
- Laisser l'eau couler pendant une minute
- Rincer le flacon trois fois avec l'eau à analyser
- Remplir le flacon et prendre la mesure de la température (avec un thermomètre Hanna) avant de fermer le flacon

Chapitre IV : Matériels et méthodes

2.Méthodes d'analyse

2.1. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer

2.1.1. La température

Pour mesurer la température de l'eau, la station de dessalement est équipée par un thermomètre numérique introduit directement au niveau de la canalisation.

Pour plus de précision, cette mesure de T° est effectuée aussi sur les échantillons durant le prélèvement à l'aide d'un appareil thermomètre HANNA instruments. La valeur trouvée dépend de la saison.

2.1.2. Le pH

Le pH est mesuré au niveau du laboratoire en utilisant un pH-mètre HQ430d, il doit être étroitement surveillé au cours de toute opération de dessalement. La valeur trouvée doit être entre [8 ; 8,15].

2.1.3. La conductivité

Mesurée à l'aide d'un conductimètre sensION 7 Hach Lange, exprimée en Us/cm ou Ms/cm. Après avoir étalonné le conductimètre ; mettre ensuite environ 100mL d'eau à analyser dans un bécher, dans lequel on plonge l'électrode du conductimètre pour la mesure. La valeur trouvée est comprise entre [54,6 ; 55,2] ms/m.

2.1.4. Les TDS (taux des sels dissous)

❖ Matériel utilisé

- Balance analytique.
- Pipette (25 ml).
- Dessiccateur.
- Étuve de laboratoire.
- Capsule d'évaporation.
- Pompe de filtration.
- Entonnoir Buchner
- Bécher
- Pissette.
- Papier filtre 47 mm (filtre microfibre en verre).

❖ Mode opératoire

- Chauffer l'étuve à 180 °C.

Chapitre IV : Matériels et méthodes

- Homogénéiser l'échantillon avec un agitateur magnétique
- Mettre un filtre dans l'entonnoir de Bushner et l'humidifier avec un peu d'eau ultra pure.
- Filtrer un volume d'échantillon déterminé **V**.
- Peser et noter le poids d'une capsule d'évaporation vide **W2**.
- Verser l'échantillon filtré dans la capsule d'évaporation.
- Mettre la capsule et le filtrat dans l'étuve pendant deux heures.
- Après deux heures, faire sortir la capsule et la laisser refroidir dans le dessiccateur.
- Peser la capsule et noter le poids **W1**.
- Calculer le TDS selon la formule suivante :

$$\text{TDS mg/L} = [(W1 - W2) / V] * 10^6$$

2.1.5. Dosage de l'oxygène dissous

❖ Méthode de Winkler

La méthode de Winkler est celle qui est utilisée en laboratoire d'analyse.

❖ Principe

- Fixation, par MnSO_4 , de l'oxygène dissous dans l'eau sous forme de $\text{Mn}(\text{OH})_3$ et libération, par le réactif de Winkler ($\text{KI} + \text{KOH}$), d'iode en quantité proportionnelle à celle d' O_2 dissous.
- Dosage de l'iode libérée, par le thiosulfate, en présence d'un indicateur coloré, l'amidon (la coloration bleue de l'amidon en présence d'iode disparaît au virage).

❖ Matériel

-Flacon de prélèvement à bouchon rodé, pipettes, bécher, burette, balance au 0,1 g.

❖ Mode opératoire

❖ Au laboratoire

- Libérer l'iode I_2 en versant dans le flacon 2 ml d' HCl concentré. Reboucher et agiter. L'iode libérée colore l'échantillon en brun (l'intensité de la coloration est un premier indicateur de la concentration en iode).
- Verser l'échantillon dans un bécher et ajouter quelques gouttes d'empois d'amidon. Agiter, une coloration bleue apparaît.
- Doser I_2 en versant, au moyen d'une burette, la solution de thiosulfate $\text{M}/80$ jusqu'à décoloration. Soit n le nombre de ml de thiosulfate utilisé.

Chapitre IV : Matériels et méthodes

2.1.6. Titre hydrométrique

❖ Matériel utilisé

- Eau ultra pure
- HCl 37%
- Solution hydroxyde d'ammonium (25%).
- Solution de carbonate de calcium (10 mM).
- Fiole jaugée (1000 mL).
- Fiole jaugée (100 mL).
- Bécher (500 mL).
- Burette graduée (25 mL).
- Erlenmeyer.
- Compte-goutte.
- Micropipette.
- Mordant noir 11.

❖ Mode opératoire

- Préparation du HCl 4 M.
- Préparation de la solution d'ammonium 3 M.
- Préparation de la solution du carbonate de calcium (10 mM).
- Préparation de la solution d'EDTA.
- Etalonnage de la solution EDTA.
- Verser 50 mL d'échantillon dans un erlenmeyer.
- Ajouter 4 mL d'ammonium avec les 50 mL d'échantillon.
- Ajouter 3 gouttes du mordant noir 11 dans le même erlenmeyer (apparition d'une couleur violet).
- Titrer immédiatement avec une agitation continue le contenu de l'erlenmeyer (Échantillon+4 ml d'ammonium+ 3 gouttes du mordant noir 11) par l'EDTA jusqu'au virage du couleur vers le bleu.
- Noter le volume final d'EDTA dans la burette.

❖ Expression des résultats :

La dureté totale est calculée avec l'équation suivante :

$$\text{Concentration (Ca+Mg)} = C1V1 / V2$$

- C1 : la concentration d'EDTA en mm
- V1 : le volume d'EDTA utilisé dans le titrage.

Chapitre IV : Matériels et méthodes

- V2 : le volume d'échantillon à analyser.

3. Mesure des paramètres indicateurs de pollution

3.1. Les matières en suspension

❖ Principe

On évalue le poids sec du résidu, à 1 ou 0.1 mg près, obtenu par filtration de l'échantillon d'eau, après passage à l'étuve à 105 °C.

❖ Matériel

- Dispositif de filtration (trompe à eau, fiole et entonnoir de filtration)
- Disques filtrants en fibre
- Etuve à 105 °C ou Microondes
- Balance de précision (au mg ou au 1/10 mg)

❖ Mode opératoire

- Laver le disque filtrant fibreux à l'eau distillée, le sécher à l'étuve (1 h à 105°C ou 15 min au micro-onde à puissance moyenne) et le placer en attente dans un dessiccateur.
- Peser le disque : P0 mg.
- Placer le disque dans l'appareil de filtration et mettre en route le système d'aspiration.
- Verser progressivement le volume V l d'eau à analyser sur le disque filtrant jusqu'à ce que l'appareil de filtration se vide.
- Rincer le récipient qui a contenu l'échantillon avec 10 ml d'eau distillée et filtrer les eaux de lavage
- Mettre le disque filtrant à sécher (1 h à 105°C ou 15 min au micro-onde à puissance moyenne).
- Laisser refroidir le filtre au dessiccateur.
- Peser le filtre : P1 mg.
- Calculer les MES avec la formule suivante :

$$\frac{(P2 - P1) \times 1000}{V}$$

Avec :

P1 = poids du filtre (vide) avant filtration ;

P2 = poids du filtre séché après 24 heures ;

V = volume de l'échantillon.

Chapitre IV : Matériels et méthodes

3.2. Turbidité

Mesurée avec un Turbidimètre 2100 N Hachlange, la valeur trouvée est variable par rapport la saison. L'échantillon sera analysé en utilisant des cubes en verre bien nettoyés et bien séchés, remplis de l'eau à analyser et le résultat est affiché en NTU (Nephelométric Turbidity Unit).

3.3. Mesure de la DCO

❖ Principe

Dans des conditions définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromate de potassium, en milieu acide et en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par de fer et d'ammonium.

❖ Matériel et réactifs

- Tubes de réactifs à DCO (gamme 0-150mg/l ou 0-400 mg/l)
- Pipette 2 ml
- Réacteur à DCO ou bain à sec 150 °C
- Colorimètre
- Etalon DCO (par exemple 100 mg/l pour une gamme de mesures 0-150 mg/l)

❖ Mode opératoire

- Introduire 50 ml d'eau à analyser (ou de dilution) soigneusement homogénéisée dans un ballon de 500 ml.
- Dans un tube à DCO, ajouter 2 ml d'échantillon ;
- Refermer le tube et bien agiter ;
- Placer dans le bloc chauffant à 150°C pour une période de 2 heures ;
- Laisser refroidir et mesurer la valeur avec le DR-2000.

❖ Attention

Le tube contient des acides et lors de l'ajout de l'échantillon, le tube va chauffer.

❖ Résultats

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimée en milligramme d'oxygène par litre est égale à

$$\frac{8\,000 (V_0 - V_1) T}{V}$$

Avec ;

Chapitre IV : Matériels et méthodes

V_0 = volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml).

V_1 = volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire à l'essai à blanc (ml).

T = titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium.

V = volume de prise d'essai.

3.4. Demande biochimique en oxygène (DBO5)

❖ Matériel

Récipient 10 l (eau de dilution), aérateur, flacon bouché 1 l (prélèvement), flacons à bouchon rodé 200 à 300 ml (mesure), pipettes, éprouvettes graduées, étuve 20°C.
Matériel pour dosage O₂ dissous.

❖ Mode opératoire

- Prélèvement de l'eau à analyser.
- **Préparation de l'eau de dilution** : mettre la veille du prélèvement, dans un récipient de 10 l, de l'eau du robinet dans laquelle on plonge toute la journée un aérateur d'aquarium pour la saturer en dioxygène. Laisser reposer 12 h.
- **Choix du facteur de dilution** : Le facteur de dilution dépendra de la charge de l'eau analysée. Par exemple, on choisira un facteur de dilution de l'ordre de 10 pour une eau de surface (DBO moyenne = 1 à 30 mg/l) ou de 50 à 100 pour une eau usée (DBO moyenne = 300 mg/l pour un effluent domestique).
- Concrètement, si en début de mesure l'eau est saturée en dioxygène (8 mg/l), pour une eau usée (DBO de l'ordre de 300 mg/l), on choisira un facteur de dilution F de l'ordre de $300 / (8-8/2) = 75$. Si l'on dispose d'un flacon de 150 ml, en diluant 2 ml d'eau usée dans 148 ml d'eau de dilution on obtient un facteur de dilution $F = 148/2 = 74$ convenable.
- **Préparation des flacons de mesure** : verser dans le flacon un peu d'eau de dilution puis la quantité prévue d'échantillon puis remplir le reste du flacon avec l'eau de dilution. Fermer le flacon sans y laisser d'air. Faire ainsi 2 flacons identiques. Préparer 2 autres flacons avec uniquement de l'eau de dilution (blancs). Toutes ces opérations seront réalisées en veillant à ne pas modifier la teneur en dioxygène dissous.
- **Mesure au temps 0** : doser l'O₂ dissous (voir protocole dosage dans le paragraphe 3) dans un flacon d'échantillon dilué (T0) et dans un flacon d'eau de dilution (D0). Jeter l'eau.
- **Incubation** : placer les 2 flacons restants à l'étuve 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours.

Chapitre IV : Matériels et méthodes

- **Mesure au temps 5 j** : doser l'O₂ dissous dans le flacon d'échantillon dilué restant (T5) et dans un flacon d'eau de dilution restant (D5).

- **Résultats**

$$DBO = F (T_0 - T_5) - (F - 1) (D_0 - D_5)$$

Avec :

- F = facteur de dilution
- T₀ et T₅ concentrations en O₂ de la dilution à 0 et 5 jours
- D₀ et D₅ concentrations en O₂ de l'eau de dilution à 0 et 5 jours.

4. Dosage des métaux lourds (Chrome, plomb, Cuivre, Cadmium, Zinc, Fer, Argent)

Les métaux lourds ont été dosés au niveau du laboratoire de contrôle de qualité à l'aide d'une spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (SAAF) de type AURORA AI.

❖ **Principe**

La SAAF est basée sur le principe qu'une population d'atomes peut absorber des photons d'énergie et qu'une estimation du nombre de photons absorbés peut être reliée à la concentration de l'élément dans la solution à analyser. En SAAF, le phénomène d'absorption se visualise lorsque la radiation caractéristique d'un élément traverse un nuage de vapeur atomique du même élément. Le spectromètre se compose d'une source lumineuse qui émet un rayonnement à une longueur d'onde spécifique de l'élément à analyser. La solution à analyser est aspirée par effet venturi via un nébuliseur qui projette en fines gouttelettes la solution dans le brûleur, dont la flamme très chaude sert d'atomiseur. Les atomes excités par la source absorbent son énergie. La disparition du signal est répercutée via des systèmes optiques puis détectée et amplifiée. On en mesure une absorbance (MUN, 2007).

❖ **Matériel utilisé**

- SAAF AURORA AI 1200.
- Une lampe à cathode creuse spécifique pour chacun des métaux lourds.
- Un ensemble de nébuliseur
- brûleur et air-acétylène.
- Une solution mère étalon de 1000 mg/L pour chacun des métaux lourds.
- Fiole jaugée. - Micropipette.

Chapitre IV : Matériels et méthodes

- Eau ultra pure.
- **Mode opératoire**
 - Placer les 5 lampes à cathode creuse spécifiques des 5 métaux lourds qui correspondent (le maximum c'est 5 lampes).
 - Allumer l'appareil (SAAF).
 - Ajuster la longueur d'onde pour chacun des métaux lourds.
 - Préparer deux solutions étalons pour le chrome à partir de la solution mère de 1000 mg/l.
 - Etalonner l'appareil avec le blanc (eau ultra pure) et les deux solutions étalons qui ont été préparés.
 - Nébuliser de l'eau ultra pure dans la flamme air-acétylène du SAAF après chaque analyse.
 - Nébuliser l'échantillon dans la flamme air-acétylène du SAAF pour doser le chrome.
 - Lire les résultats.
 - Répéter les cinq étapes précédentes pour les autres métaux lourds.

Chapitre V :

Résultats et discussions

Chapitre V : Résultats et discussions

L'évaluation de la qualité de l'eau de mer des 4 stations choisies a été déterminée par la mesure des paramètres physico-chimiques. Les résultats obtenus ont été présentés dans le tableau V.8

L'analyse des éléments traces métalliques dans les sédiments superficiels de Fouka Marine qui a été déterminée pour 9 stations a permis l'évaluation du niveau de contamination de Fouka Marine.

Les résultats de ces derniers ont été récapitulés dans le tableau V.9

1-Les paramètres physico-chimiques

Tableau V.7: Résultats et statistiques des paramètres physico-chimiques de Fouka Marine

Station	T (°C)	S (PSU)	O2 (mg/l)	PH	C (ms/cm)
Stat 1	20,1	37,009	7,10	8,16	50,46
Stat 2	19,96	37,340	7,06	8,18	50,71
Stat 3	20,02	36,997	7,08	8,17	50,36
Stat 4	20,13	35,282	5,58	8,07	48,39
Maximum	20,13	37,340	7,10	8,18	50,71
Minimum	19,96	35,282	5,58	8,07	48,39
Moyenne	20,0525	36,657	6,705	8,145	49,98
Ecart-type	0,08	0,93	0,75	0,06	1,07

1-1- La température

La température est un élément fondamental en océanographie, ce paramètre est important pour l'identification des masses d'eaux et leur circulation, car elle définit la densité et elle permet de déterminer le taux de saturation des gaz.

Les valeurs de température observées sont comprises entre **19,96°C** et **20,13°C**, avec une moyenne de **20,05°C** et un écart-type de **0,08**. Ces variations reflètent la période saisonnière (Printemps et Été) en relation avec les conditions météorologiques et hydrodynamiques.

Chapitre V : Résultats et discussions

La valeur la plus élevée a été enregistrée à la station 4 en face de l'embouchure de l'oued Mazafran. A cet endroit, on constate que l'eau est polluée et est d'une mauvaise qualité. Ceci nous indique la relation qu'il y a entre la température et la qualité des eaux (plus une eau est polluée, plus la température est élevée).

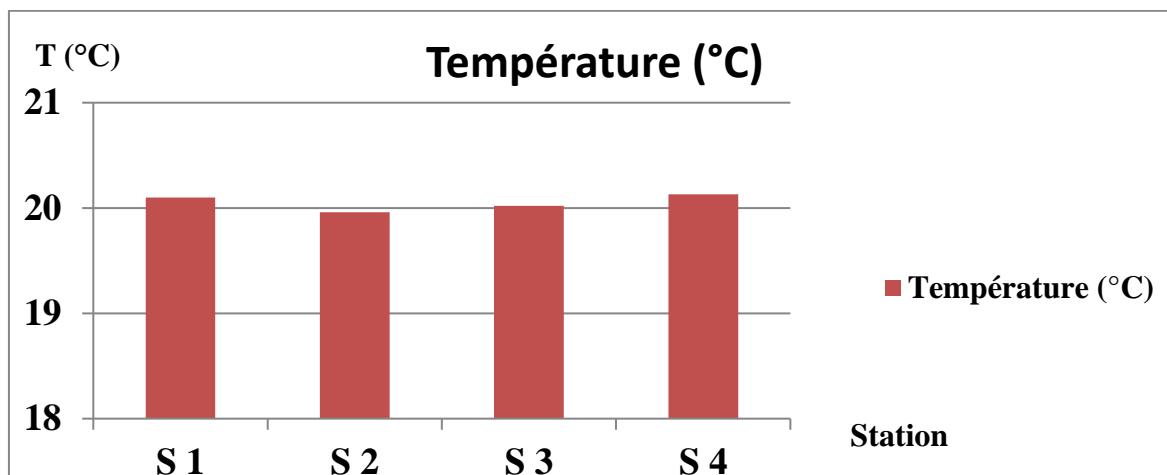


Figure V.21: Variation de la température au niveau de Fouka Marine

1-2- La salinité

La salinité représente la proportion des sels minéraux dissous dans l'eau de mer.

Les valeurs de salinité mesurée se situent entre **35,282 psu** et **37,340 psu** avec une moyenne de **36,657 psu** et un écart-type de **0,93**.

La salinité des eaux Méditerranéens est comprise entre **37,8 psu** et **39,39 psu**.

La valeur la plus faible est localisée au niveau de la station 4 ce qui peut s'expliquer par les apports en eau douce par les cours d'eau.

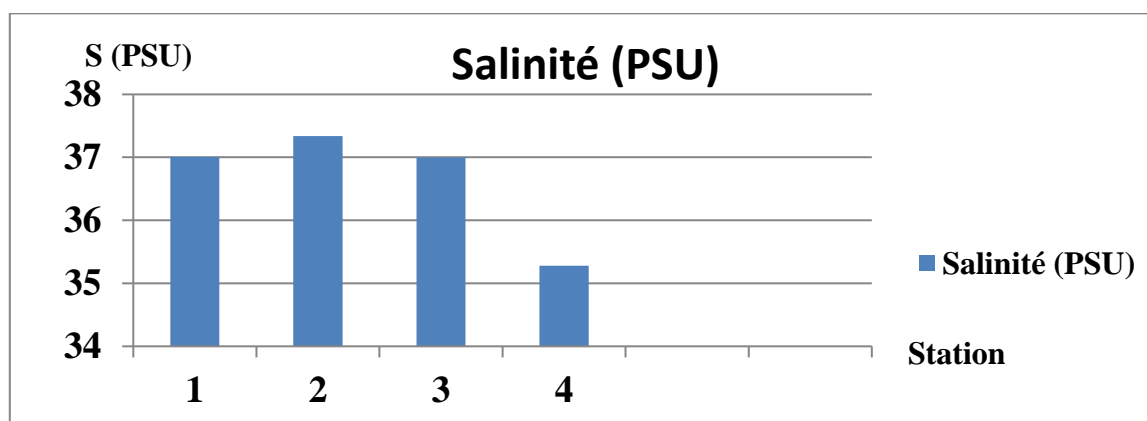


Figure V.22: Variation de la salinité au niveau de Fouka Marine

Chapitre V : Résultats et discussions

1-3- Oxygène dissous

L'oxygène dissous est un paramètre essentiel qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que les pressions partielles d'oxygène dans le liquide et dans l'air soient en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est en fonction de la pression atmosphérique, de la température et de la minéralisation de l'eau.

Les teneurs en oxygène des eaux de surface de Fouka Marine varient entre **5,58 mg/l** et **7,10 mg/l**. Les teneurs élevées ont été enregistrées aux stations **1, 2 et 3**. A ces endroits, les eaux sont relativement bien oxygénées par le brassage des eaux et la libération d'oxygène lors de la production primaire qui est importante dans ces régions.

Alors que la faible teneur a été observée à la station **4**. Ceci pourrait être expliqué par les apports en eaux polluées, qui se déversent dans cette zone, conduisant à la dominance du phénomène de minéralisation de la matière organique.

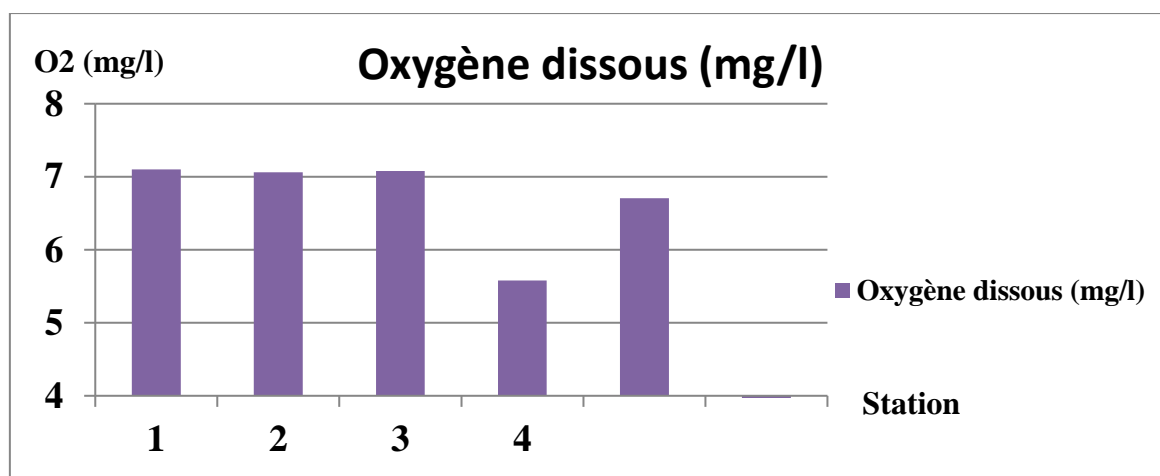


Figure V.23: Variation de l'oxygène dissous au niveau de Fouka Marine

1-4- Le potentiel d'hydrogène

Le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit la balance entre acide et base sur une échelle de **0** à **14**. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimiques et dépend de plusieurs facteurs dont l'origine de l'eau.

Les valeurs de pH sont comprises entre **8,07** et **8,18**. La valeur moyenne du pH dans les eaux de la Méditerranée est de **8,2**.

Chapitre V : Résultats et discussions

La faible valeur trouvée au niveau de la station 4 en face de l'embouchure de l'oued Mazafran coïncide avec la température élevée à ce niveau.

Cette diminution est en corrélation avec le taux des rejets d'eaux usées, urbains ou industrielles et la quantité de la matière organique présente au niveau de ces stations et sa dégradation. En effet, la dégradation de la matière organique va enrichir le milieu en proton, donc diminution du pH (Aminot et Keroul, 2004).

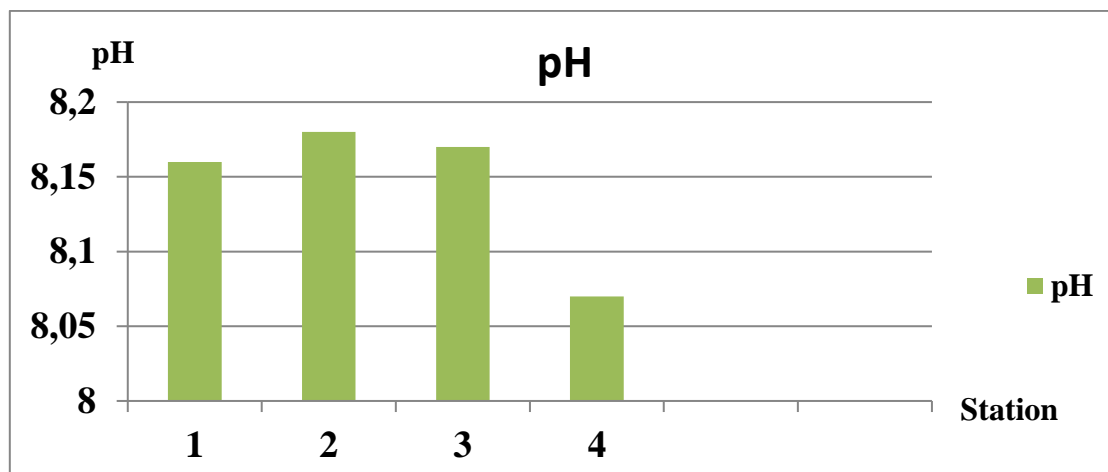


Figure V.24: Variation du pH au niveau de Fouka Marine

1-5- La conductivité

La conductivité varie entre **48,39** et **50,71 ms/cm**, avec une moyenne de **49,98 ms/cm** et une écart-type de **1,07**.

Plus une eau est salée, mieux elle conduit le courant, on remarque qu'il y a une correspondance de conductivité avec la salinité, donc l'évolution de la conductivité est proportionnelle à la salinité.

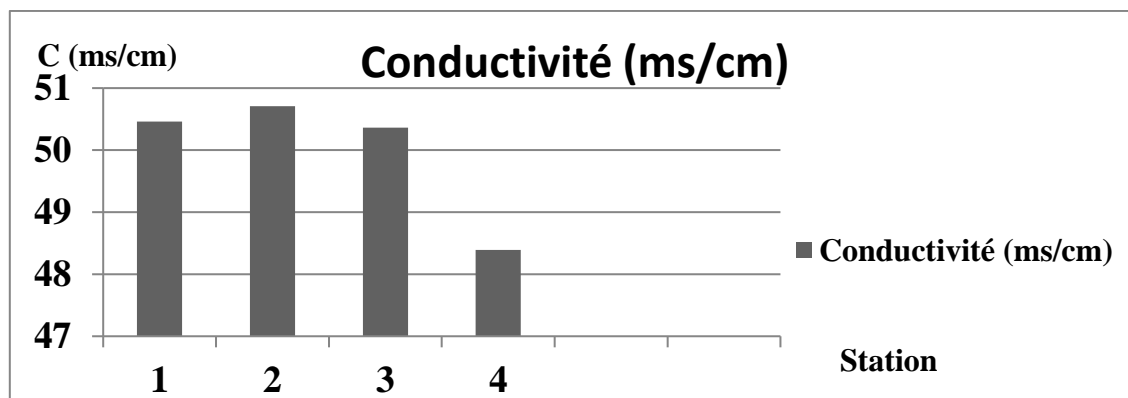


Figure V.25: Variation de la conductivité au niveau de Fouka Marin

Chapitre V : Résultats et discussions

1-6- TDS

Les concentrations de TDS représentent la quantité totale de solides dissous dans l'eau, y compris les minéraux, les sels et autres composés dissous. Des valeurs plus élevées de TDS suggèrent une plus grande quantité de solides dissous dans l'eau.

➤ Station de surface

Les données indiquent une légère variation des concentrations de TDS à la surface de l'eau entre les différentes stations. Les valeurs varient de **36,836 g/L** à **37,386 g/L**.

La station 1 a la plus faible concentration de TDS avec **36,836 g/L**, tandis que la station 2 présente la concentration la plus élevée avec **37,386 g/L**. Les stations 4, 5 et 6 affichent des valeurs assez proches, oscillant entre **37,11 g/L** et **37,31 g/L**.

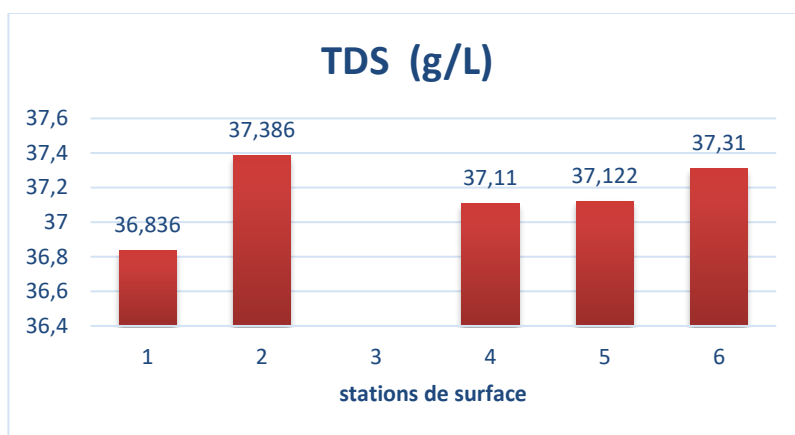


Figure V.26: Variations des TDS au niveau de la surface des stations de Fouka marine

➤ Station intermédiaire

En comparant les valeurs de TDS, on peut observer des variations légères entre les différentes stations, mais elles restent relativement proches les unes des autres. La station 2 présente la valeur la plus élevée de TDS (**37,746 g/L**), tandis que la station 4 affiche la valeur la plus basse (**36,964 g/L**). Les autres stations ont des valeurs de TDS comprises entre ces deux extrêmes.

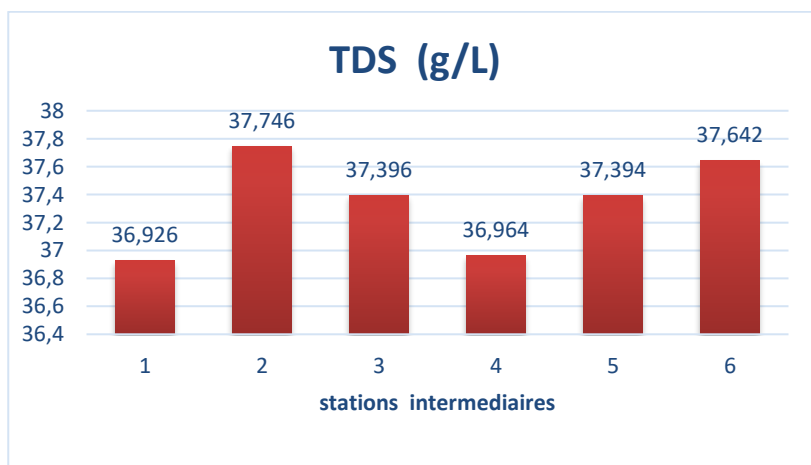


Figure V.27: Variations des TDS au niveau des stations intermédiaires de Fouka marine

Chapitre V : Résultats et discussions

➤ Station de fond

En comparant les valeurs de TDS, on observe une légère variation entre les différentes stations. La station 6 présente la valeur de TDS la plus élevée (38,064 g/L), tandis que la station 1 a la valeur la plus basse (36,438 g/L). Les autres stations ont des valeurs de TDS situées entre ces deux extrêmes.

L'augmentation de la valeur de TDS à mesure que l'on se déplace des stations 1 à 6 suggère une augmentation progressive de la concentration de solides dissous. Cela peut être dû à divers facteurs, tels que des apports de minéraux provenant de sources souterraines, des activités humaines, ou encore des processus naturels.

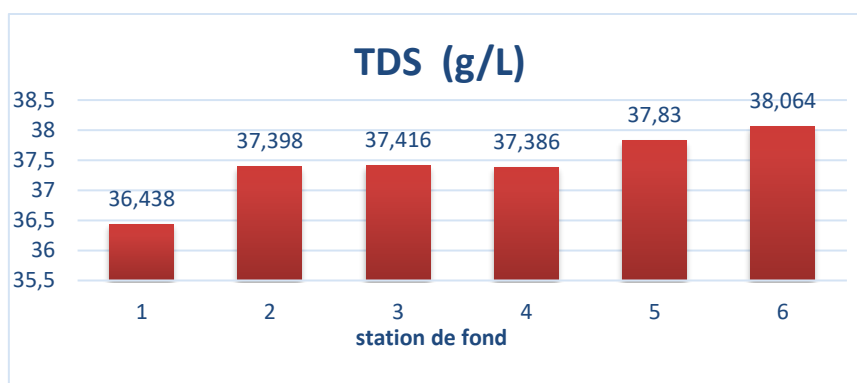


Figure V.28: Variations des TDS au niveau des stations de fond.

1-7- TSS

La concentration en TSS mesure la quantité de matière solide en suspension dans l'eau. Plus la valeur est élevée, plus l'eau est turbide ou chargée en particules en suspension. Une concentration plus faible indique une eau plus claire.

➤ Station de surface

En examinant les données, on peut constater qu'il y a une certaine variation dans les concentrations en TSS entre les différentes stations. Les valeurs varient de 1,6 mg/L à 6,4 mg/L.

La station 1 présente la concentration la plus faible en TSS avec **1,6 mg/L**, ce qui suggère une eau relativement claire. Les stations 2, 3 et 5 ont des concentrations plus élevées de **6 mg/L**, indiquant une augmentation de la turbidité de l'eau par rapport à la station 1. La station 4 présente une concentration légèrement inférieure de 4,4 mg/L, mais reste plus élevée que la station 1. La station 6 affiche la concentration la plus faible après la station 1 avec **3,6 mg/L**.

La variation des concentrations en TSS peut être influencée par plusieurs facteurs, tels que les apports de sédiments provenant de l'érosion des sols, les activités humaines ou les conditions météorologiques.

Chapitre V : Résultats et discussions

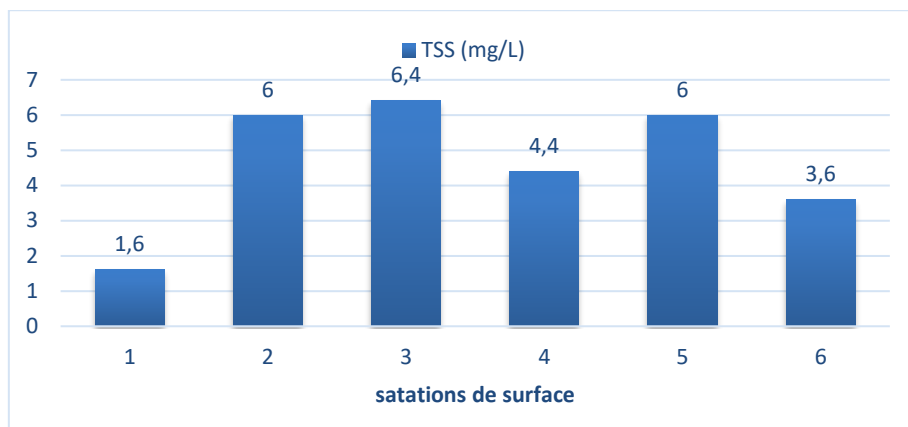


Figure V.29 : Variations des TSS au niveau de la surface des stations

➤ Station intermédiaire

En comparant les nouvelles données avec les données précédentes, nous pouvons noter que les concentrations en TSS pour les stations intermédiaires sont généralement plus élevées que celles des stations en surface. Cela peut être dû à des facteurs tels que la stratification de l'eau, où les particules plus lourdes se déposent plus près du fond, ce qui entraîne des concentrations plus élevées à des profondeurs intermédiaires.

La station 3 présente la concentration la plus élevée de TSS avec 6,8 mg/L, indiquant une eau relativement turbide. Les stations 4 et 5 ont des concentrations légèrement inférieures, mais restent élevées avec respectivement 4,8 mg/L et 5,6 mg/L. Les stations 2 et 6 affichent des concentrations intermédiaires de 3,2 mg/L et 2,8 mg/L, tandis que la station 1 a la concentration la plus faible de 1,2 mg/L.

En résumé, les nouvelles données montrent une augmentation générale des concentrations en TSS pour les stations intermédiaires par rapport aux stations en surface, ce qui suggère une plus grande turbidité de l'eau à des profondeurs intermédiaires.

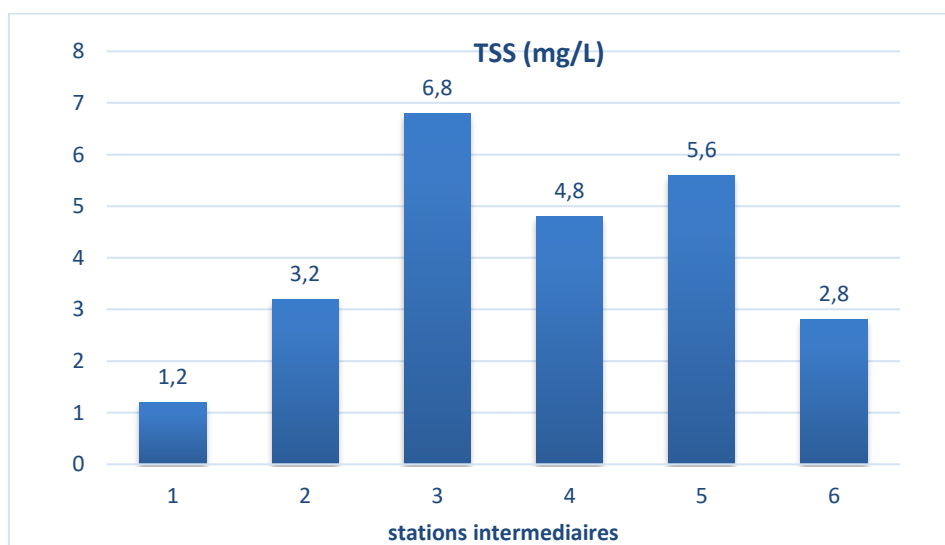


Figure V.30 : Variations des TSS au niveau des stations intermédiaires.

Chapitre V : Résultats et discussions

➤ Station de fond

Comparées aux stations en surface et aux stations intermédiaires des données précédentes, les stations au fond présentent des concentrations en TSS généralement plus élevées. Cela est cohérent avec l'idée que les particules plus lourdes ont tendance à se déposer près du fond de l'eau.

La station 1 affiche une concentration en TSS très élevée de 26 mg/L, suggérant une eau très turbide avec une quantité importante de particules en suspension. Les stations 4 et 6 présentent également des concentrations relativement élevées avec respectivement 7,6 mg/L et 9,2 mg/L. Les stations 3 et 5 ont des concentrations en TSS légèrement inférieures de 7,2 mg/L et 4 mg/L. Enfin, la station 2 présente la concentration la plus faible de 3,2 mg/L.

Ces variations dans les concentrations en TSS peuvent être influencées par différents facteurs, notamment les apports de sédiments, les courants marins, la turbulence de l'eau, etc. L'accumulation de particules près du fond peut être due à la sédimentation des matériaux provenant de sources externes ou à des processus naturels de l'environnement.

Il est important de noter que les concentrations en TSS élevées peuvent avoir des effets néfastes sur l'écosystème aquatique en réduisant la pénétration de la lumière et en obstruant les surfaces des organismes. L'évaluation de ces concentrations par rapport aux normes environnementales ou aux seuils réglementaires est essentielle pour évaluer la qualité de l'eau et prendre des mesures appropriées si nécessaire.

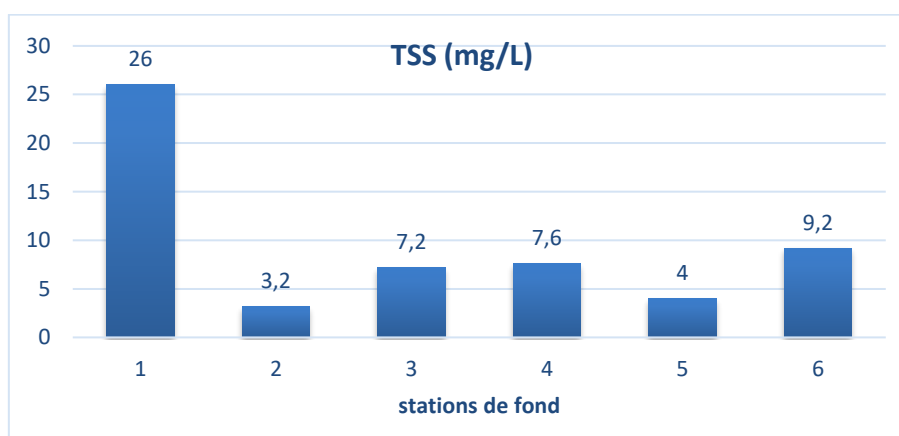


Figure V.31: Variations des TSS au niveau des stations du fond.

1-8- DBO5

La DBO5 est une mesure couramment utilisée pour évaluer la contamination organique d'un échantillon d'eau. Elle représente la quantité d'oxygène dissous nécessaire à la dégradation biologique des matières organiques présentes dans l'eau sur une période de 5 jours.

En analysant les mesures de DBO5, on peut constater des variations entre les différentes stations. La station 2 présente la valeur de DBO5 la plus élevée (3,2 mg/L d'O₂), tandis que la station 3 affiche la valeur la plus basse (0,5 mg/L d'O₂). Les autres stations ont des valeurs de DBO5 situées entre ces deux extrêmes.

Chapitre V : Résultats et discussions

Une valeur élevée de DBO5 peut indiquer une pollution organique plus importante, ce qui peut être attribuable à la présence de matières organiques en décomposition, telles que les déchets industriels ou les effluents domestiques. Cela suggère également une plus grande demande d'oxygène par les micro-organismes présents dans l'eau pour dégrader ces matières organiques.

En revanche, une valeur plus basse de DBO5 peut indiquer une pollution organique moindre, ce qui peut être le résultat d'une eau moins contaminée par des matières organiques en décomposition.

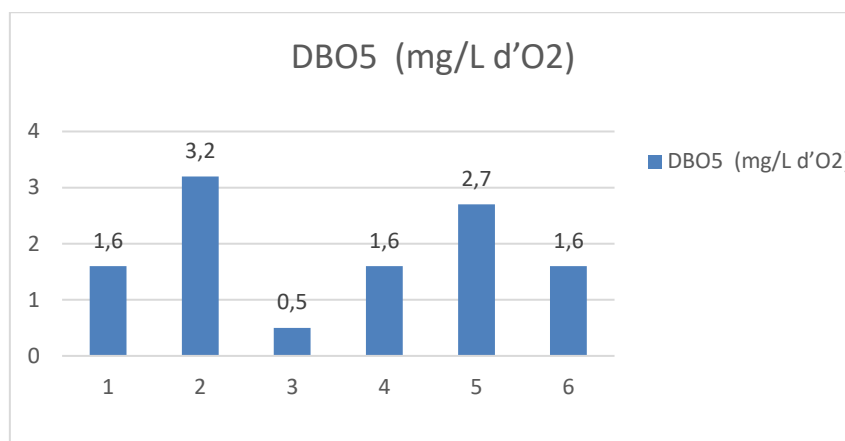


Figure V.32 : Variations de la DBO5 au niveau des stations

1-9- DCO

La DCO est une mesure qui évalue la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les substances organiques présentes dans un échantillon d'eau. Elle est utilisée comme indicateur de la pollution organique de l'eau, notamment en présence de matières organiques biodégradables.

➤ Station de surface

En analysant les mesures de DCO, on peut observer des variations entre les différentes stations. La station 3 présente la valeur de DCO la plus élevée (14 mg/L d'O2), tandis que la station 5 affiche la valeur la plus basse (4 mg/L d'O2).

Une valeur élevée de DCO peut indiquer une plus grande quantité de matières organiques biodégradables présentes dans l'eau, ce qui suggère une pollution organique potentielle. Ces matières organiques peuvent provenir de différentes sources, telles que les eaux usées domestiques ou industrielles, les déchets agricoles, etc. Une augmentation de la DCO peut indiquer une plus grande demande d'oxygène pour dégrader ces matières organiques par des processus biologiques.

En revanche, une valeur plus basse de DCO peut indiquer une pollution organique moindre, avec moins de matières organiques biodégradables présentes dans l'eau.

Chapitre V : Résultats et discussions

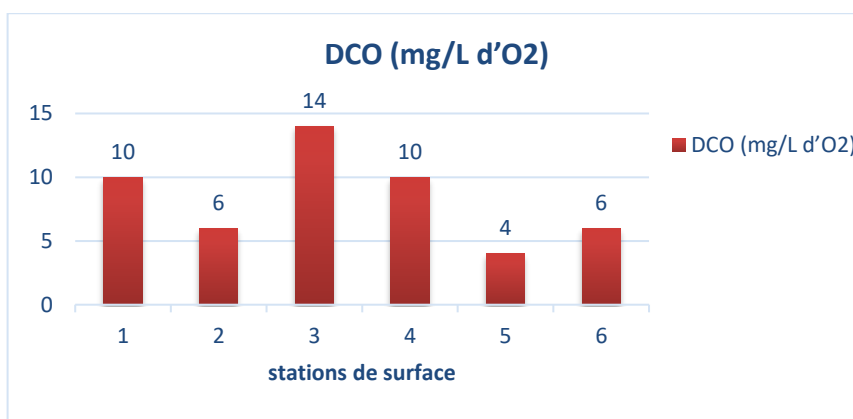


Figure V.33: Variations de DCO au niveau de la surface des stations.

➤ Station intermédiaire

En examinant les valeurs de DCO, on peut remarquer que la station 2 a la valeur la plus élevée avec 18 mg/L d'O₂. Cela suggère une concentration plus élevée de matière organique potentiellement polluante à cette station.

Les stations 4 et 5 présentent les valeurs les plus basses avec 8 mg/L d'O₂ et 6 mg/L d'O₂ respectivement. Cela peut indiquer une moindre quantité de matière organique ou une plus grande capacité de l'eau à décomposer la matière organique présente.

Les stations 1,3 et 6 ont toutes deux une valeur de DCO de 14 mg/L d'O₂, ce qui les place au milieu des autres stations en termes de concentration de matière organique.

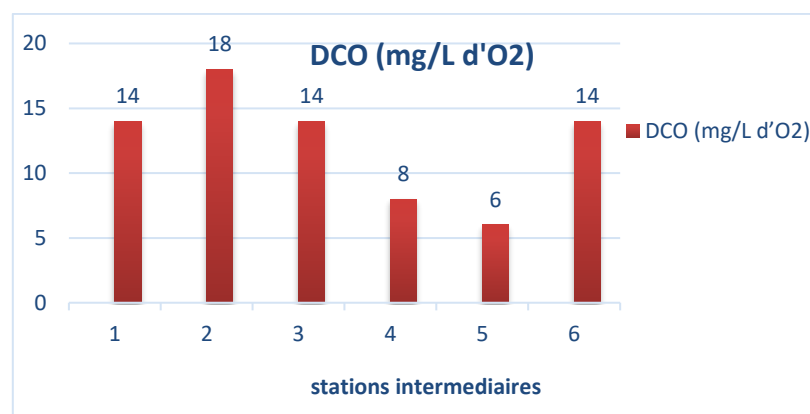


Figure V.34 : Variations de la DCO au niveau des stations intermédiaires.

➤ Station de fond

En examinant les valeurs de DCO, on peut remarquer que les stations 1 et 3 ont toutes deux une valeur de 10 mg/L d'O₂, ce qui suggère une concentration similaire de matière organique à ces stations.

Les stations 2 et 4 ont des valeurs légèrement plus basses avec 6 mg/L d'O₂, indiquant une concentration légèrement réduite de matière organique par rapport aux stations 1 et 3.

Chapitre V : Résultats et discussions

Les stations 5 et 6 présentent les valeurs les plus basses de DCO avec 4 mg/L d'O₂ et 2 mg/L d'O₂ respectivement. Cela peut indiquer une moindre quantité de matière organique présente à ces stations.

Globalement, les valeurs de DCO observées dans les stations de fond sont plus faibles par rapport aux stations intermédiaires. Cela peut être dû à une plus grande dilution de la matière organique ou à une plus grande capacité de l'eau à décomposer la matière organique à des profondeurs plus importantes.

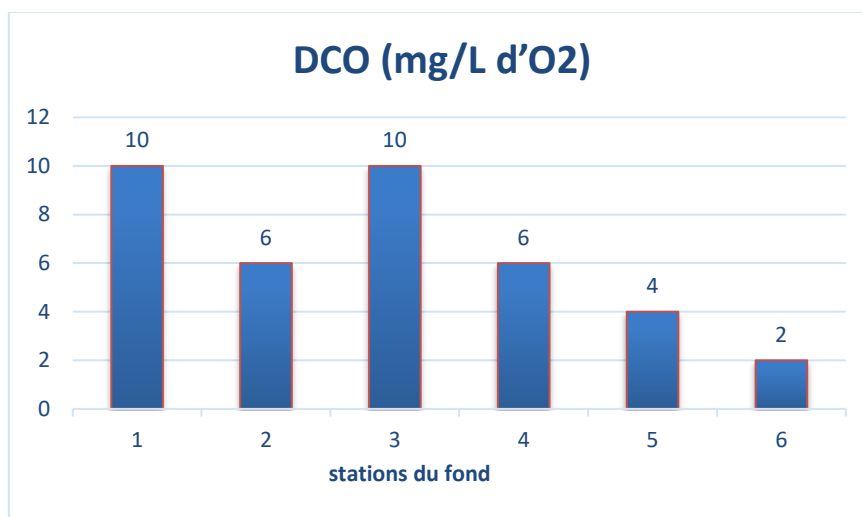


Figure V.35 : Variations de la DCO au niveau des stations du fond.

1-10- Système des carbonates

1-10-1- CO₂

➤ Station de surface

Les concentrations de CO₂ mesurées sont relativement proches les unes des autres, suggérant une certaine homogénéité des niveaux de CO₂ à la surface de l'océan dans cette zone spécifique.

Les mesures montrent une stabilité apparente des niveaux de CO₂ à la surface de l'eau de mer. Les stations 2, 3, 4 et 5 ont toutes des concentrations de CO₂ très similaires, autour de 0,53 mg/l.

Les stations 1 et 6 présentent des niveaux de CO₂ légèrement plus élevés, avec des valeurs de 0,6 mg/l et 0,59 mg/l respectivement. Cela peut indiquer une légère augmentation des concentrations de CO₂ à mesure que l'on s'éloigne de la côte ou de la source initiale.

Chapitre V : Résultats et discussions

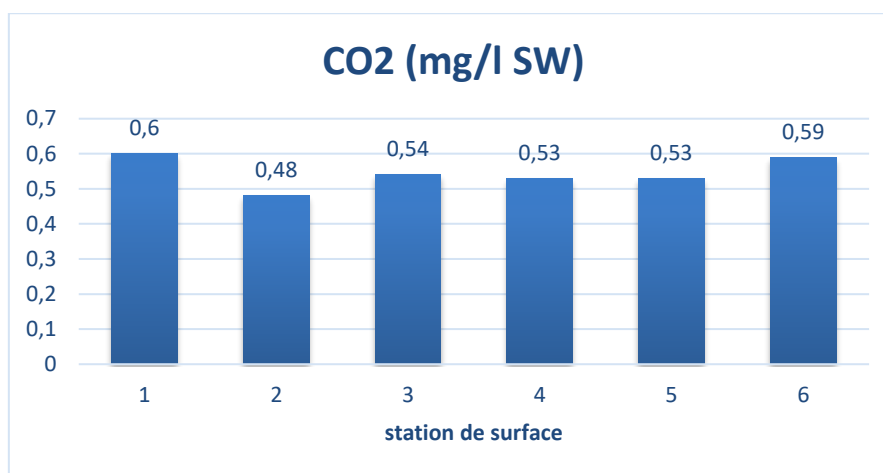


Figure V.36: Variations du CO2 au niveau de la surface des stations.

➤ Station intermédiaire

Les concentrations de CO2 à une profondeur intermédiaire semblent relativement stables dans l'ensemble. Les valeurs se situent dans une fourchette étroite, allant de 0,5 mg/l à 0,61 mg/l.

Les stations 2, 5 et 6 présentent des concentrations de CO2 assez proches les unes des autres, avec des valeurs de 0,59 mg/l et 0,54 mg/l respectivement. Cela peut indiquer une certaine cohérence des niveaux de CO2 à cette profondeur dans cette région spécifique.

Les stations 1, 3 et 4 montrent des variations légères des concentrations de CO2 à une profondeur intermédiaire, avec des valeurs de 0,61 mg/l, 0,5 mg/l et 0,53 mg/l respectivement. Ces différences peuvent être influencées par des facteurs locaux ou des processus biogéochimiques spécifiques à chaque station.

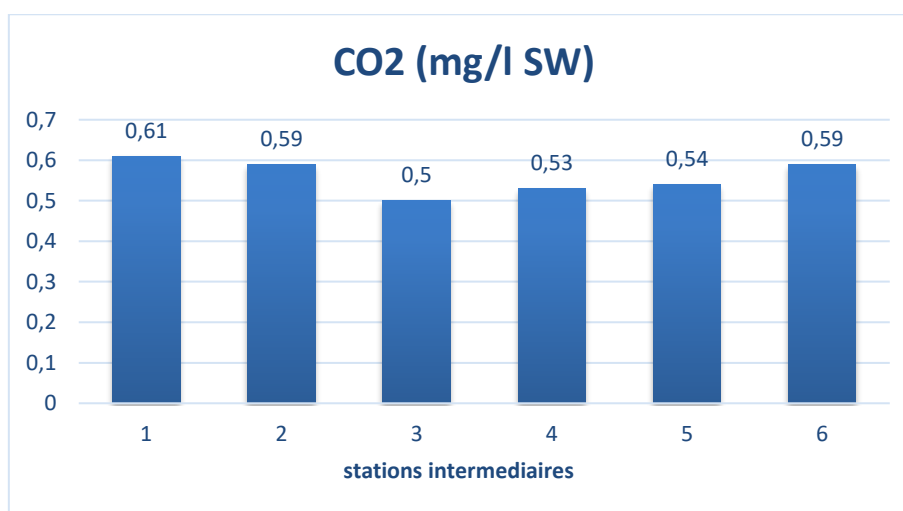


Figure V.37: Variations du CO2 au niveau des stations intermédiaires

Chapitre V : Résultats et discussions

➤ Station du fond

Les mesures montrent une variation des niveaux de CO₂ au fond marin d'une station à l'autre. Les valeurs vont de 0,47 mg/l à 0,67 mg/l, ce qui indique une certaine hétérogénéité des concentrations de CO₂ à cette profondeur.

Les stations 1, 2 et 6 présentent les concentrations de CO₂ les plus élevées au fond marin, avec des valeurs de 0,63 mg/l, 0,65 mg/l et 0,67 mg/l respectivement.

Les stations 3 et 4 présentent les concentrations de CO₂ les plus basses au fond marin, avec des valeurs de 0,48 mg/l et 0,47 mg/l respectivement.

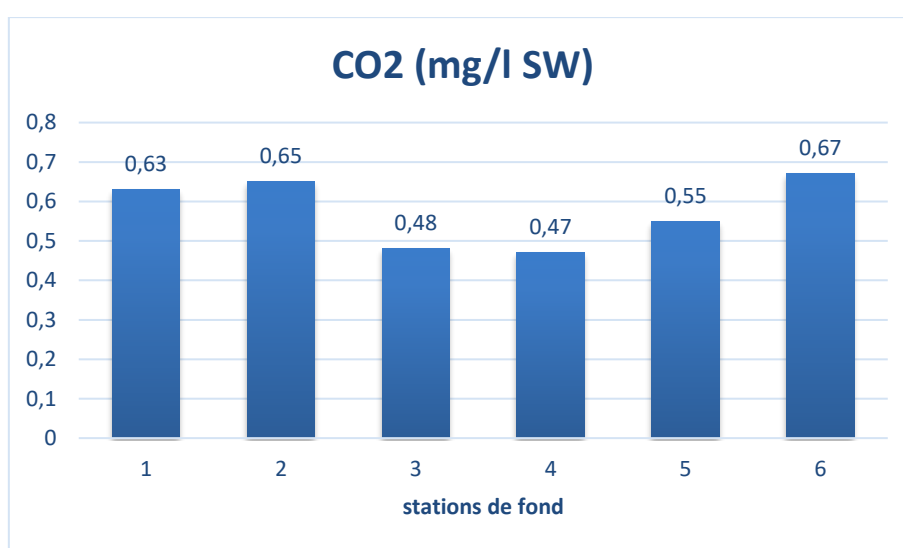


Figure V.38: Variations du CO₂ au niveau des stations du fond.

1-10-2- CO₃

➤ Stations de surface

Les mesures révèlent des variations des niveaux de CO₃ à la surface de l'eau de mer d'une station à l'autre. Les concentrations de CO₃ varient entre 11,6 mg/l et 13,43 mg/l.

Les concentrations de CO₃ restent relativement stables dans l'ensemble, avec des valeurs proches les unes des autres. Les stations 1, 3, 4 et 6 présentent des concentrations de CO₃ assez similaires, toutes supérieures à 11,5 mg/l. Les stations 2, 4 et 5 ont des concentrations de CO₃ légèrement plus élevées, avec des valeurs supérieures à 12,5 mg/l.

Chapitre V : Résultats et discussions

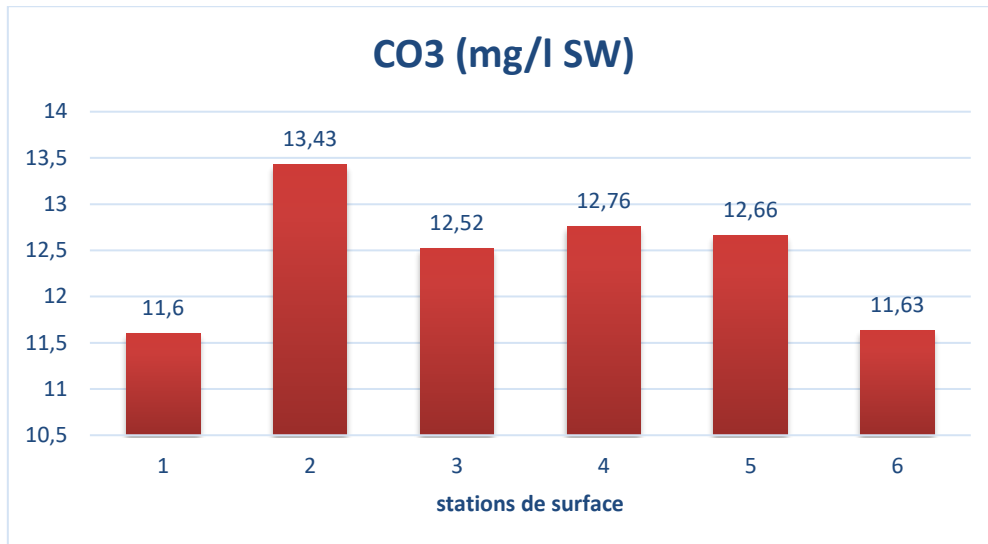


Figure V.39: Variations du CO₃ au niveau de la surface des stations

➤ Station intermédiaire

Les mesures montrent une variation des niveaux de CO₃ à une profondeur intermédiaire d'une station à l'autre. Les concentrations de CO₃ varient entre 11,42 mg/l et 13,49 mg/l.

En général, les concentrations de CO₃ à une profondeur intermédiaire restent relativement stables et se situent dans une fourchette étroite, autour de 12 mg/l.

La station 3 présente une concentration de CO₃ légèrement plus élevée que les autres stations, avec une valeur de 13,49 mg/l.

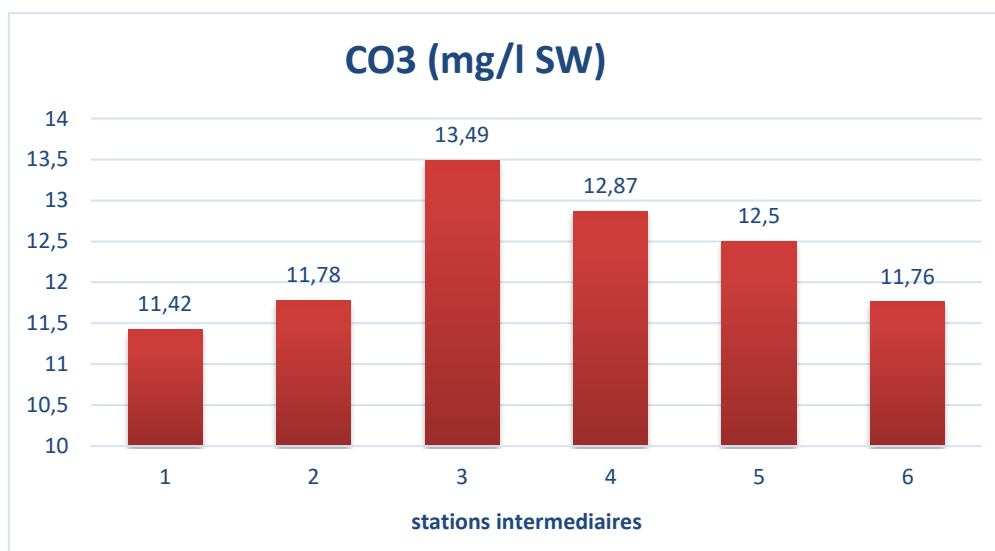


Figure V.40: Variations du CO₃ au niveau des stations intermédiaires.

Chapitre V : Résultats et discussions

➤ Stations du fond

Les mesures révèlent des variations des niveaux de CO₃ au fond marin d'une station à l'autre. Les concentrations de CO₃ varient entre 10,67 mg/l et 13,43 mg/l.

La station 6 présente la concentration de CO₃ la plus basse parmi toutes les stations, avec une valeur de 10,67 mg/l. La station 3 présente une concentration de CO₃ légèrement plus élevée que les autres stations, avec une valeur de 13,49 mg/l

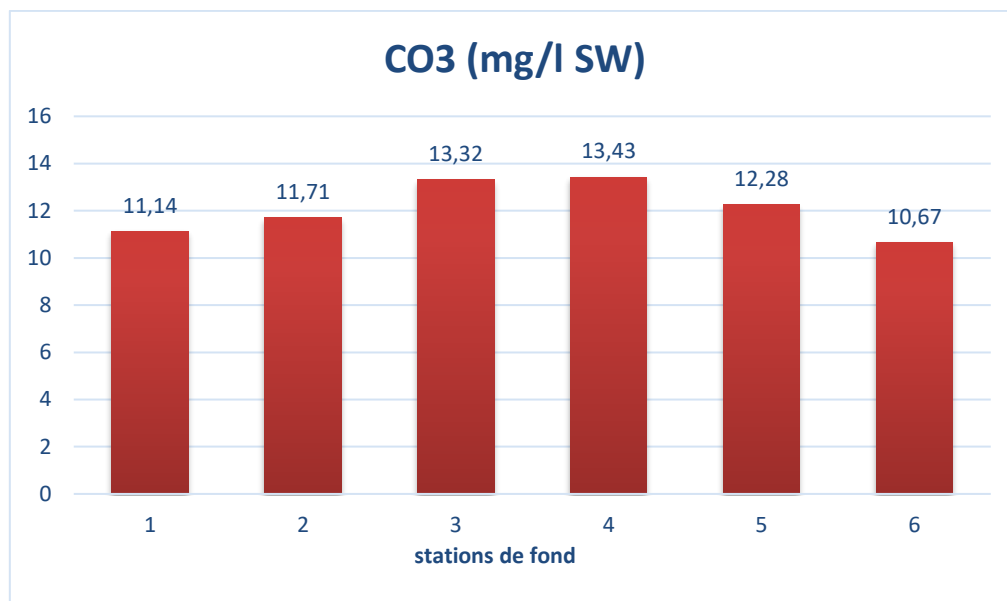


Figure V.41: Variations de CO₃ au niveau des stations du fond.

1-10-3- Alcalinité totale

➤ Stations de surface

Les mesures montrent une stabilité des niveaux d'alcalinité à la surface de l'eau dans chaque station. Les valeurs varient de 2399,57 $\mu\text{mol/l}$ à 2417,87 $\mu\text{mol/l}$, avec une différence relativement faible entre les stations.

Les valeurs moyennes d'alcalinité à la surface de l'eau se situent autour de 2410-2415 $\mu\text{mol/l}$ dans la plupart des stations. Cela suggère une stabilité générale des niveaux d'alcalinité dans cette région. La station 6 présente une valeur légèrement plus basse d'alcalinité totale avec 2399,57 $\mu\text{mol/l}$, tandis que la station 4 présente la valeur la plus élevée d'alcalinité totale avec 2417,87 $\mu\text{mol/l}$.

Chapitre V : Résultats et discussions

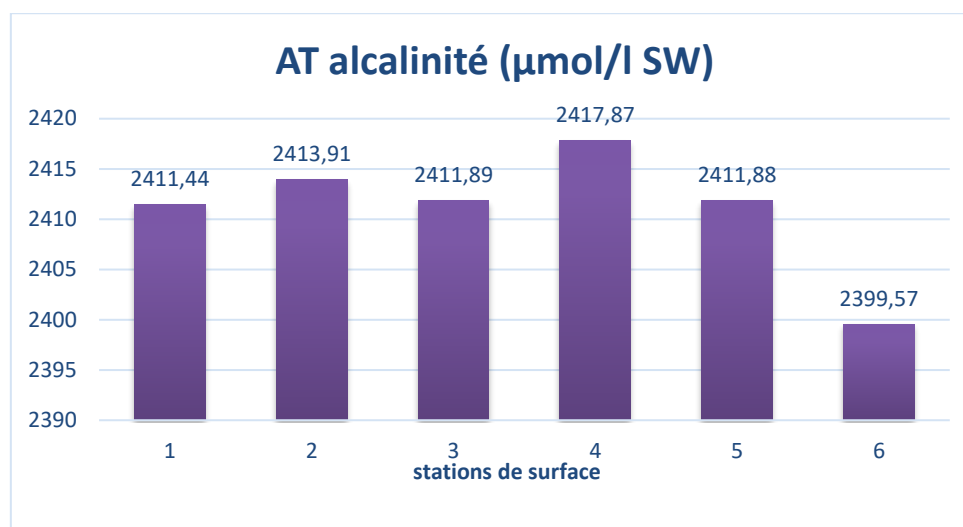


Figure V.45: Variation de l'alcalinité totale au niveau de la surface des stations.

➤ Stations intermédiaires

Les mesures révèlent une certaine variabilité des niveaux d'alcalinité à une profondeur intermédiaire d'une station à l'autre. Les valeurs varient entre 2402,08 µmol/l et 2430,79 µmol/l.

Les stations 4 et 5 présentent des niveaux d'alcalinité relativement plus élevés avec des valeurs de 2430,79 µmol/l et 2412,46 µmol/l respectivement. Cela suggère la présence de conditions particulières dans ces stations, telles que des apports d'eaux profondes riches en minéraux ou des processus biogéochimiques spécifiques.

Les stations 1, 3 et 6 montrent des niveaux d'alcalinité légèrement inférieurs, avec des valeurs proches de 2402-2405 µmol/l. Cela peut être dû à des influences locales, telles que des facteurs géologiques ou biologiques, qui peuvent entraîner une diminution de l'alcalinité à ces profondeurs.

En moyenne, les niveaux d'alcalinité à une profondeur intermédiaire se situent autour de 2405-2414 µmol/l. Cependant, il est important de noter que cette moyenne est influencée par la variabilité observée entre les différentes stations.

Chapitre V : Résultats et discussions

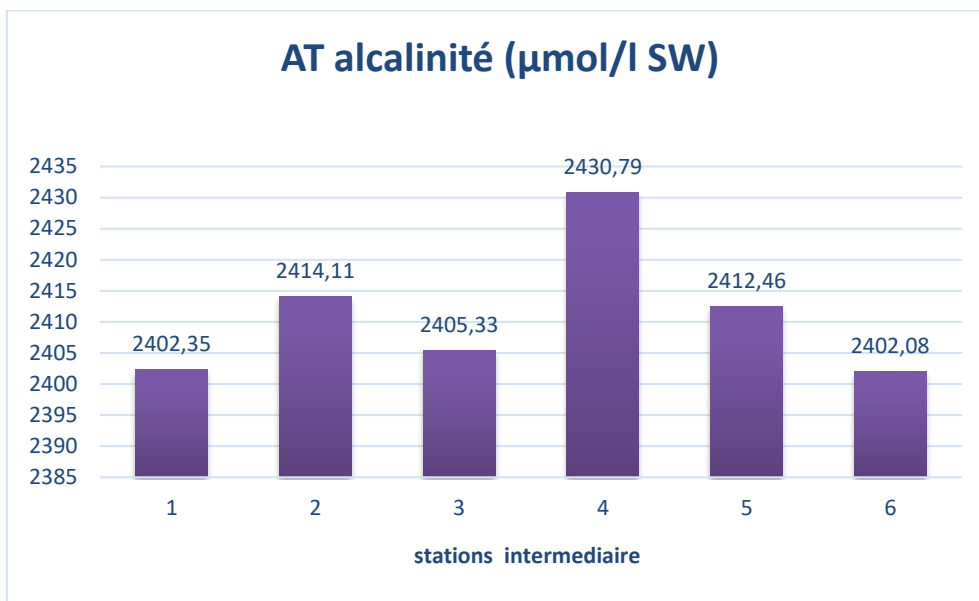


Figure V.46: Variation de l'alcalinité au niveau des stations intermédiaires.

➤ Stations du fond

Les mesures révèlent une certaine variabilité des niveaux d'alcalinité à une profondeur de fond d'une station à l'autre. Les valeurs varient entre 2395,32 µmol/l et 2420,37 µmol/l.

Les stations 2 et 5 présentent des niveaux d'alcalinité relativement plus élevés avec des valeurs de 2420,37 µmol/l et 2413,81 µmol/l respectivement. Les stations 1, 3, 4 et 6 montrent des niveaux d'alcalinité légèrement inférieurs, avec des valeurs proches de 2395-2399 µmol/l.

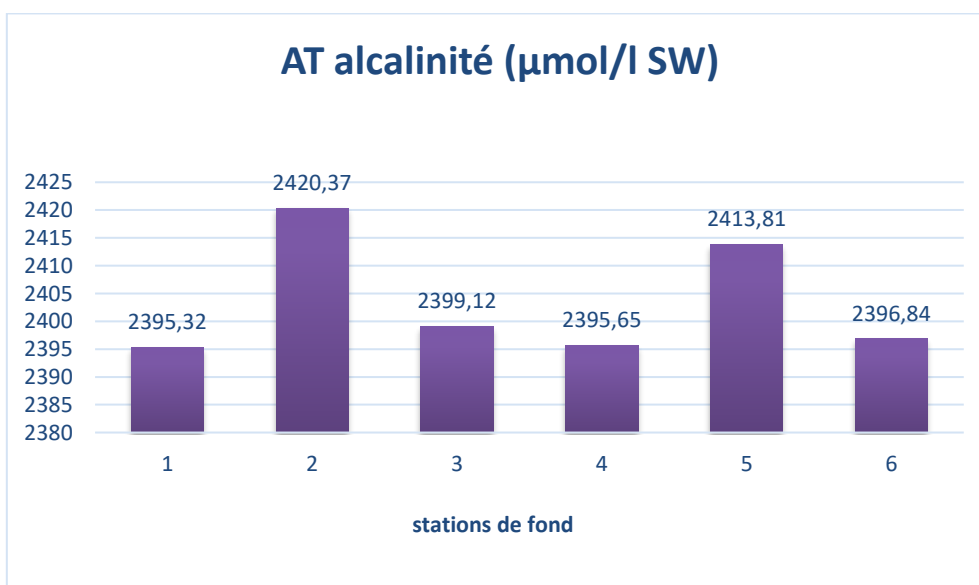


Figure V.47: Variation de l'alcalinité au niveau des stations du fond.

Chapitre V : Résultats et discussions

1-10-4- La dureté

La dureté de l'eau, exprimée en tant que concentration de carbonate de calcium, est une mesure de la quantité de minéraux de calcium et de magnésium présents dans l'eau. Des niveaux élevés de dureté peuvent avoir des implications pour divers processus chimiques et biologiques dans l'écosystème aquatique, notamment pour la croissance des organismes marins et pour la formation de dépôts de carbonate de calcium.

➤ Stations de surface

Les mesures révèlent que la dureté de l'eau est constante à la surface dans chaque station, avec une valeur de 6745,1 mg/l (en tant que CaCO_3) pour les stations 1, 2, 3, 4 et 5. Cela suggère que la dureté de l'eau à la surface reste relativement stable dans cette région.

La station 6 présente une légère baisse de la dureté de l'eau par rapport aux autres stations, avec une valeur de 6726,62 mg/l (en tant que CaCO_3). Cette variation peut être due à des facteurs locaux spécifiques tels que des processus géochimiques ou hydrologiques particuliers à cette station.

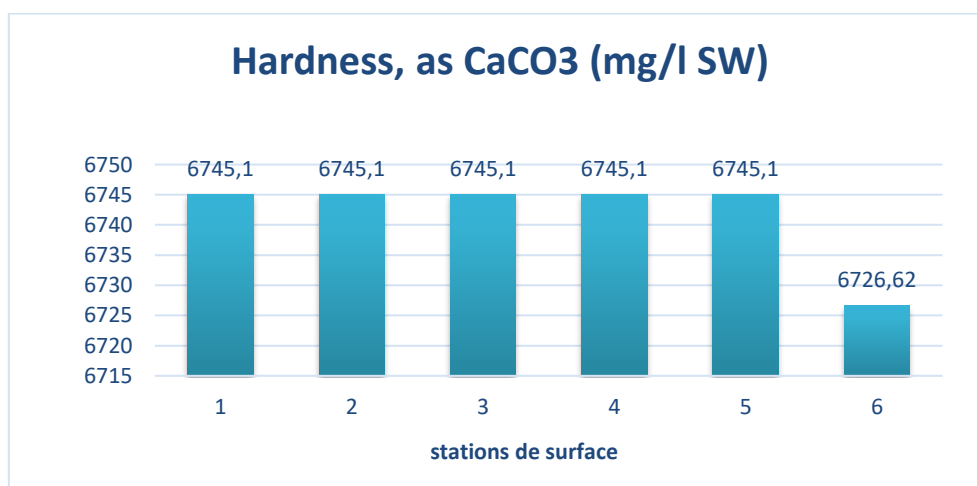


Figure V.48: Variation de la dureté (CaCO_3) au niveau des stations de surface.

➤ Stations intermédiaires

Les mesures révèlent une légère variation des niveaux de dureté de l'eau à une profondeur intermédiaire dans chaque station. Les valeurs varient entre 6745,1 mg/l et 6763,58 mg/l (en tant que CaCO_3).

Les stations 2 et 6 présentent des niveaux de dureté de l'eau légèrement plus élevés par rapport aux autres stations. Cela suggère la présence de minéraux de calcium et de magnésium en quantités légèrement supérieures à ces profondeurs intermédiaires spécifiques.

Chapitre V : Résultats et discussions

Les stations 1, 3, 4 et 5 montrent des niveaux de dureté de l'eau relativement similaires, avec des valeurs de 6745,1 mg/l (en tant que CaCO₃). Cela indique une certaine stabilité de la dureté de l'eau à ces profondeurs intermédiaires.

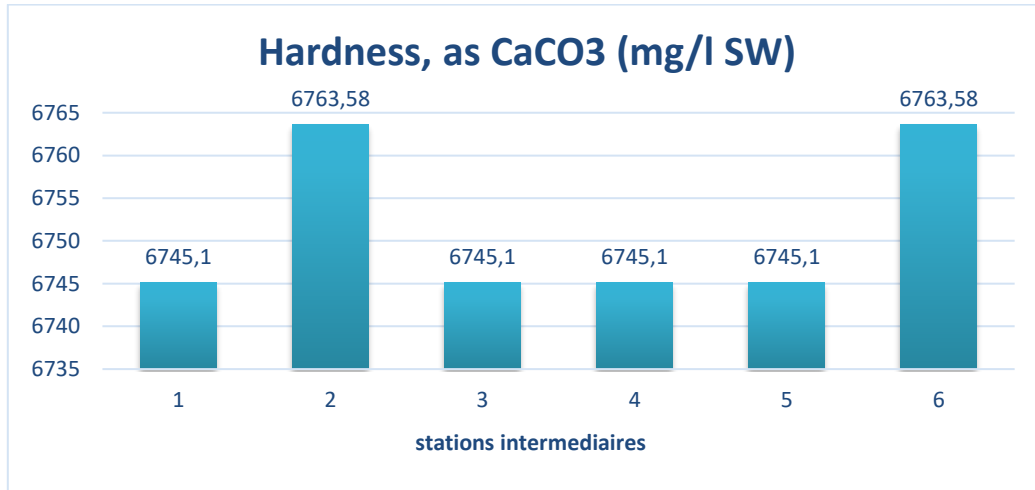


Figure V.49: Variation de la dureté (CaCO₃) au niveau des stations intermédiaires.

➤ Stations du fond

Les mesures révèlent que toutes les stations situées en profondeur de fond présentent des niveaux de dureté de l'eau constants. Les valeurs sont de 6763,58 mg/l (en tant que CaCO₃) pour les stations 2 à 6, tandis que la station 1 présente une légère différence avec une valeur de 6745,1 mg/l.

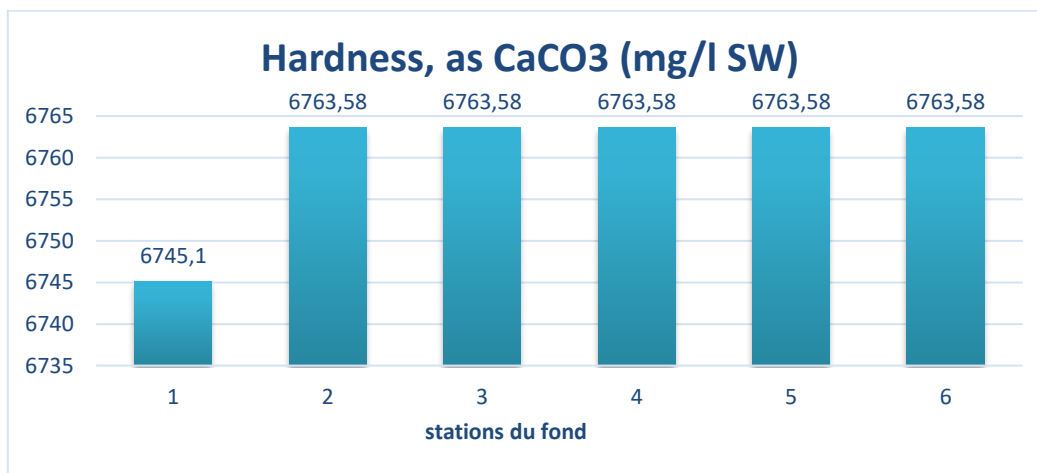


Figure V.50: Variation de la dureté (CaCO₃) au niveau des stations du fond.

Chapitre V : Résultats et discussions

1-11- La matière organique

Tableau V.2 : Taux de matière organique (MO) et nature de sédiment dans la zone d'étude.

Stations	MO (%)	Nature de sédiment
1	03.46	Sable fin légèrement coquillier
2	03.78	Sable fin coquillier
3	03.70	Sable fin coquillier
4	03.65	Sable fin légèrement coquillier
5	03.84	Sable fin coquillier
6	03.56	Sable fin légèrement coquillier

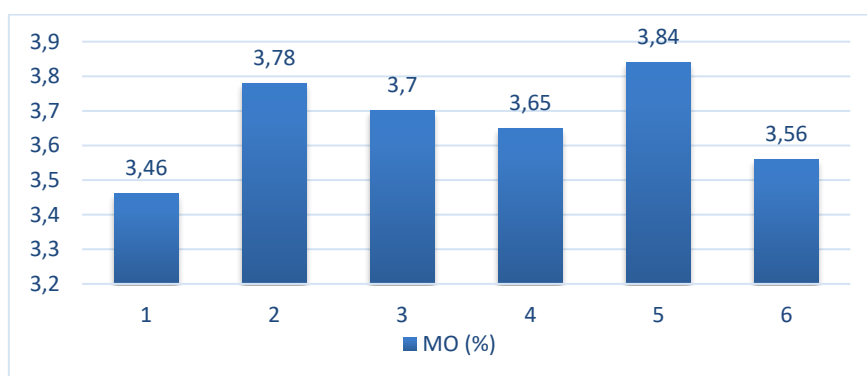


Figure V.51: Taux de la matière organique selon les différentes stations

Les résultats fournis concernent le pourcentage de matière organique (MO) ainsi que la nature du sédiment dans différentes stations.

Le pourcentage de matière organique (MO) dans les sédiments varie entre 3,46% et 3,84%. Ces valeurs indiquent une présence modérée de matière organique dans les sédiments étudiés.

La nature du sédiment dans toutes les stations est décrite comme un sable fin, avec des variations dans le degré de présence de coquilles. Certains sédiments sont légèrement coquilliers, tandis que d'autres présentent une plus grande concentration de coquilles.

La présence de matière organique dans les sédiments est importante, car elle peut influencer la biodisponibilité des nutriments et des contaminants, ainsi que les processus biogéochimiques dans les écosystèmes aquatiques. Une teneur en matière organique modérée peut favoriser la productivité biologique et contribuer à la formation de communautés benthiques diversifiées.

La présence de coquilles dans les sédiments peut indiquer des conditions environnementales spécifiques, telles que la proximité d'écosystèmes marins ou la présence d'organismes bivalves. Les coquilles peuvent également influencer la composition chimique des sédiments et la disponibilité des éléments nutritifs.

Chapitre V : Résultats et discussions

2- Concentration en métaux lourds dans les sédiments superficiels

Tableau V.9: Variation des métaux traces métalliques dans Fouka Marine

Elément Stations	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (g/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)
1	48,9008	81,7045	2,8155	26,6857	1,1446	0,0534
2	53,4668	84,5329	5,0452	26,0395	1,1845	0,0346
3	61,5157	89,3120	3,6172	31,5520	1,2100	0,1280
4	46,1158	95,7774	1,2442	35,2025	0,5544	0,0806
5	75,9246	79,3772	3,9084	32,6729	1,2285	0,0909
6	74,334	74,709	3,644	29,298	1,062	0,038
7	66,8667	69,3906	6,2753	28,0455	1,0135	0,1154
8	69,0965	80,1929	1,5000	30,5130	0,8598	0,0504
9	10,1090	89,4064	6,7167	36,3649	1,0554	0,1847
Maximum	75,9246	95,7774	6,7167	36,3649	1,1845	0,1847
Minimum	10,1090	69,3906	1,2442	26,0395	0,5544	0,0346
Moyenne	56,2589	82,7114	3,8630	30,7082	1,0347	0,0862
Ecart-type	20,3502	8,0807	1,9043	3,6032	0,2138	0,0496

Chapitre V : Résultats et discussions

Les principaux métaux lourds présents dans les sédiments de Fouka Marine sont le zinc, le manganèse, le cuivre, le fer, le plomb et le cadmium.

2-1- Le Zinc (Zn)

Les concentrations de zinc dans le sédiment superficiel de Fouka Marine sont comprises entre **10,10** et **75,92 mg/kg**, avec une moyenne de **56,25 mg/kg** et un écart-type de **20,35**.

La plus faible valeur s'observe à la station **9**, tandis que la valeur élevée s'observe à la station **5**. Les autres stations ont des teneurs plus au moins homogènes.

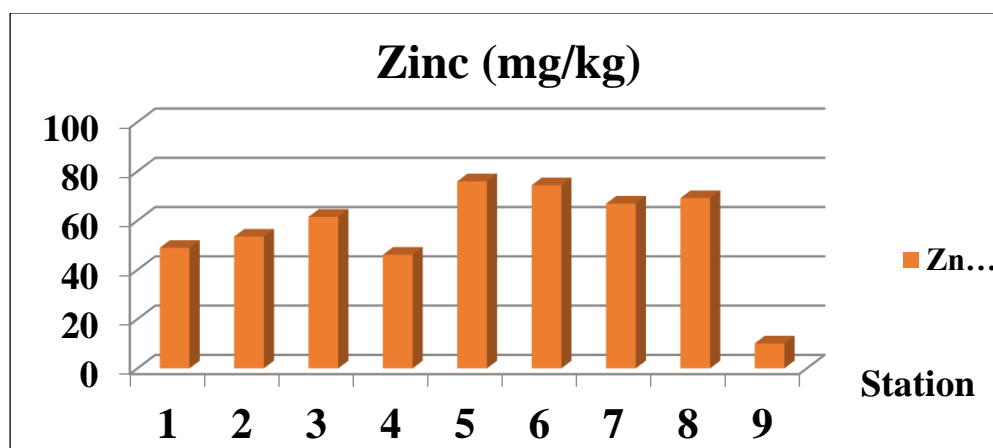


Figure V.42: Variation du zinc dans les sédiments superficiels de Fouka Marine

2-2- Le Manganèse (Mn)

Les teneurs de manganèse dans les sédiments superficiels varient entre **69,39** et **95,77 mg/kg** avec une moyenne de **82,71 mg/kg** et un écart-type de **8,0807**

La valeur la plus élevée est signalée au niveau de la station **4**, qui se trouve en face de l'oued Mazafran, cependant la valeur la plus faible est trouvée au niveau de la station **7**.

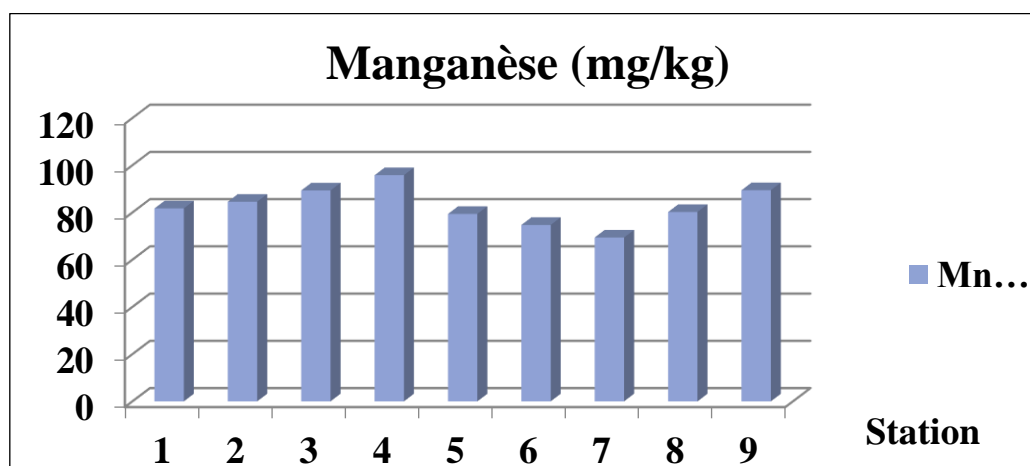


Figure V.43: Variation du manganèse dans les sédiments superficiels Fouka Marine

Chapitre V : Résultats et discussions

2-3- Le Cuivre (Cu)

Les teneurs en cuivre dans les sédiments superficiels de Fouka Marine sont comprises dans l'intervalle [1,24-6,71] mg/kg, avec une moyenne de 3,86 mg/kg et un écart-type de 1,9043.

La station 4 indique la valeur la plus faible, tandis que la station 9 indique la valeur la plus élevée, cette station semble être contaminée par un rejet industriel.

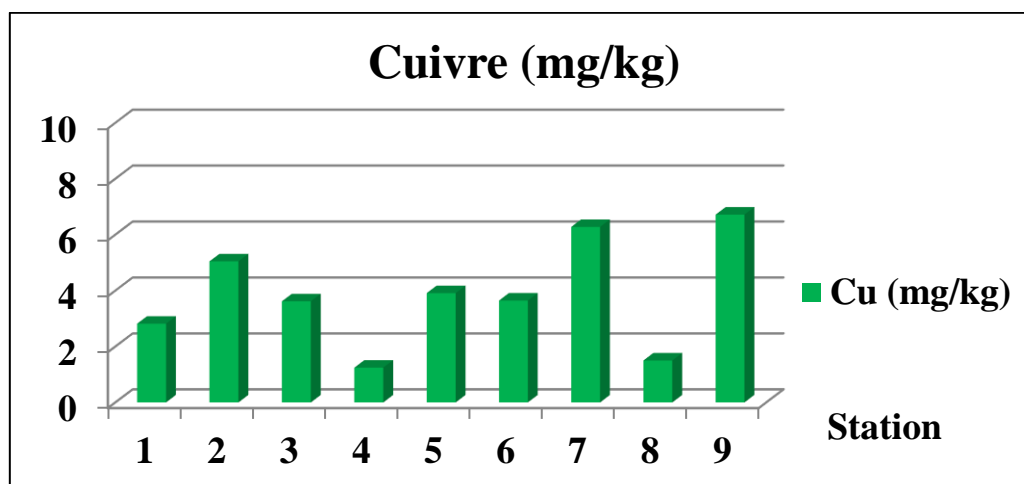


Figure V.44: Variation du cuivre dans les sédiments superficiels de Fouka Marine

2-4- Le Fer (Fe)

Les valeurs de fer du sédiment superficiel varient entre 26,0395 et 36,3649 g/kg, avec une moyenne de 30,7082 g/kg et un écart-type de 3,6032.

Ces teneurs élevées de fer sont dues à l'abondance élevée de cet élément dans l'écorce terrestre.

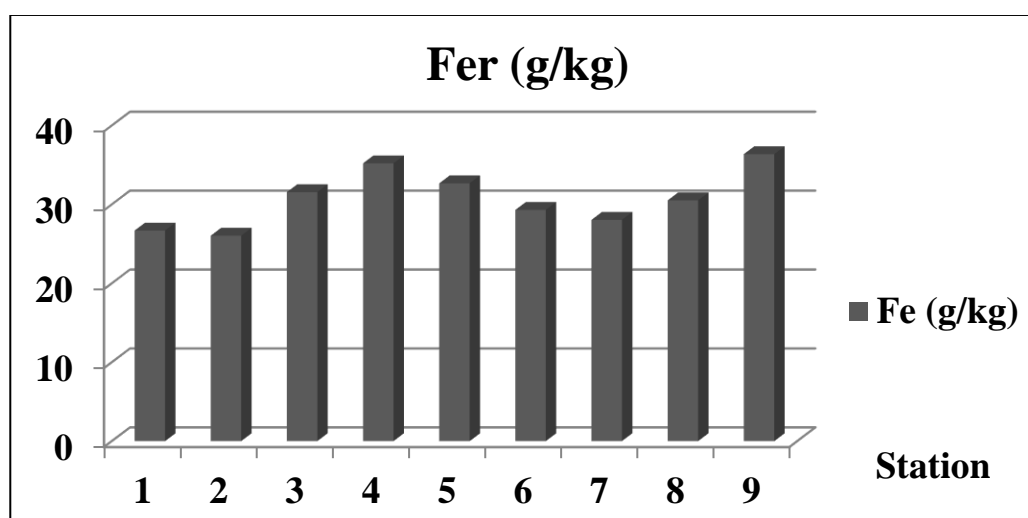


Figure V.45: Variation du Fer dans les sédiments superficiels de Fouka Marine

Chapitre V : Résultats et discussions

2-5- Le Plomb (Pb)

Les valeurs de plomb du sédiment superficiel varient entre **0,5544** et **1,1845 mg/kg**, avec une moyenne de **1,0347 mg/kg** et un écart-type de **0,2138**.

La valeur la plus faible est observée à la station 1, tandis que la valeur la plus élevée est observée à la station 4.

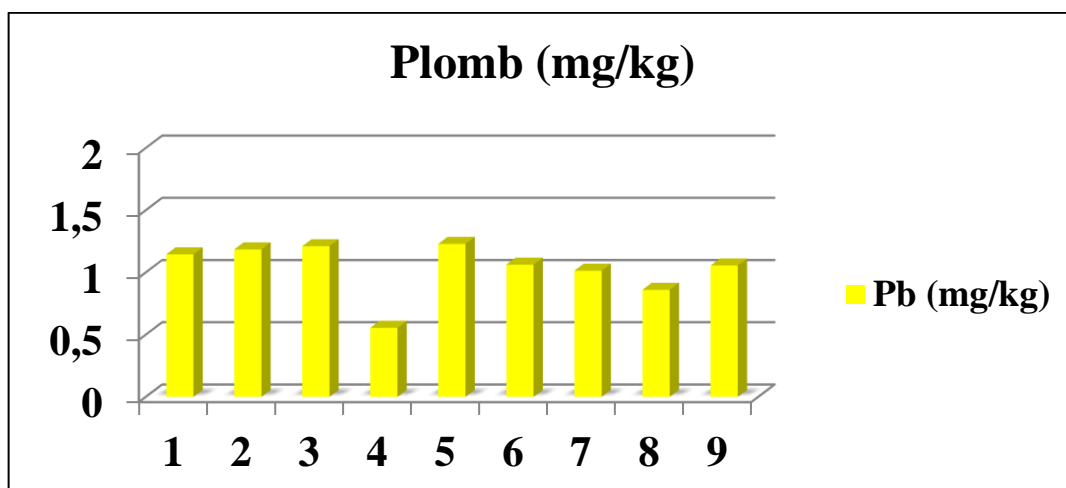


Figure V.46: Variation du plomb dans les sédiments superficiels de Fouka Marine

2-6- Le Cadmium (Cd)

Les valeurs de cadmium du sédiment superficiel de Fouka Marine sont comprises entre **0,0346** et **0,1847 mg/kg**, avec une moyenne de **0,0862 mg/kg** et un écart-type de **0,0496**.

La valeur la plus élevée est signalé à la station 9, tandis que la valeur la plus faible a été enregistrée à la station 2

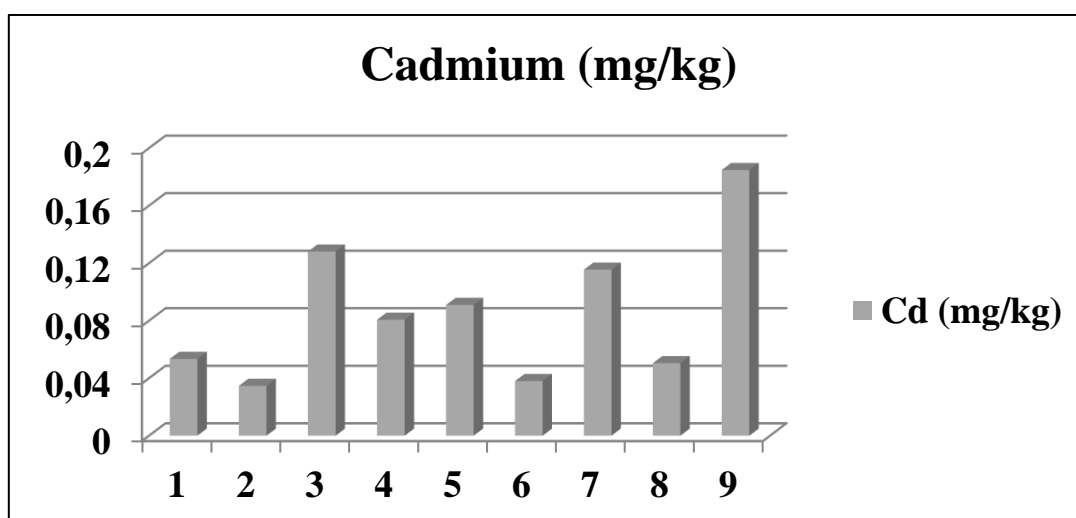


Figure V.47: Variation du cadmium dans les sédiments superficiels de Fouka Marin.

Conclusion générale

Ce mémoire a examiné en détail les procédés et le suivi du processus de dessalement des eaux de mer à la station de Fouka Marine, en Algérie. L'objectif principal était d'analyser les différentes technologies utilisées, d'évaluer les performances de la station et de proposer des recommandations pour améliorer l'efficacité et la durabilité du processus de dessalement.

L'étude a révélé que la station de Fouka Marine utilise principalement la technologie de l'osmose inverse pour le dessalement des eaux de mer. Les procédés de prétraitement et de post-traitement sont également essentiels pour garantir la qualité de l'eau produite. L'analyse des performances a montré que la station atteint un rendement satisfaisant en termes de production d'eau potable, mais qu'il existe des possibilités d'amélioration pour réduire la consommation énergétique et optimiser l'utilisation des ressources.

Cette étude a souligné l'importance de suivre de près le processus de dessalement des eaux de mer afin de garantir son efficacité et sa durabilité à long terme. La station de Fouka Marine, en tant qu'installation majeure de dessalement en Algérie, doit continuer à mettre en œuvre des pratiques de surveillance et de suivi rigoureuses pour maintenir des normes élevées de production d'eau potable.

En conclusion, ce mémoire a permis de mieux comprendre les procédés et le suivi du processus de dessalement des eaux de mer à la station de Fouka Marine. Les résultats et les recommandations fournies peuvent servir de base pour améliorer l'efficacité et la durabilité du processus de dessalement, non seulement à la station de Fouka Marine, mais également dans d'autres installations de dessalement des eaux de mer. Il est essentiel de continuer à investir dans la recherche et le développement de nouvelles technologies pour répondre aux défis croissants de l'accès à l'eau potable dans le monde.

Références bibliographiques

- **Admin-ik.** (29 novembre 2016), « Le dessalement d'eau de mer et des eaux saumâtres ». Encyclopédie de l'énergie.
- **Ahmed, Benmihoub ; Slimane Bédrani,** (janvier 2012) « L'attitude des irrigants vis-à-vis de l'augmentation du tarif de l'eau : cas d'un périmètre d'irrigation public en Algérie ». Les cahiers du Cread, vol. n°98-99, p.p. 75 :101.
- AMICAL DES INGENIEURS DU GENIE RURAL MAROC (AIGR) (Mai 2009), Le dessalement des eaux : Une opportunité pour les régions en pénurie d'eau, séminaire international.
- **AMINOT ALAIN ; Marcel Chaussepied.** (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin.
- **Aminot, A. Chaussepied, M.** (1983) Manuel des Analyses Chimiques en Milieu Marin. CNEXO, Brest.
- **AMITOUCHE Mourad,** (2016). IMPACTS DES REJETS DES STATIONS DE DESSALEMENT SUR LE MILIEU RECEPTEUR. Université Mohamed Khider - Biskra thesis.univ-biskra.dz
- **ATALLAH, A.** (2014). Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station HONAINÉ. Mémoire de fin d'étude, Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen. P.99
- **BECHKI, D.** (2011). Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes, Thèse de doctorat en génie mécanique, Université Hadj Lakhdar Batna
- **CHEKROUD Med Rida,** (2014), « Etude des performances de la station de dessalement de la wilaya de Skikda », Thèse d'ingénieur d'état.

- **CHENAOUI, B.** (2010). Dessalement de l'eau de mer à la station de MAINIS et son impact sur l'environnement, thèse d'ingénieur, Université de Chlef.
- **DANIS, P.** (2003). Dessalement de l'eau de mer, Technique de l'ingénieur, Traité génie des procédés référence ; J 2700-18.
- **Des JARDANS, R.** Le traitement des eaux. L'école polytechnique de Montréal, l'école polytechnique de Montréal.
- **Des JARDANS, R.** Le traitement des eaux. L'école polytechnique de Montréal.
- **Dupavillon, Jacqueline L ; Bronwyn M. Gillanders.** (mai 2009) « Impacts of Seawater Desalination on the Giant Australian Cuttlefish Sepia Apama in the Upper Spencer Gulf, South Australia ». Marine Environmental Research, vol. 67, n° 4.p.p. 207-18.
- **EINAV, R; LOKIEC, F** (2003). environmental aspects of a desalination plant in Ashkelon"; desalination.
- **Elodie-spicher.** (23 octobre 2020) « Désalinisation de l'eau de mer : 2 techniques à retenir ». Greenwatt.
- **G. BRIERE, F** (2000). Distribution et collecte des eaux. 2eme éd.
- **Guimard, Laura.** Étude du comportement et modélisation d'une installation de dessalement d'eau de mer par distillation soumise à des régimes transitoires.
- **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. P. 153.
- **HADJALI, Y.** (2012) Impact des stations de dessalement de l'Eau demer sur le littoral cas de la station plage El Hilel Ain Timouchent, Mémoire de fin d'études, Master, Université bou Bekr belkaid Tlemcen. P. 91.

- **HAMANI, A.** (2013). Etude des performances du pilote d'électrodialyse dans la déminéralisation des eaux saumâtres. Mémoire de fin d'études. Ecole nationale supérieure de l'hydraulique Abraoui Abdelah. P. 100.
- **HENRI, L ; KAMEL, F.** (Janvier 2008) Dessalement de l'eau de mer et des saumâtres par Osmose Inverse, Middle East Desalination Research Center en collaboration avec L'université Saad Dahlab de Blida, Algérie
- **HOEPNER, H.** (1999). a procedure for Environmental Impact Assessments (EIA) for seawater desalination plants.
- **Houda Larbi Nour El ; Sadaoui Souad.** Impact environnemental de la station de Dessalement de l'eau de mer de Sonachter (wilaya de Mostaganem). p. 80.
- **Jacques, G.** (décembre 2006) « Ecologie du plantan ». Recherche et formation, n° 53, 53, p.p. 126-28.
- **LE CALVÉ, O.** (mai 2002). Propriétés Physiques du Milieu Marin, Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var, France. P.40.
- **Lecomte, Vivien.** (1 Octobre 2014). « Le dessalement de l'eau de mer : quels impacts sur l'environnement ? »
- **Liu, Ta-Kang, et al.** (October 2013). « Environmental Impact Assessment of Seawater Desalination Plant under the Framework of Integrated Coastal Management ».
- **Maurel A.** (2006). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, 2e édition.
- **MAUREL, A.** (2006). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2eme édition, TEC &doc. P.286.

- **Mehtougui Mohamed Samir ; Ahmed Encadreur.** (8 septembre 2015).
IMPACTS DU DESSALEMENT D'EAU DE MER SUR LES ECOSYSTEMES
LITTORAUX DE L'OUEST ALGERIENrdoc.univ-sba.dz.
- **MORSLI, M, S.** (2013). Impacts des arrêts Techniques de l'usine de dessalement
de l'eau de mer sur l'entreprise et l'environnement, Mémoire de Magister en
Management, Université d'Oran. P. 203.
- **Rodier, Jean.** (1984). L'analyse de l'eau Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de
mer. 10^e éd., DUDON PARIS.
- **Samir, Mehtougui, et al.** (Mars 2013) « Impacts du Dessalement D'eau de mer
sur les Écosystèmes Littoraux : cas de Deux Unités de L'ouest Algérien (Bousfer
et Bouzedjar) ». European Journal of Scientific Research, vol. p.96.
- **Sarah, TAIBI.** LES FACTEURS INFLUENÇANT LE VIEILLISSEMENT DES
MEMBRANES D'OSMOSE INVERSE. ETUDE D'UN CAS. p. 65.
- **SAVARY P.** (2010). Guide des analyses de la qualité de l'eau, territorial éditions,
pp75-115,
- **TAHRAOUI, D.** (2010). Qualité des eaux de mer après dessalement au niveau de
la station de dessalement de la ville de Ténès (Chlef) et l'impact de dessalement
sur l'environnement (milieu aquatique), Communication, WATMED5, lille-
France,
- **TAIBI Sarah,** (2015). « Etude des performances de la station de dessalement des
eaux de mer par osmose inverse de FOUKA wilaya de Tipaza », Thèse d'ingénieur
d'état. P.124
- UNEP/MAP, (2003), « dessalement de l'eau de mer en méditerranée évaluation et
lignes directrices, MAP Technical Reports Séries No », 139, Athens

- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). (11-14 septembre 2001). Dessalement de mer dans les pays méditerranéens, Plan d'action pour la méditerranée, Réunion des Points Focaux du PAM Athènes,
- **ZAMICHE.S.** (2014). « Présentation du projet de dessalement de FOUKA ».

Annexes

I.1. EAU DE MER :

Tableau n°1 : Concentrations de la demande biologique en oxygène (DBO₅), demande chimique en oxygène (DCO), Total des Solides en Suspension (TSS) et Total des Solides Dissous (TDS) dans la colonne l'eau de mer au niveau des points de prélèvement de la zone étudiée.

Station	Prof. (m)	DBO ₅ (mg/L d'O ₂)	DCO (mg/L d'O ₂)	TSS (mg/L)	TDS (g/L)
1	Surface	01.6	10	01.60	36.836
	Intermédiaire		14	01.20	36.926
	Fond		10	26.00	36.438
2	Surface	03.2	06	06.0	37.386
	Intermédiaire		18	03.20	37.746
	Fond		06	03.20	37.398
3	Surface	00.5	14	06.40	37.658
	Intermédiaire		14	06.80	37.396
	Fond		10	07.20	37.416
4	Surface	01.6	10	04.40	37.110
	Intermédiaire		08	04.80	36.964
	Fond		06	07.60	37.386
5	Surface	02.7	04	06.00	37.122
	Intermédiaire		06	05.60	37.394
	Fond		04	04.00	37.830
6	Surface	01.6	06	03.60	37.310
	Intermédiaire		14	02.80	37.642
	Fond		02	09.20	38.064

Tableau n° 2 : Concentrations des paramètres bactériologiques dans l'eau de mer enregistrées au niveau des points de prélèvement de la zone étudiée.

Station	Coliformes totaux (UFC/100ml)	Coliformes fécaux (UFC/100ml)	E. coli (UFC/100ml)	Streptocoques fécaux (UFC/100ml)	Salmonelle (1L)
St 1	5640	50	Présence	380	Absence
St 2	6560	75	Présence	650	Absence
St3	6080	58	Présence	315	Absence
St4	9950	3260	Présence	350	Absence
St5	9500	115	Présence	2700	Absence
St6	8725	115	Présence	640	Absence
Normes [G-I]* Selon <u>JORA</u> <u>N°46/1993</u> concernant les eaux de baignades	[500-10000]	[100-2000]	----- -	**G =100	Absence / litre

*G : valeur guide, I : valeur impérative

- Les résultats inférieurs ou égaux à la valeur guide indiquent une eau de bonne qualité.
- Les résultats compris entre les valeurs guides et les valeurs impératives sont de qualité acceptable et doivent faire l'objet d'une surveillance continue.

** Les streptocoques ne présentent pas une valeur impérative mais uniquement une valeur guide

Tableau n°3 : Concentrations des sels nutritifs dans l'eau de mer enregistrées au niveau des points de prélèvement de la zone étudiée exprimées en mg/L.

Station	Prof. (m)	Nitrates	Phosphates	Ammoniac	Ammonium	Silice
1	Surface	0.003	0.003	0.113	0.120	0.008
	Intermédiaire	0.003	0.003	0.111	0.121	0.007
	Fond	0.003	0.002	0.114	0.125	0.026
2	Surface	0.001	0.002	0.103	0.110	0.015
	Intermédiaire	0.002	0.002	0.114	0.121	0.012
	Fond	0.002	0.002	0.110	0.116	0.009
3	Surface	0.001	0.001	0.104	0.110	0.011
	Intermédiaire	0.001	0.002	0.105	0.111	0.014
	Fond	0.002	0.002	0.098	0.104	0.010
4	Surface	0.001	0.002	0.103	0.110	0.011
	Intermédiaire	0.002	0.002	0.122	0.130	0.006
	Fond	0.002	0.003	0.108	0.114	0.010
5	Surface	0.001	0.001	0.115	0.122	0.013
	Intermédiaire	0.002	0.001	0.130	0.138	0.014
	Fond	0.003	0.002	0.132	0.140	0.011
6	Surface	0.001	0.001	0.142	0.150	0.022
	Intermédiaire	0.001	0.002	0.167	0.177	0.010
	Fond	0.002	0.003	0.156	0.165	0.014

Tableau n°4 : Concentrations de dioxyde de carbone, des carbonates, des bicarbonates, de l'alcalinité totale et la dureté dans l'eau de mer enregistrée au niveau des points de prélèvement de la zone étudiée.

Station	Prof. (m)	CO ₂ (mg/l SW)	CO ₃ (mg/l SW)	HCO ₃ (mg/l SW)	AT alcalinité (μmol/l SW)	Hardness, as CaCO ₃ (mg/l SW)
1	Surface	0.60	11.60	121.73	2411.44	6745.10
	Intermédiaire	0.61	11.42	121.69	2402.35	6745.10
	Fond	0.63	11.14	121.82	2395.32	6745.10
2	Surface	0.48	13.43	117.28	2413.91	6745.10
	Intermédiaire	0.59	11.78	121.43	2414.11	6763.58
	Fond	0.65	11.71	121.68	2420.37	6763.58
3	Surface	0.54	12.52	119.43	2411.89	6745.10
	Intermédiaire	0.50	13.49	118.82	2405.33	6745.10
	Fond	0.48	13.32	116.57	2399.12	6763.58
4	Surface	0.53	12.76	119.23	2417.87	6745.10
	Intermédiaire	0.53	12.87	119.79	2430.79	6745.10
	fond	0.47	13.43	116.08	2395.65	6763.58
5	Surface	0.53	12.66	119.13	2411.88	6745.10
	Intermédiaire	0.54	12.50	119.25	2412.46	6745.10
	Fond	0.55	12.28	120.16	2413.81	6763.58
6	Surface	0.59	11.63	120.89	2399.57	6726.62
	Intermédiaire	0.59	11.76	120.70	2402.08	6763.58
	Fond	0.67	10.67	123.09	2396.84	6763.58

Tableau n°5 : Concentrations de certains éléments chimiques dans l'eau de mer mesurées au niveau des points de prélèvement de la zone étudiée.

Station	Prof. (m)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)
1	S	434	411.50	1380.50	11452	20591.80	2873.30
	I	434	411.50	1380.50	11452	20591.80	2873.30
	F	434	411.50	1380.50	11452	20591.80	2873.30
2	S	434	411.50	1380.50	11452	20591.80	2873.30
	I	435.20	412.70	1384.30	11483.30	20648.30	2881.20
	F	435.20	412.70	1384.30	11483.30	20648.30	2881.20
3	S	434	411.50	1380.50	11452	20591.80	2873.30
	I	434	411.50	1380.50	11452	20591.80	2873.30
	F	435.20	412.70	1384.30	11483.30	20648.30	2881.20
4	S	434	411.50	1380.50	11452	20591.80	2873.30
	I	434	411.50	1380.50	11452	20591.80	2873.30
	F	435.20	412.70	1384.30	11483.30	20648.30	2881.20
5	S	434	411.50	1380.50	11452	20591.80	2873.30
	I	434	411.50	1380.50	11452	20591.80	2873.30
	F	435.20	412.70	1384.30	11483.30	20648.30	2881.20
6	S	432.80	410.40	1376.70	11420.60	20535.40	2865.40
	I	435.20	412.70	1384.30	11483.30	20648.30	2881.20
	F	435.20	412.70	1384.30	11483.30	20648.30	2881.20

S. : Surface, I. : Intermédiaire et F. : Fond

ND : Concentration non détectée équivalente à la limite de détection

II.2. SEDIMENT DE SURFACE :

Tableau n°6 : Taux de matière organique (MO) et nature de sédiment dans la zone d'étude.

Stations	MO (%)	Nature de sédiment
1	03.46	Sable fin légèrement coquillier
2	03.78	Sable fin coquillier
3	03.70	Sable fin coquillier
4	03.65	Sable fin légèrement coquillier
5	03.84	Sable fin coquillier
6	03.56	Sable fin légèrement coquillier

Tableau n°7 : Concentrations des hydrocarbures poly aromatiques (HPA) dans les sédiments de surface exprimées en µg/g – poids sec de la zone étudiée

Stations	[HPA] Sédiment	Nature de sédiment
1	03.93	Sable fin légèrement coquillier
2	03.59	Sable fin coquillier
3	04.01	Sable fin coquillier
4	04.33	Sable fin légèrement coquillier
5	02.97	Sable fin coquillier
6	01.94	Sable fin légèrement coquillier

Résumé :

Le mémoire examine les procédés de dessalement des eaux de mer et le suivi du processus à la station de dessalement de Fouka Marine. L'objectif est d'analyser les étapes du processus de dessalement et d'évaluer l'efficacité des procédés utilisés. Une revue de la littérature détaille les techniques telles que l'osmose inverse, la distillation multi-étage à effet thermique et l'électrodialyse. Une étude de cas sur la station de Fouka Marine collecte les paramètres opérationnels et évalue la qualité de l'eau produite. Les résultats montrent un fonctionnement globalement satisfaisant de la station, mais soulignent l'impact des variations saisonnières et des fluctuations des paramètres sur la qualité de l'eau. Des recommandations sont proposées pour optimiser les paramètres, assurer la maintenance et renforcer la surveillance du processus de dessalement.

Mots clés : dessalement des eaux de mer, osmose inverse, distillation multi-étage à effet thermique, électrodialyse, station de dessalement, Fouka Marine, paramètres opérationnels, qualité de l'eau, performances, surveillance, optimisation.

Abstract :

The thesis examines the seawater desalination processes and the monitoring of the process at the Fouka Marine desalination station. The objective is to analyze the stages of the desalination process and to assess the efficiency of the processes used. A review of the literature details techniques such as reverse osmosis, multi-stage distillation with thermal effect and electrodialysis. A case study on the Fouka Marine station collects operational parameters and assesses the quality of the water produced. The results show overall satisfactory operation of the station, but underline the impact of seasonal variations and parameter fluctuations on water quality. Recommendations are proposed to optimize the parameters, ensure maintenance and reinforce the monitoring of the desalination process.

Keywords: seawater desalination, reverse osmosis, thermal effect multistage distillation, electrodialysis, desalination plant, Fouka Marine, operational parameters, water quality, performance, monitoring, optimization.

ملخص

تدرس الأطروحة عمليات تحلية مياه البحر ومراقبة العملية في محطة تحلية فوكا مارين. الهدف هو تحليل مراحل عملية التحلية وتقييم كفاءة العمليات المستخدمة. مراجعة لأدبيات تفاصيل تقنيات مثل التناضح العكسي والتقطير متعدد المراحل مع التأثير الحراري والتحليل الكهربائي. تقوم دراسة حالة على محطة فوكا مارين بجمع المعلمات التشغيلية وتقييم جودة المياه المنتجة. تظهر النتائج التشغيل المرضي العام للمحطة، لكنها تؤكد تأثير التغيرات الموسمية وتقلبات البارامترات على جودة المياه. تم اقتراح توصيات لتحسين المعلمات، وضمان الصيانة وتعزيز مراقبة عملية تحلية المياه.

الكلمات المفتاحية : تحلية مياه البحر، التناضح العكسي، التقطير الحراري متعدد المراحل، التحلل الكهربائي، محطة تحلية المياه، فوكا مارين، المعايير التشغيلية، جودة المياه، الأداء، المراقبة، التحسين.