



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة 20 أوت - 1955 سكيكدة

UNIVERSITE 20 AOUT 1955-SKIKDA

Faculté des Sciences Département Ecologie et Environnement

Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Filière: Ecologie et Environnement

Spécialité: Ecologie des milieux naturels

Intitulé:

Qualité des eaux de mer après dessalement au niveau de la station de
désalement de la ville de Skikda (Désaladora) - impact de
dessalement sur l'environnement (milieu aquatique)

Présenté par :

- Benaissa Zineb
- Bouzelifa Abir
- Boumendjel Djihane
- Dirahli Rahma

Membre de Jury:

Président:	Dr.Hadjoudj. S	(MCA)	Université1955.Skikda
Promoteur:	Dr.Boubyrem.A	(MCB)	Université1955.Skikda
Examineur:	Mme.Saci.A	(MAB)	Université1955.Skikda

Année universitaire 2024-2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Remerciements

Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à **Allah** le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années d'étude pour en arriver la.

Nous exprimons aussi notre reconnaissance à notre encadreur **Dr. Boubryem.Amira** qui a bien voulu diriger ce travail, sans oublier l'ensemble du corps enseignant qui a encadré notre formation.

Nous remercions aussi le président et les **membres de jury**, pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider et juger notre travail.

Nous exprimons également nos remerciements à le directeur de **DESALADORA SKIKDA** au chef du laboratoire tous les ingénieurs . Qui nous a aidé et assisté tout le long de notre stage et sans oublier le secteur de la **SONATRACK** pour ses efforts.

Enfin, nous remercions tous les gens qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

.....**A vous tous, Merci**



Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je dédic ce travail :

À ma merveilleuse **mère Leila** , qui a toujours cru en moi et m'a encouragé à poursuivre mes rêves. Sans toi, je n'aurais pas acquis la force et la résilience nécessaires pour aboutir à ce stade. Je t'aime maman et j'implore la tout puissant pour qu'elle t'accorde une bonne santé et une vie longue et heureuse.

À **mon cher père**, que Dieu ait ton âme en Sa sainte miséricorde

Je t'adresse ce travail avec tout **mon amour**, toi qui as été la source de mon inspiration, de ma force et de mes valeurs. Ton absence physique n'a jamais effacé ta présence dans mon cœur et dans chacun de mes pas.

Aujourd'hui, je célèbre cette réussite avec une pensée profonde pour toi. Puisses-tu, de là-haut, ressentir ma gratitude et ma fierté d'être ta fille . Porter ton nom est une fierté que rien ne pourra égaler.

Que ce travail soit le reflet de ce que tu as semé en moi. Avec tout mon amour, ta fille .

chers frères : **Khaled , Raouf, Rida et Amir**

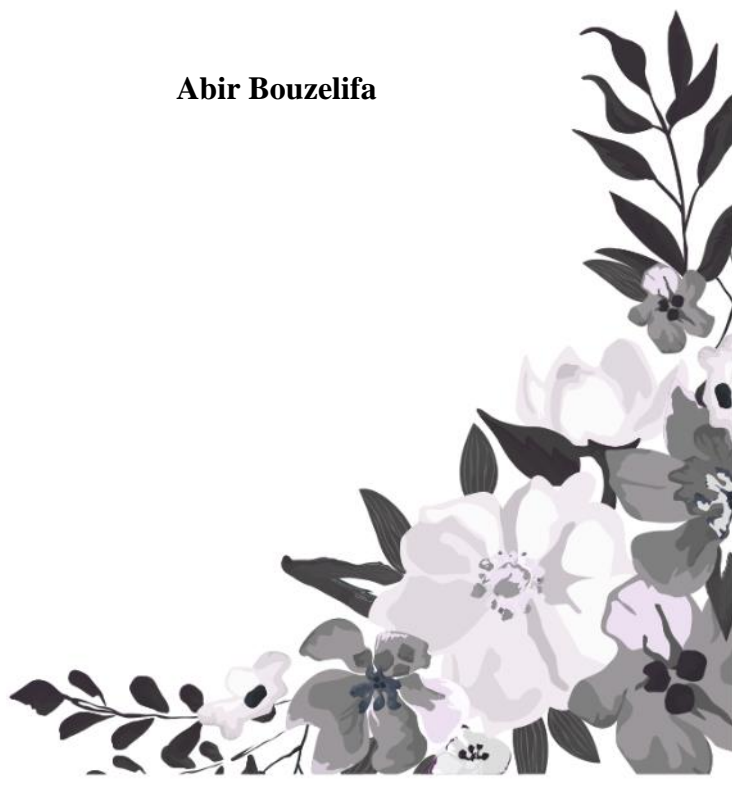
À vous, mes piliers, mes repères, mes forces silencieuses...

Merci pour votre présence, votre soutien constant, et votre amour inconditionnel. Vous avez toujours cru en moi, même quand je doutais. Cette réussite est la vôtre autant que la mienne.

Je vous porte dans mon cœur avec fierté et gratitude.

Merci à tous.

Abir Bouzelifa





Dédicace

Je dédie ce travail à **ma chère mère**, source de tendresse et de sécurité dans ma vie, qui ne m'a jamais privé de son amour et de ses prières à chaque instant.

À **mon cher père**, qui m'a enseigné la signification de la détermination et de la persévérance, et qui a toujours été un pilier de soutien et de stabilité.

À mes **chers frères Abdelmalek, Mokhtar, et Mohamed**, compagnons de route qui sont restés à mes côtés malgré les difficultés, et qui ont été mon véritable soutien.

À **ma chère sœur Rokia**, qui a enduré beaucoup et partagé mes rêves, ainsi qu'à l'âme pure de son mari Farid, que Dieu ait son âme, laissant derrière lui des souvenirs qui ne quittent jamais nos cœurs.

Aux enfants de ma sœur, **Tasnim, Khalil, Maria et Safia**, ces fleurs d'innocence qui illuminent mes journées et l'espoir de l'avenir que je porte entre mes mains.

À vous tous, je dis : vous êtes la lumière qui éclaire mon chemin, et la force qui me pousse à continuer. Merci du fond du cœur pour tout votre amour, votre soutien et votre fidélité.

Zineb Benaissa





Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Ma **mère Atika**, pour son amour inconditionnel, son soutien infatigable, ses sacrifices et ses conseils précieux. Par sa présence constante et son assistance, je lui adresse, à travers ce travail aussi humble soit-il l'expression de mes sentiments et de ma gratitude éternelle.

À **mon oncle maternel** si cher à mon cœur, **Mohamed Lamine**, qui a toujours été un pilier dans ma vie. Rien ne saurait égaler les efforts qu'il a fournis pour m'épauler, me guider et croire en moi.

À mes frères et sœurs bien-aimés : **Nour, Ikram, Aïcha, Khadidja et Fares**, pour leur amour fraternel et leur présence réconfortante.

À mes amies précieuses : **Hind, Wafa et Ghada**, pour vos sourires, votre écoute, vos mots d'encouragement et cette belle complicité qui a su alléger les moments les plus exigeants.

Mes plus sincères remerciements à mes tantes chéries : **Ratiba, Samia, Djamila, Noura, Fatiha et Warda**, pour leur tendresse, leurs prières et leur présence affectueuse dans ma vie.

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Rahma Dirahli





Dédicace

Avant tout, louange à Dieu, Le Tout-Puissant, pour Sa grâce et Son infinie miséricorde qui m'ont permis d'arriver à ce moment précieux de ma vie.

Je dédie ce travail à la personne la plus chère à mon cœur, **ma mère**, ma vie, mon pilier, mon réconfort dans les moments difficiles. Merci pour ton amour inconditionnel, ton soutien moral et ta présence constante à mes côtés.

À **mon père**, dont les sacrifices sont inestimables, et pour lesquels aucun mot ne saurait exprimer toute ma reconnaissance.

Je remercie également mes sœurs **Chiraze, Taïssir et Soujoud**, pour leur affection et leur encouragement tout au long de ce parcours.

Une pensée particulière à ma **tante Fadila**, bien plus qu'une tante — une véritable amie et une seconde mère. Merci pour ta bienveillance et ton soutien sincère.

Je n'oublie pas **ma grand-mère Lalla Fatma** — que Dieu lui accorde une longue vie en santé — et **mon grand-père, feu Mustapha** — que Dieu lui accorde Sa miséricorde.

Je dédie mon travail à toutes les personnes qui m'ont aidé, mais la plus grande dédicace revient à **ma mère**, mon premier soutien, pour sa foi en moi.

Aujourd'hui, avec beaucoup d'émotion et de gratitude, je peux enfin dire : j'ai réalisé mon rêve.

Djihane Boumendjel

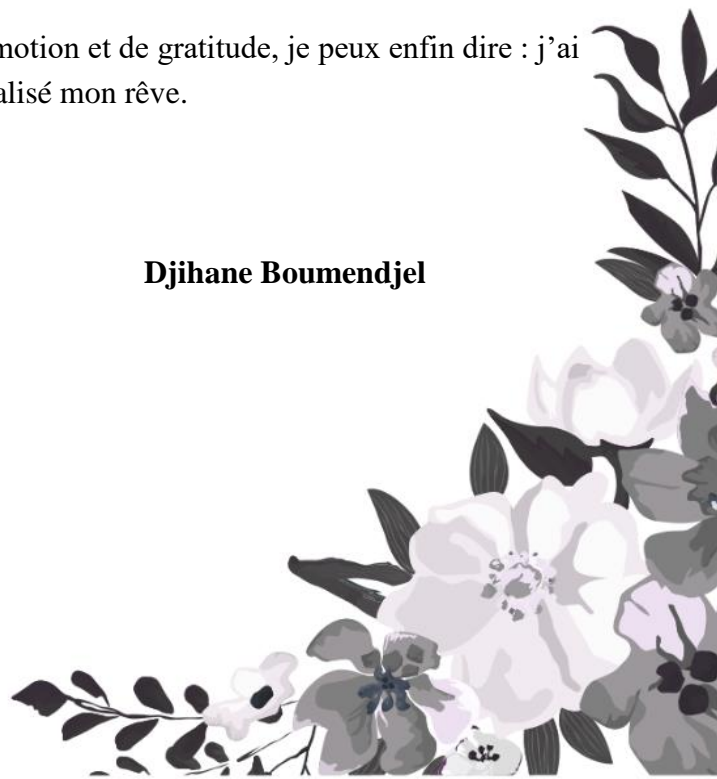




Table des matières

Table des matières

Titre	Page
Liste d'abréviations	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Résumés	
Introduction Général	1
Chapitre I Synthèse Bibliographique	
I. Introduction	04
I.1. Définition de l'eau	04
I.2. Généralité sur l'eau	04
I.2.1. Sources d'eaux	04
I.2.1.1 Eaux douces de surface	04
I.2.1.2 Eaux souterraines	05
I.2.1.3 Eaux de mer	05
I.3. Composition de l'eau de mer	06
I.3.1. Elément principaux	06
I.3.2. Elément minéraux	06
I.3.3. Matière organique	07
I.4. Définition de dessalement	07
I.5. Dessalement en Algérie	08
I.5.1. Dessalement en méditerrané	08
I.5.2. Stations de dessalements en Algérie	08
I.6. Méthodes de dessalement des eaux de mer	09

I.6.1. Procédés thermiques	09
I.6.1.1. Distillation	09
I.6.1.2. Distillation à multiples effets (MED)	10
I.6.1.3. Distillation à détente étagée (MSF)	10
I.6.1.4. Distillation à compression de vapeur	11
I.6.1.5. Congélation	12
I.6.2. Procédés utilisant des membranes	12
I.6.2.1. Osmose inverse	12
I.6.2.2. Electrodialyse	13
I.7. Rejets et impacts de dessalements	14
I.7.1. Saumure	14
I.7.2. Effets dus aux produits de la corrosion	16
I.7.3. Effets dus aux additifs antitartres	16
I.7.4. Effets des additifs antisalissure	17
I.7.5. Effets des additifs anti-mousses	17
I.7.6. Impact de bruit	17
I.7.7. Effets dus au prélèvement d'eau de mer	17
I.7.8. Effets potentiels des rejets de saumures concentrées	17
I.7.9. Impacts des rejets de saumures sur l'écosystème marin	18
I.8. Paramètres étudiés	18
I.8. 1. Paramètres physicochimiques	18
I.8.1.1. Température	18

I.8.1.2. pH	18
I.8.1.3. Conductivité électriques	19
I.8.1.4. Salinité TDS	19
I.8.1.5. Turbidité	19
I.8.1.6. Résistivités	19
I.8.1.7. Matières en suspensions	19
I.8.1.8. Dureté	20
I.8.1.9. Nitrites	20
I.8.1.10. Chlorures	20
I.8.2. Paramètres bactériologiques	20
Chapitre II Matériels et Méthodes	
II.Introduction	23
II.1. Matériel	23
II.1.1. Présentation générale de la station de dessalement de Skikda (Décaladera Skikda)	23
II.1.2. Présentation de la zone d'étude (Desaladora Skikda)	24
II.1.3. Situation géographique	24
II.1.4. Processus du dessalement appliqué dans la station du dessalement de déssaladora Skikda.	25
II.1.5.Composition de la station de dessalement d'eau de mer Skikda.	26
II.2. Les étapes de procède.	26
II.2.1 Captation de l'eau de mer	26
II.2.2. La filtration	27
II.2.3. La Microfiltration.	28
II.2.4. L'Osmose Inverse	28

II.2.5. Récupération d' énergie.	29
II.2.6. Post-traitement	29
II.2.7.Désinfection	30
II.3.Méthodes	30
II.3.1Stratégie d' échantillonnage	30
II.3.1.1 Echantillonnage et mode de prélèvement	31
II.4.Détermination des paramètres physico-chimiques	31
Chapitre III Résultats et discussion	
III. Introduction	35
III.1 . Résultats et interprétation des analyses et physico-chimiques de l'eau produite	35
III.1.1.temérature	37
III.1.2 Le PH	37
III.1.3 La turbidité	37
III.1.4 La conductivité	37
III.1.5 TDS	37
III.1.6 Dureté totale (THT)	37
III.1.7 Dureté calcique (Ca ²⁺)	37
III.1.8 chlore libre	38
III.1.9 Nitrates	38
III.1.10 Nitrites	38
III.1.11 Oxygène dissout	38
III.1.12 Aluminium	38
III.1.13 phosphate	38
III.1.15 Sulfate	39

III.2. Résultats et interprétation des analyses et physico-chimiques de l'eau mer et l'eau saumure	39
III.2.1.La température	40
III.2.2.ph	41
III.2.3.La conductivité	42
III.2.4. TDS	43
III.2.5. La salinité	44
III.3. Résultats et interprétation des analyses bactériologiques de l'eau produite	45
III.3.1. Indicateurs de suivi de l'impact environnemental	47
III.3.1.1 Température	47
III.3.1.2 Salinité	47
III.3.1.3 pH	47
III.3.1.4 Oxygène dissous	48
III.3.1.5 Additifs antitartres	48
III.3.1.6 Antifouling (anti-salissures)	48
III.3.1.7 Antimousses	48
III.3.2. Impacts potentiels des rejets de saumure sur les ressources marines	48
III.3.2.1 Facteurs influençant les rejets	48
III.3.2.2 Effets observés	48
III.3.3. Moyens de réduction des impacts	49
III.3.4. Impact sonore	49
III.3.5. Coût énergétique de la production d'eau dessalée	49
Conclusion	50
Recommandations	52



Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

	Titre	Page
Tableau 1	Concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35% (HENRI et KAMEL, 2008)	06
Tableau 2	Concentrations des différents éléments mineurs dont la concentration est Supérieure à 1 μ g/l (HENRI et KAMEL, 2008).	06
Tableau 3	Les grandes stations de dessalement en Algérie.	08
Tableau 4	Grille d'impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés de dessalement (PNUE, 2001). E : Impact de degré élevé, M : Impact de degré moyen, F : Impact de degré faible.	15
Tableau 5	Résultats des analyses physico-chimiques (eau produite)	36
Tableau 6	Résultats des analyses physico-chimiques (l'eau mer et l'eau saumurée)	39
Tableau 7	Résultat des analyses bactériologique de l'eau produite	45



Liste des Figures

Liste des Figures

	Titre	Page
Figure I 1	Les divers procédés de dessalement (Maurel, 2006)	09
	distillateur à effets multiples (MED)(BIYOUNE, 2017)	10
Figure I 3	distillateur à Multi Stage Flash (MSF)(BIYOUNE, 2017)	11
Figure I 4	procédé de dessalement par compression de vapeur (BIYOUNE, 2017)	11
Figure I 5	schéma du principe de fonctionnement de l'osmose inverse	13
Figure I 6	schéma du principe de fonctionnement de l'électrodialyse	13
Figure II 1	Présentation de la station de dessalement déssaladora _ Skikda	24
Figure II 2	Situation géographique de la station de dessalement déssaladora _ Skikda25	
Figure II 3	Schéma représentatif de la station de dessalement d'eau de mer de Skikda (Desaladora, 2005)	26
Figure II 4	Bassin de captation	26
Figure II 5	Tour de captation	26
Figure II 6	Les bacs de filtration (Desaladora)	27
Figure II 7	Systèmes de filtration	27
Figure II 8	Les filtres à cartouche	28
Figure II 9	L' osmose inverse (Desaladora)	29
Figure II 10	La récupération d'énergie (Desaladora)	29
Figure II 11	Messure de la hauteur de la calcite	30
Figure II 12	Dix tours ou chambres	30
Figure II 13	Point de prélèvement d'eau de mer	31
Figure II 14	Point de prélèvement d'eau produite	32
Figure II 15	Appareil de mesure la température.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II 16	PH mètre	Erreur ! Signet non défini.
Figure II 17	Multi-paramètres à sonde.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II 18	Turbidimètre	Erreur ! Signet non défini.

Figure II 19	colorimètre potable (HANNA INSTRUMENTS.)	Erreur ! Signet non défini.
Figure II 20	Détermination Dureté totale TH.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II 21	Détermination de Calcium.	Erreur ! Signet non défini.
Figure II 22	Etape de détermination de calcium	Erreur ! Signet non défini.
Figure II 23	Détermination de la dureté calcique	Erreur ! Signet non défini.
Figure II 24	Appareils et Matériels.	Erreur ! Signet non défini.
Figure III 1	Variabilité de la température des eaux de mer, eau de saumure	40
Figure III 2	Variabilité de ph des eaux de mer, eau de saumure	41
Figure III 3	Variabilité de la conductivité des eaux de mer, eau de saumure	42
Figure III 4	Variabilité de TDS des eaux de mer, eau de saumure	43
Figure III 5	Variabilité de la salinité des eaux de mer, eau de saumure	44



Liste des Abréviations

Abréviaton	Signification
ADE	Algérienne des Eaux
C°	Degré Celsius
EDAT	Acide éthylène-diamine-tétra acétique acide édétique
F°	Degrés français
GEIDA	Groupe espagnol international de dessalement de l'eau
g/l	Gramme par litre
MES	Matières en suspension
ADE	Algérienne des Eaux
MF	Micro filtration
Mg	Milligramme
Mg/l	Milligramme par litre
NTU	Unité Néphalométrique de Turbidité
OI	Osmose inverse
PH	Potentiel d'Hydrogène
Ppm	partie par million
TA	Titre alcalimétrique
TAC	Titre alcalimétrique complet
TH	Titre hydrométrique
THEa	Titre hydrométrique calcique
TSS	Total des matières solides en suspension
TDS	Solides Totaux Dissous
SDI	l'indice de colmatage
UCV	Unité de couleur vraie
µs/cm	micro siemens par Centimètre
OMS	Organisation mondiale de la Santé
ES	Eau saumure
Ep	Eau produite

Résumé

L'eau potable représente l'un des problèmes majeurs de notre époque, nécessitant une solution idéale. Tout les pays du monde, y compris l'Algérie, exploitent l'eau de mer pour sa production. Le dessalement émerge comme une solution de remplacement, et la technologie de l'osmose inverse est actuellement la plus couramment utilisée. Cette technologie permet une utilisation efficace et une gestion prudente des ressources en eau, ainsi que la mise en place de mesures appropriées pour faciliter l'accès à l'eau potable.

Ce mémoire traite de la qualité des eaux de mer après le processus de dessalement à la station de dessalement de la ville de Skikda (desaladora), en Algérie, et analyse les impacts environnementaux liés à cette activité. L'étude évalue les caractéristiques physico-chimiques des rejets salins et leur influence sur l'écosystème marin. Elle met en lumière les avantages du dessalement pour l'approvisionnement en eau potable, tout en soulignant les enjeux écologiques, notamment la salinité accrue, la température des rejets et la présence éventuelle de produits chimiques. L'objectif est de proposer des pistes d'amélioration pour une gestion durable des ressources et la protection de l'environnement marin.

Abstract

Potable water represents one of the major challenges of our time, requiring an optimal solution. All countries around the world, including Algeria, utilize seawater for its production. Desalination emerges as an alternative solution, with reverse osmosis technology currently being the most commonly used. This technology allows for efficient use and careful management of water resources, along with the implementation of appropriate measures to facilitate access to drinking water.

This thesis addresses the quality of seawater after the desalination process at the Skikda desalination plant in Algeria, and analyzes the environmental impacts associated with this activity. The study evaluates the physico-chemical characteristics of saline discharges and their influence on the marine ecosystem. It highlights the benefits of desalination for the supply of drinking water, while emphasizing the ecological challenges, particularly the increased salinity, discharge temperature, and the possible presence of chemical substances. The objective is to propose improvement strategies for sustainable resource management and the protection of the marine environment.

ملخص

تعد المياه الصالحة للشرب واحدة من أبرز المشكلات في عصرنا، تتطلب حل مثاليا. لجميع دول العالم، بما فيها الجزائر تستغل مياه البحر لإنتاجها. تظهر تقنية التحلية كبديل وتعتبر تكنولوجيا التناضح العكسي هي الأكثر استخداما حاليا. تمكن هذه التقنية دارتها بحذر من استخدام موارد المياه بكفاءة و بالإضافة إلى وضع تدابير مناسبة لتسهيل الوصول إلى المياه الصالحة للشرب .

تتناول هذه الأطروحة جودة مياه البحر بعد عملية التحلية في محطة تحلية المياه بمدينة سكيكدة (ديسالادورا)، الجزائر، وتحلل الآثار البيئية المرتبطة بهذا النشاط. تُقيم الدراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية لتصريفات المياه المالحة وتأثيرها على النظام البيئي البحري. تُسلط الدراسة الضوء على فوائد تحلية المياه لتوفير مياه الشرب، مع تسليط الضوء على القضايا البيئية، بما في ذلك زيادة الملوحة، ودرجة حرارة التصريف، واحتمال وجود مواد كيميائية. الهدف هو اقتراح سبل لتحسين الإدارة المستدامة للموارد وحماية البيئة البحرية.



Introduction Générale

Introduction Générale

La croissance économique et démographique simultanée de notre planète engendre une pression considérable sur l'ensemble des ressources naturelles, avec des tensions sur les matières premières atteignant des niveaux sans précédent. De plus, la planète fait à des situations localisées de stress hydrique, où les ressources en eau douce, présentes en quantités limitées sur terre, sont constamment menacées en termes de qualité. Aujourd'hui, une personne sur trois dans le monde ne dispose pas d'un accès suffisant à l'eau pour satisfaire ses besoins quotidiens. Ces ressources, qui sont réparties de manière très inégale et ne représentent que 2,5% du volume total d'eau sur la planète, se raréfient progressivement. Parallèlement, les besoins en eau ne cessent d'augmenter tandis que les pollutions la rendent souvent inutilisable. (Atallah, 2014).

L'insuffisance des ressources en eau douce et les besoins d'eau potable seront de plus en plus manifestés dans les années venir. Il est très vraisemblable que le problème de l'eau sera considéré comme un des facteurs déterminants de la stabilité d'un pays. Près d'un milliard d'êtres humains à travers le monde sont dépourvus d'eau potable; il faut donc leur assurer un minimum de 5 litres d'eau par jour et par habitant, conformément aux normes de l'OMS. Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau potable sont déjà mises en place pour satisfaire les besoins de la population. Une des techniques prometteuses pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer. L'Algérie est classée comme une zone semi-aride a adopté une stratégie à moyen terme consistant la réalisation des stations de dessalement. Elle a choisi, comme alternative, le dessalement de l'eau de mer pour faire face à la demande croissante en eau potable. (Bakalowicz, 1999).

Deux techniques de dessalement ont survécu à l'épreuve du développement industriel: la distillation et l'emploi de membranes (osmose inverse et électrodialyse). (Biyounne, 2017)

La station de dessalement de Skikda, dont la capacité de production est de 100 000 m³/j, viendra quant à elle approvisionner une population d'environ 700 000 habitants.

Nous nous proposons à travers ce mémoire d'étudier l'impact du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement. Ces impacts proviennent principalement du rejet (saumure) produit au cours du dessalement mais aussi des rejets de produits chimiques utilisés dans le nettoyage des modules d'osmose inverse. En effet, ces rejets provoquent des dommages potentiels pour le milieu récepteur (milieu marin)

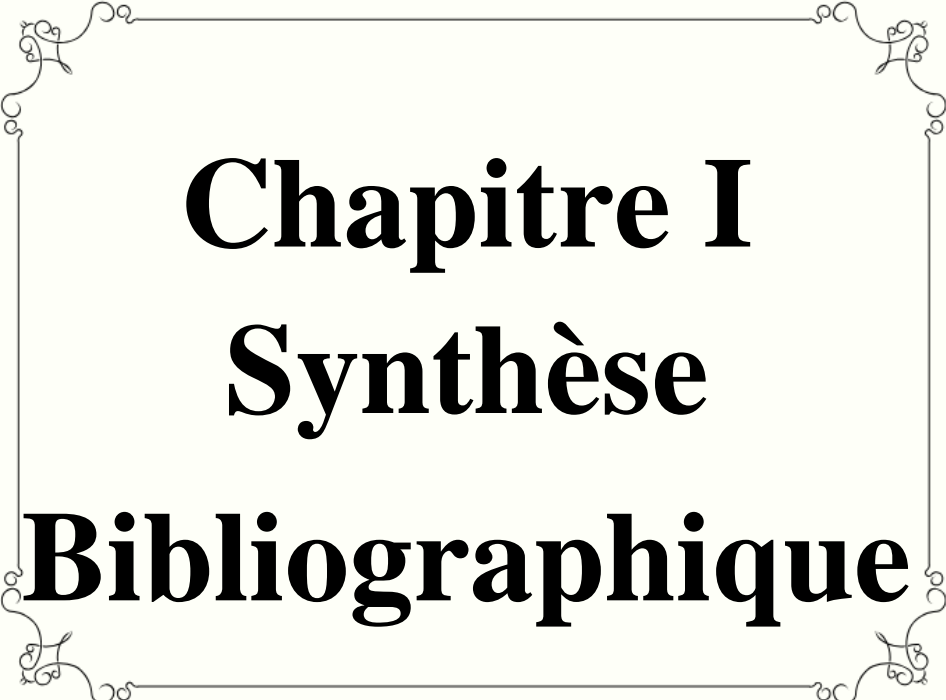
Introduction Générale

bien que les travaux de recherche consacrés à la question soient restreints, le rejet de concentré dans la mer appelle une vigilance particulière et une évaluation scientifique des impacts sur la faune et la flore.

L'objectif de ce travail consiste à une étude sur un pilote de la propagation du rejet de saumure de la station de dessalement (willaya de Skikda) sur l'environnement marin.

Mémoire comporte de trois chapitres :

- Le premier chapitre comprend des informations générales sur ce qui entre en contact avec l'eau, la définition de l'eau de mer, les différents procédés et méthodes utilisés dans le dessalement en Algérie et dans le monde, avec une étude approfondie des propriétés physique et chimiques de l'eau de mer et là son ampleur et son impact sur l'environnement.
- Le deuxième chapitre est réservé à la description de la station de dessalement ainsi que le matériel et les méthodes utilisées pour la réalisation de cette étude dans lequel nous présenterons le travail de terrain effectué dans l'unité.
- Le troisième chapitre traitera les résultats obtenus et leur discussion.



Chapitre I
Synthèse
Bibliographique

I. Introduction

La croissance démographique exerce une pression croissante sur les ressources en eau, conduisant certaines zones du globe à faire face à une pénurie. Parmi les alternatives explorées pour remédier à cette situation figure le dessalement de l'eau de mer, une pratique reposant sur différentes méthodes physiques pour produire de l'eau potable. Cependant, malgré son efficacité, cette solution présente des impacts négatifs notables sur l'environnement.

I.1. Définition de l'eau

L'eau est une substance transparente, sans couleur, ni odeur, ni goût. Il s'agit d'un composé chimique simple dont la formule est H_2O , ce qui signifie que chaque molécule se compose d'un atome d'oxygène (O) lié par deux liaisons covalentes simples à deux atomes d'hydrogène (H), formant un angle de $104,5^\circ$. Cette structure moléculaire unique donne à l'eau ses propriétés spécifiques, tant au niveau de son comportement que de son interaction avec d'autres substances.

L'eau, bien qu'abondante sur notre planète, est essentielle à la vie de toutes les formes vivantes, qu'elles soient animales ou végétales. Elle ne se limite pas à un simple liquide ; elle représente entre 70 et 80 % de la masse des organismes vivants, et joue un rôle crucial dans le fonctionnement biologique. En particulier, elle constitue la principale composante du corps humain. Il est d'ailleurs impossible pour l'être humain de survivre plus de quelques jours sans eau.

I.2. Généralité sur l'eau

L'eau douce ne représente que 2,5 % du volume total d'eau sur la planète. Elle est Inégalement distribuée dans la mesure où certaines régions bénéficient d'excédents Considérables, alors que de pénuries chaque année de plus en plus longue avec un taux de 1000 m³ par personne et par an. Ces régions vulnérables, souvent situées dans les pays en voie de développement, sont d'autant plus exposées que la croissance rapide de la population crée, sur les ressources en eau, une pression supplémentaire (UNEP, 2001).

I.2.1. Sources d'eaux

Les sources d'eau naturelles se subdivisent en trois groupes :

I.2.1.1 Eaux douces de surface

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

a) Rivières et fleuves :

En très haute montagne, les cours d'eau naissent de la fonte des glaciers. La glace qui Fond donne naissance à des ruisseaux ou à des torrents qui glissent sous les glaciers et émergent à Leur pied : c'est le régime glaciaire. Les autres cours d'eau proviennent du ruissellement des pluies excédentaires et/ou de L'émergence, sous la forme de sources, de nappes d'eaux souterraines : ce type de régime est dit

Pluvial. Tous les cours d'eau descendent le long des pentes, se rejoignent pour former des rivières De plus en plus imposantes qui finissent par se jeter dans un océan ou une mer intérieure. Tout au Long de leur périple, les cours d'eau sont aussi alimentés par les eaux de ruissellement et parfois Par des eaux souterraines.

b) Lacs :

Les lacs se forment lorsque les eaux qui coulent le long des pentes, cours d'eau ou eaux De ruissellement, rencontrent un obstacle qui les empêche de poursuivre leur course. Les eaux Envahissent alors la dépression ainsi créée, formant des étendues parfois immenses, à tel point Que certains grands lacs sont appelés des mers. Les lacs sont alimentés par un cours d'eau ou par des eaux de ruissellement et dans certains cas par des eaux souterraines.

I.2.1.2 Eaux souterraines :

Elles proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Celles-ci s'insinuent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches constituant le sous-sol, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable où, les eaux s'accumulent, remplissant le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé nappe. La roche plus ou moins poreuse et donc plus ou moins perméable contenant cette eau est appelée aquifère. Les eaux souterraines constituant la nappe cheminent en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois sur des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau nommés exutoires. Les nappes souterraines fournissent presque le tiers du débit total des cours d'eau de la planète, soit Environ 12 000 kilomètres cubes d'eau par an. Les aquifères représentent un réservoir d'eaux souterraines correspondant à un volume d'environ 8 millions de km³ , soit 0,6 % de l'hydrosphère. Elles constituent notre principale ressource en eau douce (BAKALOWICZ, 1999).

I.2.1.3 Eaux de mer :

La mer s'étend sur 71% environ de la surface du globe. L'hémisphère sud est le principal réservoir d'eau de mer. Dans l'hémisphère nord on trouve plusieurs mers salées qui communiquent pour certaines avec l'océan (mer Méditerranée, mer Baltique, etc....) On trouve 30 à 40 grammes de sels dissous pour un kilogramme d'eau de mer (MOULIN, 2004).

La répartition des terres et des mers est inégale et singulière. L'océan glacial arctique s'oppose au continent antarctique et la masse continentale Eurasie + Afrique s'oppose à l'océan Pacifique. En fait, toute saillie qui émerge au-dessus de la surface des océans a 19 chances sur 20 d'avoir un creux pour point diamétralement opposé.

Les masses terrestres sont en grande partie concentrées dans l'hémisphère nord, avec 61% de mer dans l'Hémisphère nord et 81% de mer en hémisphère sud. Cette disparité dans la répartition Devient encore plus évidente si l'on place la Terre sur un axe Nord-Sud passant par l'Ouest de la France vers l'embouchure de la Vilaine et le Sud Est de la Nouvelle-Zélande. On a alors un hémisphère continental qui comprend 80% de la masse terrestre globale

I.3.Composition de l'eau de mer :

I.3.1. Elément principaux :

Si la masse totale des sels dissous peut varier, le rapport des concentrations des différents Éléments est stable. Cette constance des proportions est souvent appelée loi de Marcetou de Dittmar. Les éléments principaux, c'est-à-dire ceux qui contribuent d'une façon notable à la Masse de sels dissous dans les océans, représentent 11 éléments différents. Leurs concentrations Sont données dans le tableau 01 :

Tableau 1 Concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35%(HENRI et KAMEL, 2008)

Eléments	Concentration (mg/kg)	Eléments	Concentration (mg/kg)
Chlorure (Cl ⁻)	19353	Bore (B)	4
Sulfate(SO ₄ ²⁻)	2712	Sodium (Na ⁺)	10160
Bicarbonate(HCO ₃ ⁻)	142	Magnésium (Mg ²⁺)	1249
Bromure(Br ⁻)	67	Calcium (Ca ²⁺)	413
Fluorure (F ⁻)	1	Potassium (K ⁺)	387
		strontium (Sr ²⁺)	8

I.3.2. Elément minéraux :

L'eau de mer contient de nombreux autres éléments à des concentrations beaucoup plus Faibles (Tab.02). Ces éléments, malgré leur faible concentration, ont une importance certaine dans des processus biologiques et organiques. Ils peuvent se trouver sous différentes formes (dissous, colloïdaux ou en suspension)

Tableau 2 Concentrations des différents éléments mineurs dont la concentration est Supérieure à 1 µ g/l (HENRI et KAMEL, 2008).

Eléments	Concentration (mg/kg)	Eléments	Concentration (mg/kg)
Litium (Li)	170	Cuivre (Cu)	3
Aluminium (Al)	10	Zinc (Zn)	10
Silicium(Si)	3000	Arsenic (As)	3

Phosphate (P)	70	Rubidium (Rb)	120
Titan(Ti)	1	Molybdène (Mo)	10
Vanadium(v)	2	Iode (I)	60
Manganész(Mn)	2	Barium (Ba)	30
Fer(Fe)	10	Uranium(U)	30

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

I.3.3. Matière organique :

Les basses concentrations de matières organiques dans l'eau de mer rendent leur analyse chimique très compliquée. Les composés sont difficiles à isoler car dilués dans un milieu contenant beaucoup d'autres éléments à de plus fortes concentrations. Par convention, on sépare par filtration sur des filtres de 0,5µm les matières dissoutes des matières organiques particulaires. Les matières organiques particulaires sont principalement constituées d'animaux et végétaux ou leurs résidus. Elles peuvent représenter de 10 à 60% de la matière en suspension.

I.4. Définition de dessalement :

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage ou désalinisation) est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce (potable ou, plus rarement en raison du coût, utilisable pour l'irrigation) à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment). En d'épis du nom, il s'agit rarement de retirer les sels de l'eau, mais plutôt, à l'inverse, d'extraire de l'eau douce.

Très généralement, il est plus simple et plus économique de rechercher des sources d'eau douce à traiter (eaux de surface, telles que lac et rivière, ou eau souterraine), que de dessaler l'eau de mer. Cependant, dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douces sont inexistantes ou deviennent insuffisantes au regard de la croissance démographique ou de la production industrielle.

D'autre part, il est souvent rentable de combiner la production d'eau douce avec une autre activité (notamment la production d'énergie, car la vapeur disponible à la sortie des turbines, et perdue dans une usine classique, est réutilisable dans une station de dessalement dite thermique ou fonctionnant sur le principe de l'évaporation).

L'eau de mer est salée à peu près à 35g.l' en général. Dans des régions comme le Golfe Persique, la salinité atteint 42 g.l'. Pour s'éparer le sel, il faut, d'un point de vue purement théorique et sans perte d'énergie

(dessalement isentropique), environ 563 Wh.m³ Les systèmes de dessalement se caractérisent par leur rendement et le taux de sel résiduel.

I.5. Dessalement en Algérie :

L'expérience algérienne en dessalement est principalement liée aux besoins de l'industrie, notamment pétrolière et sidérurgique, plutôt qu'à l'alimentation en eau potable. Une seule tentative à usage domestique a été réalisée à Ouled Djellaba (Biskra). Les premières unités ont été installées à Arzew dans les années 1960, utilisant les procédés de distillation à effet multiple et le "multi stage flash". D'autres installations ont suivi pour fournir de l'eau de haute pureté à l'industrie électrique et gazière, notamment à Cap Djinet, Arzew et Skikda. L'Algérienne des Eaux (ADE) a lancé un programme d'urgence avec 23 stations monoblocs (57 500 m³/j) dans plusieurs wilayas, suivi de la mise en service de 14 grandes stations (1 940 000 m³/j) entre 2003 et 2005. De nouvelles stations ont été ouvertes entre 2009 et 2011 à Skikda, Beni Saf, Tlemcen, Mostaganem, Tipaza et Boumerdès, avec des capacités variant entre 100 000 et 200 000 m³/j. D'autres projets sont en cours, notamment à Chlef, El Tarf, et la plus grande station à Magtaâ (Mostaganem) avec 500 000 m³/j. La production d'eau dessalée est passée de 500 000 m³/j en 2008 à 2 260 000 m³/j en 2011, pour atteindre 4 millions de m³/j en 2020.

I.5.1. Dessalement en méditerrané :

En Méditerranée, la production artificielle d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre souterraine a débuté d'abord dans des situations d'isolement insulaire (Malte, Baléares, Dalmatie, Chypre, Cyclades...), littorales (Libye) et désertiques (Algérie), et essaime aujourd'hui très rapidement tout autour de la Méditerranée. L'Algérie et l'Espagne ont clairement opté pour cette option pour résoudre leur problème de pénurie. L'Espagne est au 4^{ème} rang mondial. Dans la plupart des pays méditerranéens, on anticipe que la quantité d'eau dessalée croîtra fortement. En effet, les ressources en eau renouvelable sont limitées, mais il y a abondance d'eau salée, et d'énergie à court terme dans les pays pétroliers riches. A ce jour, la Méditerranée représente environ un quart du dessalement mondial. Vers 2030, la région pourrait approcher le chiffre du dessalement mondial actuel (soit environ de 30 à 40 millions de m³/j). (boye, 2008).

I.5.2. Stations de dessalements en Algérie :

12 stations de dessalements d'eau de mer pour une capacité de 5000.000 m³ /j ont été réalisées et réparties à travers 08wilayas qui sont présentés dans le tableau 03, dont les grandes stations données sont présentées sur la carte du littoral algérien):

Tableau 3 Les grandes stations de dessalement en Algérie.

N°	Station	Wilaya	Capacité m ³ /j	Mise en Service
01	Kahrama Arzew	Oran	90.000	3 ^{ème} trimestre 2005
02	Hamma	Alger	200.000	3 ^{ème} trimestre 2007
03	Skikda	Skikda	100.00	3 ^{ème} trimestre 2007

04	Benisaf	AinTimouchent	200.000	4 ème trimestre 2007
05	Mostaganem	Mostaganem	200.000	1 ème trimestre 2008
06	Douaouda	AlgerOuest	100.000	1 ème trimestre 2008
07	Sidnaaouchaa	Telemcen	200.000	2 ème trimestre 2008
08	Honain	Telemcen	200.000	2 ème trimestre 2008
09	CapBlanc	Oran	200.000	3 ème trimestre 2008
10	El-Taref	El-Taref	50.000	3 ème trimestre 2008
11	Ténès	Chlef	200.000	3 ème trimestre 2008
12	Magaâ	Mostaganem	500.000	4 ème trimestre 2014
Total = 12stations			2 200000	

I.6. Méthodes de dessalement des eaux de mer :

Les deux principaux types de technologies qui sont utilisés dans le monde entier pour le dessalement peuvent être classés comme étant soit :

- Des procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases : la Congélation et la distillation;
- Des procédés utilisant des membranes: l'osmose inverse et l'électrodialyse (Janah et al. 2017)

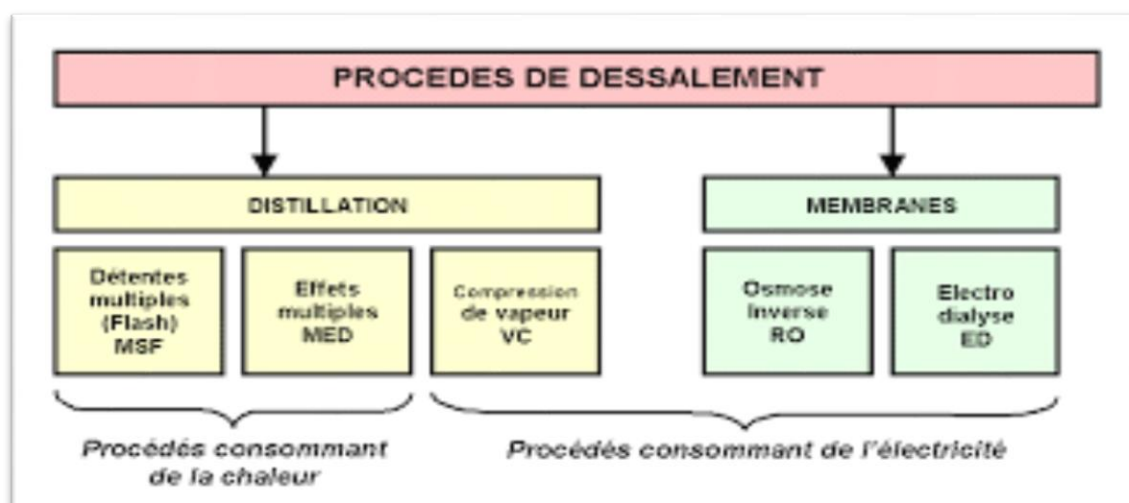


Figure I 1 : Les divers procédés de dessalement (Maurel, 2006)

I.6.1. Procédés thermiques :

I.6.1.1. Distillation :

Les procédés de séparation par distillation consistent en un simple changement de phase d'une solution d'eau salée qui passe, de l'état liquide à l'état gazeux en agissant sur l'élévation de la température et/ou la diminution de la pression. Trois techniques se partagent le marché du dessalement thermique : la distillation à multiples effets (MED), la distillation à détente étagée (MSF), et le procédé à compression de vapeur (vapeur-compression VC).(BIYOUNE, 2017).

I.6.1.2. Distillation à multiples effets (MED) :

Ce procédé permet d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur à simple effet afin d'augmenter le rendement en récupérant la chaleur d'apport pour une nouvelle distillation et le processus s'effectue comme suit :

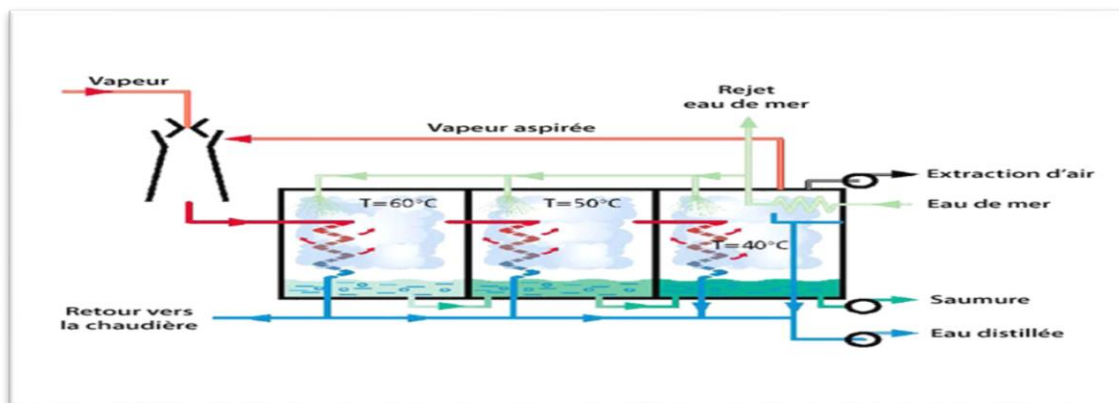


Figure I 2 : distillateur à effets multiples (MED)(BIYOUNE, 2017)

- Dans la première cellule de distillation, l'eau de mer ruisselle sur un serpentin de tubes chauffés ou sur des plaques, grâce à la chaudière. Elle se transforme ainsi en vapeur à seulement 70°C, grâce à une pression inférieure à la pression atmosphérique cela évite l'entartrage des tuyaux.
- L'eau de mer non transformée en vapeur s'accumule au fond de la cellule et se concentre davantage en sels.
- L'eau est pompée. Puis envoyée dans la cellule suivante.
- La vapeur entre dans la deuxième cellule, puis se condense dans le serpentin. Ce passage à l'état liquide dégage assez d'énergie pour en céder à l'eau de mer. Celle-ci ruisselle sur les tubes ainsi chauffés et se vaporise.
- Le même processus se répète dans la troisième cellule. En pratique, on peut placer en série jusqu'à 6 ou 7 cellules de distillation.
- Le dernier serpentin est refroidi par l'eau de mer.
- La vapeur condensée dans les serpentins donne de l'eau douce. Il faut 2 à 4 litres d'eau salée pour obtenir 1 litre d'eau douce. (BIYOUNE, 2017)

I.6.1.3. Distillation à détente étagée (MSF) :

Ce procédé dit (flash) consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage, lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée (flash). Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus réduite.

La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.(BIYOUNE, 2017)

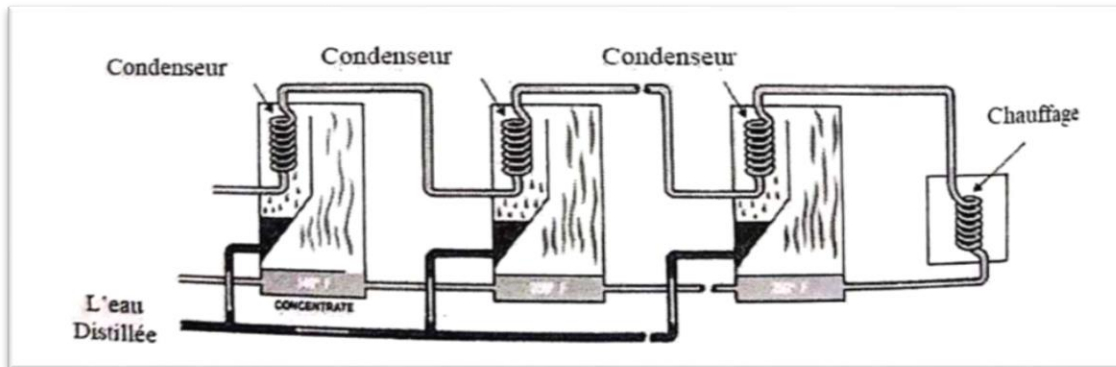


Figure I 3 : distillateur à Multi Stage Flash (MSF)(BIYOUNE, 2017)

I.6.1.4. Distillation à compression de vapeur :

Le dessalement par compression de vapeur consiste à mettre sous pression la vapeur d'eau de mer, pour la réchauffer, avant de la réintroduire dans la même enceinte pour la condenser en faisant évaporer une autre quantité d'eau de mer.(BIYOUNE, 2017)

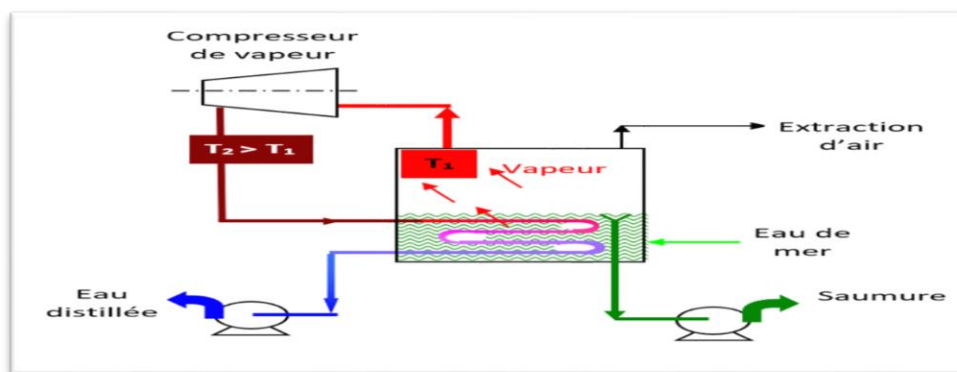


Figure I 4 : procédé de dessalement par compression de vapeur (BIYOUNE, 2017)

Un compresseur aspire la vapeur produite dans la cellule. Après la compression, cette vapeur haute pression a une température plus élevée que celle régnant dans l'évaporateur qui peut donc servir à évaporer l'eau de mer qui la traverse dans un réseau de tuyaux, et par la suite réchauffe l'eau à dessaler en lui cédant la chaleur

de condensation et commencer de la sorte un nouveau cycle, avant d'être évacuée sous forme d'eau distillée.(BIYOUNE, 2017)

I.6.1.5. Congélation :

Le dessalement de l'eau de mer par congélation repose sur la formation de cristaux de glace à partir de l'eau salée. En abaissant la température de l'eau de mer à environ -2°C , des cristaux de glace se forment, constitués principalement d'eau douce, car le sel est généralement exclu lors de la cristallisation. Cependant, si la température descend en dessous de -9°C , des sels comme le sulfate de sodium peuvent précipiter, rendant le processus moins efficace.

Ce procédé est particulièrement adapté aux régions froides où des bassins à ciel ouvert peuvent être utilisés. Dans ces bassins, une fine couche d'eau de mer est exposée au froid, permettant la formation de glace. Une fois la glace formée, elle est séparée de la saumure restante, puis lavée pour éliminer les résidus de sel avant d'être fondue pour obtenir de l'eau douce. La production d'eau douce varie en fonction de la température ambiante : environ 40 à 50 litres par mètre carré et par jour à -5°C , et jusqu'à 120 à 160 litres à -20°C .

Bien que cette méthode présente l'avantage de nécessiter moins d'énergie que d'autres procédés de dessalement, elle reste limitée à des zones géographiques spécifiques et nécessite des conditions climatiques appropriées pour être efficace.

I.6.2.Procédés utilisant des membranes :

I.6.2.1. Osmose inverse :

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-sélective et contenant deux solutions de concentration différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée.

Il est possible d'inverser l'opération en exerçant une pression sur la solution concentrée et faire migrer les plus petites molécules d'eau, c'est l'osmose inverse. L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes haute pression.(BIYOUNE, 2017)

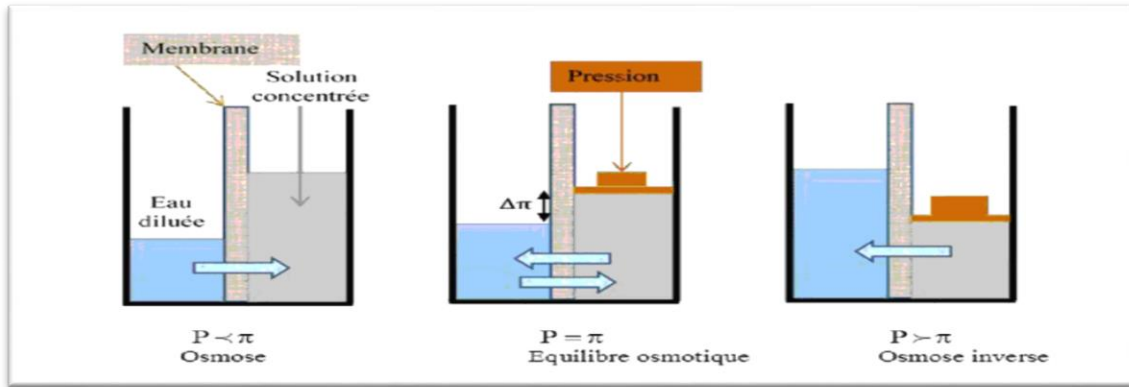


Figure I 5 : schéma du principe de fonctionnement de l'osmose inverse

I.6.2.2. Electrodialyse :

C'est un procédé électrochimique qui permet l'extraction des ions solubles dans l'eau par migration à travers des membranes cationiques et anioniques. Ce procédé de séparation est schématisé dans la figure ci-dessous ; sous l'action d'un champ électrique, les ions positifs traversent les membranes cationiques et les négatifs traversent les membranes anioniques. Ce procédé ne permet pas l'élimination des molécules organiques neutres. Le nettoyage des membranes est effectué automatiquement par inversion du courant électrique. En termes d'énergie ce traitement devient coûteux pour des eaux caractérisées par une salinité supérieure à 5 g/l.

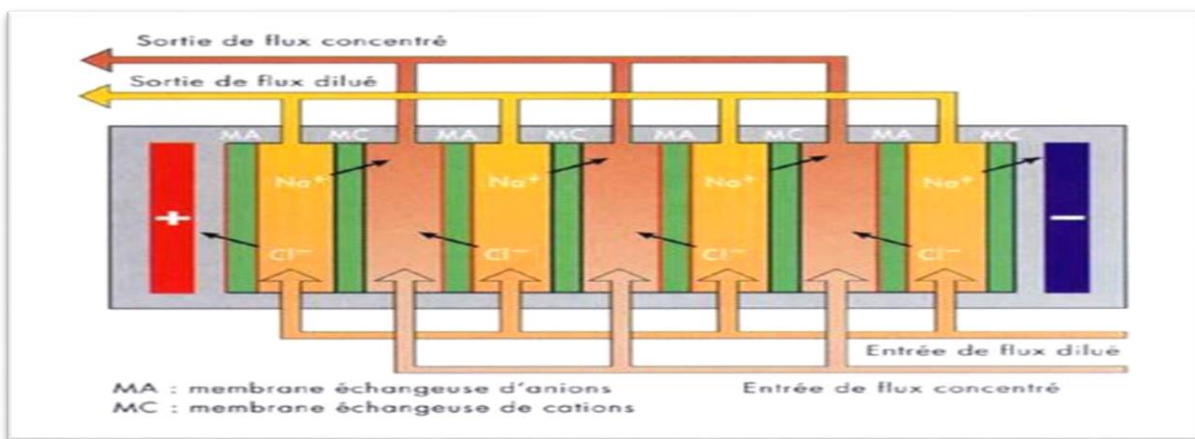


Figure I 6 : schéma du principe de fonctionnement de l'électrodialyse

En raison de sa consommation électrique, l'électrodialyse n'est compétitive (face à l'osmose inverse) et donc utilisée que pour le traitement des eaux saumâtre de concentration inférieure à 3g/l.(BIYOUNE, 2017).

I.7. Rejets et impacts de dessalements :

Parmi les impacts dus à une usine de dessalement, il y a ceux qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation. Les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puis continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'étendre à des émissions dans l'atmosphère et des rejets dans l'eau ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur. Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marines, la perturbation d'écosystèmes importants (dunes de sable, herbiers marins et autres habitats vulnérables par suite de l'emplacement choisi pour le trajet des canalisations), le dragage et l'élimination des déblais qui en résultent, le bruit. Toute une série de produits chimiques et d'additifs servent en effet, lors du dessalement, à prévenir ou combattre l'entartrage ou la prolifération de microorganismes dans les circuits, faute de quoi la bonne marche de l'exploitation serait entravée (Maurel, 2006) et (PNUE, 2001).

I.7.1. Saumure :

La saumure est un sous-produit du dessalement inévitable, qui est déchargée, généralement dans l'environnement marin. Les constituants présents dans ces eaux résiduaires rejetées par les usines de dessalement dépendent dans une large mesure de la qualité de l'eau d'alimentation, de la qualité de l'eau douce produite et de la technique de dessalement adoptée. Cependant, les rejets des usines de dessalement ne comprennent pas seulement l'effluent de saumure concentrée, les désinfectants et les agents anti-salissures (anti-fouling), mais également des eaux chaudes et des effluents aqueux tels que les distillats et condensats d'éjecteur (Dawoud et al., 2012). Composition de la saumure Toutes les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que le post-traitement de l'eau produite. La plupart des produits sont utilisés avant tout comme agents biocides, antitartre, antisalissure et anti-mousse, et ils finissent par modifier la composition de la saumure concentrée. La présence de certains métaux, qui sont des produits de la corrosion du circuit, influent aussi sur la composition de la saumure concentrée. Ces produits chimiques ne sont pas les mêmes pour les principaux procédés de dessalement, à savoir MSF et l'osmose inverse. Les différents produits chimiques des phases de pré-traitement et post-traitement au cours de la production d'eau potable par dessalement est reproduite sur le tableau 08. (Bleninger, et Jirka, 2010) et (PNUE, 2001).

- **Rejet des eaux de lavage à contre-courant des membranes dans les usines OI :**

Dans les usines d'osmose inverse, le nettoyage des membranes peuvent engendrer des eaux potentiellement dangereuses. Les membranes doivent être nettoyées à des intervalles de trois à six mois en fonction de la qualité de l'eau d'alimentation et du fonctionnement de l'usine. Les formulations utilisées pour le nettoyage des membranes sont habituellement des solutions alcalines ou acides aqueuses. Ces produits chimiques sont normalement épurés avant leur rejet dans la mer (PNUE, 2001) et (Mabrook, 1994).

Tableau 4 Grille d'impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés de dessalement (PNUE, 2001). E : Impact de degré élevé, M : Impact de degré moyen, F : Impact de degré faible.

Impact	Origine de l'impact	Degré d'impact
-Pollution thermique, Réduction de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices, -Effets nocifs pour les espèces thermorésistantes	- Saumure chaude	M M
Salinité accrue Effets nocifs pour les espèces résistantes aux sels	- Saumure concentrée	M
Désinfectants	Chlore et ses composés Réaction du chlore avec des composés organiques hydrocarbures principalement	E
Métaux lourds	Corrosion du matériel de l'usine	M
Produits chimiques :		E

- Eutrophisation des eaux réceptrices	-Adjonction d'agents	E
- Toxicité	-Anticorrosion et antitartre	F
- Hausse du pH		
-Pollution atmosphérique		F
-Pluies acides	Utilisation de combustibles et activités d'élimination	M
-Effet de serre		M
-Poussières		
chez les animaux aquatiques	Excavation et de dragage	M
Bruit	-Activités de construction - Pompes et autres appareils au cours de l'exploitation de l'usine	F

I.7.2. Effets dus aux produits de la corrosion :

Sont rejetés par les unités de dessalement et peuvent constituer une menace pour les organismes d'estuaire en raison de leur toxicité. Nous avons :

- **Les traces de métaux :**

Le Ni, Mo, Fe, Cr, Zn, provenant de la dissolution de tuyauterie et système de condensateur de refroidissement et autres dépendants des alliages présents dans la ligne du process. Ces métaux provoquent des stresses au niveau des communautés aquatiques et leurs effets seront plus marqués au niveau des habitats benthiques soumis à un enrichissement plus élevé de métaux trace (Hoepner, 2003).

- **Le Cuivre :**

A forte concentration, le Cuivre est très toxique et joue le rôle d'inhibiteur d'enzymes au niveau de l'organisme et peut entraîner le décès d'un nombre important d'espèces susceptibles. Pour le phytoplancton, le Cuivre inhibe la photosynthèse, limite l'absorption et l'assimilation du nitrate et l'adsorption du silicate. Au niveau des poissons d'estuaire, des changements apparaissent dans la physiologie de l'organisme, la reproduction et le développement (Rashad, 2007).

- **Le Fer :**

Le Fer est contenu dans certains additifs entrants dans le processus de dessalement. En présence d'une forte salinité peut conduire à un accroissement de la turbidité qui risquera de perturber la photosynthèse (Rashad, 2007).

I.7.3. Effets dus aux additifs antitartres :

Les produits utilisés contre l'entartrage sont les phosphates polymères. Dans une zone marine oligotrophe comme la mer méditerranée, le rejet de ces produits peut avoir des effets drastiques tels que des efflorescences algales, des proliférations d'algues macroscopiques, etc. Ces dernières années, les agents antitartre les plus largement utilisés ont été les polymères de l'acide maléique pour empêcher l'apparition d'effets eutrophisants (Hoepner, 2003).

I.7.4. Effets des additifs antisalissure :

Si le chlore est un agent antisalissure à large spectre, il présente aussi des effets étendus sur le milieu marin quand il est rejeté avec la saumure. Il occasionne des effets biologiques par son action stérilisante intrinsèque et des effets chimiques en halogènes les constituants organiques de l'eau de mer (Rashad, 2007). D'autres agents anti-salissures comme les sels de cuivre entraînent des rejets de cuivre dans la saumure, et ce métal, même à de très faibles concentrations (moins de 1ppm), peut avoir des incidences sur l'environnement par suite de son accumulation (Hoepner, 2003).

I.7.5. Effets des additifs anti-mousses :

Les agents anti-mousses sont des détergents. Ces derniers ont des effets nocifs sur les 5 organismes en altérant le système membranaire intracellulaire. Les effets sur l'écosystème marin n'ont pas été étudiés mais pourraient être négligeables (Hoepner, 2003).

I.7.6. Impact de bruit :

Une usine de dessalement par filtration membranaire est plus bruyante, et la majeure partie de ce bruit provient des pompes haute pression et des turbines de récupération d'énergie qui présente un danger pour les travailleurs de la station (PNUE, 2001).

I.7.7. Effets dus au prélèvement d'eau de mer :

Les usines de dessalement de l'eau de mer ont des dispositifs d'admission situés au large qui leur permettent de prélever de grosses quantités d'eau à proximité de certains habitats marins. Par exemple, des tambours tamiseurs sont souvent disposés entre le dispositif d'apport et les pompes d'alimentation afin d'empêcher des débris flottants, des organismes marins volumineux et autres matières de pénétrer dans le circuit de pré-traitement de l'usine de dessalement. Le prélèvement représente deux sources potentielles d'impact, à savoir le heurt du poisson sur les tambours et l'introduction de biotes dans le circuit d'eau d'alimentation qui représente une menace importante pour le phytoplancton et le zooplancton, pour conséquences des dommages physiques comme l'écaillage et des troubles tels qu'une désorientation. Ce phénomène entraîne une augmentation de la mortalité par maladie et une vulnérabilité accrue à la prédation (NRC, 2008).

I.7.8. Effets potentiels des rejets de saumures concentrées :

Une variation de la salinité et/ou de la température due au rejet de saumure retentit aussi sur les habitudes migratoires du poisson le long des côtes. Si certaines espèces de poissons ressentent une variation de la salinité ou de la température, elles peuvent éviter la zone du panache et s'éloigner au large. Il s'ensuit que le poisson peut être forcé de nager sur une plus longue distance, de quitter la zone de plus grande disponibilité alimentaire et devenir davantage exposé aux prédateurs. Les impacts de ces modalités nouvelles sont

incertains car notre connaissance de la migration du poisson le long des côtes reste limitée et que l'on ne sait pas avec certitude quelle est la taille du panache susceptible d'occasionner ces effets (Lattemann, et . Hoepner, 2003).

La température d'effluent a une influence importante sur les propriétés physiques de l'eau de mer et peut détériorer sa qualité. La solubilité d'oxygène diminue avec l'augmentation de la température, cette température élevée de l'eau accélère la respiration de bactéries et peut promouvoir l'anoxie ou l'hypoxie contribuant à l'élimination de la vie aquatique, en particulier durant l'été. (Fernández-Torquemada, Sánchez-Lizaso, 2013) et (UNEP/MAP, 2003).

I.7.9. Impacts des rejets de saumures sur l'écosystème marin :

En ce qui concerne l'impact des saumures, il faut souligner que la salinité des saumures est comprise entre 68 et 90 g/l. Cette différence de salinité avec l'eau de mer explique le comportement du rejet hyper-salin, la masse d'eau très dense forme une couche sur le fond marin et se déplace suivant les lignes de pente maximale. Le degré de stratification est tellement élevé que la dilution de cette masse d'eau avec la couche d'eau supérieure de salinité ambiante est très difficile, même avec un certain degré d'exposition hydrodynamique. Le concentrât contient également les résidus des produits chimiques ayant servi aux prétraitements. Ils entraînent en particulier une acidification de l'eau (pH compris entre 6 et 6.5) ce qui a un impact sur la matière biologique, et en particulier sur les coraux. Si l'on utilise du métabi-sulfite de sodium pour la déchloration de l'eau d'alimentation ou en tant que traitement biocide, ce produit a un impact sur le phytoplancton en particulier (Cooley et al., 2006).

I.8. Paramètres étudiés

I.8. 1. Paramètres physicochimiques :

I.8.1.1. Température :

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

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

Les couches superficielles de la mer peuvent être réchauffées ou refroidies par l'air ambiant. Dans les régions polaires, la température des eaux est plus basse au pôle Sud qu'au pôle nord. Les échanges thermiques entre la surface de l'eau de mer et l'atmosphère sont très importants : le climat est influencé par la température de l'eau de mer. Les océans se réchauffent moins vite et se refroidissent moins vite également que la terre. Pour cette raison, les régions qui bordent l'océan jouissent d'un climat océanique, plus tempéré (doux et humide) (MOULIN, 2004).

I.8.1.2. pH :

L'eau de mer faiblement alcaline et son pH moyen est de 8,2 avec des variations entre 7 et 8,4. Les variations de pH ont une certaine analogie avec celle d'oxygène dissous. Ceci s'explique en considérant l'activité synthétique de certains organismes : une forte production d'oxygène s'accompagne d'une diminution de la teneur en CO₂ et par conséquent d'une augmentation du pH ; l'oxydation de la matière organique diminue la teneur en oxygène de l'eau en produisant du CO₂ et par conséquent abaisse le pH.

Dans certaines conditions le p peut prendre des valeurs particulières. Notamment dans les bassins isolés où il peut y avoir production d'H₂S. Le pH peut approcher des valeurs voisines de 7 ou tomber à des valeurs nettement plus acides.

Le pH des eaux de mer décroît avec une augmentation de température. Pour une eau chlorinité de 19,5‰ et de pH=8, une élévation de température de 1°C, entre 10°C et 20°C, diminue le pH de 0,0109. De même, une augmentation de pression de 100 bars produit une diminution du pH de l'ordre de 0,02 (HABET, 2012).

I.8.1.3. Conductivité électriques :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise, entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm² de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m). La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau (ATALLAH, 2014).

I.8.1.4. Salinité TDS :

La salinité est la quantité totale des résidus solides (en grammes) contenu dans 1 kg d'eau de mer, quand tous les carbonates ont été transformés en oxydes, le brome et l'iode remplacé par le chlore et que toute la matière organique a été oxydée. Il est très difficile d'estimer la salinité par analyse chimique directe (séchage et pesée du résidu solide), car certains corps présents, notamment les chlorures, s'échappent au cours du dernier stade de séchage. On utilise le fait que, dans l'eau de mer, les proportions relatives des principaux constituants sont pratiquement constantes. Le dosage de l'un d'entre eux est donc susceptible de donner la teneur de tous les autres, ainsi que la salinité. Les ions chlore, brome et iode peuvent aisément être dosés, avec précision, par titrage au nitrate d'argent (Le CALVÉ, 2002).

I.8.1.5. Turbidité :

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, la pluviométrie joue un rôle important vis-à-vis de ce paramètre dans les eaux superficielles et souterraines selon leur origine (SAVARY, 2010)

I.8.1.6. Résistivités :

La résistivité est l'inverse de la conductivité. Les unités les plus souvent employées sont le kilo hm x cm ou le Mégohm x cm.

I.8.1.7. Matières en suspensions :

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, du régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution (ATALLAH, 2014).

I.8.1.8. Dureté :

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 Ca^{++} et Mg^{++} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO_3 par litre.

Dans l'eau, sont déterminées :

- 1) La dureté totale ou titre hydrotimétrique TH qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne ;
- 2) La dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium ;
- 3) La dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium ;
- 4) La dureté carbonatée correspond à la teneur en hydrogénocarbonate et carbonate de calcium et de magnésium (ATALLAH, 2014).

I.8.1.9. Nitrites :

Les nitrites sont considérés comme étant des ions intermédiaires entre les nitrates et l'azote ammoniacal, ce qui explique les faibles concentrations rencontrées en milieu aquatique.

I.8.1.10. Chlorures :

Les chlorures sont très solubles dans l'eau, leurs éliminations sont difficiles et les méthodes classiques de traitement sont inefficaces. On signale un taux d'élimination de 87% dans le cas d'un dispositif de traitement basé sur l'absorption sur charbon actif granulaire et l'osmose inversée. Les concentrations de chlorure dans l'eau peuvent augmenter pendant le traitement si on utilise du chlore pour la désinfection et des sels de chlore. Les eaux destinées à la consommation humaine, ont une teneur en chlorure de 500 mg/l et des fois 600 mg/l (norme Algérienne) (Rodier, 2005).

I.8.2. Paramètres bactériologiques :

Le risque microbiologique d'origine hydrique (ou risque infectieux) correspond à la présence dans l'eau de microorganismes pathogènes, ou potentiellement pathogènes (opportunistes) et ce en quantité supérieure au seuil d'infection fixé par l'OMS. Parmi ces microorganismes, on distingue les virus, les bactéries et les protozoaires.

Le risque microbiologique provient donc du pouvoir pathogène de ces germes qui est conditionné par les propriétés de l'agent infectieux.

Il convient de préciser que la mise en œuvre de procédés élémentaires de désinfection telle que la chloration de l'eau, permet d'éradiquer totalement les fléaux tels que le choléra, la dysenterie bacillaire ou les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes (LEBLEU, 2007).



Chapitre II

Matériels et

Méthodes

II. Introduction

Dans le cadre de ce chapitre, diverses techniques et outils ont été mobilisés en laboratoire pour étudier et soutenir le processus de désalinisation de l'eau de mer, tel qu'il est mis en œuvre à la station de dessalement de la wilaya de Skikda. Parmi les principales méthodes appliquées, on retrouve l'osmose inverse, l'évaporation multi-effets (MED) ainsi que la distillation partielle. Ces technologies ont pour objectif d'éliminer les sels dissous et les contaminants présents dans l'eau de mer, tout en tenant compte des impacts environnementaux liés à leur utilisation.

Ces procédés sont essentiels pour garantir une eau de qualité conforme aux normes de consommation humaine, tout en assurant une gestion durable des rejets salins et de la consommation énergétique.

II.1. Matériel

II.1.1. Présentation générale de la station de dessalement de Skikda (Déaladera Skikda)

La station de dessalement d'eau de mer de Skikda, opérationnelle depuis 2008, constitue une infrastructure stratégique pour l'alimentation en eau potable de la région. Réalisée par le consortium espagnol GEIDA, elle est située à l'est de la zone pétrochimique de Skikda, précisément au lieu-dit Diare Chitane. L'installation occupe une superficie de 4 hectares.

Dotée d'une capacité de production de 100 000 m³ par jour, la station repose principalement sur la technologie de l'osmose inverse, affichant un taux de conversion de 47 %. Cette méthode permet d'obtenir une eau douce de haute qualité à partir de l'eau de mer.

La prise d'eau s'effectue par une conduite d'aspiration sous-marine d'environ 1 kilomètre de long, tandis que les rejets de saumure sont évacués à travers un émissaire sous-marin, minimisant ainsi les impacts sur l'environnement côtier.

La station est équipée de cinq modules d'osmose inverse, chacun ayant une capacité de 20 000 m³/jour. L'énergie nécessaire au fonctionnement de l'ensemble du système est fournie par deux lignes électriques haute tension en provenance de la SONELGAZ : l'une est utilisée comme source principale et l'autre comme ligne de secours. La consommation énergétique globale de l'installation est estimée à 3,56 kWh / m³ d'eau produite

Le principal client de la station est la société nationale SONATRACH, via l'Algérienne des Eaux (ADE).

Le personnel de la station se compose de 60 personnes, incluant des cadres, des techniciens et des agents de sécurité. Sur ce total, 25 employés relèvent directement de GEIDA, tandis que les autres sont fournis par des entreprises sous-traitantes.

Enfin, le prix de vente de l'eau produite est fixé à 0,70 USD / m³ .



Figure II 1 : Présentation de la station de dessalement déssaladora _ Skikda

II.1.2. Présentation de la zone d'étude (Desaladora Skikda) :

Est une entreprise publique, Société par Actions créée en 2001 et détenue à 100 % par SONATRACH depuis 2018.

Statutairement, ses missions consistent en la promotion de projets d'envergures, seule ou en partenariat avec des Firmes Nationales ou étrangères exerçant, notamment, dans :

- ✓ Génération Energie Electrique.
- ✓ Le dessalement d'Eau de Mer.
- ✓ Energies Renouvelables

II.1.3. Situation géographique :

Le site de projet occupe une superficie de 4 hectares dans la zone de développement 1 DEVI de 44,3 hectares au Nord-Est de la plate formant une colline sablonneuse.

La commune de Skikda est limitée :

- Au Nord par la mer méditerranée
- A l'Est par la commune de Filfila
- A l'Ouest par la commune d'Ain Zouit
- Au Sud par les communes de Hamadi-Krouma et El Hadaik

Le site de l'usine de dessalement d'eau de mer, est localisé au niveau de la Zone pétrochimique de Skikda, à environ 5 km du chef-lieu de la commune de Skikda, il s'étend sur une superficie de 04 hectares.



Figure II 2 : Situation géographique de la station de dessalement déssaladora _ Skikda

II.1.4. Processus du dessalement appliqué dans la station du dessalement de déssaladora Skikda.

Le processus de dessalement de l'eau de mer permet d'obtenir une eau propre à la consommation humaine à partir d'une source inépuisable, à savoir l'océan. A la « Desaladora de Skikda », le procédé utilisé pour le dessalement est l'osmose inverse, un processus précis et efficace.



II.1.5. Composition de la station de dessalement d'eau de mer Skikda.

1. Une structure de récupération d'eau de mer située à 1200 mètres du littoral.
2. Une unité de pompage d'eau de mer comprenant: deux barrages marins, deux filtres rotatifs, un bassin de pompage et 6 pompes d'eau de mer d'une capacité de 1800 mètres cubes par heure chacune.

Figure II 3 : Schéma représentatif de la station de dessalement d'eau de mer de Skikda (Desaladora, 2005)

3. Une première étape de filtration composée de 25 filtres à sable de 100 mètres cube chacun.
4. Une deuxième étape de filtration composée de 15 filtres à anthracite (mélange de sable et de charbon) d'une capacité de 100 mètres cube chacun.
5. Une dernière étape de filtration à l'échelle nanométrique composée de 10 filtres à cartouches (chaque filtre contenant 270 cartouches).
6. 5 cadres pour l'osmose inverse, où se produit la séparation entre le sel et l'eau.

II.2. Les étapes de procédé.

II.2.1 Captation de l'eau de mer :

La première étape du procédé de dessalement est le captage de l'eau de mer. Elle consiste à pomper l'eau de mer vers la station de dessalement. Cette eau doit être bonne du point de vu matières en suspension pour le fonctionnement de la station.

Le système de captage est ouvert, l'eau de mer est captée à partir d'un (1 km) de la cote grâce à un émissaire en PEHD DH 2400mm. A l'extrémité de l'émissaire, une tour de 10 m de hauteur st Érigée sur un fond à 18 m pour capter une eau plus ou moins propre. L'eau est véhiculée à l'intérieur de la conduite par gravite avec une vitesse d'écoulement inférieure à 1 m /s.



Figure II 5 : Tour de captation



Figure II 4 : Bassin de captation

II.2.2. La filtration

« Desaladora de Skikda » est réalisée en utilisant des filtres avec sable et avec anthracite. Deux étapes de filtration existent:

1) L'eau est pompée à partir de bassin de pompage à l'aide de 6 pompes 5 de service et une de réserve vers les filtres à sable (les filtration) elle doit subir au préalable une désinfection (NaOCI) un traitement à l' H_2SO_4 (contrôle du pH), un traitement au chlorure ferrique (agent coagulation)

2) L'eau passera à travers les 25 filtres à sable d'une parallèle ou elle subira une première filtration en suite elle passera en parallèle à deuxième filtration (filtre anthracite) dont l'élimination de la matière solide. L'eau subira en suite un traitement avec le bisulfite pour éliminer les chlorures et antitartre pour prévenir un éventuel entartage de l'eau



Figure II 6 : Les bacs de filtration (Desaladora)

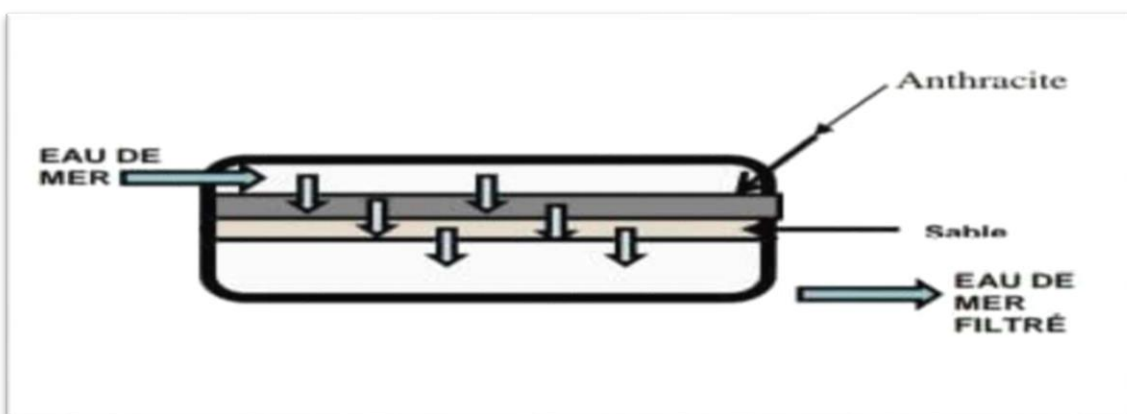


Figure II 7 : Systèmes de filtration

II.2.3. La Microfiltration.

La microfiltration est assurée par l'utilisation d'un filtre à cartouche type bobiné. Entre le collecteur d'entrée et de sortie. Il y'a un manomètre différentiel muni de contact électrique pour alarme, qui indiquera quand il sera nécessaire de remplacer les cartouches filtrantes.

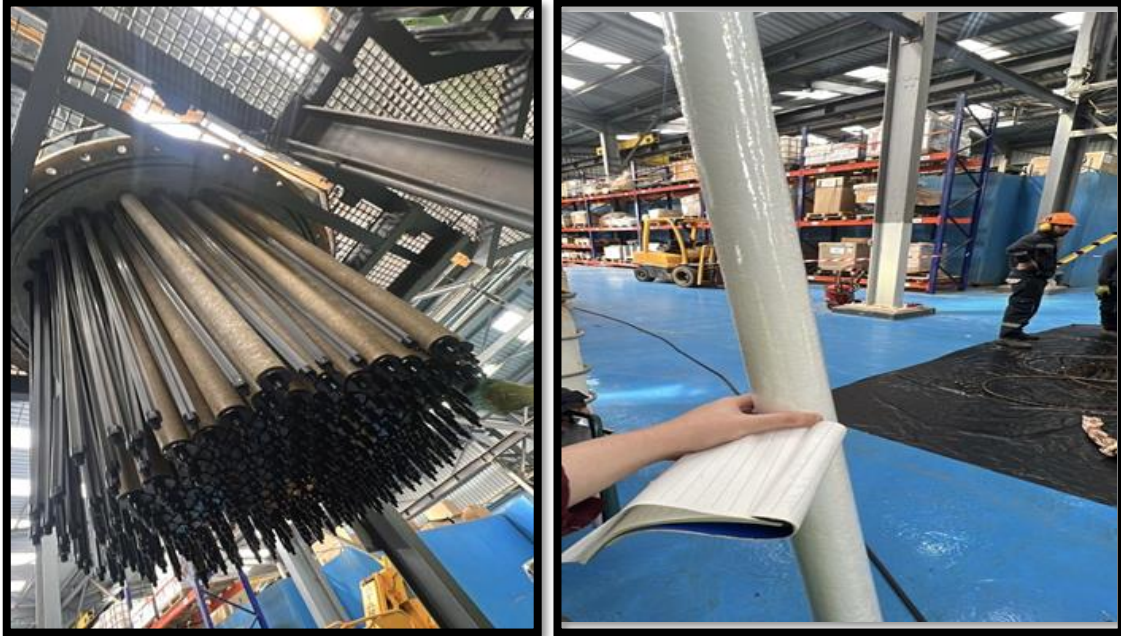


Figure II 8 : Les filtres à cartouche

II.2.4. L'Osmose Inverse:

L'osmose est un processus naturel dans lequel les molécules de l'eau migrent à travers une membrane semi-perméable depuis une solution de basse concentration vers une solution de plus haute concentration

Le phénomène d'osmose va se traduire par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution ²concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux de l'eau va s'annuler. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique

Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée c'est le phénomène d'osmose inverse

Le module d'osmose inverse utilisé dans l'unité d'étude est le module spiralé, au sein des modules spiraux, une membrane plane est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux (le collecteur du perméat) qui recueille le filtrat. On obtient ainsi un cylindre multicouche où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux.

Du côté de l'écoulement de la solution à traiter, les couches membranaires sont séparées par une grille en plastique



Figure II 9 : L' osmose inverse (Desaladora)

II.2.5. Récupération d' énergie.

Le système de récupération d'énergie est au moyen d'une turbine Pelton, ou la quantité d'énergie récupérée est environ 4bars c'est-à-dire 4% par rapport à l'énergie consommée par l'unité (1500 kW)



Figure II 10 : La récupération d'énergie (Desaladora)

II.2.6. Post-traitement :

L'eau issue du traitement de l'osmose inverse est indemne de tous les minéraux, c'est-à-dire non consommable, une reminéralisations est nécessaire pour rendre cette eau potable. L'injection automatique de CO₂ pour réduire le pH proche de 5 permet de rendre plus efficace le processus de reminéralisations. Ce dernier est réalisé dans des tours ou chambres en nombre de dix, à l'intérieur desquelles est situé le lit de calcite (carbonate de calcium) À différentes hauteurs, équipées par des tuyaux de distribution .A travers ce

lit de calcite l'eau traitée passe et atteindra le fond (réservoir) par un canal à l'intérieur de la tour. Après et à l'aide d'un doseur automatique, il y aura un ajout d'hypochlorite de sodium à partir des deux citernes.

A l'aide de pompes l'eau traitée est pompée vers le réservoir de stockage afin de la distribuer.

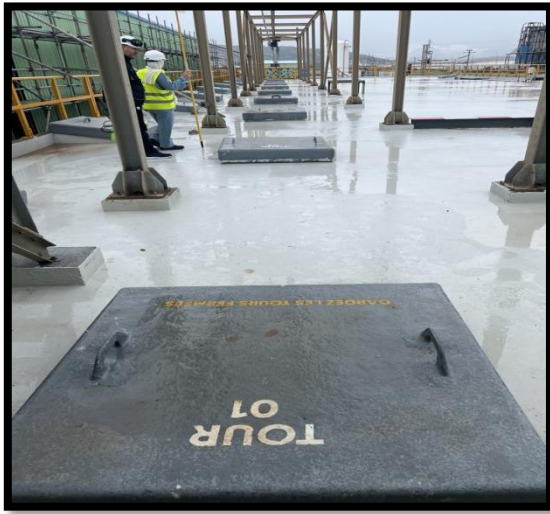


Figure II 12 : Dix tours ou chambres



Figure II 11 : Mesure de la hauteur de la calcite

II.2.7. Désinfection :

Les bactéries et virus pathogènes qui demeurent dans l'eau sont éliminés lors de l'étape de désinfection. On utilise pour cela du hypochlorite de sodium NaClO . Une petite quantité de chlore reste dans l'eau produite pour éviter un développement bactérien plus en aval, dans le réseau d'eau.

Le présent travail, réalisé dans plusieurs laboratoires — à savoir le laboratoire de l'usine Coca, le laboratoire du complexe R2K, le laboratoire de la station de dessalement Desaladora, ainsi que le laboratoire privé Hananelab — consiste, d'une part, à déterminer les différents paramètres physico-chimiques et la qualité bactériologique de l'eau échantillonnée au niveau de la station de dessalement Desaladora. L'objectif est d'étudier l'impact des rejets chimiques (saumures) de cette station sur l'environnement, notamment sur le littoral de Larbi Ben M'hidi à Skikda.

II.3. Méthodes :

II.3.1 Stratégie d'échantillonnage.

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier la caractéristique physico-chimique de l'eau.

La station est équipée de quatre prélèvements d'échantillons d'eau pour les analyses physico-chimique:

- Eau de mer
- Robinet installé à l'entrée des filtres à sable pour mesurer la turbidité, le chlore libre et étalonné l'instrumentation ainsi ajuster l'injection du chlore
- Robinet installé à l'entrée du module d'osmose inverse après la filtration à cartouche pour mesurer l'indice de colmatage SDI
- Robinet installé au niveau de la zone d'expédition de l'eau traitée pour vérifier la qualité de l'eau

II.3.1.1 Echantillonnage et mode de prélèvement :

Prélèvement d'eau de mer :

On utilise des Flacons en verres ou en plastiques à usage unique

- On rince avec l'eau à analyser plusieurs fois



Figure II 13 : Point de prélèvement d'eau de mer

- La bouteille doit être conservée à l'abri de la lumière et la chaleur

Prélèvement d'eau produite :

L'étude expérimentale consiste à effectuer des analyses physico-chimiques de l'eau traitée

après le processus de dessalement (Fig.)

- Point de prélèvement : robinet du réservoir
- Le prélèvement se fait après l'écoulement de l'eau de robinet pendant

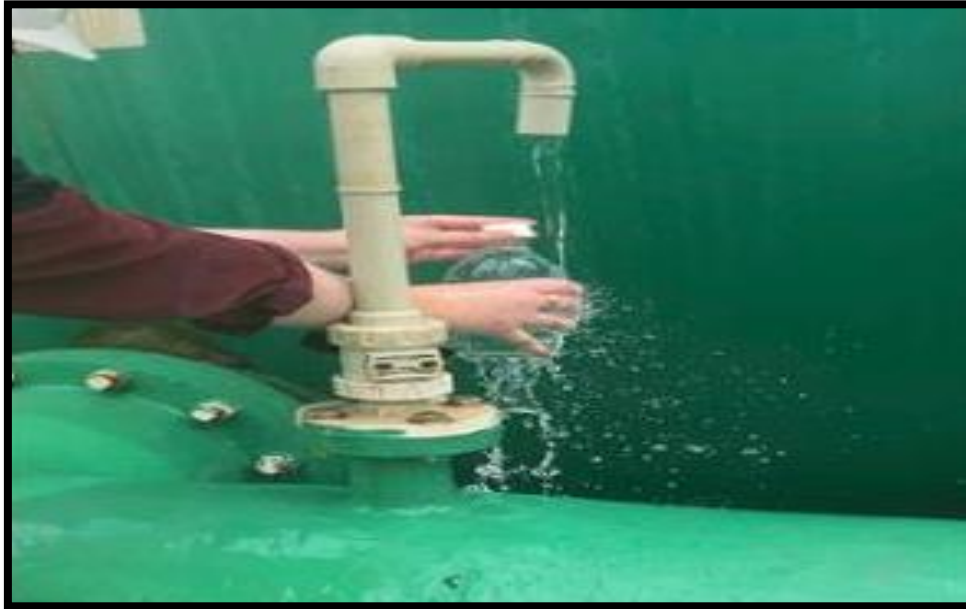


Figure II 14 : Point de prélèvement d'eau produite

Prélèvement de l'eau de saumure :

- Flacons en verre ou en plastiques à usage unique
- Rincer avec l'eau à analyser plusieurs fois
- Conservée les bouteilles doit être à l'abri de la lumière et la chaleur.

Point d'échantillonnage :

Des échantillons d'eau traitée ont été prélevés en vue de réaliser des analyses physico-chimiques. Le prélèvement a suivi une procédure bien définie : les échantillons ont été recueillis dans des bouteilles en plastique de 1,5 litre, propres mais non stérilisées, conformément aux exigences de ce type d'analyse.

Avant le prélèvement, l'eau a été laissée couler à débit maximal pendant 5 à 10 secondes, puis à débit moyen pendant 2 à 5 minutes, afin d'éliminer toute stagnation dans le système. Les bouteilles ont ensuite été ouvertes, remplies immédiatement, puis hermétiquement refermées.

Les échantillons ont été acheminés sans délai au laboratoire de la station pour y être analysés.

Au total, vingt-et-un (21) prélèvements ont été effectués entre le 7 et le 15 mars 2022, sur trois points distincts de la station :

- À l'entrée (eau de mer brute) ;
- À la sortie, en deux emplacements :

1. L'eau dessalée, après traitement ;
2. La saumure rejetée (eau concentrée en sel).



Chapitre III
Résultats et
discussion

III. Introduction

La présentation et la discussion des résultats de l'analyse de l'eau de mer sont structurées selon trois volets, en référence du décret exécutif n°09-414 correspondant au 15 décembre 2009 fixant la nature, la périodicité et les méthodes d'analyse de l'eau de consommation de l'eau humaine (J.O.R.A. n° :14-96,2014) (Annexe 01) et Décret exécutif n 06-141 du 20 RABIE el AOUEL 1427° correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. : Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable. À savoir: la description des paramètres bactériologiques et physicochimiques en relation avec la structure naturelle de l'eau.

L'exploration des paramètres chimiques dont le profil en certains polluants tels que les nitrites, , la salinité et la conductivité, Ces paramètres sont évalués selon les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) de consommation en eau potables. Nous présentons aussi les résultats d'une comparaison de quelques éléments étudiés, entre l'eau de mer comme source et les produits de son traitement (eau produite et la saumure).

Pour vérifier la fiabilité de dessalement de l'eau de mer au niveau du station de dessalement desaladora, nous avons effectué des analyses physico-chimiques de l'eau produite , et les analyse de l'eau de mer et l'eau de saumure.

III.1 . Résultats et interprétation des analyses et physico-chimiques de l'eau produite :

On a entrepris, en premier lieu, des analyses physico-chimiques de l'eau produite ou dessalée (tableau).les résultats des deux tableaux sont calculées en moyenne

Tableau 5 Résultats des analyses physico-chimiques (eau produite)

Paramètre	Lieu de prélèvement			Unité	Norme OMS
	jan	fév	mrs		
La température	16,01	16,92	17,80	°C	20
Le ph	8,23	8,16	8,11	/	6,5-9,5
La turbidité	0,26	0,23	0,64	NTU	/
La conductivité	694	790,66	915	µS/cm	/
TDS	399	442	448	Mg/l	<1000
TAC	45,33	45,66	52,33	°F	/
Dureté totale (THT)	50,66	56	56,33	°F	20
Dureté calcique (Ca ²⁺)	46,33	46,33	55,33	°F	/
clore libre	0,43	0,43	0,13	Mg/l	≤ 5
Nitrates	0,008			Mg/l	50
Nitrites	0,01			Mg/l	0,2
Oxygène dissout	9,25			Mg/l	/
Aluminium	0			Mg/l	0,2
phosphate	0,90				/
Sulfate	0			Mg/l	500

III.1.1. température :

D'après les résultats obtenus concernant la température de l'eau produite par l'unité de dessalement, on observe que la moyenne des valeurs varie entre un minimum de 14,88°C et un maximum de 16,97°C.

_Ces températures restent inférieures à la norme recommandée.

III.1.2 Le PH :

Selon les résultats obtenus pour la détermination du pH de l'eau produite au niveau d'unité de DESALADORA on observe Le pH varie de 8,11 à 8,23, ce qui reste dans la plage recommandée par l'OMS (6,5–8,5). Un pH légèrement basique peut indiquer une bonne minéralisation de l'eau et une absence d'acidité, ce qui est bénéfique pour la distribution de l'eau et le confort du consommateur.

III.1.3 La turbidité :

Selon les résultats obtenus pour la turbidité de l'eau potable produite au niveau de l'unité de DESALADORA, on observe les valeurs de turbidité observées (entre 0,23 et 0,64 NTU) sont bien en dessous de la norme de l'OMS fixée à 1 NTU. Une faible turbidité traduit une bonne clarté de l'eau, ce qui est indicateur d'une faible charge en matières en suspension et d'un bon traitement préalable.

III.1.4 La conductivité :

Selon les résultats obtenus pour la conductivité de l'eau produite au niveau de l'unité de DESALADORA on observe les valeurs Elle augmente de 694 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en janvier à 915 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en mars. Bien qu'aucune norme OMS stricte ne soit donnée ici, une valeur élevée peut refléter une forte teneur en ions dissous. Néanmoins, ces valeurs restent modérées et ne suggèrent pas de pollution saline excessive.

III.1.5 TDS :

D'après les résultats relatifs au TAC de l'eau potable déstalinisé produite par l'unité de dessalement (DESALADORA), il ressort que la moyenne des valeurs obtenues se situe entre un minimum de 45 mg CaCO_3/L et un maximum de 52 mg CaCO_3/L .

_Ces valeur ne dépasse pas les normes.

III.1.6 Dureté totale (THT) :

D'après les résultats obtenus concernant la Dureté totale de l'eau potable dessalée produite par l'unité de dessalement, on observe que la moyenne des valeurs varie entre un minimum de 55,66 mg CaCO_3/l et un maximum de 56,33 mg CaCO_3/l .

_ces valeurs ne dépassant pas les normes.

III.1.7 Dureté calcique (Ca^{2+}) :

L'unité Désaladora, on déduit que les valeurs de la moyenne des résultats varient entre une valeur minimale de l'ordre de 44,3 mg $\text{Ca CO}_3 / \text{l}$ jusqu'à la valeur 47,3 mg $\text{Ca CO}_3/\text{l}$.

- Ces valeurs au-dessous de la norme

III.1.8 chlore libre :

L'évolution des taux de chlore libre dans l'eau produite montre une stabilité satisfaisante en janvier et février (0,43 mg/L), correspondant à la plage optimale définie par l'OMS. Ces niveaux assurent une désinfection continue et une protection contre les contaminations microbiologiques. Toutefois, la chute constatée en mars à 0,13 mg/L est préoccupante, car elle reste en dessous du seuil requis pour garantir une sécurité sanitaire. Cette variation suggère soit une perte de chlore due à une réaction avec des matières organiques, soit une insuffisance dans le dosage, nécessitant un ajustement rapide pour éviter tout risque sanitaire.

III.1.9 Nitrates :

D'après les résultats obtenus concernant le nitrates de l'eau produite on observe que la concentration est très largement inférieure à la norme donc l'eau de très bonne qualité et aucun risque sanitaire lié aux nitrates n'est présent

Eau conforme et sûre à la consommation.

III.1.10 Nitrites :

L'analyse de l'eau produite montre une concentration en nitrites de 0,01 mg/L, ce qui est largement inférieur à la limite fixée par l'OMS (0,2 mg/L). Cette faible teneur indique que l'eau est de bonne qualité, sans contamination par les nitrites, et ne présente aucun risque pour la santé, y compris pour les groupes sensibles comme les nourrissons.

Ainsi, l'eau est conforme aux normes et propre à la consommation humaine.

III.1.11 Oxygène dissout :

La concentration en oxygène dissout dans l'eau produite est de 9,25 mg/L, ce qui indique une eau bien oxygénée et de très bonne qualité. Cette valeur, proche de la saturation naturelle, reflète une absence de pollution organique, un bon fonctionnement du traitement et une eau saine. Elle est donc conforme aux exigences techniques pour une eau potable propre à la consommation.

III.1.12 Aluminium :

La concentration en aluminium dans l'eau produite est de 0 mg/L, ce qui est inférieur à la valeur guide de l'OMS. Cela indique une excellente qualité de l'eau, sans présence d'aluminium, ce qui est favorable tant sur le plan sanitaire que technique. L'eau est donc conforme aux recommandations de l'OMS et parfaitement adaptée à la consommation humaine.

III.1.13 phosphate :

La teneur en phosphates de 0,90 mg/L est compatible avec une eau potable de bonne qualité. Elle est conforme aux pratiques acceptées, notamment dans les systèmes de traitement qui utilisent des phosphates pour la protection des réseaux. L'eau est donc considérée comme propre à la consommation humaine

III.1.15 Sulfate :

La concentration en sulfates dans l'eau produite est de 0 mg/L, ce qui est largement inférieure à la limite guide de l'OMS fixée à 500 mg/L. Cette absence de sulfates indique une eau de très bonne qualité chimique, ne présentant aucun risque sanitaire. Les sulfates ne deviennent préoccupants qu'à des concentrations élevées, pouvant causer un effet laxatif. Ainsi, l'eau analysée est parfaitement conforme aux recommandations de l'OMS et adaptée à la consommation humaine.

III.2. Résultats et interprétation des analyses et physico-chimiques de l'eau mer et'eau saumure :

Les analyses physico-chimiques de l'eau de mer et l'eau saumure effectuées, au cours de notre étude, sont consignées dans le tableau

Tableau 6 Résultats des analyses physico-chimiques (l'eau mer et l'eau saumurée)

Paramètre	Eau de mer			Eau saumurée		
	X	Xmax	Xmin	X	Xmax	Xmin
La température	15,83	16,79	14,88	18,535	18,59	18,48
Le ph	8,17	8,23	8,11	7,795	7,83	7,76
La turbidité	2,27	2,54	2,01	/	/	/
La conductivité	55,17	55,42	54,92	89,095	90,82	87,37
TDS	38,64	38,84	38,44	45,055	46,41	43,70
La salinité	33,8	34,4	33,2	59,7	59,9	59,5

III.2.1.La température :

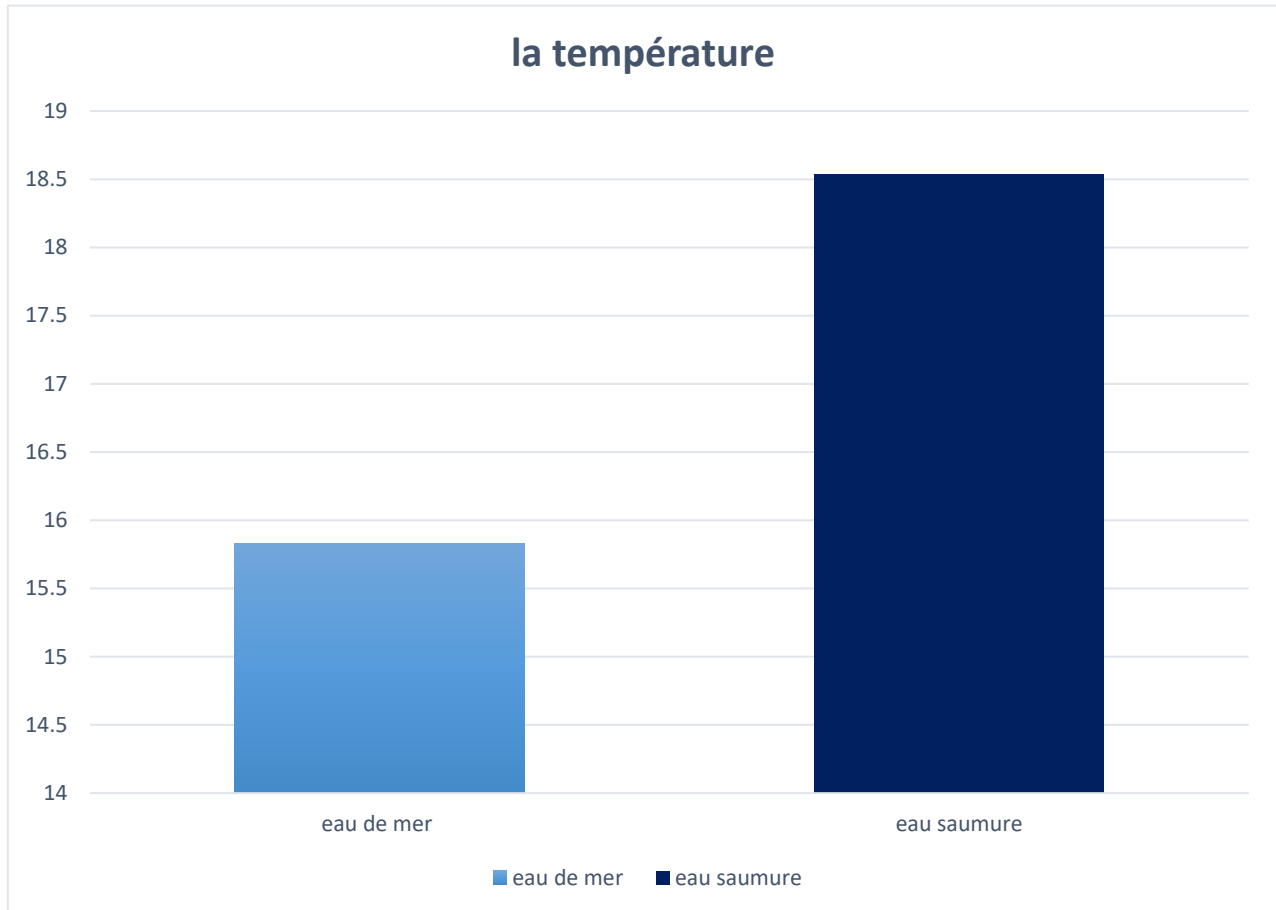


Figure III 1 : Variabilité de la température des eaux de mer, eau de saumure

Le graphique montre que la température de l'eau saumurée est plus élevée que celle de l'eau de mer, que ce soit pour la moyenne, le maximum ou le minimum. Cette différence s'explique par le fait que l'eau saumurée se trouve souvent dans des zones peu profondes et fermées, ce qui la rend plus sensible aux variations de température. De plus, sa salinité plus faible lui permet de se réchauffer plus rapidement. Ainsi, les résultats indiquent que l'eau saumure conserve une température plus élevée en raison de facteurs environnementaux et physiques.

III.2.2.ph :

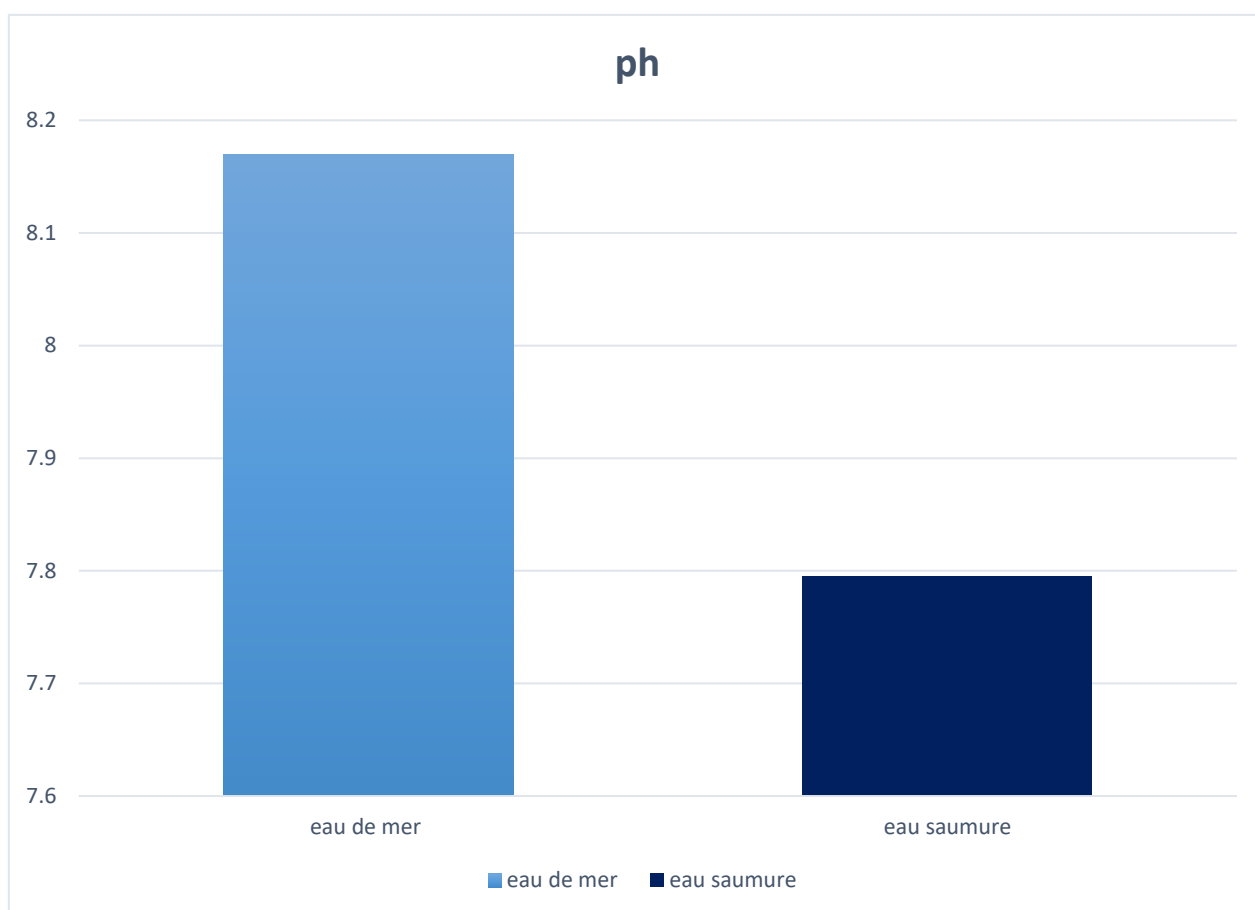


Figure III 2 : Variabilité de ph des eaux de mer, eau de saumure.

Le graphique montre que le pH de l'eau de mer est plus élevé que celui de l'eau saumure, indiquant un caractère plus basique. Cette différence s'explique par la richesse de l'eau de mer en ions bicarbonates et carbonates, qui stabilisent le pH. En revanche, l'eau saumure, issue d'un mélange d'eau douce et d'eau salée, possède une capacité tampon plus faible, la rendant plus sensible aux variations de pH. Ce pH plus bas peut aussi refléter une plus forte concentration en CO₂ ou en matière organique. Ainsi, l'eau de mer est plus stable chimiquement que l'eau saumure.

III.2.3. La conductivité :

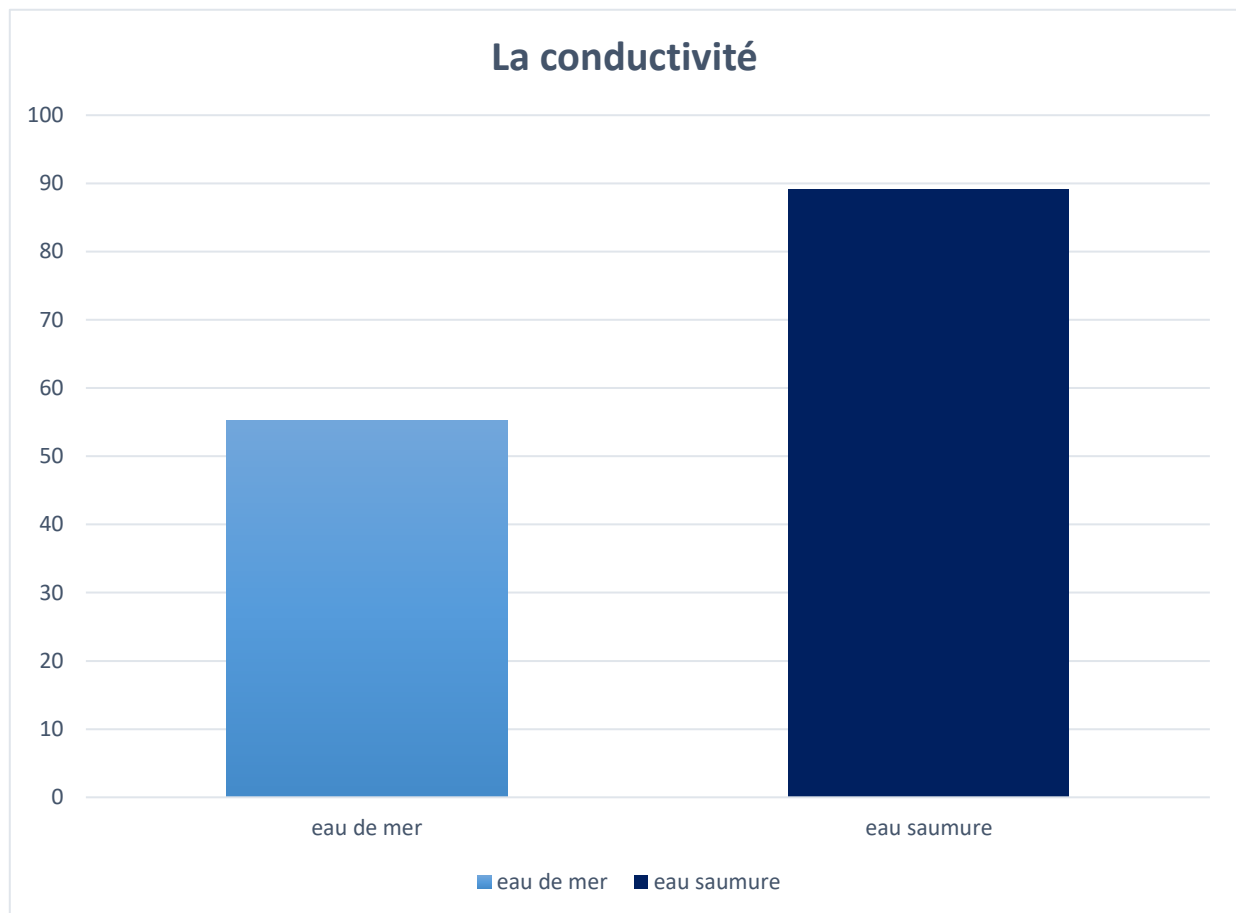


Figure III 3 : Variabilité de la conductivité des eaux de mer, eau de saumure

Le diagramme en barres compare la conductivité électrique de l'eau de mer et de l'eau saumurée . Les valeurs de conductivité mesurées (moyenne, maximale et minimale) indiquent que l'eau saumurée possède une conductivité électrique plus élevée que celle de l'eau de mer. La faible dispersion des valeurs pour les deux types d'eau témoigne d'une salinité relativement stable.

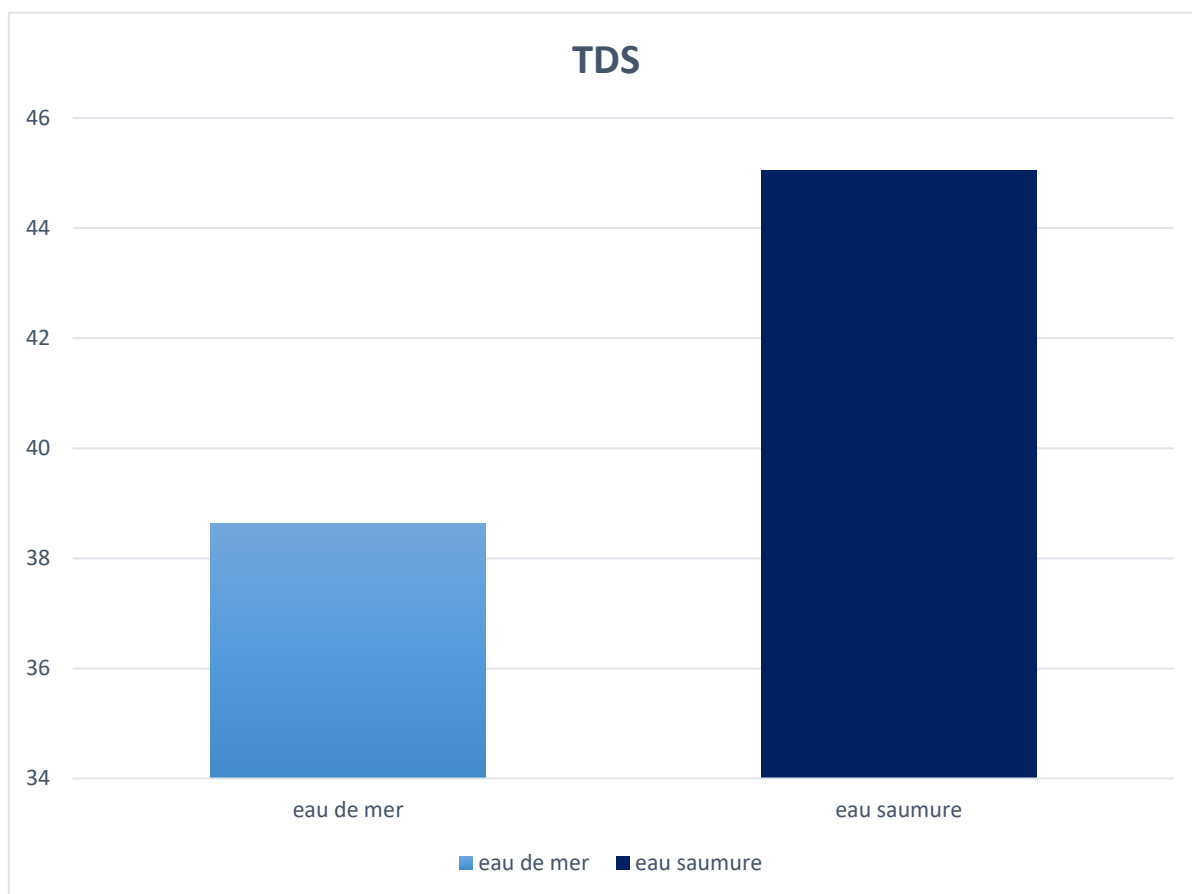
III.2.4. TDS :

Figure III 4 : Variabilité de TDS des eaux de mer, eau de saumure

La valeur moyenne de TDS de l'eau de saumure variant entre une valeur minimale d'ordre de 38,44 et un Maximum de 38,84 avec une valeur moyenne de 38,64, ses valeurs sont un peu plus basses par rapport à l'eau de mer dont la valeur est comprise entre 46,41-43,70 avec une valeur moyenne de 45,055.

III.2.5. La salinité :

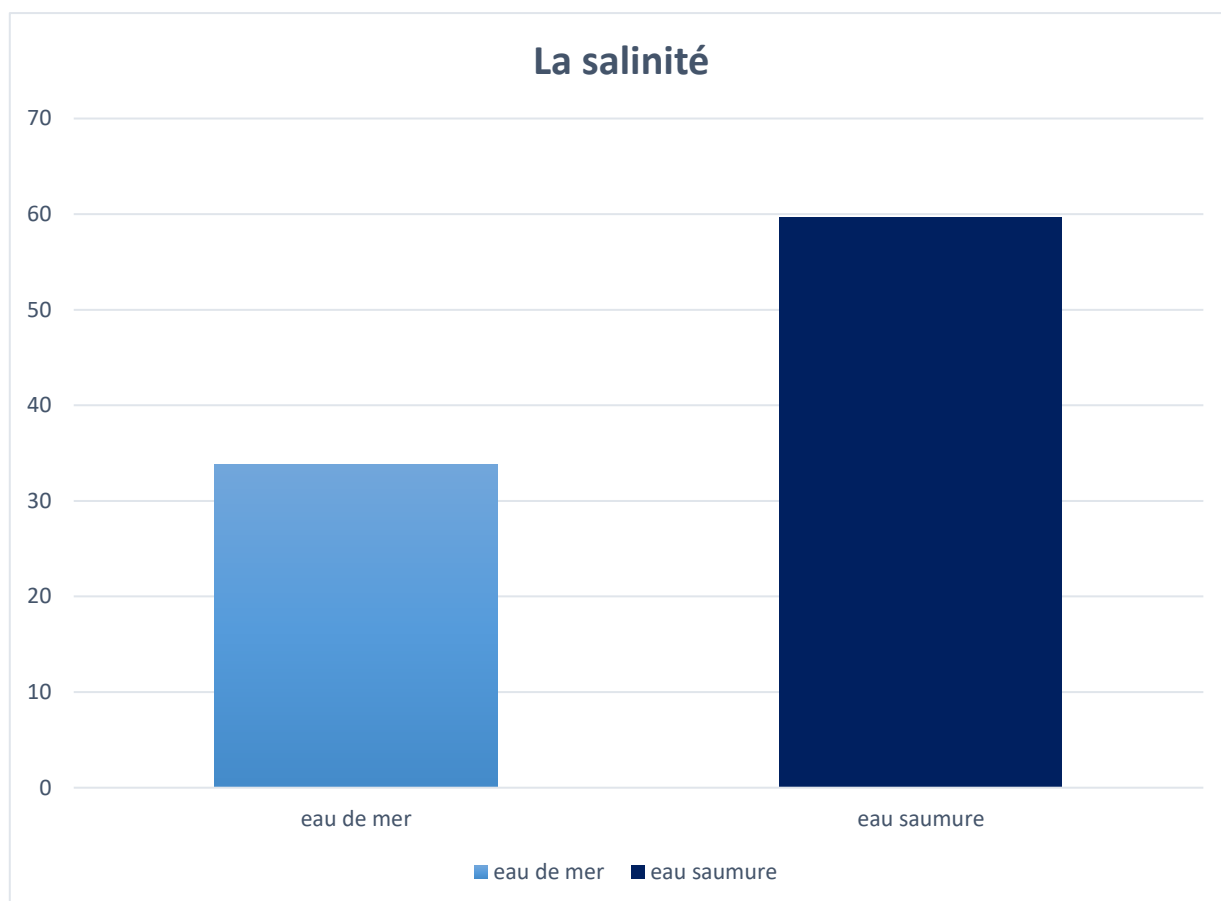


Figure III 5 : Variabilité de la salinité des eaux de mer, eau de saumure

D'après le diagramme et les résultats obtenus concernant la salinité de l'eau de mer et de l'eau saumurée, on observe que la moyenne des valeurs de l'eau saumurée est plus élevée que celle de l'eau de mer. Cela s'explique par le fait que l'eau saumurée contient un mélange d'eau de mer et d'eau douce, ce qui augmente la concentration en sels dissous. De plus, on remarque que les mesures sont relativement homogènes pour l'eau saumure, contrairement à l'eau de mer où l'on note des variations plus importantes. Ainsi, l'eau saumure présente une salinité plus stable et plus élevée en comparaison à l'eau de mer.

III.3. Résultats et interprétation des analyses bactériologiques de l'eau produite :

Dans cette partie, nous présentons les résultats des analyses des différents paramètres bactériologiques mesurées pendant la période d'échantillonnage.

Tableau 7 Résultat des analyses bactériologique de l'eau produite

paramètre	Eau produite	Normes d'analyse
	X	
Germes aérobies à 37°C	1,8.10'	ISO 622 (NF T90-401)
Germes aérobies à 22°C	1,3.10'	ISO 622 (NF T90-402)
Coliforme aérobies 37°C	0	ISO 4831 (NF V08.016)
Coliforme fécaux	0	ISO 4831
Moisissures	0	ISO 7954
Staphylocoques pathogènes	0	ISO 6888

◆ Interprétations des résultats microbiologiques :

Une eau destinée à l'alimentation humaine ne doit contenir aucun germe microbien pathogène. La contamination par les matières fécales est décelée par la présence d'Escherichia-coli, ou de Streptocoques fécaux.

La présence de germes tests de contamination fécale conduit à considérer l'eau comme bactériologiquement impure et menacée de pollution.

Nos analyses montrent que l'eau est de bonne qualité bactériologique ce qui se traduit par une absence de germes test de contamination fécale. D'une part, ce résultat est conforme aux normes d'une eau potable destinée à la consommation humaine. D'autre part, il confirme qu'il y a une bonne désinfection c'est-à-dire une destruction des germes pathogènes.

Les analyses microbiologiques de l'eau dessalée des trois stations sont de bonne qualité microbiologique suivant les normes Algériennes en vigueur.

1. Germes aérobies à 37°C :

Ce taux est faible et reste dans les limites acceptables pour de l'eau potable ou de process, en fonction de la réglementation locale. Une faible présence de germes aérobies mésophiles à 37 °C peut être normale, tant qu'elle ne dépasse pas les seuils recommandés.

2. Germes aérobies à 22°C :

Ce résultat indique également une faible présence de flore aérobie psychrophile, ce qui est généralement acceptable et peut refléter la qualité microbiologique globale du réseau ou du système de traitement de l'eau.

3. Coliforme aérobies 37°C :

L'absence totale de coliformes indique une bonne qualité microbiologique. Cela suggère que l'eau ne présente pas de contamination d'origine fécale ou environnementale récente.

4. Coliforme fécaux :

Résultat excellent. L'absence de coliformes fécaux est un critère fondamental dans l'évaluation de la potabilité de l'eau.

5. Moisissures :

L'absence de moisissures est un indicateur positif de propreté microbiologique, notamment dans le contexte de production d'eau destinée à l'industrie ou à la consommation.

6. Staphylocoques pathogènes :

L'absence de staphylocoques pathogènes est également un excellent indicateur de sécurité microbiologique.

◆ Discussions des interprétations :

Entre janvier et mars 2024, une évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau a été réalisée à la station DESALADORA, portant sur l'eau de mer, l'eau dessalée et l'eau de saumure. Les paramètres analysés incluent : température, TDS, pH, conductivité, résistivité, turbidité, TH, TA, TAC, TH Ca^{2+} , TH Mg^{2+} , nitrites, chlorures, matières en suspension, HCO_3^- , CO_3^{2-} , ainsi que plusieurs indicateurs microbiologiques.

Les résultats montrent que l'eau de saumure présente des concentrations élevées en sels (TDS : 45587,14 mg/L ; conductivité : 58040 $\mu\text{S}/\text{cm}$), bien que inférieures à celles d'autres stations comme Mostaganem et Tlemcen. La température moyenne est de 27,06 °C, inférieure à ZERALDA (41,7 °C) et supérieure à MOSTAGANEM (17,08 °C). Le pH (7,96) est légèrement bas comparé à d'autres stations, mais reste dans une plage neutre.

La **turbidité** est faible (0,28 NTU), indiquant peu de matières en suspension fines. Le **THT** est élevé (2713,43 °f), avec des valeurs importantes pour le **calcium (1120 °f)** et le **magnésium (1593,43 °f)**. Le **TAC** est de 13,51 °f, inférieur à d'autres stations, tandis que la **TA** est faible (1,71 °f).

Les concentrations en **chlorures (14993,75 mg/L)** sont très élevées, pouvant altérer le goût de l'eau. Les **bicarbonates** sont présents à faible concentration (16,31 mg/L). Les **nitrate sont absents**, ce qui peut indiquer une pollution azotée faible ou non détectable, et les **nitrites** sont très faibles (0,03 mg/L).

Sur le plan **bactériologique**, la station DESALADORA montre de bons résultats :

- **Germes aérobies** : 17 000/100 ml (bien inférieurs à MOSTAGANEM et TLEMCEN)
- **Coliformes fécaux et streptocoques fécaux** : non détectés

III.3.1. Indicateurs de suivi de l'impact environnemental

Le rejet en mer de la saumure, caractérisé par une forte salinité et la présence de substances chimiques, peut avoir des effets négatifs sur l'environnement marin, notamment sur les organismes benthiques sténohalins, sensibles aux variations de salinité. Plusieurs critères doivent être pris en compte pour évaluer ces impacts.

III.3.1.1 Température

Le procédé de dessalement, notamment par distillation, peut entraîner une élévation de la température de la saumure par rapport à celle de l'eau de mer ambiante. La littérature indique qu'il est souvent difficile de déterminer si les plages de température sont issues de modèles prédictifs ou de mesures in situ.

Dans le cas de l'osmose inverse (OI), la température des rejets est en général proche de celle de l'eau de mer. Toutefois, certaines études, comme celles menées aux îles Canaries, ont observé des augmentations de température allant de 2 à 9°C dans les rejets d'unités OI.

III.3.1.2 Salinité

L'osmose inverse peut générer des rejets ayant une salinité jusqu'à deux fois supérieure à celle de l'eau de mer (soit jusqu'à 70 g/L). Cette augmentation de salinité accroît la densité de la saumure, pouvant provoquer sa stratification dans les couches profondes si elle n'est pas correctement diluée.

III.3.1.3 pH

La chloration utilisée dans les stations de dessalement peut légèrement abaisser le pH de la saumure par rapport à celui de l'eau d'admission.

III.3.1.4 Oxygène dissous

Les procédés de distillation ont tendance à réduire la teneur en oxygène dissous des rejets. Dans les systèmes à osmose inverse, cet effet est plus limité. Toutefois, l'utilisation de produits chimiques comme le bisulfite de sodium (utilisé pour neutraliser le chlore) peut aussi réduire les niveaux d'oxygène dissous. Une dilution rapide des rejets permet généralement de limiter cet impact.

III.3.1.5 Additifs antitartres

D'après la littérature disponible, aucun impact environnemental direct n'a été identifié concernant l'utilisation d'antitartres ou de séquestrant.

III.3.1.6 Antifouling (ANTI-SALISSURES)

Le chlore est un biocide puissant, peu coûteux, mais toxique pour les organismes marins, même à faible concentration. Il peut également réagir avec les matières organiques de l'eau de mer pour produire des composés halogénés nocifs. Ses effets incluent une stérilisation biologique et la production de sous-produits chimiques toxiques.

III.3.1.7 Antimousses

Les agents antimousses, souvent de nature détergente, peuvent altérer les membranes cellulaires des organismes marins. Les impacts sur l'écosystème marin restent toutefois peu étudiés et sont considérés comme négligeables selon certaines sources.

III.3.2. Impacts potentiels des rejets de saumure sur les ressources marines

III.3.2.1 Facteurs influençant les rejets

- **Volume de saumure rejeté** : L'impact environnemental est directement lié à la quantité de saumure rejetée. Plus le volume est élevé, plus les risques sont importants.
- **Constitution de la saumure** : Les métaux lourds, biocides et faibles teneurs en oxygène dissous peuvent nuire à la faune marine. Ces substances doivent être neutralisées avant rejet.
- **Facteur de dilution** : Une dilution insuffisante peut entraîner une salinité excessive au niveau du fond marin, provoquant une mortalité locale des espèces incapables de tolérer ces variations.
- **Modifications de salinité** : Des variations soudaines peuvent perturber les schémas de migration des poissons, les forçant à s'éloigner des zones de rejet, ce qui peut affecter leur alimentation et leur exposition aux prédateurs.

III.3.2.2 Effets observés

- **Anoxie des fonds marins** : Une stratification de l'eau, avec accumulation de saumure en profondeur, peut conduire à un appauvrissement en oxygène et à une mortalité benthique.
- **Réduction de la lumière** : La turbidité induite par la saumure empêche la lumière de pénétrer en profondeur, ce qui entrave la photosynthèse, notamment pour la POSIDONIA OCEANICA.

- **Altération des communautés biologiques** : Des études montrent une diminution des populations d'échinodermes (PARACENTROTUS LIVIDUS, LEPTOMYSIS POSIDONIAE) près des zones de rejet. Certaines espèces algales ne tolèrent pas des salinités > 40 g/L.
- **Impacts sur les phanérogames marines** : Des mortalités et nécroses ont été observées sur POSIDONIA OCEANICA en Méditerranée. Les seuils de tolérance varient selon les espèces (de +1 PSU à +20 PSU).

Les impacts varient en fonction du site, de la conception de l'usine, de la dynamique hydrologique locale, et de la vulnérabilité écologique du milieu récepteur.

III.3.3. Moyens de réduction des impacts

❖ Durant la phase de conception

- **Cartographie écologique sous-marine** pour identifier les habitats sensibles avant l'implantation de l'usine.
- **Modélisation numérique tridimensionnelle** de la propagation de la salinité afin de concevoir les rejets de façon à éviter les zones écologiquement sensibles. Ce modèle devra être calibré avec des mesures sur site après la mise en service.

❖ Pendant l'exploitation

- **Utilisation d'émissaires sous-marins avec diffuseurs**, permettant une dilution rapide par effet de jet.
- **Conception optimale de l'angle et de la vitesse d'émission**, favorisant la dispersion de la saumure et minimisant les dépôts au fond.

III.3.4. Impact sonore

Les stations utilisant l'osmose inverse produisent des nuisances sonores liées aux pompes et échangeurs de pression. Une isolation acoustique adéquate des installations est indispensable pour limiter ces impacts, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'usine.

III.3.5. Coût énergétique de la production d'eau dessalée

Le dessalement est une activité énergivore. Actuellement, la production d'eau représente environ :

- **5 % de la consommation électrique** dans les pays du nord de la Méditerranée,
- **9 %** dans ceux du sud et de l'est.

Ces chiffres sont en hausse, en raison de la croissance de la demande, du recours accru à la réutilisation et au dessalement. D'ici 2030, la part d'électricité utilisée pour l'eau pourrait atteindre **15 %** dans les pays du sud et de l'est de la Méditerranée.

❖ Solutions énergétiques pour un dessalement durable

- **Optimisation énergétique des procédés**, en particulier l'osmose inverse.
- **Récupération d'énergie** à partir de la saumure rejetée.
- **Utilisation des énergies renouvelables** : solaire thermique, photovoltaïque, éolien.
- **Développement de centrales hybrides** ou couplées à des systèmes de cogénération.
- **Réduction des émissions de CO₂** par l'adoption de technologies à faible empreinte carbone.

Conclusion

Le dessalement constitue une solution d'adaptation au changement climatique, mais doit être intégré dans une stratégie plus large de gestion durable de l'eau. Sa mise en œuvre ne doit pas se faire au détriment d'autres approches plus économes en ressources, comme la réutilisation ou la réduction des pertes d'eau. Les projets de dessalement doivent viser principalement la production d'eau potable et respecter des standards environnementaux rigoureux.



Recommandation

Recommandations :

Face aux impacts environnementaux identifiés lors de l'étude, notamment liés aux rejets de saumure et aux produits chimiques utilisés dans le processus de dessalement, il est essentiel de proposer des mesures concrètes. Les recommandations suivantes visent à limiter ces effets négatifs, à assurer une gestion plus durable des rejets, et à préserver les écosystèmes marins tout en maintenant l'efficacité des stations de dessalement. Pour ce faire, plusieurs mesures peuvent être envisagées, notamment en ce qui concerne :

1. Traitement des rejets :

- Installer des systèmes de traitement pour effluents chimiques.
- Rejeter la saumure dans des zones à forte circulation marine pour une bonne dispersion.
- Éviter les zones écologiquement sensibles.

2. Suivi et contrôle :

- Mettre en place un suivi environnemental régulier (salinité, pH, température, etc.).
- Utiliser des modèles numériques pour prévoir la dispersion des rejets.
- Définir des seuils écologiques pour les principaux polluants.

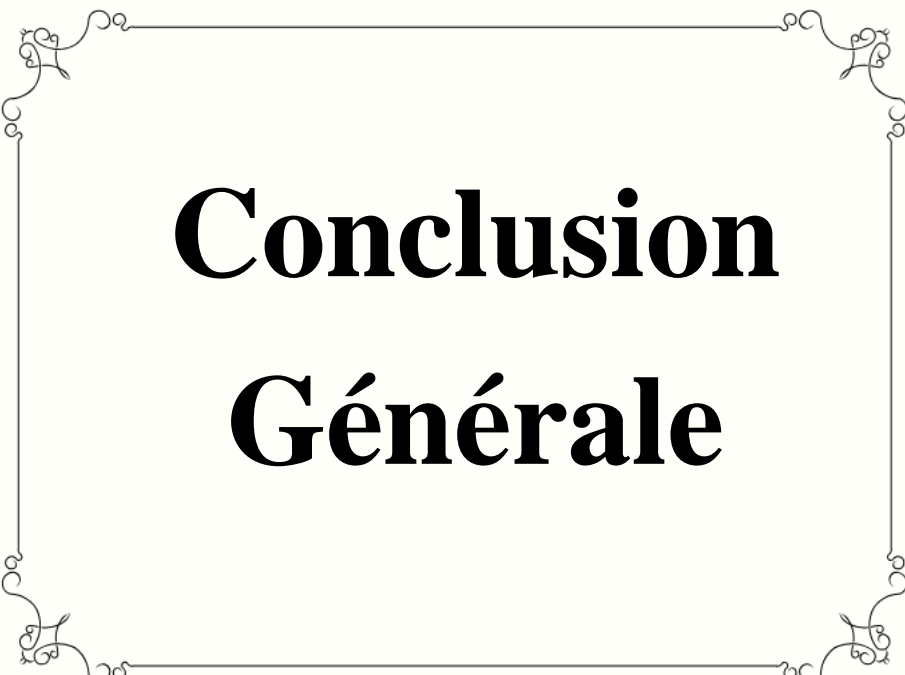
3. Réduction des impacts :

- Limiter les produits chimiques en optant pour des alternatives écologiques.
- Optimiser les procédés pour produire moins de rejets.
- Étudier la faisabilité de **solutions à rejet zéro** (évaporation, cristallisation), malgré leur coût élevé.

4. Énergie et paysage :

- Intégrer les installations dans le paysage, surtout en zones touristiques.
- Utiliser des énergies renouvelables (solaire, éolien) pour réduire les émissions.
- Encourager des **centrales hybrides** pour une meilleure efficacité énergétique.

Ce résumé met en lumière les actions prioritaires à mener pour **réduire l'impact environnemental du dessalement** tout en garantissant une gestion durable de l'eau.



Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion générale :

Le dessalement de l'eau de mer représente aujourd'hui une solution viable et compétitive face à la raréfaction des ressources en eau douce. Les progrès technologiques constants dans ce domaine ont permis d'améliorer l'efficacité des procédés, de réduire les coûts de production et d'augmenter les capacités de traitement. La maîtrise de l'énergie reste un facteur déterminant pour optimiser le rendement des installations, notamment grâce à la récupération énergétique et à l'utilisation de sources d'énergie renouvelables, économiques et non polluantes.

Cependant, cette technologie n'est pas sans impacts environnementaux. L'analyse des rejets de saumure dans le milieu marin révèle des concentrations salines élevées, bien supérieures aux normes, ce qui perturbe gravement les écosystèmes aquatiques. Ces rejets altèrent la composition chimique de l'eau de mer, entraînant une baisse de la concentration en oxygène dissous, ce qui peut compromettre la survie de nombreuses espèces marines.

Par ailleurs, l'eau de mer, de par ses caractéristiques physico-chimiques et biologiques, est naturellement entartrante et corrosive. Cela engendre des problèmes d'exploitation, notamment l'entartrage et la corrosion des équipements des unités de dessalement, qui peuvent compromettre leur durabilité et leur performance.

Pour une exploitation plus durable de cette ressource, plusieurs solutions doivent être envisagées : le choix judicieux du procédé de dessalement en tenant compte des aspects économiques, technologiques et environnementaux ; l'optimisation des traitements de l'eau à dessaler ; et la mise en place de procédés de neutralisation des rejets.

Ainsi, il est recommandé de tester le traitement des saumures issues du dessalement par décantation à travers une série de bassins. Cette méthode permettrait non seulement de réduire la pollution marine, mais également de valoriser les résidus salins, notamment par la récupération du chlorure de sodium (NaCl).



Bibliographies

Liste des références bibliographiques

- [1] Atallah, A. (2014). Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station HONAINE. Mémoire de fin d'étude, Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
- [2] Bakalowicz, M. (1999). Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 25 p.
- [3] BIYOUNE, M.G. (2017). Techniques de reminéralisation des eaux dessalées. Éditions universitaires européennes.
- [4] Boye, H. (2008). Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée. Plan Bleu. URL : <https://planbleu.org/fr/publications/eau-energie-dessalement-et-changement-climatique-en-mediterranee> (consulté le 19/12/2019).
- [5] Cooley, H., Gleick, P.H., & Wolff, G. (2006). Desalination, with a grain of salt. A California Perspective. Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security, Oakland, California.
- [6] Fathalli, B. (2011). Influence des paramètres opératoires sur la performance d'un système de dessalement par osmose inverse. École Nationale des Ingénieurs de Tunis ; Master professionnel sources alternatives en eau.
- [7] Fernández-Torquemada, Y. & Sánchez-Lizaso, J.L. (2013). Effects of salinity on seed germination and early seedling growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile, Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 37.
- [8] 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.
- [9] Henri, L. & Kamel, F. (2008). Dessalement de l'eau de mer et des saumâtres par osmose inverse. Middle East Desalination Research Center & Université Saad Dahlab de Blida, Algérie.
- [10] Hoepner, T., & Lattemann, S. (2003). Chemical impacts from seawater desalination plants: A case study of the northern Red Sea, Desalination, vol. 152.
- [11] Janah, Y., Nouh, F.A., & Kettab, A. (2017). Les techniques de dessalement et les énergies renouvelables. Éditions universitaires européennes.
- [12] Lattemann, S. & Höpner, T. (2003). Seawater Desalination: Impacts of Brine and Chemical Discharge on the Marine Environment. Desalination Publications, L'Aquila, Italy.
- [13] Le Calvé, O. (2002). Propriétés physiques du milieu marin. Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var, France.
- [14] Lebleu, N. (2007). Désinfection des eaux par procédés membranaires, étude des mécanismes de transfert des bactéries. Thèse de doctorat, Université de Toulouse.

-
- [15] Maurel, A. (2006). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres (2e éd.). TEC & DOC.
- [16] Mabrook, B. (1994). Environmental impact of waste brine disposal of desalination plants, Red Sea, Egypt. Desalination.
- [17] Moulin, B. (2004). Le kayak et la mer. Édition Le Canotier.
- [18] NRC (National Research Council). (2008). Desalination: A National Perspective. Water Science and Technology Board, National Academies Press.
- [19] PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement). (2001). Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens: évaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées. Athènes.
- [20] PNUE/MAP. (2003). Dessalement de l'eau de mer en Méditerranée: évaluation et lignes directrices. MAP Technical Reports Series No. 37, Athènes.
- [21] Rashad, D. (2007). Desalination Plants: Potential impacts of brine discharge on marine life. Final Project, The University of Sydney, Australia.
- [22] Renaudin, V. (2003). Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. CNRS, Nancy.
- [23] Rodier, J., Legube, B., & Merlat, N. (2005). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (8e éd.). Paris : Dunod.
- [24] Savary, P. (2010). Guide des analyses de la qualité de l'eau. Éditions Territorial.
- [25] SYMBIOSE. (2005). Eau, Énergie, Environnement, N° 22, Oct-Nov-Déc, ISSN : 1111-4851.

Annexe

❖ **Température :**

Mode opératoire :

L'appareil a d'abord été mis en marche, puis étalonné à l'aide de l'eau produite. Ensuite, la sonde a été immergée dans un bécher contenant environ 100 ml de l'échantillon à analyser, en agitant légèrement. Une fois la lecture stabilisée, la température en degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$) a été relevée (voir Fig.).

Il est important de rincer soigneusement la sonde après chaque mesure afin d'éviter toute contamination croisée entre les échantillons.



Figure II 15 : Appareil de mesure la température.

❖ **PH**

Mode opératoire :

Le pH permet d'évaluer le niveau d'acidité ou de basicité d'une solution. Sa mesure est réalisée à l'aide d'un appareil multiparamètres équipé d'une sonde, capable de mesurer à la fois la température et le pH. Le protocole de mesure du pH suit la même procédure que celle utilisée pour la température.



Figure II 16 : PH mètre

❖ Conductivité

- La mesure de la conductivité a été réalisée à l'aide d'un appareil multiparamètres équipé d'une sonde.

a) Mode opératoire :

L'appareil est d'abord mis en marche, puis étalonné à l'aide de l'eau produite. La sonde est ensuite plongée dans un bécher contenant environ 100 ml de l'échantillon, tout en agitant légèrement. Une fois la valeur stabilisée, la conductivité est relevée et exprimée en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Il est impératif de rincer la sonde après chaque mesure afin d'éviter toute contamination.

Le même appareil et le même protocole ont été utilisés pour mesurer la résistivité ainsi que la concentration en solides dissous totaux (TDS).



Figure II 17 : Multi-paramètres à sonde

❖ Turbidité

L'appareil utilisé est le turbidimètre (HI 88703)

On met l'échantillon dans une cuve qui doit être essuyé à l'aide d'un papier absorbant doux pour enlever les gouttes d'eau et les traces des doigts

placer la cuve dans le puits de mesure et fermer le capot

lire et noter la résultat affiché (Résultats sont exprimés en NTU)



Figure II 18 : Turbidimètre

Détermination du chlore libre:

- Mode opératoire :

Une fois que l'échantillon a été reçu et enregistré conformément à la procédure de gestion pour la manipulation de l'échantillon, le chlore libre est déterminé :

1. Allumer l'appareil, attendre qu'il s'autocontrôle.
2. Insérer 10 ml de l'échantillon dans la cellule de réaction propre.
3. Ajouter un sachet de réactif au chlore libre dans le flacon.
4. Agiter le flacon fermement fermé jusqu'à ce que le réactif soit complètement dissous.
5. Laisser reposer pendant 1 minute.
6. Placer la cuvette dans le puits de cuve du colorimètre avec la ligne verticale devant l'observateur jusqu'à ce qu'elle s'enclenche dans la fente.
7. Placer la cuvette dans le puits de cuve du colorimètre avec la ligne verticale devant l'observateur jusqu'à ce qu'elle s'enclenche dans la fente.



❖ Détermination Dureté totale et Calcium TH:

- Mode opératoire :

À la détermination de la dureté totale :

1. Distribuer 50 ml avec la pipette de 50 ml dans un bécher

2. Aouter 5 ml de solution tampon d'ammoniac-chlorure d'ammonium avec pipette automatique
3. Ajouter les deux microcuillères de noir d'ériochrome de T. La solution vire au rouge.
4. Remuer soigneusement pour homogénéiser la solution.
5. Remplir la burette de dosage EDTA, sortir l'air du tuyau doseur avec de full activé et en sens contraire allumer la burette, appuyer sur "On".
6. Une fois étalonnée, on commence à faire l'évaluation en versant progressivement EDTA et en remuant soigneusement le bécher dans le but d'homogénéiser la solution.
7. L'évaluation est terminée lorsque la solution change de couleur, de rouge vin à bleu.
8. On lit la valeur obtenue sur le display d'affichage numérique de la burette et le note.



Figure II 20 : Détermination Dureté totale TH.

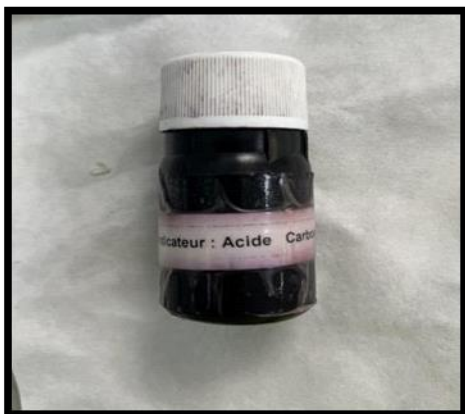
Détermination de la dureté calcique:

- **Mode opératoire :**

- 100 ml d'échantillon dans un Bécher
- 10 ml de la solution Na OH à 2N

Ajouter une pincée de l'indicateur : Acide calcéone carboxylique

- La solution se colore en violet (Rouge vin)
- Lancer la titration avec L'EDTA à 0.02N
- Agiter la solution manuellement
- Virage de la couleur du violet au Bleu
- Noté le de l'EDTA versé V EDTA



Détermination de la dureté calcique:

Détermination du TAC:

- **Mode opératoire :**

- 50 ml d'échantillon dans un Bécher + barreau magnétique
- Ajout de 2 à 3 gouttes de l'indicateur mixte : vert bromocrésol + méthyle rouge
- Apparition de la couleur bleue
- Lancer la goutte à L'Acide Sulfurique à (0.002 N)
- Virage de la couleur Bleu au vert clair

- ❖ **Titre alcalimétrique simple(TA):**

Mode opératoire :

1.50 ml d'échantillon dans un Bécher + barreau magnétique

2.Ajout de 2 à 3 gouttes de Phénolphtaléine:

•Si : TA=00 ⇒ Pas de couleur rose

•Si : Ta≠ 00 Apparition de la couleur rose

3.Lancer la titration goutte à goutte avec L'Acide Sulfurique H₂SO₄ à (0.002 N) 4.Agitation

5.Disparition de la couleur rose A l'incolore (Transparence)

6.Noté le volume de l'H₂ SO, versé V H₂ SO.

❖ Détermination la totale des sels dissous TDS :

Principe et mode opératoire :

La mesure la conductivité nous donne une idée plus rapide de la concentration du sel dissous dans l'eau.

Pour le mesurer, nous dépendons du mouvement du courant électrique, qui est une fonction directe de la concentration ionique de solution.

•Préchauffez le four à 180 degrés Celsius

•Homogénéiser l'échantillon avec un agitateur magnétique

•On met un filtre dans un entonnoir Buchner que l'on humidifie avec un peu d'eau pur

•Nous nommons une taille d'échantillon qui définit V

•Nous pesons et enregistrons le poids de la plaque d'évaporation vide W₂

•Versez l'échantillon de filtre dans la coupelle d'évaporation

•Nous mettons la capsule et filtrons au four pendant deux heures

•Après 2 heures, nous retirons la capsule et la laissons refroidir dans la sécheuse

•Ensuite, nous pesons la capsule et enregistrons le poids W₁

W₁ 1μS/ cm équivaut 0,7 mg/l

❖ Détermination de SDI :

❖ Principe et mode opératoire :

-
1. Rinçage initial de la conduite : Faire couler l'eau pendant 3 à 5 minutes. Si un prétraitement est présent, il doit être activé.
 2. Connexion de l'appareil : Raccorder l'appareil SDI (sans filtre) à la ligne de prélèvement via une connexion NPTM.
 3. Rinçage de l'appareil : Ouvrir la vanne de l'appareil et le rincer pendant 2 minutes avec l'eau à analyser.
 4. Réglage de la pression : Régler la pression à 30 psi (2 bars) à l'aide du régulateur, avec un léger débit.
 5. Mise en place du filtre : Fermer la vanne, relâcher la pression, puis insérer avec précaution une membrane de 0,45 µm (HAWO 047 00 ou HAEP 047 00) dans le récipient. Placer le côté clair ou hydrophobe vers le haut.
 6. Purge de l'air : Ouvrir partiellement la vanne pour laisser s'écouler l'eau et desserrer les manivelles pour libérer l'air du récipient.
 7. Fermeture finale : Serrer à nouveau les vis du contenant avec le pouce une fois l'air évacué.

Mesure des matières en suspensions (MES) :

Les matières en suspension désignent la fraction des éléments non dissous, de tailles granulométriques variées, transportés par l'eau de mer. Elles peuvent être d'origine minérale, comme les particules de sable ou d'argile, ou d'origine organique, telles que les résidus de matières vivantes

Mesure de magnésium (Mg):

Le magnésium présent dans l'eau peut être estimé indirectement, en calculant la différence entre la dureté totale de l'eau et la dureté due au calcium, toutes deux exprimées en équivalent CaCO₃.

La relation est donnée par la formule suivante :

$$TH = TH(Ca^{2+}) + TH(Mg^{2+})$$

Ainsi, la dureté magnésienne se calcule comme suit :

$$TH(Mg^{2+}) = TH - TH(Ca^{2+})$$

Mesure d'analyses microbiologique :

Objectif :

L'objectif est de détecter et quantifier les microorganismes présents dans une eau de produit, en particulier les germes aérobies mésophiles, coliformes totaux, Escherichia coli, entérocoques intestinaux, et parfois Pseudomonas aeruginosa ou autres pathogènes spécifiques, afin d'évaluer sa conformité aux normes de qualité microbiologique.

Mode opératoire :

1. Préparation :

Désinfecter le plan de travail.

Préparer tout le matériel dans des conditions aseptiques.

Numéroter les boîtes de Pétri et noter les conditions d'incubation.

2 Prélèvement de l'échantillon :

- Prélever 100 mL d'eau stérilement dans un flacon stérile.

- Si nécessaire, effectuer des dilutions décimales.

3.Filtration sur membrane :

- Placer la membrane sur l'unité de filtration

- Filtrer 100 mL de l'échantillon.

- Rincer les parois internes avec 10 mL d'eau stérile.

4.Ensemencement :

- Placer la membrane sur le milieu de culture approprié :

- PCA → incubation à 22°C (72 h) ou 37°C (48 h) pour germes aérobies

- TBX agar → 44°C (24 h) pour E. coli

- Slanetz and Bartley → 37°C (48 h) pour entérocoques

- Cetrimide → 37°C (48 h) pour Pseudomonas aeruginosa

5.Lecture des résultats :

- Compter les colonies caractéristiques (couleur, forme).

- Résultats exprimés en UFC/100 mL.

- Comparer aux seuils réglementaires (ex. : E. coli = 0 UFC/100 mL pour eau potable).

6.Paramètres chimique :

Dosage des nitrites :

a) Principe :

En ajoutant un certain volume de KMnO_4 à l'échantillon à analyser dans un milieu acide, les ions nitrites réagissent seulement avec les ions permanganates. La solution est ensuite chauffée pour que la réaction soit

complète. L'excès de permanganate est dosé par l'oxalate de sodium ajouté qui à son tour est titré par une solution étalon de permanganate de potassium.

b) Réactifs :

1. Permanganate de potassium (KMnO_4) à 0,04 N.
2. Acide sulfurique (H_2SO_4) à 1/2.
3. Oxalate de sodium ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) préparé dans des piluliers.

c) Mode opératoire :

Si l'échantillon est trouble, le filtrer de préférence

1. Prendre une PE de 50 ml dans un erlenmeyer de 250 ml.
2. Ajouter 50 ml de KMnO_4 à 0,04 N.
3. Ajouter 10 ml de H_2SO_4 à 1/2.
4. Chauffer sur un bain de sable jusqu'à environ 90°C .
5. Retirer l'erien du bain et le mettre sur un agitateur magnétique.
6. Ajouter 50 ml de $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ préparé au moment du dosage.
7. La solution doit se décolorer après rajout de $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$.
8. Titrer avec KMnO_4 à 0,04 N jusqu'au virage au rose.
9. Blanc : Même procédure mais avec de l'eau produite.

Dosage des chlorures :

Cette méthode est applicable pour les eaux industrielles qui ont une concentration en chlorure de 5 ppm et plus, ou des eaux qui ont une grande concentration des métaux lourds qui rendent la méthode mercurimétrique impraticable.

a) Principe :

Le pH de l'échantillon doit être ajusté à 8,3, le titrage sera fait à l'aide d'une solution de nitrate d'argent en présence de l'indicateur chromate de potassium jusqu'au virage rouge brique.

b) Réactifs :

1. Chromate de potassium (K_2CrO_4)
2. Nitrate d'argent (AgNO_3)
3. Chlorure de sodium (NaCl)

c) Mode opératoire :

Prendre une PE de 50 ml ajuster le pH à 8,3 avec une solution de H₂SO₄ (1+19) et une solution de NaOH à (10g/l), ajouter quelque gouttes de l'indicateur K₂CrO₄ et titrer jusqu'au virage rouge brique

d) Calculs

$$[CL^-]g/l = T * V / PE$$

T : Titre de la solution du nitrate d'argent.

V : Volume versé de la solution nitrate d'argent. PE : Volume de la prise d'échantillon.

❖ Méthodes d'analyse microbiologique :

L'objectif de l'analyse bactériologique de nos échantillons n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes mais de rechercher les pathogènes qui accompagnent les indicateurs de contamination fécale.

Au niveau de la station, des prélèvements d'eau pour les trois points d'échantillonnage ont été effectués pour l'analyse bactériologique, à l'aide des flacons en verre préalablement stérilisés de 500 ml. Un étiquetage précis est élaboré pour une aisance reconnaissance des types d'eau avant le remplissage des flacons. Tous les échantillons sont ensuite conservés dans une glacière transportable pour des analyses ultérieures au laboratoire.

Le travail effectué au laboratoire des analyses EPE Prémix dans la région d'El-Harouche, Les échantillons doivent être transportés dans des glacières portatives (+4°C), à l'abri de la lumière et les analyses doivent être exécutées dans les 6 heures au maximum qui suivirent les prélèvements pour éviter les modifications des caractéristiques de l'échantillon. (Rodier, 2014).

Il peut arriver en effet que les premières lectures bactériologiques, 24 ou 48 heures, après ensemencement donne des résultats inattendus, incitant à vérifier l'analyse. Un tel examen de contrôle n'aura évidemment qu'une valeur indicative.