



Faculty of Sciences and Technology

Department of Process Engineering

Ref:...../U.M/F.S.T/2026

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم هندسة الطرائق

رقم: / ج. م. ك. ع. ت. / 2026

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GENIE DES PROCEDES**

Option : **GENIE DES PROCEDES DE L'ENVIRONNEMENT**

THÈME

**Etude des paramètres physico-chimiques au niveau de la station
de dessalement de l'eau de mer de Sonachter à Mostaganem**

Présenté par

1- Belkacem Moudjib Ellah Mansour

Soutenu le : 01/10/ 2026 devant le jury composé de :

Présidente :	Dr. BENALIOUA Bahia	Grade M.C.A	Université de Mostaganem
Examinatrice :	M ^{me} . BELHOUARI Houria	Grade M.A.A	Université de Mostaganem
Rapporteur :	Dr. TOUMI Imene	Grade M.C.A	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2025/2026

Remerciement

Tout d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant de nous avoir accordé la santé, la force et le courage nécessaires pour mener à bien ce travail.

J'exprime également ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon encadrante, Madame TOUMI, enseignante à l'Université de Mostaganem pour son accompagnement, ses conseils et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce travail. Sans son soutien et ses orientations, ce travail n'aurait pas pu aboutir.

J'adresse également mes sincères remerciements au Directeur de production de la station de dessalement de Mostaganem, ainsi qu'à l'ensemble du personnel, pour leur accueil chaleureux, leur disponibilité et la confiance qu'ils nous ont accordée durant notre période de travail au sein de la station.

Je tiens également à remercier tous les enseignants qui ont contribué à notre formation et nous ont transmis leurs connaissances et leur savoir-faire tout au long de notre parcours universitaire.

Enfin, mes sincères remerciements vont à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail, ainsi qu'aux membres du jury pour avoir accepté de consacrer leur temps à la lecture, à l'évaluation et à la critique de ce mémoire.

Merci

Résumé :

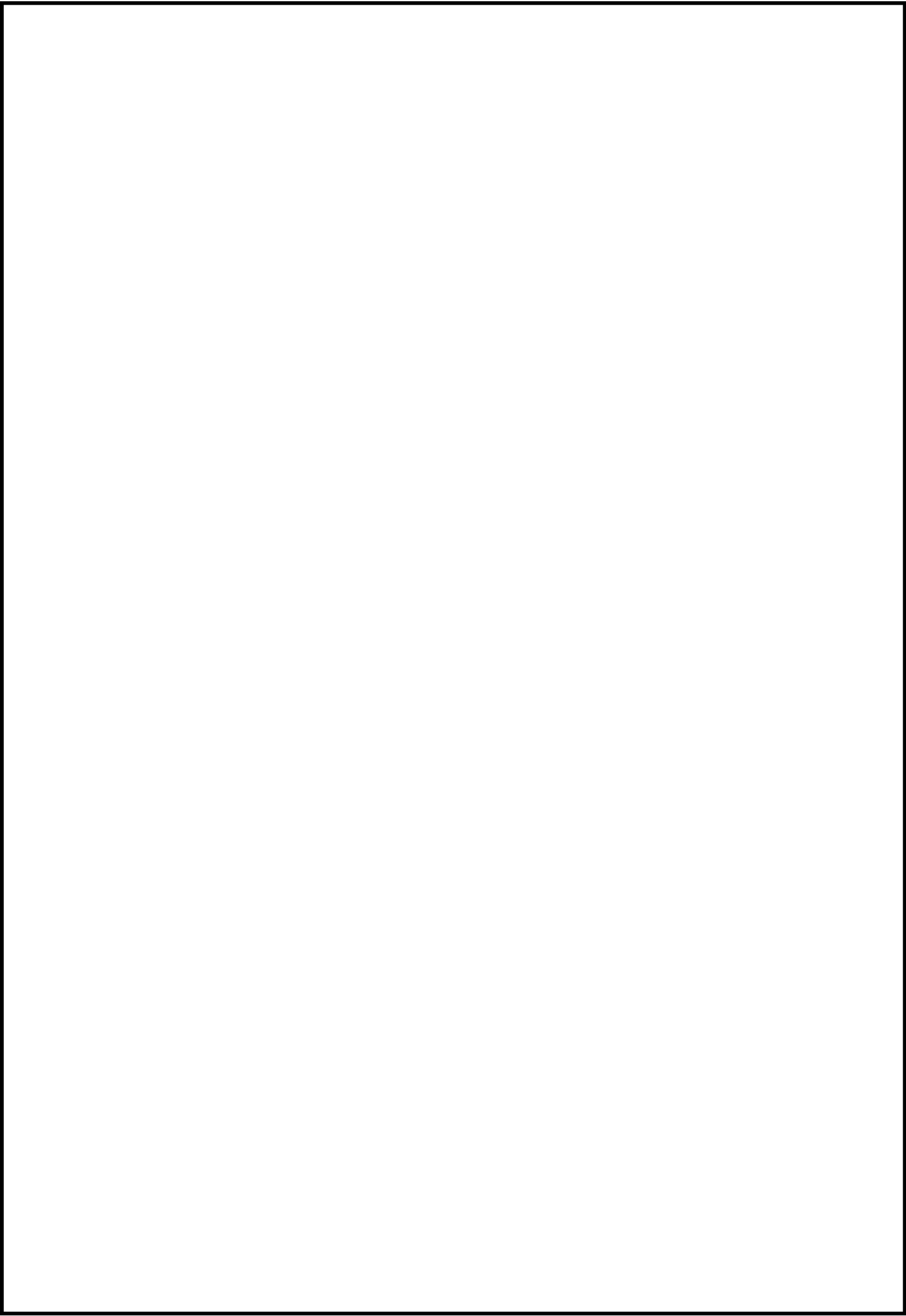
L'augmentation de la population et la diminution des ressources en eau douce constituent un enjeu important dans de nombreuses régions du monde. Dans ce contexte, le dessalement de l'eau de mer représente une solution pour répondre aux besoins croissants en eau potable. Dans cette étude, des analyses physico-chimiques et organoleptiques ont été réalisées sur l'eau de mer, l'eau dessalée et l'eau de rejet de la station de dessalement de Mostaganem. Les résultats montrent une diminution importante de la salinité et de certains minéraux dans l'eau traitée, notamment le magnésium et la dureté totale, principalement grâce à l'efficacité du procédé d'osmose inverse. En revanche, l'eau de rejet présente une augmentation de la salinité et de la conductivité, due à la concentration des sels lors du processus de dessalement. Ces résultats montrent ainsi l'importance d'une gestion adéquate des rejets afin de limiter leur impact potentiel sur l'environnement marin

Abstract:

The increase in population and the decrease in freshwater resources constitute an important issue in many regions of the world. In this context, seawater desalination represents a solution to meet the growing needs for drinking water. In this study, physicochemical and organoleptic analyses were carried out on seawater, desalinated water, and reject water from the Mostaganem desalination plant. The results show a significant decrease in salinity and certain minerals in the treated water, particularly magnesium and total hardness, mainly due to the efficiency of the reverse osmosis process. On the other hand, the rejected water shows an increase in salinity and conductivity, due to the concentration of salts during the desalination process. These results therefore demonstrate the importance of proper management of the rejects in order to limit their potential impact on the marine environment.

ملخص

يشكل النمو السكاني وتضاؤل موارد المياه العذبة تحديا كبيرا في أجزاء كثيرة من العالم و في هذا السياق يمثل تحلية مياه البحر حلا لتلبية الحاجة المتزايدة لمياه الشرب. في هذه الدراسة أجريت تحليلات فيزيائية و كيميائية و حسية على مياه البحر و المياه المحلّات و المياه الخارجة من محطة تحلية المياه في مستغانم. تظهر النتائج انخفاضاً ملحوظاً في الملوحة و بعض المعادن و خاصة المغنيسيوم و العسر الكلي و يعود ذلك أساساً إلى كفاءة عملية التناضح العكسي في المقابل، تُظهر المياه الخارجة زيادة في الملوحة و التوصيل الكهربائي، نتيجة لتركيز الأملاح أثناء عملية التحلية. تُبين هذه النتائج بالتالي أهمية الإدارة السليمة للمياه الخارجة للحد من تأثيرها المحتمل على البيئة البحرية.



Liste des abréviations

SONTARCH : Société Nationale de Transport et Commercialisation des Hydrocarbures.

SONELGAZ : Société Nationale Electricité et Gaz.

GN : Gaz Naturel.

GNL : Gaz Naturel Liquéfié.

GL2 /Z : gaz liquéfié zone 2.

MSF : Multi Stage Flash.

Ph : potentiel d'hydrogène.

Al : Alcalinité

dB : Décibels (unité de mesure le bruit)

EB : Eau Brute

ED : Electrodialyse

EDTA : Ethylène Diamine Tétra Acétique

ER : Eau Rejetée

ERI : Energy Recovery INC

Hab. : Habitant

MSF : Multi Stage Flash

mm/an: Millimeter par an

N : Normalité

NTU : Unité Néphélométrique de Turbidité

OI : Osmose Inverse

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONM : Office National de Météorologie

Ppm : Partie par million

RN : La Route Nationale

S : Salinité

T : Température

TDS : Solides Totaux Dissous

TH : Titre Hydrométrique (la dureté totale)

TSS : Total des matières solides en suspension

Turb : Turbidité

UCV : Unité de couleur vraie

UPS : Unité pratique de salinité

MTD : Matières dissoutes totales

Liste des figures

Figure I.1: Coagulation floculation.....	6
Figure I.2: Procédés de dessalement classés selon leurs principes.....	7
Figure I.3 : Fonction de la membrane osmose inverse	8
Figure I.4: Structure d'une membrane et son principe	8
Figure I.5 : Principe d'électrodialyse.....	9
Figure I.6 : Distillation à simple effet.....	10
Figure I.7 : Principe de la distillation à multiple effet.....	11
Figure I.8 : Les stations de dessalement en Algérie	15
Figure II.1: localisation de la station de dessalement Sonachter	19
Figure II.2 : Photographie générale de la station de dessalement de Mostaganem	19
Figure II.3 : Schéma général de la station de dessalement de Mostaganem.....	21
Figure II.4: Les deux tours de captage de l'eau de mer	22
Figure II.5 : Station de pompage de l'eau de mer	23
Figure II.6 : Filtres à sable et anthracite	25
Figure II.7 : Les filtres à sable.....	25
Figure II.8 : Filtres à cartouches.....	26
Figure II.9 : Osmose inverse (Station de MOSTAGANEM)	27
Figure II.10 : le schéma de membrane	27
Figure II.11 : Châssis d'osmose inverse.....	28
Figure II.12: la pompe Booster.....	29
Figure II.13 : Les lits de calcite	30
Figure III.1: appareil multi-paramètre	33
Figure III.2 : l'appareille de mesure de la turbidité.....	34
Figure III.3 : Le titrage (la dureté de l'eau).....	35
Figure III.4: Étalonnage.....	36
Figure III.5 : Comparaison du pH de l'eau produite avec les normes de qualité	39
Figure III.6: Comparaison de la température de l'eau prdt avec les normes de qualité	39

Figure III 7 : Comparaison de la dureté de l'eau produite et les normes de qualité.....	40
Figure III.8: Comparaison de la turbidité de l'eau produite avec les normes de qualité.....	41
Figure III.9 : Comparaison du calcium de l'eau produite avec les normes de qualité.....	41
Figure III.10 : Comparaison du PH de l'eau de mer et l'eau de rejet.....	42
Figure III.11: Comparaison de la température de l'eau de mer et l'eau de rejet	43
Figure III.12: Comparaison de la turbidité de l'eau de mer et l'eau de rejet.....	43
Figure III.13: Comparaison du MTD de l'eau de mer et l'eau de rejet	44
Figure III.14: Localisation de la Station d'épuration et de la station de dessalement projetée de la Wilaya de Mostaganem	46

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Composition minérale de l'eau de mer.....	12
Tableau I.2 : Les principales unités de dessalement en Algérie.....	16
Tableau III.1: Les résultats d'analyses de l'eau produite pendant le mois d'Avril.....	37
Tableau III.2 : Comparaison des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée avec les valeurs de référence de l'OMS	38.
Tableau III.3 : Les résultats d'analyses de l'eau de mer (brute) et l'eau de rejet.....	42
Tableau III.4: Évolution de la production journalière de la station de dessalement de Mostaganem	44

Sommaire

Remerciement	
Résumé	
Liste des abréviations	
Listes des figures et des tableaux	
Introduction générale	01

Partie théorique

Chapitre I : Généralités sur le dessalement de l'eau de mer en Algérie

I.1 Introduction.	5
I.2 Définition du dessalement de l'eau de mer	5
I.3 Les étapes de dessalement	5
I.3.1 Prise d'eau de mer	5
I.3.2 Prétraitement.....	6
I.3.2.1 Coagulation –floculation	6
I.3.2.2 La filtration.....	6
I.3.2.3 La microfiltration.....	7
I.4 Les procédés de dessalement.....	7
I.4.1 Les procédés à membranes.....	7
I.4.1.1 L'osmose inverse.....	8
I.4.1.2 Electrodialyse	9
I.4.2 Les procédés de distillation	9
I.4.2.1 Distillation à simple effet	9
I.4.2.2 Distillation multi-flash	10
I.4.2.3 Distillation à multiples effets.	10
I.4.2.4 Distillation couplée à l'énergie nucléaire	11
I.5 Eau de mer.....	11

I.5.1 Compositions de l'eau de mer	12
I.6 Avantages et inconvénients du dessalement de l'eau de mer	13
I.7 Les problèmes techniques rencontrés en dessalement.....	13
I.7.1 Entartrage	13
I.7.2 Corrosion	14
I.7.3 Colmatage.....	14
I.8 Dessalement en Algérie.....	14
I.9 Conclusion.....	16

Chapitre II : Présentation de l'unité de dessalement de Sonachter à Mostaganem

II.1 Introduction	18
II.2 Présentation de la station de dessalement de Mostaganem (Sonachter)	18
II.2.1 Caractéristiques	18
II.2.2 Profil démographique de la zone d'étude	20
II.2.3 Caractéristiques climatiques de la zone d'étude.....	20
II.2.4 Les Données chimiques de l'Eau de mer.....	20
II.3 Procédé de dessalement utilisé à la station de Mostaganem	21
II.3.1 Tours et tuyauterie de captage de l'eau de mer.	22
II.3.2 Le système de prétraitement.....	23
II.3.2.1 Prétraitement chimique	23
II.3.2 Prétraitement physique.....	24
II.3.2.1 La filtration	24
II.3.2.1.1 La première étape de filtration	24
II.3.2.1.2 La deuxième étape de filtration.....	25
II.3.2.2 La deuxième étape de filtration (filtration à cartouche).....	26
II.3.3 Déminéralisation de l'eau prétraitée par osmose inverse.....	26
II.3.3.1 Mode de fonctionnement.....	28

II.3.3.1.1 Pompes BOOSTER.....	28
II.3.3.2 Nettoyage chimique	29
II.3.3.3 Rejet de saumure et produits chimiques	29
II.3.4 Post-traitement de l'eau dessalée (ré-minéralisation)	29
II.4 Conclusion	30

Partie Pratique

Chapitre III : Les analyses physico-chimiques

III.1 Introduction.....	32
III.2 Prélèvement	32
III.3 Méthodes analytiques	32
III.3.1 Analyses physico-chimiques	32
III.4 Interprétations et discussion des résultats.....	37
III.4.1 L'eau produite.....	37
III.4.2 L'eau de mer et l'eau de rejet.	42
III.5 Rendement de production de la station de dessalement	44
III.6 Impact de dessalement sur l'environnement.....	45
III.7 Techniques proposées pour réduire les impacts du dessalement.....	45
III.7.1 Dilution avec un Effluent de Station d'Épuration	46
III .8 Conclusion.....	47
Conclusion générale	48
Références bibliographiques.....	49

Introduction générale

Introduction générale :

L'eau est une ressource essentielle à la vie et au développement des sociétés. Depuis l'Antiquité, les civilisations se sont établies à proximité des sources d'eau afin de satisfaire leurs besoins domestiques, agricoles et économiques. Bien que notre planète soit recouverte à environ 71 % d'eau, la majorité de cette ressource est constituée d'eau salée présente dans les océans et les mers. La part d'eau douce directement exploitable reste très limitée, ce qui fait de l'accès à l'eau potable un défi majeur pour de nombreux pays [1].

Au cours des dernières décennies, la croissance démographique, l'urbanisation et le développement des activités industrielles ont entraîné une augmentation considérable de la demande en eau. En Algérie, cette situation est accentuée par les conditions climatiques semi-arides et les périodes de sécheresse récurrentes qui affectent les ressources hydriques conventionnelles. Face à ces contraintes, il est devenu indispensable de rechercher des solutions alternatives capables d'assurer un approvisionnement continu en eau potable [1].

Dans ce contexte, le dessalement de l'eau de mer s'est imposé comme une solution stratégique pour renforcer la sécurité hydrique du pays. Grâce à son important littoral méditerranéen, l'Algérie a investi dans la réalisation de plusieurs stations de dessalement afin de répondre aux besoins croissants de la population et de réduire la pression exercée sur les barrages et les nappes souterraines.

Parmi ces installations figure la station de dessalement de Sonather, située dans la wilaya de Mostaganem. Cette station a été conçue pour produire jusqu'à 200 000 m³ d'eau dessalée par jour, contribuant ainsi de manière significative à l'alimentation en eau potable de la région. Son exploitation permet de garantir une ressource fiable et de qualité, particulièrement durant les périodes de forte demande ou de déficit pluviométrique.

L'objectif de ce travail est d'étudier le fonctionnement de la station de dessalement de Sonather à Mostaganem, en mettant en évidence les différentes étapes du procédé de traitement de l'eau de mer. Une attention particulière sera portée au suivi de la qualité physico-chimique de l'eau tout au long du processus, depuis l'eau brute jusqu'à l'eau produite, ainsi qu'à l'analyse de la saumure rejetée. Cette étude permettra d'évaluer l'efficacité du procédé de dessalement et son rôle dans la satisfaction des besoins en eau potable de la région. Le présent travail est structuré en trois chapitres :

- **Chapitre I** : Généralités sur le dessalement de l'eau de mer en Algérie : Ce chapitre présente les principales technologies de dessalement et leur développement en Algérie.

- **Chapitre II** : Présentation de la station de dessalement de Mostaganem (Sonacther) : Ce chapitre décrit la zone d'étude, la station de dessalement de Mostaganem et son fonctionnement général.
- **Chapitre III** : Analyses physico-chimiques de l'eau : Ce chapitre est consacré à l'analyse de la qualité physico-chimique de l'eau produite et des eaux de rejet.

« Partie théorique »

Chapitre I : « Généralités sur le dessalement de l'eau de mer en Algérie »

Chapitre I : Généralités sur le dessalement de l'eau de mer en Algérie :

I.1 Introduction :

Avec la croissance démographique et l'augmentation des besoins en eau, de nombreuses régions du monde, y compris l'Algérie, sont confrontées à une pression croissante sur leurs ressources hydriques. Afin de répondre à cette demande, plusieurs solutions ont été mises en œuvre, parmi lesquelles le dessalement de l'eau de mer occupe une place importante. Cette technique repose sur différents procédés permettant de produire de l'eau douce à partir de l'eau de mer. Toutefois, malgré ses nombreux avantages, le dessalement soulève également certaines préoccupations environnementales, notamment en raison des rejets de saumure dans le milieu marin.

I.2 Définition du dessalement de l'eau de mer :

Le dessalement, également connu sous le nom de dessalage, est la séparation de l'eau et des sels de l'eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre du continent. Le chlorure de sodium (Na Cl) et d'autres éléments sont retirés de l'eau de mer à l'aide de cette méthode. Pour éviter les pénuries d'eau, des méthodes de production d'eau douce et potable à partir de l'eau de mer ont été mises en place. L'osmose inverse (traitement préalable de l'eau de mer par filtration et désinfection) et la distillation sont deux méthodes les plus couramment utilisées (purification par évaporation de l'eau de mer) [2].

I.3 Les étapes de dessalement :

I.3.1 Prise d'eau de mer :

La prise de l'eau de mer constitue la première étape du procédé de dessalement. Elle consiste à acheminer l'eau de mer vers la station de traitement tout en garantissant une qualité adaptée, notamment en limitant la présence de matières en suspension et d'autres impuretés [3].

Deux principales méthodes de captation sont utilisées :

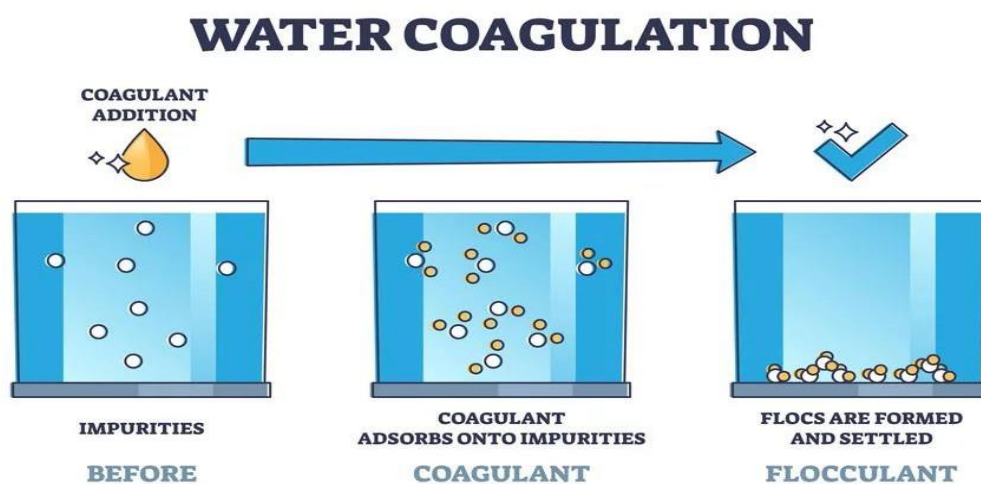
Les forages côtiers : réalisés sous forme de puits verticaux ou de galeries horizontales, ils permettent d'obtenir une eau naturellement filtrée par le sol, de meilleure qualité et relativement stable.

Les prises d'eau de surface : elles consistent à prélever directement l'eau de mer à l'aide de conduites installées au large. Afin de garantir une meilleure qualité de l'eau captée, ces prises sont généralement situées dans des zones profondes, éloignées des sources de pollution et des courants importants.

I.3.2 Prétraitement :

I.3.2.1 Coagulation –floculation :

La coagulation-floculation est une étape de prétraitement du dessalement qui permet d'éliminer les particules en suspension, les matières colloïdales et certaines impuretés présentes dans l'eau de mer. La coagulation consiste à ajouter des produits chimiques appelés coagulants afin de déstabiliser les particules. Ensuite, lors de la floculation, ces particules s'agglomèrent pour former des flocs plus gros, faciles à éliminer par décantation ou filtration avant l'étape de dessalement [4].



.Figure I.1: Coagulation floculation [4]

I.3.2.2 La filtration :

La filtration sur sable est un procédé qui permet de retenir les particules en suspension lors du passage de l'eau à travers un milieu poreux constitué de grains de sable. Au fur et à mesure de la filtration, les impuretés s'accumulent dans les pores du matériau filtrant, ce qui améliore la rétention des particules mais entraîne progressivement le colmatage du filtre. Ce principe est également utilisé dans d'autres systèmes de filtration, tels que les filtres à cartouche et les filtres à disque. Pour être efficace, le milieu filtrant doit être suffisamment perméable afin de permettre l'écoulement de l'eau tout en assurant une bonne élimination des matières en suspension [5].

I.3.2.3 La microfiltration :

Pour but de retenir les particules de quelques microns non retenues par filtre sur sable. La microfiltration est assurée par l'utilisation d'un filtre à cartouche type bobiné dont le nombre de cartouches est de 35. Entre le collecteur d'entrée et de sortie, il y'a un manomètre différentiel de contact électrique pour alarme, qui indiquera quand il sera nécessaire de remplacer les cartouches filtrantes [6].

I.4 Les procédés de dessalement :

Les unités de dessalement actuellement en exploitation reposent principalement sur deux grandes catégories de procédés : les procédés thermiques, basés sur l'évaporation et la distillation de l'eau, et les procédés membranaires, plus récents, qui utilisent des membranes semi-perméables pour séparer les sels de l'eau.

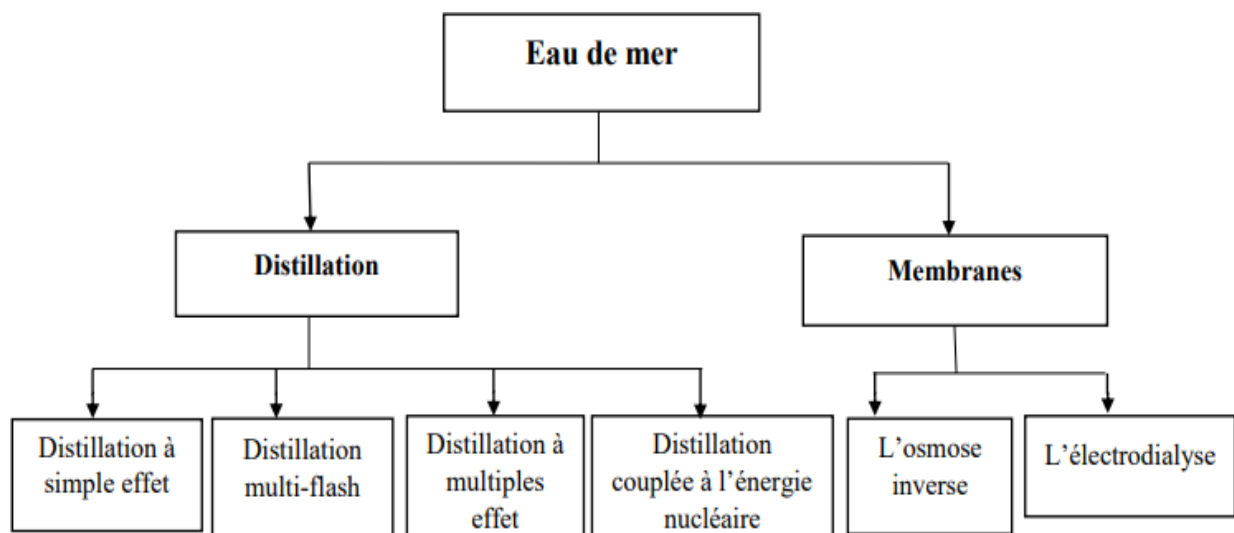


Figure I.2: Procédés de dessalement classés selon leurs principes. [7]

I.4.1 Les procédés à membranes :

Qu'est-ce qu'une membrane ?

La membrane est constituée d'une surface plane dont la perméabilité est sélective, son objectif principal est d'éliminer le sel. Elle assure également la rétention des composants indésirables dans l'eau (micro algues, bactéries, certains virus, microorganismes, micropolluants), supprime la turbidité (eaux troubles), limite les sous-produits de désinfection et permet la production d'une eau épurée. Dans le cas de l'osmose inverse, l'élimination des éléments physicochimiques et biologiques indésirables est quasiment totale.

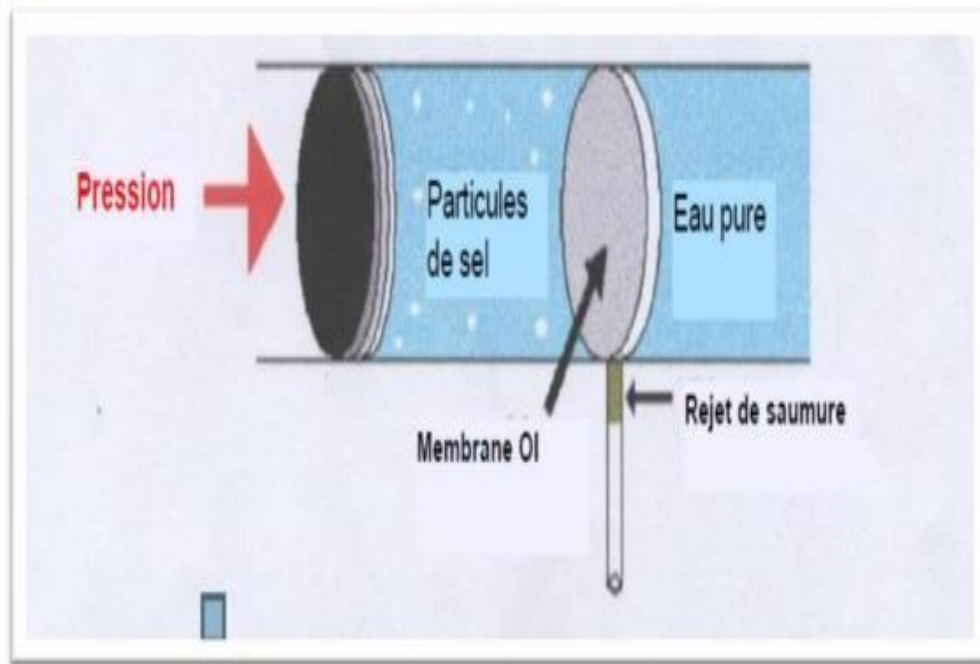


Figure I.3: Fonction de la membrane osmose inverse [8]

I.4.1.1 L'osmose inverse :

Est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bar pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phases. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laisse pas passer les particules, les sels dissous et les molécules organiques de 10-7 mm de tailles [8].

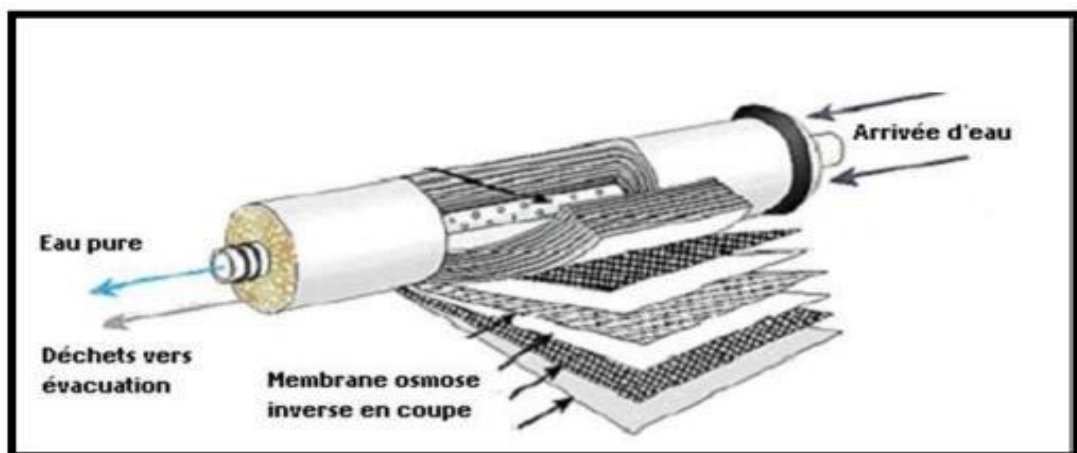


Figure I.4: Structure d'une membrane et son principe[8]

I.4.1.2 Electrodialyse :

L'extraction des ions se fait par migration de ces derniers à travers des membranes sélectives (anioniques ou cationiques), sous l'action d'un champ électrique. Ainsi seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique et seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique. En plaçant plusieurs membranes en parallèle laissant passer alternativement les ions positifs et les ions négatifs, on peut éliminer certains ions de l'eau. Les particules qui ne portent pas de charge électrique ne sont pas éliminées [9].

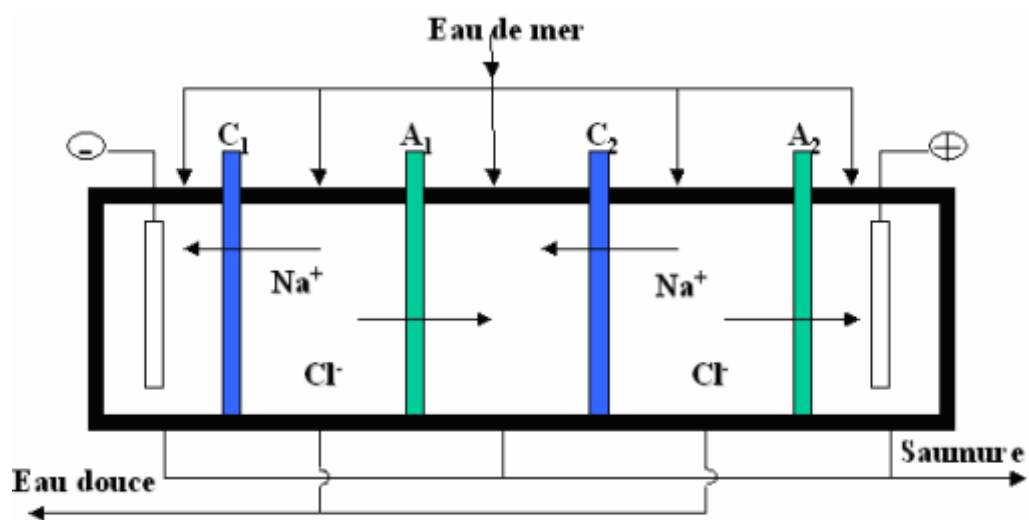


Figure I.5 : Principe d'électrodialyse [9].

I.4.2 Les procédés de distillation :

Les procédés de distillation ont été parmi les premières technologies utilisées pour le dessalement de l'eau de mer. Cependant, avec les progrès technologiques et la recherche de solutions plus économiques et moins énergivores, les stations récentes s'appuient principalement sur l'osmose inverse. Aujourd'hui, cette technologie constitue le procédé de dessalement le plus utilisé dans le pays en raison de son efficacité et de son coût d'exploitation relativement faible [8]

I.4.2.1 Distillation à simple effet :

Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau. L'inconvénient majeur de ce procédé est leur consommation énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau .

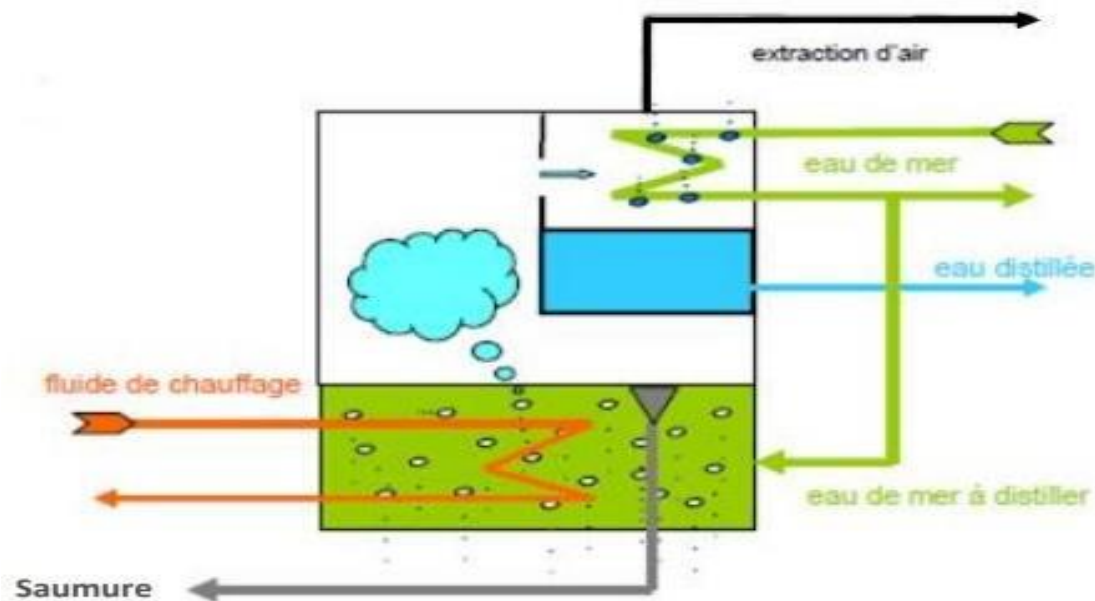


Figure I.6 : Distillation à simple effet [8].

I.4.2.2 Distillation multi-flash :

L'intérêt du multi-flash réside dans son faible coût énergétique. En effet, plus la pression est basse, plus la température à laquelle l'eau passe à l'état gazeux est faible. Pour ce procédé, l'eau de mer est envoyée dans des conduits au bout desquels elle est chauffée à 120 °C, puis elle est ensuite introduite dans un compartiment où règne une pression réduite (sa température d'ébullition est donc plus basse). L'eau est alors instantanément transformée en vapeur par détente appelée Flash. La vapeur ainsi créée va monter au contact des premiers conduits dans lesquels passent l'eau de mer. Les conduits sont assez froids ce qui provoque la condensation de cette vapeur qui est alors récupérée à l'état liquide. Pour l'eau qui ne s'est pas évaporée dans ce compartiment, elle est récupérée puis transférée dans un deuxième compartiment du même type mais avec une pression atmosphérique encore plus basse. Et ainsi l'opération est répétée plusieurs fois à la suite (d'où le nom de multi-flash). Il existe des usines de dessalement dans lesquelles l'opération se répète dans 40 compartiments [8]

I.4.2.3 Distillation à multiples effets :

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variante entre 70 et 80°C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par

une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur produite dans le 1er effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2^{ème} effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2^{ème} effet et ainsi de suite, seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. 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. Il faut 2 à 4 litres d'eau salée pour obtenir 1 litre d'eau douce [8].

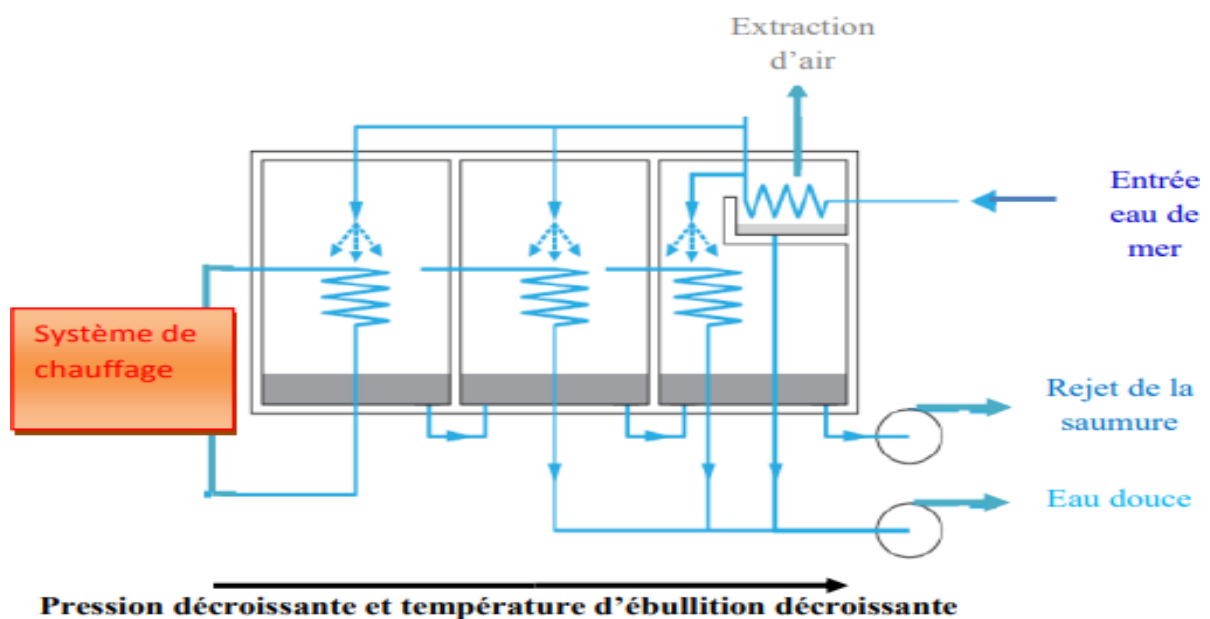


Figure I.7 : Principe de la distillation à multiple effet [8].

I.4.2.4 Distillation couplée à l'énergie nucléaire :

L'énergie nucléaire devrait pouvoir émerger, dans un avenir proche, comme une importante source de puissance pour le dessalement. Des programmes de développement de réacteurs nucléaires dédiés au dessalement sont actuellement en cours. Les filières les plus évidentes sont celles qui ont été conçues pour la production de chaleur pour le chauffage urbain (notamment en Russie) [8].

I.5 Eau de mer :

L'eau de mer est une eau dans laquelle la concentration en sels est relativement élevée (plus de 10 g/l en général). Elle contient une quantité sensible de sels dissous ; plus particulièrement de chlorure de sodium. La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques est de l'ordre de 35 g/l qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations

plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitation évaporation.

I.5.1 Compositions de l'eau de mer :

Dans le cas des mers ouvertes, la proportion des différents sels en présence est relativement constante. En particulier, la somme des ions chlorures et sodium représente environ 85% du poids total des sels. Par contre, dans les mers fermées ou les grands lacs salés, la concentration par évaporation à partir d'apports d'eaux de surface faiblement salées mais relativement différentes de celle de l'eau de mer, conduit quelquefois à des compositions ioniques très particulières.

Tableau I.1 : Composition minérale de l'eau de mer. [19]

Type d'ions	Composition de l'eau de mer	Proportion (%)
Chlorures	19,841	55,08
Sulfates	2,769	7.69
Bicarbonates	0,146	0,41
Bromures	0,068	0,19
Fluorures	0,001	0.00
Sodium	11,035	30,64
Magnésium	1,330	3,69
Calcium	0,418	1,16
Potassium	0,397	1,10
Strontium	0,014	0,04
Totale	36,02	100

Cependant, quelle que soit la salinité totale, la proportion entre les éléments les plus abondants est pratiquement constante.

I.6 Avantages et inconvénients du dessalement de l'eau de mer :

Le dessalement de l'eau de mer est devenu une solution importante pour répondre aux besoins croissants en eau potable, notamment dans les régions touchées par la rareté de l'eau, Donc Il présente de nombreux avantages comme :

- **Ressource abondante** : l'eau de mer est disponible en grande quantité et constitue une source d'approvisionnement fiable.
- **Sécurité de l'approvisionnement** : le dessalement permet de produire de l'eau potable même en période de sécheresse.
- **Bonne qualité de l'eau** : les technologies actuelles fournissent une eau répondant aux normes sanitaires.
- **Soutien au développement** : il contribue à satisfaire les besoins des populations, des industries et des infrastructures.

Toutefois, quel que soit le procédé utilisé, il n'est pas sans inconvénients :

- Coûts élevés : la construction et l'exploitation des usines de dessalement nécessitent des investissements importants.
- Forte consommation d'énergie : les procédés de dessalement demandent une quantité importante d'électricité.
- Impact sur l'environnement : le rejet de saumure concentrée peut affecter les écosystèmes marins.
- Dépendance technologique : certaines installations nécessitent des équipements et des technologies spécialisées.

I.7 Les problèmes techniques rencontrés en dessalement :

I.7.1 Entartrage :

L'entartrage correspond à l'accumulation de dépôts minéraux sur les surfaces d'échange des installations. Ce phénomène résulte principalement de la présence de certains ions dissous dans les eaux salines, tels que le calcium, le magnésium, les bicarbonates et les sulfates. Les dépôts formés sont essentiellement constitués de carbonate de calcium (CaCO_3), d'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et de sulfate de calcium (CaSO_4), entre autres composés.

En raison de leur origine minérale et de leur forte adhérence aux surfaces, ces dépôts peuvent fortement perturber le fonctionnement des unités de dessalement. Ils entraînent une réduction de la section d'écoulement, une détérioration de l'état des surfaces d'échange et une augmentation des pertes de charge dans les conduites. L'accumulation progressive du tartre peut

également provoquer une diminution du débit ainsi qu'une obstruction partielle ou totale des canalisations en réduisant leur diamètre intérieur.

I.7.2 Corrosion :

La corrosion désigne la détérioration progressive des matériaux, notamment des métaux et des alliages, sous l'effet de réactions chimiques avec leur environnement. Dans les installations de dessalement, elle est principalement causée par le contact prolongé avec l'eau salée, l'humidité ou l'air, qui favorisent l'usure des équipements métalliques au fil du temps.

Ce phénomène peut avoir plusieurs conséquences sur le fonctionnement des installations. Il peut entraîner la rupture des conduites, augmenter la rugosité des surfaces internes et provoquer des pertes de charge plus importantes. La corrosion est également à l'origine de fuites d'eau, ce qui réduit l'efficacité des équipements et accroît les coûts de maintenance.

I.7.3 Colmatage :

Les eaux naturelles, qu'il s'agisse d'eau de mer ou d'eau saumâtre, contiennent généralement des matières organiques et des particules en suspension susceptibles de s'accumuler sur les surfaces des équipements. Cette accumulation provoque un phénomène de colmatage qui réduit les performances des systèmes de dessalement en augmentant la résistance aux transferts et en diminuant la capacité de production de l'installation.

Par ailleurs, le développement de micro-organismes dans certaines zones favorables des installations peut aggraver ce phénomène. Ces micro-organismes forment des couches biologiques, appelées biofilms, qui se déposent sur les surfaces d'échange et entraînent un bio-colmatage (biofouling).

Le colmatage a plusieurs effets négatifs sur le fonctionnement des installations. Il provoque une augmentation des pertes de charge, favorise le passage des sels à travers les membranes en perturbant leur fonctionnement normal et entraîne une diminution du flux de production d'eau dessalée.

I.8 Dessalement en Algérie :

L'Algérie souffre de sécheresse depuis plus d'une décennie, et l'approvisionnement en eau conventionnelle a été insuffisant pour répondre à la demande en eau de la population, incitant les autorités algériennes à rechercher d'autres sources d'eau potable. Le dessalement de l'eau de mer était l'alternative la plus acceptable, car elle n'est pas affectée par les risques climatiques.

Le dessalement de l'eau de mer est un projet stratégique en Algérie puisqu'il remplacera les ressources naturelles dans la majorité des villes du nord du pays.

Aujourd'hui, plusieurs facteurs favorisent de la mise en œuvre de cette technologie dans notre pays :

- ✓ Un littoral long de plus de 1200 kilomètres.
- ✓ Disponibilité de l'eau de mer, ressource inépuisable.
- ✓ Une population et une industrie grandes consommatrices de l'eau se trouvant à proximité de la mer.
- ✓ Disponibilité de la ressource énergétique ou combinaison de sa production.

Le littoral de l'Algérie compte 25 stations de dessalement d'eau de mer en exploitation, réparties sur les 14 wilayas côtières qui relèvent du Ministère des Ressources en Eau. Elles fournissent 18 % de l'eau consommée dans le pays et alimentent 6 millions de personnes avec un volume de 2,6 millions m³/jour [10].

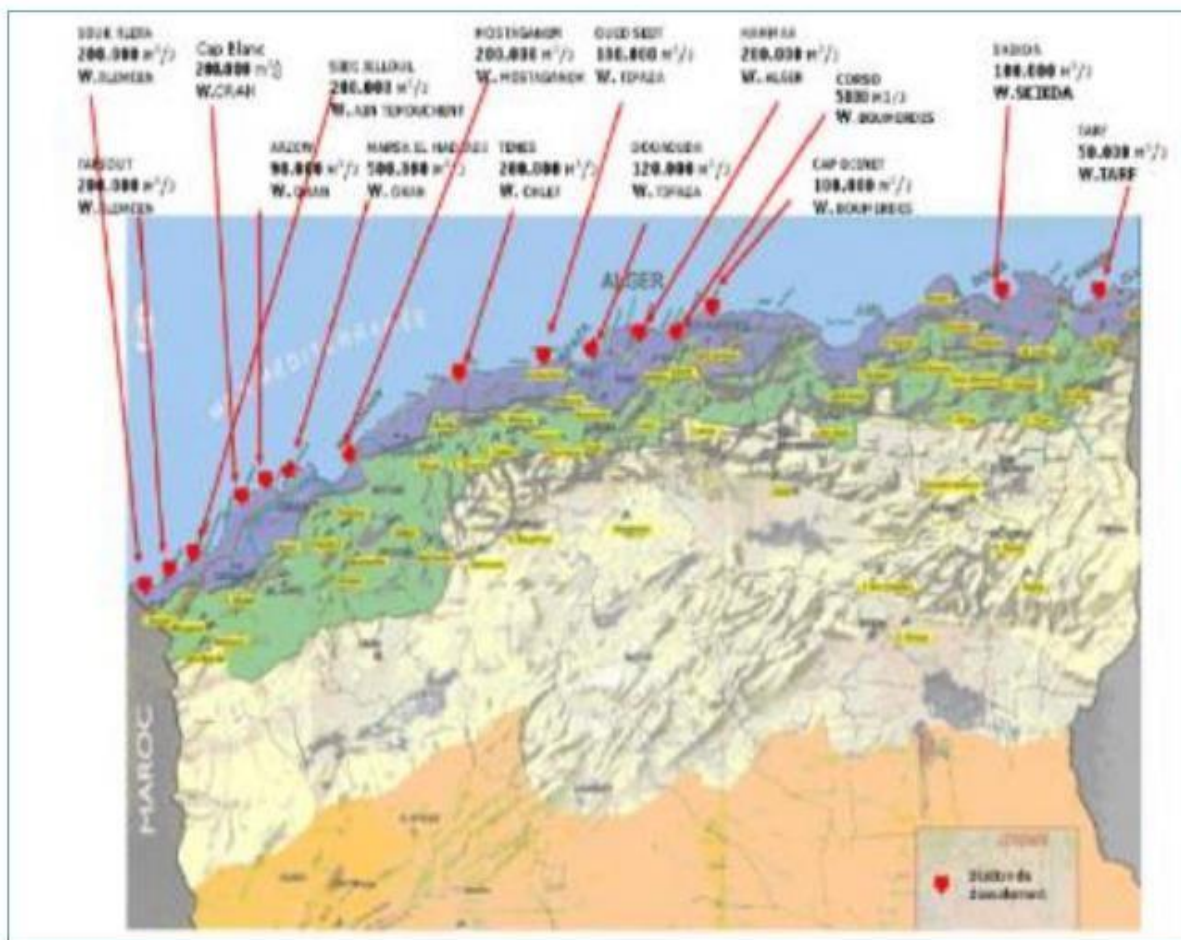


Figure I.8 : Les stations de dessalement en Algérie [11]

Tableau I.2 : Les principales unités de dessalement en Algérie [11]

Nom	Wilaya	Année de mise en service	Capacité (m ³ /J)
Kahrama Arzew	Oran	2005	90000
El-Hamma	Alger	2008	200000
Skikda	Skikda	2009	100000
Beni saf	Ain Temouchent	2009	200000
Mostaganem	Mostaganem	2010	200000
Honaine	Tlemcen	2010	200000
Souk tleta	Tlemcen	2010	200000
Douaouda	Tipaza	2010	120000
Cap Djinet	Boumerdes	2010	100000
Mactaa	Oran	2010	500000
Oued Sebt	Tipaza	2010	100000
Ténès	Chlef	2010	200000
Echatt	Taraf	2011	50000

I.9 Conclusion :

Le dessalement de l'eau de mer est l'une des solutions les plus efficaces pour éliminer le manque d'eau potable connu dans monde.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les concepts généraux sur le dessalement, à partir de ses aspects positifs et de ses conséquences négatives.

L'Algérie mise sur la méthode de l'osmose inverse dans le procédé de dessalement, en raison du faible investissement et du coût énergétique d'un tel procédé.

Chapitre II :

**« Présentation de l'unité de dessalement
de Sonachter à Mostaganem »**

Chapitre II : Présentation de l'unité de dessalement de Sonachter à Mostaganem

II.1 Introduction :

La station de dessalement d'eau de mer de Mostaganem constitue l'une des infrastructures stratégiques mises en place en Algérie pour renforcer la sécurité hydrique et répondre à la demande croissante en eau potable.

Cette station joue un rôle essentiel dans l'alimentation en eau de la wilaya de Mostaganem ainsi que des régions avoisinantes.

L'objectif de ce chapitre est de présenter cette station, sa localisation, les zones qu'elle approvisionne, son principe de fonctionnement ainsi que la technologie utilisée pour le dessalement de l'eau de mer.

II.2 Présentation de la station de dessalement de Mostaganem(Sonachter) :

La station de dessalement d'eau de mer de Sonachter, située sur le littoral de la wilaya de Mostaganem, constitue l'une des infrastructures hydrauliques majeures mises en œuvre dans le cadre de la stratégie nationale de sécurisation des ressources en eau. Mise en service en 2012, cette installation repose sur la technologie de l'osmose inverse et dispose d'une capacité de production de 200 000 m³ d'eau dessalée par jour. Le projet a été réalisé dans le cadre d'un partenariat entre l'Algerian Energy Company (AEC), qui détient 49 % du capital, et le consortium espagnol composé de GS Inima et FCC Aqualia, détenteur des 51 % restants. Grâce à son importante capacité de production, cette station contribue de manière significative à l'alimentation en eau potable de la wilaya de Mostaganem ainsi que de plusieurs communes environnantes, participant ainsi à la réduction du déficit hydrique et à l'amélioration des conditions d'approvisionnement en eau de la région [11].

II.2.1 Caractéristiques :

Mise en service : 2012.

Capacité : 200 000 m³/jour grâce à la technologie de l'osmose inverse.

Localisation : Zone de Sonachter, au nord de la wilaya de Mostaganem.

Maître d'ouvrage : Algerian Energy Company (AEC).

Objectif : renforcer les ressources en eau potable de la wilaya de Mostaganem et assurer un approvisionnement régulier de la population en réduisant la dépendance aux barrages et aux eaux souterraines.

Distribution : l'eau dessalée alimente la ville de Mostaganem ainsi que plusieurs communes de la wilaya, notamment Sidi Ali, Aïn Tedelès, Sidi Lakhdar, Hassi Mamèche, Aïn Nouissy et Stidia.

Procédé de dessalement : osmose inverse, une technologie basée sur des membranes semi-perméables permettant d'éliminer les sels dissous de l'eau de mer.



Figure II.1: localisation de la station de dessalement Sonachter [11]



Figure II.2 : Photographie générale de la station de dessalement de Mostaganem

II.2.2 Profil démographique de la zone d'étude :

Sur le plan démographique, la zone d'étude est entièrement localisée dans la commune de Mostaganem, située au nord de la wilaya et considérée comme son principal centre urbain. Grâce à son rôle administratif, économique et commercial, cette commune connaît une forte concentration de population. Selon les données démographiques les plus récentes disponibles, la population de Mostaganem dépasse les 245 000 habitants. Cette croissance démographique s'accompagne d'une augmentation des besoins en eau potable, ce qui renforce l'importance de la station de dessalement dans l'approvisionnement en eau de la ville et des communes environnantes.

II.2.3 Caractéristiques climatiques de la zone d'étude :

Les conditions climatiques constituent un élément essentiel dans l'étude et la conception des installations de dessalement de l'eau de mer. Elles influencent non seulement les performances du procédé de dessalement, mais également le choix du site d'implantation de l'usine.

Le climat de la région de Mostaganem est de type méditerranéen, caractérisé par des températures modérées tout au long de l'année, une faible amplitude thermique ainsi qu'une influence maritime marquée par l'alternance régulière des brises de mer et de terre.

- **La température** : les températures dans les zones côtières varient de 5 à 15 °C en hiver, et de 25 à 30°C en été.
- **L'humidité** : En raison de sa proximité avec la mer Méditerranée, la région de Mostaganem présente un taux d'humidité relativement élevé. L'humidité relative de l'air varie généralement entre 69 % et 79 %, contribuant ainsi à la douceur du climat local.
- **Les précipitations** : La wilaya de Mostaganem reçoit des précipitations relativement importantes, particulièrement dans les zones occidentales. La pluviométrie annuelle varie généralement entre 700 et 1200 mm, avec des précipitations plus abondantes durant la saison hivernale.
- **Le vent** : Le régime des vents est dominé principalement par les vents de Nord-Ouest et d'Ouest. Les vents du Nord-Ouest prédominent en automne, tandis que ceux de l'Ouest sont plus fréquents en hiver. Au printemps et en été, les vents provenant du Nord et du Nord-Est présentent également une influence notable sur le climat de la région.

II.2.4 Les Données chimiques de l'Eau de mer :

Les eaux de mer prélevées au niveau du littoral de Mostaganem se caractérisent par une salinité variant entre 35 et 36.5 g/L. Elles présentent un pH légèrement alcalin, compris entre 7,60

et 8.24, ainsi qu'une conductivité électrique élevée, située entre 51 et 55 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en raison de leur richesse en sels minéraux dissous

II.3 Procédé de dessalement utilisé à la station de Mostaganem :

Le projet de station de dessalement d'eau de mer de Mostaganem fait partie du large programme de construction d'usines de dessalement entrepris par le gouvernement algérien pour fournir à l'Algérie une ressource en eau potable et permettre à la nappe phréatique de se renouveler. Le procédé de traitement d'eau de cette station comprend :

- Un système de captage et pompage d'eau de mer.
- Un système de prétraitement de l'eau de mer par filtration et microfiltration.
- Un système déminéralisation de l'eau microfiltration par osmose inverse.
- Un système de reminéralisations et conditionnement de l'eau déminéralisé.
- Un système de pompage de l'eau reminéralisé vers le réseau de distribution.
- Un système d'évacuation de saumure et sous-produits.

Le processus de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse (Unité de Mostaganem) est représenté par la figure. Les données (énergie, eau brute, produits chimiques...) varient en fonction du régime de travail, du mécanisme ainsi que des dimensions de l'usine. Le fonctionnement de l'usine est automatisé, grâce à un ordinateur et plusieurs Automates [12]

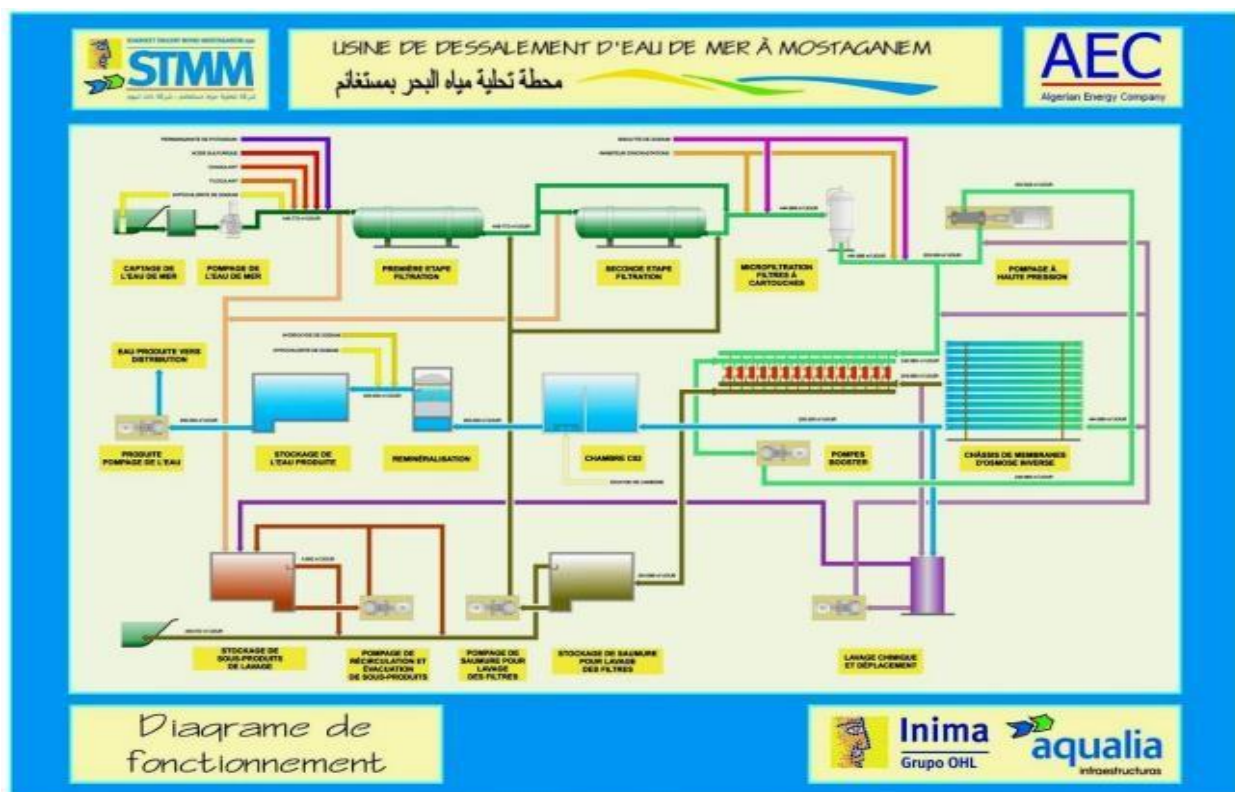


Figure II.3 : Schéma générale de la station de dessalement de Mostaganem [13]

II.3.1 Tours et tuyauterie de captage de l'eau de mer :

Le captage de l'eau de mer est réalisé à l'aide de deux tours de prise immergées, situées à environ 2 500 m du littoral et à une profondeur de 16.5 m. Ces tours sont reliées au bassin de pompage par deux conduites en PEHD de 1 800 mm de diamètre, dans lesquelles l'eau circule à une vitesse d'environ 1 m/s [12].

Un système d'amorçage composé de deux groupes à vide, équipés chacun de deux pompes de 4 kW, permet d'évacuer l'air présent dans les conduites d'aspiration. Son fonctionnement est automatisé grâce à un détecteur de vide, et une seule pompe peut être amorcée à la fois [12].

Les pompes de captage assurent l'alimentation du prétraitement avec un débit de 2 380 m³/h. Elles sont équipées de variateurs de fréquence permettant d'adapter leur fonctionnement et de maintenir une pression stable à l'entrée des pompes haute pression. Avant l'étape d'osmose inverse, la pression d'aspiration est maintenue à environ 2.5 bars. Des clapets anti-retour, des vannes papillon motorisées ainsi que des pompes de secours complètent le dispositif afin d'assurer un fonctionnement fiable et continu de l'installation [12].



Figure II.4: Les deux tours de captage de l'eau de mer

Le groupe de pompage de l'eau de mer est composé de 9 pompes (8 pompes en service et 1 de secours).



Figure II.5 : Station de pompage de l'eau de mer

II.3.2 Le système de prétraitement :

Le prétraitement de l'eau de mer est une étape importante du processus de dessalement. Il consiste à éliminer les matières en suspension, les substances organiques et les micro-organismes présents dans l'eau avant son arrivée aux membranes d'osmose inverse. Cette étape permet de protéger les équipements et d'éviter les problèmes d'encrassement, d'entartrage et de détérioration des membranes. Le prétraitement comprend généralement deux types de traitements, chimique et physique.

II.3.2.1 Prétraitement chimique :

a- Injection de l'hypochlorite de sodium :

L'injection d'hypochlorite de sodium se fait au niveau de la tour de captage d'eau de mer et après la station de pompage et son but est de désinfecter et stériliser l'eau afin de réduire la croissance biologique à l'usine de traitement.

b- Injection de permanganate de potassium (KMnO_4) :

Un système de dosage de permanganate de potassium est installé au niveau de la station afin d'oxyder et de réduire la matière organique présente dans l'eau de mer.

c- Injection de Chlorure Ferrique (FeCl_3) :

Dans le système de pompage de l'eau de mer en ajoutant le coagulant (Chlorure Ferrique (FeCl_3)), il déstabilise la charge électrique des particules colloïdales pour favoriser leur agglomération.

d- Injection de métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) :

Le chlore ne doit pas être laissé atteindre les membranes d'osmose inverse car il oxydera les membranes. L'enlèvement de ce dernier de l'eau de mer est réalisé par le dosage du métabisulfite de sodium qui réagit avec le chlore en évitant qu'ils ne parviennent aux membranes et qu'ils ne les détériorent.

e- Injection d'inhibiteur anti-scalant :

Pour protéger les membranes et d'éviter les précipitations de sel, on dosera un inhibiteur dont l'action est destinée à empêcher la formation des réseaux cristallins.

II.3.2 Prétraitement physique :

Ce traitement vise principalement à éliminer les matières en suspension, les algues et les substances organiques présentes dans l'eau.

II.3.2.1 La filtration :

L'usine dispose de deux étapes de filtration : une première utilisant des filtres mixtes sable-anthracite, suivie d'une seconde étape basée sur des filtres à sable.

II.3.2.1.1 La première étape de filtration :

Ce système de première étape constitue douze filtres horizontaux à pression chacune, travaillant à une vitesse de 8.45 m/h et à une vitesse maximale de 9.46 m/h, et chaque filtre a une surface moyenne de filtration de 91.39 m^2 et un diamètre de 4.00 m d'une longueur totale de 24.4 m. Cette étape est destinée à éliminer fondamentalement la plupart des particules en suspension, huile et graisses qui restent dans l'eau de mer et produit une eau filtrée à basse turbidité prête pour l'étape d'osmose inverse [12].



Figure II.6 : Filtres à sable et anthracite

II.3.2.1.2 La deuxième étape de filtration :

Ils existent deux batteries munies de huit (8) filtres de pression horizontale chacune, travaillant à une vitesse de 12.87 m/h avec un maximum de 15.09 m/h/, lorsque l'une des batteries est dans le nettoyage l'autre prend le relais [12] .

Chaque filtre a une surface filtrante moyenne de 90,04 m² et leurs dimensions et caractéristiques sont les mêmes que celles des filtres à sable de la première étape.



Figure II.7 : Les filtres à sable

II.3.2.2 La deuxième étape de filtration (filtration à cartouche) :

La microfiltration constitue la dernière étape du prétraitement et assure la protection des membranes d'osmose inverse. Elle retient les particules de taille supérieure à 5 μm . Le système comprend deux lignes de filtration, chacune équipée de neuf filtres contenant 360 cartouches en polypropylène de 1 250 mm de longueur. Le débit unitaire de chaque cartouche est d'environ 2,85 m^3/h , pouvant atteindre 3,2 m^3/h en fonctionnement optimal [12].



Figure II.8 : Filtres à cartouches

II.3.3 Déminéralisation de l'eau prétraitée par osmose inverse :

L'osmose inverse constitue l'élément central de l'usine de dessalement. Son rôle est de réduire la teneur en sels de l'eau prétraitée. Ce système comprend les unités de nettoyage des membranes, les pompes haute pression avec récupération d'énergie, ainsi que les modules d'osmose inverse.

Dans ce phénomène, deux solutions de concentrations différentes sont séparées par une membrane semi-perméable qui laisse passer uniquement les molécules d'eau. Naturellement, l'eau se déplace de la solution la moins concentrée vers la plus concentrée afin d'équilibrer les concentrations. Dans le procédé d'osmose inverse, une pression élevée est appliquée sur l'eau salée pour inverser ce flux naturel, forçant ainsi l'eau à traverser la membrane tout en retenant la majorité des sels dissous et des impuretés. Cette technique permet de produire une eau de haute qualité destinée à la consommation.

a- Pompe à haute pression :

Après le prétraitement, l'eau est acheminée vers le système de pompage haute pression avec une pression d'environ 2,5 bars. Cette étape est assurée par neuf pompes, dont huit en service et une de

secours, capables de fournir une pression totale d'environ 62 bars, nécessaire au fonctionnement des membranes d'osmose inverse.

b- **Systèmes de membranes** :

L'installation d'osmose inverse comprend huit unités de production, chacune divisée en deux châssis. Chaque châssis est équipé de 152 tubes sous pression, dimensionnés pour atteindre un taux de conversion de 45 %. À l'intérieur de chaque tube sont installées sept membranes spiralées en polyamide aromatique de 200 mm de diamètre, assurant la séparation des sels dissous et la production d'eau dessalée [12].



Figure II.9 : Osmose inverse (Station de MOSTAGANEM)

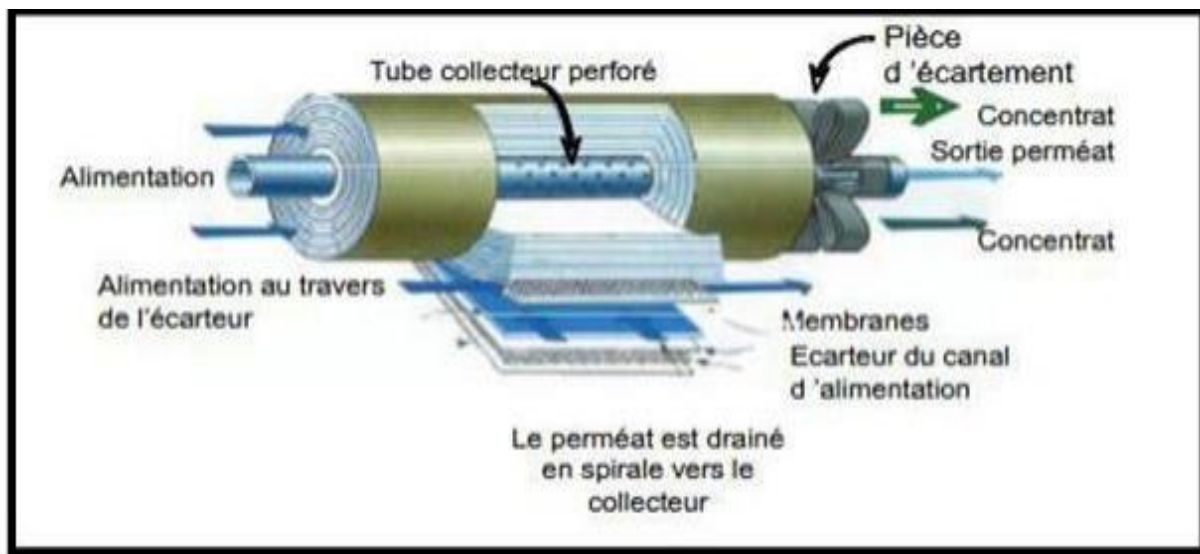


Figure II.10 : le schéma de membrane



Figure II.11 : Châssis d'osmose inverse

II.3.3.1 Mode de fonctionnement :

Afin de réduire la consommation énergétique de l'installation, la station est équipée d'un système de récupération d'énergie basé sur un échangeur de pression PX (Pressure Exchanger) développé par la société Energy Recovery Inc. (ERI). Cette technologie permet de récupérer jusqu'à 95 % de l'énergie contenue dans la saumure rejetée par les membranes d'osmose inverse.

Le principe de fonctionnement repose sur le transfert de pression entre la saumure sous haute pression et l'eau de mer prétraitée. L'échangeur PX récupère l'énergie du concentrât et la transmet directement à l'eau de mer entrante, qui est ensuite renvoyée vers les membranes d'osmose inverse. Ce système permet de diminuer considérablement les besoins énergétiques des pompes haute pression tout en maintenant les performances de production de l'usine.

II.3.3.1.1 Pompes BOOSTER :

Chaque unité d'osmose inverse est composée d'une pompe haute pression (HP), de deux châssis de membranes et de deux pompes Booster reliées à la pompe HP par le même axe de rotation. Les pompes Booster ont pour rôle de compenser les pertes de charge générées par les membranes et les échangeurs de pression (PX). Elles utilisent l'énergie du concentrât pour assister la pompe haute pression et améliorer l'efficacité énergétique du système.



Figure II.12: la pompe Booster

II.3.3.2 Nettoyage chimique :

Pour protéger les membranes et les débarrasser de tous les dépôts qui tendent à réduire les performances qualitatives et quantitatives du système, les membranes doivent être nettoyées périodiquement. Cette élimination est obtenue en faisant recirculer des solutions chimiques acides (pour les dépôts de carbonate de calcium, d'hydroxydes métalliques) et basiques (pour les dépôts biologiques et bactériens).

Ce système se compose :

- D'un réservoir de 80 m³ de capacité où se prépare la solution pour le nettoyage
- Des résistances pour chauffer la solution si nécessaire ;
- Des interrupteurs de niveau
- D'un thermomètre
- D'un transmetteur de température.

II.3.3.3 Rejet de saumure et produits chimiques :

La saumure est récupérée dans un réservoir et ensuite utilisée pour lavage des filtres à sable à contre-courant, puis acheminée vers un deuxième réservoir où elle sera évacuée par un émissaire marin pénétrant jusqu'à 1200 m dans la mer dans le but d'assurer une meilleure dilution et d'éviter les conséquences indésirables sur l'environnement.

II.3.4 Post-traitement de l'eau dessalée (re-minéralisation) :

Le post-traitement constitue la dernière étape du procédé de dessalement. Son objectif est de reminéraliser l'eau produite par osmose inverse afin de la rendre conforme aux normes de potabilité et adaptée à la consommation humaine.

Dans la station de dessalement de Mostaganem, le post-traitement repose principalement sur les étapes suivantes [12] :

- 1- L'injection de CO_2 pour favoriser la dissolution de la calcite et améliorer la reminéralisations de l'eau.
- 2- Le passage de l'eau à travers un lit de calcite (CaCO_3) afin de lui apporter les minéraux nécessaires.
- 3- L'ajustement du pH et la désinfection de l'eau par injection d'hypochlorite de sodium pour assurer sa qualité sanitaire
- 4- Après la désinfection et la reminéralisations, l'eau traitée sera stockée dans un réservoir de stockage afin de la distribuer par l'entreprise concernée « l'algérienne des eaux ADE ».



Figure II.13 : Les lits de calcite

II.4 Conclusion :

La mise en place d'une usine de dessalement constitue une solution importante pour faire face à la pénurie d'eau potable. Avec une capacité de production de 200 000 m^3/jour , l'usine permet de renforcer l'approvisionnement en eau potable de la région et de répondre aux besoins de la population. Pour obtenir une eau adaptée à la consommation, les sels dissous, notamment les ions tels que Mg^{2+} et Na^+ , doivent être réduits ou éliminés à travers différentes étapes de traitement. Ces différentes étapes ainsi que leur efficacité sont étudiées dans ce chapitre.

Chapitre III :

« Partie pratique »

Chapitre III : Les analyses physico-chimiques.

III.1 Introduction :

Les analyses physico-chimiques constituent une étape essentielle et finale du processus de dessalement. L'étude expérimentale consiste à effectuer des prélèvements de l'eau traitée après le dessalement, puis à réaliser différentes analyses afin d'évaluer sa qualité. Les paramètres mesurés permettent notamment de vérifier les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau et de détecter d'éventuelles anomalies. Les résultats obtenus sont ensuite comparés aux normes de qualité établies par les organismes sanitaires et scientifiques compétents, afin de vérifier que l'eau produite est conforme aux exigences requises pour sa consommation. Cette étape permet ainsi de confirmer l'efficacité du procédé de dessalement et d'assurer la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.

III.2 Prélèvement :

Les échantillons d'eau ont été prélevés afin de réaliser les analyses physico-chimiques. Pour garantir la fiabilité des résultats, le prélèvement a été effectué selon les étapes suivantes :

- Préparation des contenants : les récipients utilisés doivent être propres, sans qu'une stérilisation soit nécessaire. Nous avons utilisé des bouteilles en plastique de 500 mL et 1 L, ainsi que, dans certains cas, des bouteilles en verre. Avant chaque prélèvement, les bouteilles ont été rincées au préalable au moins trois fois avec de l'eau distillée.
- Écoulement de l'eau : avant le prélèvement, l'eau a été laissée s'écouler à débit maximal pendant 5 à 10 secondes, puis à débit moyen pendant 2 à 5 minutes, afin d'obtenir un échantillon représentatif.
- Prélèvement : le contenant est ensuite ouvert, rempli directement avec l'échantillon d'eau, puis refermé immédiatement afin d'éviter toute contamination ou modification de la qualité de l'échantillon.

Les prélèvements sont réalisés au niveau de trois points de station : A l'entrée de la station (eau de mer) ; A la sortie de la station en deux points (eau produite, eau rejetée (saumure)).

III.3 Méthodes analytiques :

III.3.1 Analyses physico-chimiques :

- a- **Mesure de température** : Cette mesure est particulièrement importante dans le cas de l'osmose inverse, puisque la température influence la viscosité de l'eau et, par conséquent,

son passage à travers les membranes. Les variations de température peuvent ainsi avoir un effet sur le débit de production et les performances du système.

- b- Mesure de pH :** Le pH constitue un paramètre important dans le contrôle de la qualité de l'eau dessalée. Il permet de déterminer le caractère acide ou basique de l'eau et de suivre son évolution au cours des différentes étapes du traitement.
- c- Mesure de conductivité :** La valeur de la conductivité permet notamment de vérifier l'efficacité de l'osmose inverse dans la réduction des sels dissous et de contrôler la qualité de l'eau dessalée. Les résultats obtenus sont ensuite comparés aux normes de qualité requises pour l'eau destinée à la consommation humaine.
- d- Mesure de TDS :** Les sels dissous totaux représentent une évaluation totale des sels minéraux contenus dans l'eau (en solution).

Au niveau du laboratoire de la station de dessalement de Mostaganem, la mesure de la concentration des solides dissous se fait par le rapport entre la conductivité et la concentration ionique qui s'exprime par :

$$\text{Conductivité} = K * \text{TDS}$$

Avec :

K : facteur de conversion empirique permettant d'estimer la concentration en matières dissoutes totales (TDS) à partir de la conductivité électrique de l'eau, Sa valeur dépend notamment de la composition ionique du milieu étudié ; Pour l'eau produite **K= 0.5**; Pour l'eau de mer **K= 0.61**; Pour la saumure **K=0.7**

TDS : Concentration en matières dissoutes totales (TDS) en ppm

Conductivité : en $\mu\text{S}/\text{cm}$;

Ces quatre paramètres ont été mesurés par un appareil multi-paramètre de la marque **MAYRON L CAMPANY 6 PFCE** au niveau de laboratoire de qualité de la station de dessalement de Mostaganem.



Figure III.1: appareil multi-paramètre [14]

e- **Mesure de la turbidité** : Une turbidité importante peut réduire la pénétration de la lumière et des rayons ultraviolets dans l'eau, ce qui peut influencer la photosynthèse et favoriser le développement de certains microorganismes. Elle peut également avoir une influence sur les caractéristiques physiques de l'eau, notamment sa température, sa teneur en oxygène, son évaporation et sa salinité.

La turbidité est généralement exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit). Une eau est considérée comme claire lorsque sa turbidité est inférieure à 5 NTU, tandis qu'au-delà de 50 NTU, elle est généralement considérée comme trouble.



Figure III.2 : l'appareille de mesure de la turbidité.

F- Mesure de la dureté totale TH : La dureté de l'eau correspond à la quantité de sels minéraux dissous, principalement les ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). Plus la concentration de ces ions est élevée, plus l'eau est considérée comme dure.

1. Préparation de l'échantillon : agiter doucement l'échantillon afin de bien homogénéiser l'eau.
2. À l'aide d'une fiole jaugée propre de 50 mL, prélever 50 mL d'échantillon et les transférer dans un erlenmeyer propre de 100 mL.
3. Ajouter 4 mL de solution tampon à pH 10 à l'aide d'une pipette propre.
4. Ajouter une petite quantité de noir d'ériochrome T à 1 % à l'aide d'une spatule, jusqu'à l'apparition d'une coloration rose-violette.

5. Bien mélanger la solution, puis ajouter progressivement la solution d'EDTA, goutte à goutte, tout en agitant énergiquement. Le titrage est poursuivi jusqu'à l'apparition d'une coloration bleu franc, correspondant au point final.
6. Enfin, relever et noter le volume V d'EDTA utilisé, indiqué sur la burette.

$$\text{TH en mg/l CaCO}_3 = V \times 20 \dots\dots\dots [12]$$



Figure III.3 : Le titrage (la dureté de l'eau)

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

Son mode opératoire est de : Prélever 100 ml d'eau à analyser dans un Erlenmeyer de 250 ml, ajouter 2 à 3 gouttes de solution de méthyle orange, une couleur jaune doit se développer. Titrer avec la solution de HCl de 0.02N à l'aide d'une burette, en agitant constamment, jusqu'au virage du jaune au jaune orangé (pH = 4.3) de la solution. Les résultats sont exprimés par la formule suivante :

$$\text{TAC (meq/l)} = (\text{NHCl} \times V \text{ HCl}) \times 1000 / V_0 \quad [12]$$

Tels que :

NHCl : Normalité de HCl,

V HCl : Volume de HCl,

V0 : Volume de l'échantillon



Figure III.4: Étalonnage.

H- Mesure de calcium (Ca²⁺) : Le calcium est présent dans les eaux de manière naturelle. Pour déterminer la dureté calcique on utilise l'EDTA comme complexant, le dosage se fait à un pH élevé (12-13). L'indicateur utilisé est le Murexide qui est sensible aux seuls ions Ca²⁺ pour former un complexe rouge.

Son mode opératoire est de : Prélever 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, et ajouter 5 ml de la solution NaOH (0,1N) et une pincée de Murexide, puis remuer soigneusement pour homogénéiser la solution, une couleur rose apparaît. Un titrage par l'EDTA (0,02N) a lieu jusqu'au virage rose au mauve. La dureté calcique est calculée par la formule suivante :

$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = (\text{N EDTA} \times \text{VEDTA}) \times 1000 / \text{V0} \times 20$$

Tels que :

- N EDTA : La normale de la solution EDTA,
- V EDTA : Volume en millilitres, de la solution EDTA, utilisé pour le dosage,
- V0 : Volume en millilitres, d'échantillon dosé.

III.4 Interprétations et discussion des résultats :

III.4.1 L'eau produite :

Les résultats des analyses de l'eau produite montrent une qualité globalement stable au cours de la période étudiée. Les valeurs du pH, de la température, de la dureté, de la conductivité, de la turbidité, du calcium, du TAC, du LSI et du chlore libre présentent de faibles variations entre les différentes dates de prélèvement. Le tableau suivant englobe toutes les analyses effectuées sur l'eau produite du 07/04/2026 à 07/05/2026.

Tableau III.1: Les résultats d'analyses de l'eau produite du 07/04/2026 à 07/05/2026

Paramètre	Unité	07/04/2026	11/04/2026	15/04/2026	23/04/2026	30/04/2026	07/05/2026
 Eau produite (eau dessalée)	-	-	-	-	-	-	-
pH	-	8,39	8,38	8,37	8,34	8,35	8,36
Température	°C	16,9	17,4	18,0	18,1	17,9	17,8
Dureté totale	mg/L CaCO ₃	65	65	65	65	65	65
Conductivité	µS/cm	424	441	455	454	438	439
Turbidité	NTU	0,70	0,95	1,10	0,95	0,79	0,82
Calcium	mg/L CaCO ₃	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2
TAC	mg/L CaCO ₃	60	60	60	60	60	60
LSI	-	0,04	0,03	0,03	0,00	0,01	0,01
Chlore libre	mg/L	0,25	0,31	0,36	0,31	0,28	0,32

Les résultats obtenus montrent que les paramètres physico-chimiques de l'eau traitée sont globalement conformes aux valeurs de référence indiquées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Le pH, la température, la conductivité et la turbidité restent dans les limites recommandées. La dureté, le calcium, le TAC, le LSI ainsi que le chlore libre présentent également des valeurs situées dans les plages ou limites de référence indiquées dans le tableau III.2.

Tableau III.2 : Comparaison des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée avec les valeurs de référence de l'OMS

 Paramètres de l'eau traitée et comparaison avec les valeurs de l'OMS Station de dessalement de Mostaganem Avril 2026			
Paramètre	Unité	Eau traitée (valeur moyenne)	Valeur guide OMS
 pH	-	8,37	7,5 à 8,5
 Température	°C	17,65	< 25
 Dureté totale	mg/L CaCO ₃	65	65
 Conductivité	µS/cm	441,83	< 2500
 Turbidité	NTU	0,89	< 5
 Calcium	mg/L CaCO ₃	21,2	< 200
 TAC	mg/L CaCO ₃	60	50 à 65
 LSI	-	0,02	0 à 0,4
 Cl ₂ Chlore libre	mg/L	0,31	< 5

Table 1 : Comparaison des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée et des valeurs de référence de l'OMS

- a- **Le potentiel d'hydrogène** : Les valeurs du pH des eaux traitées sont comprises entre **8.35** et **8.39**, avec une valeur moyenne de **8.37**. En comparaison avec les normes algériennes relatives à la qualité de l'eau potable, qui fixent le pH entre 6,5 et 8,5, les valeurs obtenues sont conformes aux exigences réglementaires. Ces résultats indiquent que l'eau traitée présente un pH satisfaisant et adapté à la consommation humaine.

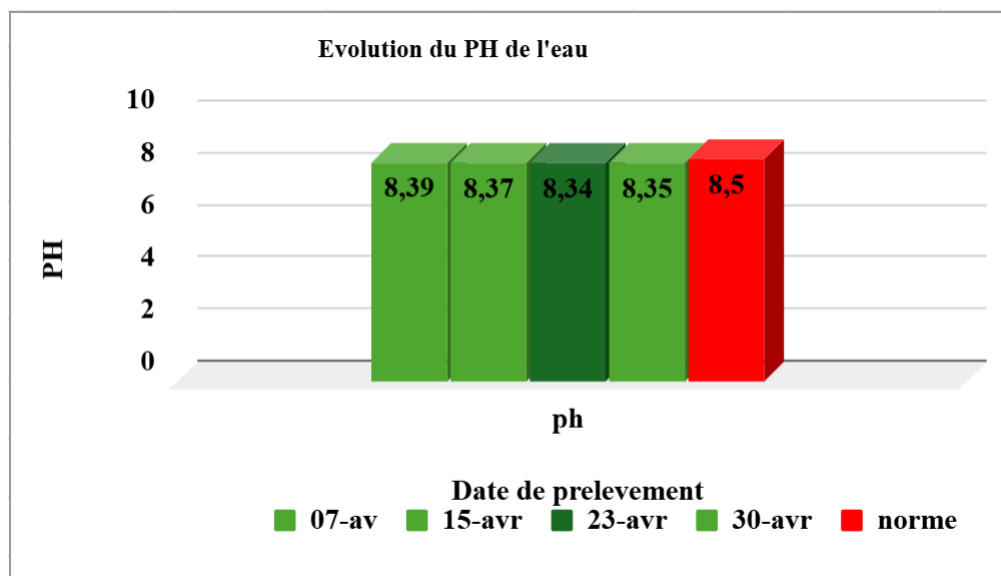


Figure III.5 : Comparaison du pH de l'eau produite avec les normes de qualité

- b- **Température** : Les températures mesurées dans les différents échantillons varient entre 16.9 et 18.1 °C. Selon la norme algérienne relative à la qualité de l'eau potable, la température doit être inférieure à 25 °C. Les valeurs obtenues sont donc conformes aux normes de potabilité, ce qui indique que la température de l'eau traitée reste dans la plage acceptable.

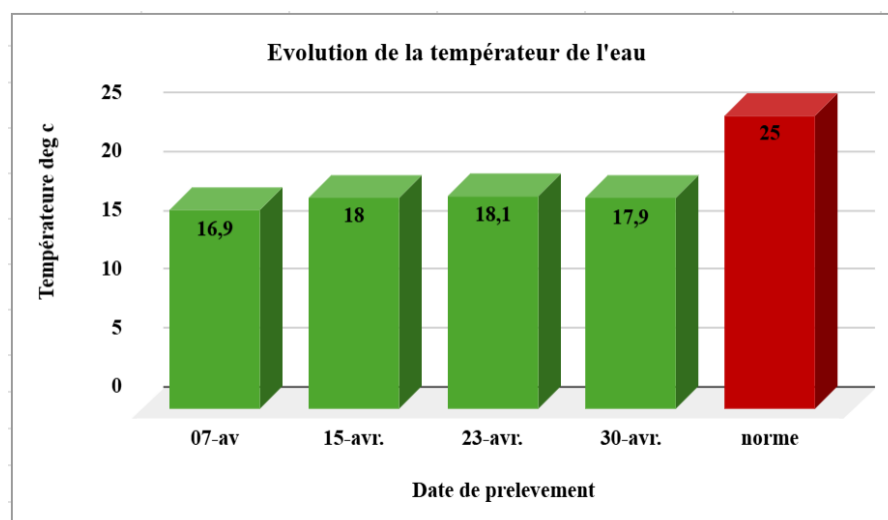


Figure III.6: Comparaison de la température de l'eau produite avec les normes de qualité

- c- **La dureté totale :** Les mesures de la dureté totale de l'eau traitée sont de **65 mg/L** en CaCO_3 , avec une valeur moyenne également de **65 mg/L**. Ces résultats restent largement inférieurs à la valeur maximale admissible de **500 mg/L** recommandée par les normes algériennes. L'eau traitée présente donc une dureté conforme aux exigences de qualité pour l'eau potable.

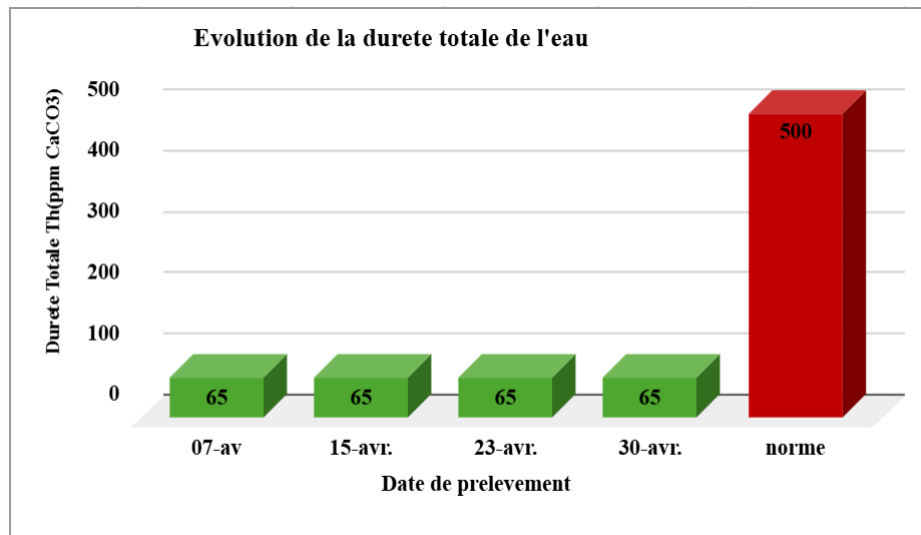


Figure III.7: Comparaison de la dureté de l'eau produite et les normes de qualité

- d- **La turbidité :** Selon les normes algériennes de potabilité, la valeur maximale admissible de la turbidité est fixée à **5 NTU**. Les échantillons analysés présentent des valeurs comprises entre **0.7** et **1.1 NTU**, soit des valeurs très faibles et proches de zéro. Ces résultats sont donc largement inférieurs à la limite réglementaire et indiquent que l'eau traitée est conforme aux normes de potabilité pour ce paramètre.

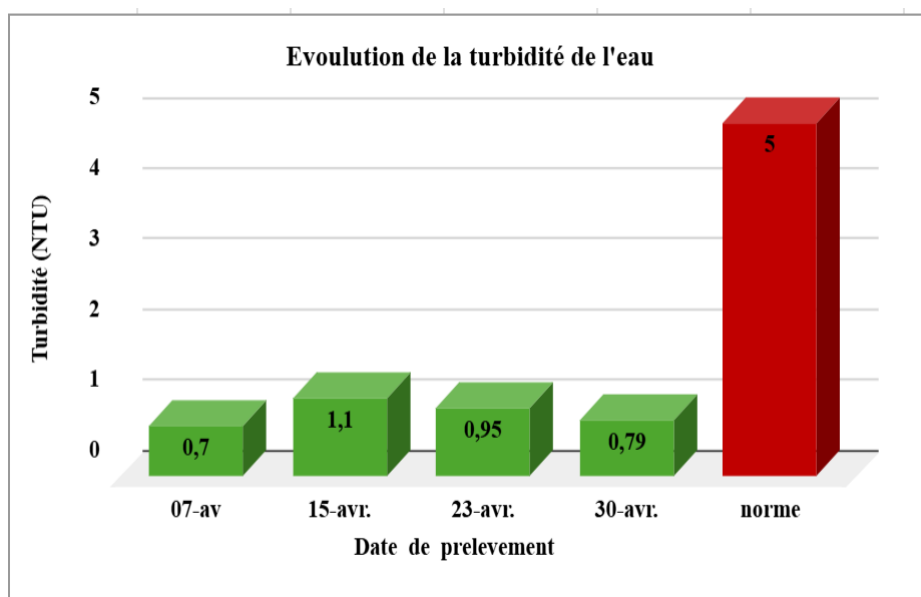


Figure III.8: Comparaison de la turbidité de l'eau produite avec les normes de qualité

- e- **Le calcium** : L'analyse des concentrations en calcium montre des valeurs comprises a **21.2 mg/L** en CaCO_3 . Ces concentrations restent largement inférieures à la valeur maximale admissible de **200 mg/L** en CaCO_3 fixée par les normes algériennes. Les résultats obtenus sont donc conformes aux exigences de qualité de l'eau potable pour ce paramètre.

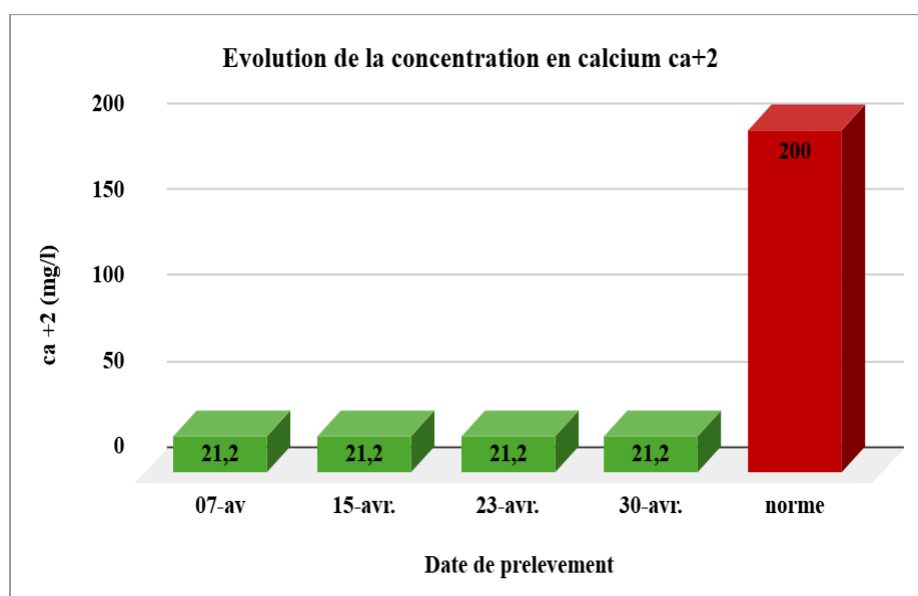


Figure III.9 : Comparaison du calcium de l'eau produite avec les normes de qualité

III.4.2 L'eau de mer et l'eau de rejet :

Le but de ces analyses est de contrôler les différents paramètres de l'eau afin de détecter et d'évaluer d'éventuels niveaux de pollution.

Tableau III.2 : Les résultats d'analyses de l'eau de mer (brute) et l'eau de rejet.

 Comparaison des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer et de l'eau de rejet – Avril 2026													
Paramètre	Unité	 Eau de mer (eau brute)						 Eau de rejet (saumure)					
		07/04	11/04	15/04	23/04	30/04	07/05	07/04	11/04	15/04	23/04	30/04	07/05
 Température	°C	16,2	17,2	17,18	17,1	16,8	16,9	17,1	17,6	18,15	18,1	17,93	17,87
 pH	-	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	7,96	7,98	7,98	7,96	7,97	7,98
 MTD	g/L	39,54	39,51	39,50	39,84	39,41	39,63	69,057	69,3	69,47	69,23	69,56	69,27
 Turbidité	NTU	1,57	1,62	1,67	1,54	2,16	1,71	0,23	0,25	0,24	0,23	0,26	0,24

PH : Les valeurs de PH de l'eau brute sont comprises à **8.08** par rapport à l'eau de rejet qui sont entre **7.96** et **7.98** ce qui indique qu'ils sont dans les règles (norme **6.5 - 8.5**) .

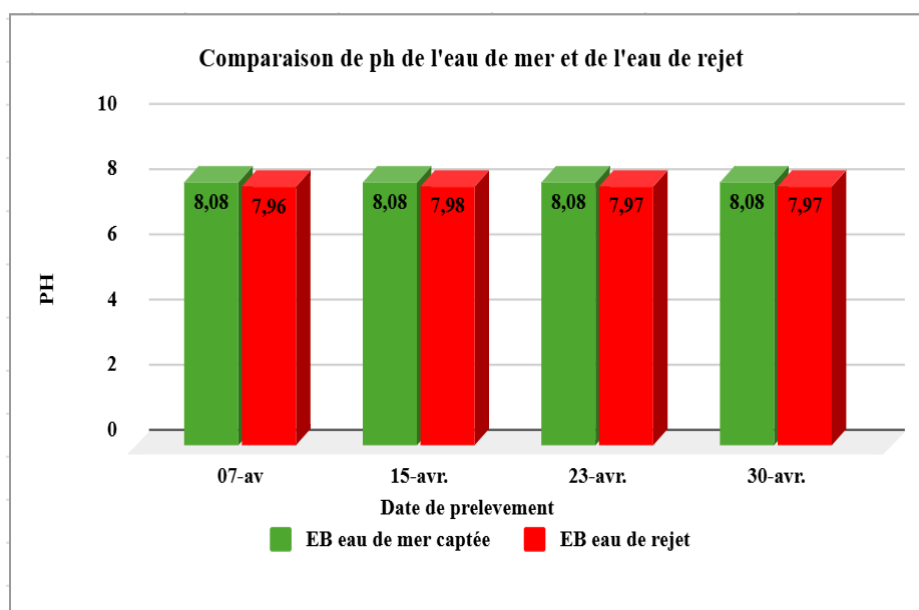


Figure III.10 : Comparaison du PH de l'eau de mer et l'eau de rejet

Température : Les températures de l'eau brute varient entre **16.2** et **17.18** °C, tandis que celles de l'eau de rejet sont comprises entre **17.18** et **18.15** °C. Ces valeurs restent inférieures à la limite de **25** °C fixée par les normes. On observe une légère augmentation de la température dans la saumure, probablement liée aux conditions de fonctionnement du procédé et à la pression exercée lors de l'osmose inverse.

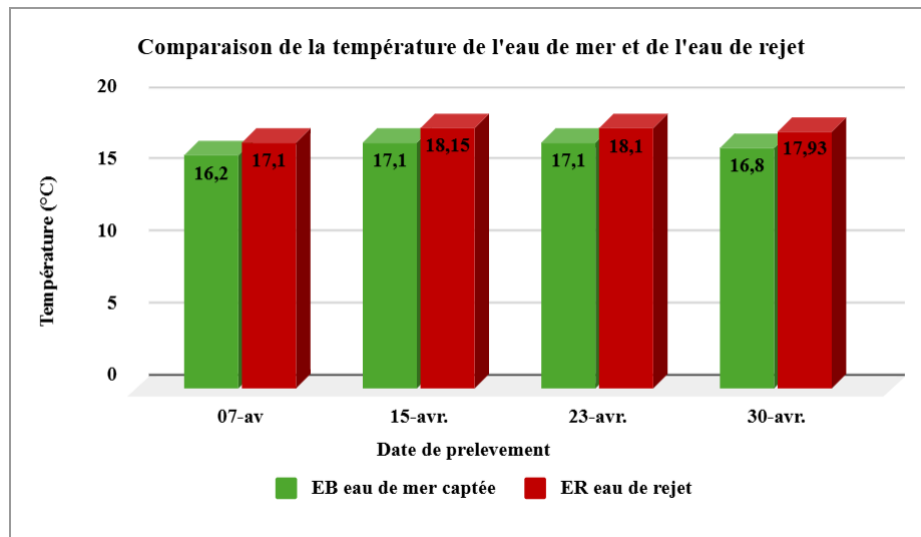


Figure III.11: Comparaison de la température de l'eau de mer et l'eau de rejet

Turbidité : Les valeurs de turbidité de l'eau brute varient entre **1.54** et **2.16** NTU, contre **0.23** à **0.26** NTU pour l'eau de rejet. Cette faible turbidité s'explique par l'efficacité de la microfiltration et de l'osmose inverse, qui retiennent les particules en suspension.

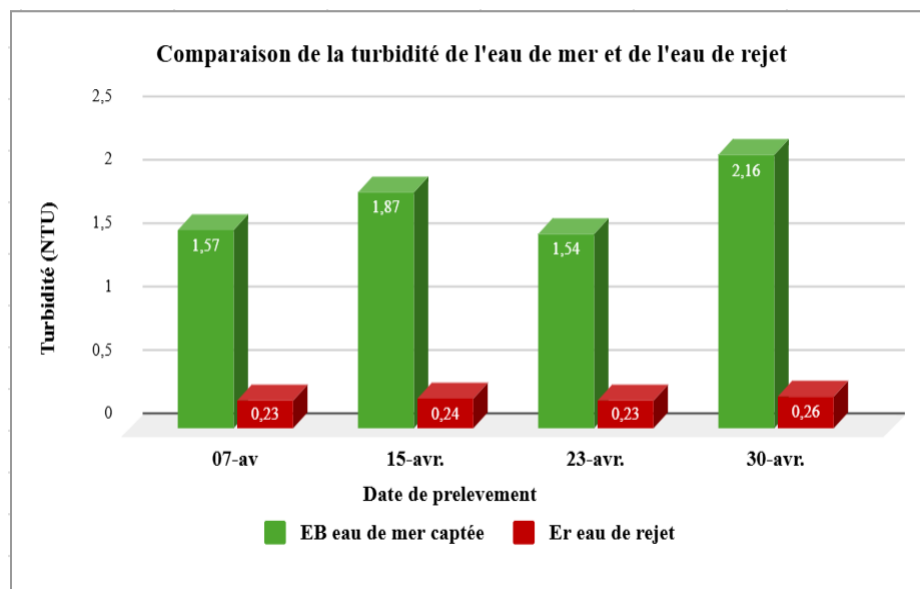


Figure III.12: Comparaison de la turbidité de l'eau de mer et l'eau de rejet

Matières dissoutes totales (MTD) : Les résultats enregistrés indiquent que les valeurs de MTD de l'eau brute sont dans l'intervalle (39.41 et 39.84 g /l), et celle de l'eau de rejet sont entre (69.057 et 69.56 g /l) norme entre 35 et 39 g/l, l'augmentation des solides dissous MTD dans l'eau de rejet montre que cette eau est chargée des sels inorganiques et de quelques matières organiques

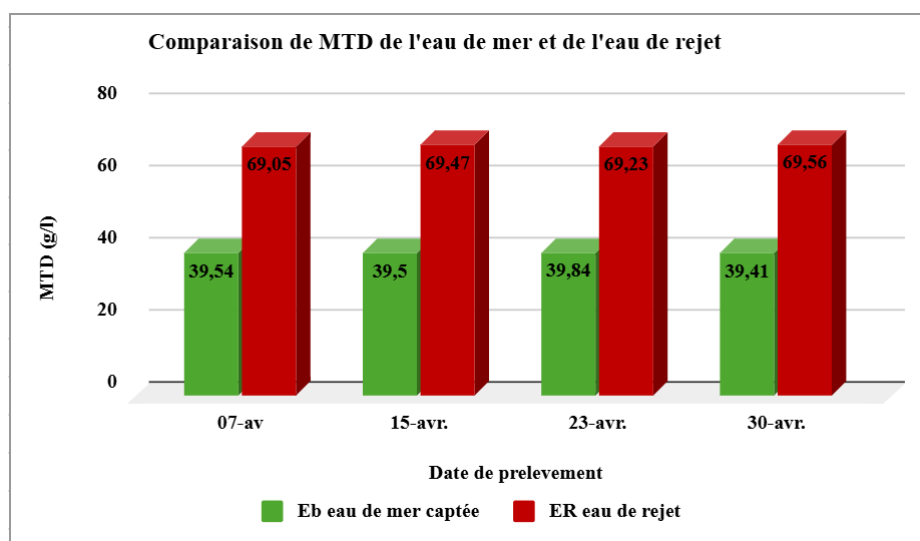


Figure III.13: Comparaison du MTD de l'eau de mer et l'eau de rejet

III.5 Rendement de production de la station de dessalement :

Tableau III.4: Évolution de la production journalière de la station de dessalement de Mostaganem

Dates	Production totale m ³ /j	production désigne m ³ /j	taux
07/04/2026	200 000	200 000	100%
11/04/2026	200 000	200 000	100%
15/04/2026	200 000	200 000	100%
23/04/2026	200 000	200 000	100%
30/04/2026	200 000	200 000	100%
07/05/2026	200 000	200 000	100%

Le tableau montre que la station de dessalement de Mostaganem a maintenu une production journalière de 200 000 m³/j durant les différentes dates de suivi. La production réalisée correspond à la production désignée, soit un taux de réalisation de 100 %, ce qui indique que la station a atteint sa capacité de production prévue au cours de la période étudiée.

Toutefois, cette production peut varier en cas de perte, de dysfonctionnement ou de perturbation au niveau de l'un des procédés ou équipements de la station, ce qui peut entraîner une diminution de la production journalière.

III.6 Impact de dessalement sur l'environnement :

Le dessalement de l'eau de mer constitue une solution importante pour répondre aux besoins en eau potable, mais son fonctionnement peut également entraîner plusieurs impacts sur l'environnement, notamment :

Rejet de saumure : l'eau de rejet présente une concentration élevée en sels, pouvant entraîner une augmentation locale de la salinité du milieu marin.

Perturbation des écosystèmes marins : les variations de salinité et de température autour des zones de rejet peuvent affecter certains organismes marins.

Rejet de produits chimiques : les produits utilisés lors du prétraitement, du nettoyage et de l'entretien des installations peuvent se retrouver dans les rejets s'ils ne sont pas correctement maîtrisés.

Consommation énergétique importante : le procédé d'osmose inverse nécessite une quantité importante d'énergie, ce qui peut contribuer indirectement aux émissions de gaz à effet de serre lorsque l'énergie provient de combustibles fossiles.

Impact des prises d'eau de mer : le pompage de grandes quantités d'eau peut entraîner l'aspiration accidentelle de petits organismes marins, notamment le plancton et certaines larves.

III.7. Techniques proposées pour réduire les impacts du dessalement :

La saumure est l'eau de rejet. Elle contient une concentration élevée en sels dissous, supérieure à celle de l'eau de mer initiale, ainsi que les substances présentes ou ajoutées au cours du traitement. Elle est généralement rejetée en mer après le processus de dessalement [15]. Les saumures fortement salines en contact avec la mer descendraient au fond de la mer et prolongeraient sur un rayon de centaines de mètres présentent une source continue et cumulative de pollution, qui aurait comme conséquence des détriments continus sur la vie aquatique à proximité (zone hyper saline). Pour réduire au minimum ces effets nuisibles des usines de dessalement de l'eau de mer ils proposent des remèdes pour débarrasser le surplus des saumures concentrées. [15]

- **L'utilisation de diffuseurs sous-marins**, permettant de favoriser une dispersion rapide et homogène de la saumure dans l'eau de mer et ainsi de limiter la formation de zones fortement salines.
- **La valorisation de la saumure**, notamment par la récupération de sels et de certains minéraux pouvant être réutilisés dans différents secteurs industriels par exemple diriger les saumures vers une usine de production de sel. Cette solution présentera beaucoup d'avantages environnementaux et économiques.
- **La réduction de la consommation énergétique**, grâce à l'utilisation de systèmes de récupération d'énergie et au recours progressif aux sources d'énergie renouvelables.
- **La surveillance régulière du milieu marin**, notamment au niveau de la zone de rejet, afin de suivre l'évolution de la salinité, de la température et des autres paramètres physico-chimiques, et de détecter rapidement d'éventuelles perturbations de l'écosystème. [16]

III.7.1. Dilution avec un Effluent de Station d'Épuration :

Parmi les différentes techniques proposées, la dilution de la saumure avec un effluent de station d'épuration constitue une solution particulièrement intéressante ; le mélange de la saumure avec les effluents des stations d'épuration constitue une solution préférable au rejet direct en mer.



Figure III.14: Localisation de la Station d'épuration et de la station de dessalement projetée de la Wilaya de Mostaganem

III .8 Conclusion :

Dans la station de dessalement de Mostaganem, les étapes de prétraitement assurent la bonne protection des équipements, contribuent à la production d'une eau de bonne qualité et permettent de respecter les normes de l'OMS et les normes algériennes.

- Les résultats obtenus montrent l'importance de cette station dans la lutte contre la pénurie d'eau potable dans la wilaya de Mostaganem.
- Comparée à l'eau de mer, la saumure présente une salinité nettement plus élevée, ce qui constitue l'un des principaux inconvénients du dessalement.
- Concernant la dilution de la saumure, celle-ci peut être mélangée aux eaux de l'oued Chlef avant son rejet en mer afin de réduire sa salinité et de limiter son impact sur l'écosystème marin.

Conclusion générale :

Bien que le dessalement de l'eau de mer connaisse un développement important dans plusieurs pays méditerranéens pour faire face à la pénurie d'eau potable, il peut également avoir des impacts sur le milieu marin. Ces impacts peuvent être liés à l'occupation des sols, aux nuisances sonores et visuelles, ainsi qu'aux rejets liquides et aux émissions atmosphériques. Parmi les principaux rejets, la saumure constitue une source de préoccupation en raison de sa forte salinité et de ses effets potentiels sur la vie marine. Ainsi, la protection des zones côtières représente un enjeu important pour l'Algérie, qui dispose d'une vaste façade maritime [17].

La station de dessalement de Sonachter fait partie des grandes installations de dessalement en Algérie, avec une capacité de production de 200 000 m³/jour. Elle contribue à renforcer l'approvisionnement en eau potable et à répondre aux besoins en eau de la wilaya de Mostaganem. La station fonctionne selon le procédé d'osmose inverse, une technologie largement utilisée pour son efficacité et sa consommation énergétique relativement faible. Le procédé repose notamment sur des filtres à sable et à cartouches, ainsi que sur un système de récupération de l'énergie contenue dans le concentrât, permettant d'améliorer les performances énergétiques de l'installation. [18]

Ce travail vise à contribuer à l'étude des impacts du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement. Il porte notamment sur l'évolution de la qualité de l'eau brute à travers différentes analyses physico-chimiques réalisées au laboratoire de qualité de la station de Sonachter, ainsi que sur l'évaluation de l'influence des rejets de saumure sur le milieu environnant.

La saumure qui est le liquide rejeté par la station, comparativement avec l'eau de mer présente une salinité beaucoup plus élevée, ce qui l'inconvénient majeur de dessalement, et qui provoque l'extinction et la mortalité des poissons, ainsi l'influence sur la qualité de l'eau par les eaux polluées qui sont mélangées par des produits chimiques (antitartre , antisalissure) rejetée dans la mer ; pour cela elles ne doit pas être rejetée dans la mer avant la neutralisée pour minimiser leur impact sur l'environnement .

Références Bibliographiques :

- [1] F. MUSSEAU, Article, URL <http://eau.apinc.org/spip.php?article510>, Libération du 8 Aout, (2007).
- [2] J. DUNGLAS, « Le dessalement de l'eau de mer, une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau ». Groupe eau. Académie d'agriculture de France, (2014).
- [3] M. MOUDJEB, « ETUDE DE LA STATION DE DESSALEMENT DE MOSTAGANEM », Mémoire Magister, Faculté d'Architecture et de Génie Civil, Département Hydraulique, Université d'Oran, (2016).
- [4] F. VALLIRON, « Gestion des eaux: alimentation en eau d'assainissement », presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, (1989).
- [5] J. B. CASTAING, « Procédés de traitement de l'eau de mer en conchyliculture pour la sauvegarde et le maintien de la qualité des mollusques bivalves ». Thèse de doctorat. Génies des procédés. Université de Nante, (2011).
- [6] B. CHENAOUI, « Dessalement de l'eau de mer à la station de MAINIS et son impact sur l'environnement ». Séminaire Ouargla. Université de Chlef, (2010).
- [7] O. AUTRAND, « Le dessalement d'eau de mer : Un avenir pour l'eau potable? », Février (2007).
- [8] V. RENAUDIN, « Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres » CNRS, Nancy 2003.
- [9] www.emse.fr « brodahg » fiche9_2.
- [10] UNEP/MAP, « Dessalement de l'eau de mer en méditerranée évaluation et lignes directrices », MAP Technical Reports Series No. 139, Athens, (2003).
- [11] Bureau d'étude National Eau et Environnement. SPA Alger, janvier 2009
- [12] Document de la station. « UTE, desalodra Ténès Opération et Maitenimients O &M », (juin 2016).
- [13] STMM – AEC / Inima – Aqualia.
- [14] Myron L Company. (s.d.). Ultrameter II 6PFC(E) : Multiparameter Water Quality Instrument.
- [15] P. BALASUBRAMANIAN, A brief review on best available technologies for reject water (brine) management in industries, J. Environ. Sci. 3. 201032018(2013)
- [16] Mavukkandy, M. O., Chabib, C. M., Mustafa, I., Al Ghaferi, A., & AlMarzooqi, F. Brine management in desalination industry: From waste to resources generation. Desalination, 472, 114187. (2019)
- [17] Document de la station. « UTE, desalodra Ténès Opération et Maitenimients O &M », juin (2016).
- [18] J. RODIER, « L'analyse de l'eau « eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer ». 8^{ème} édition. Paris. Edition : Dunod. 1382p, (2005).
- [19] Techniques d'ingénieur. Dessalement de l'eau de mer référence J 2 700.

