

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Institut de Technologie



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أولحاج
- البويرة -
معهد التكنولوجيا

Département de Technologie chimique industrielle
Rapport de soutenance
En vue de l'obtention du diplôme
Licence professionnelle en :
Génie chimique

Thème :

« **Concept et paramètres de traitement de l'eau de mer par la
Station de Dessalement de Ténès** »

Réalisé par :

KEDDARI Fella

Encadré par :

Mr BOUTICHE Ahmed

Tuteur de l'entreprise :

M^{elle} BOUZEKRI Abir

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Je remercie en premier lieu le DIEU tout puissant de m'avoir accordé la puissance, la patience, le courage et la volonté de terminer ce modeste travail.

*Puis, Je tiens à remercier très sincèrement Mr **BOUTICHE** Ahmed, Professeur à l'institut de technologie, d'avoir accepté de m'encadrer, d'être à l'origine du thème de ce mémoire de fin d'études de licence professionnel en génie des procédés (génie chimique) et pour son aide précieuse dans la rédaction de ce modeste travail.*

Je remercie aussi les membres du département de génie des procédés et mes sentiments de profonde gratitude vont à mes professeurs qui tout au long des années d'études m'ont transmis leur savoir sans réserve.

*J'adresse mes sincères remerciements A tous ce qui m'ont suivi durant notre période de stage en particulier *me^{lle}* **BOUZEKRI** Abir, Mr **LOUDANE** Mustapha, ainsi que Mr **ALIMRINA** Saïd pour leur modestie, leur aide et leur disponibilité.*

Je remercie mes parents qui par leurs encouragements, leur soutien et leur amour inconditionnel, m'ont aidée à surmonter tous les obstacles. Je n'oublie bien évidemment pas mes camarades de formation et les remercie pour tous ces agréables moments passés ensemble.

Enfin, je tiens à remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à l'exécution de ce modeste travail et qui n'ont pas pu être cités ici.

Dédicace

A cœur vaillant rien n'est impossible

A conscience tranquille tout est accessible

Quand il y a la soif d'apprendre

Tout vient à point à qui sait attendre

Quand il y a le souci de réaliser un objectif

*Tout devient facile pour arriver à nos fins Malgré les obstacles qui
s'opposent*

En dépit des difficultés qui s'interposent

Je dédie ce modeste travail

*A Mes chers parents, que nulle dédicace ne puisse exprimer mes
sincères sentiments, pour leur patience illimitée, leur encouragement
continu, leur aide, en témoignage de mon profond amour et respect
pour leurs grands sacrifices.*

*A Mes chères et adorables sœurs : Assia, Hayet, Yasmine. Je vous
souhaite toute une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le
tout puissant, vous protège et vous garde.*

*À Mes chers petits neveux et nièces : Alaa, Ines, Anes, Yanis, Puisse
Dieu vous garder, éclairer votre route et vous aider à réaliser à votre
tour vos vœux les plus chers.*

*Aux gens que j'aime : Abdelmadjid, Houria, Noura, wafaa, kenza,
Maïssa, Nawel, abir.*

*Une spéciale dédicace à tous ceux qui ont été de vrais amis pour moi,
qui m'ont soutenu et partagé avec moi tout les moments de ma joie et
de ma peine tout au long de ces années, merci. Puisse Allah vous
préserver. J'espère conserver à jamais les souvenirs et les liens qui
nous unissent.*

Fella

Sommaire

Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	1

Chapitre I

Partie théorique

I.1. Présentation de la commune de Ténès	3
I.1.1. Situation géographique.....	3
I.1.2. Données Climatologiques	3
I.1.3. Population.....	3
I.2. Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer (Ténès).....	4
I.3. Situation géographique de la station de dessalement de l'eau de mer (Ténès).....	4
I.4. L'eau.....	5
I.5. Qualité de l'eau	5
I.5.1. Paramètres physicochimiques	5
I.6. L'eau potable.....	6
I.6.1. Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation	7
I.7. Les ressources de l'eau dans la nature	9
I.7.1. Les eaux de pluie.....	9
I.7.2. Les eaux de surface	9
I.7.3. Les eaux souterraines	9
I.7.4. Les eaux de mer et les eaux saumâtres.....	9
I.8. Dessalement dans le monde	11
I.9. Dessalement en Algérie.....	11
I.10. Définition de dessalement de l'eau de mer	11
I.11. Schéma général d'une installation de dessalement.....	12
I.11.1. Une prise d'eau de mer.....	12
I.11.2. Un prétraitement.....	12
I.11.3. Installation de dessalement.....	13
I.11.4. Poste de traitement	13

I.12. Différents procédés de dessalement	13
I.12.1. Procédés de distillation.....	14
I.12.2. Procédés membranaires	16
I.13. Autres procédés de dessalement.....	19
I.13.1. Echange ionique	19
I.13.2. Dessalement par congélation.....	19
I.13.3. Distillation solaire	19
I.14. Problèmes techniques rencontrés en dessalement	20
I.14.1. Entartrage	20
I.14.2. Corrosion.....	20
I.14.3. Colmatage.....	21
I.15. Impact de dessalement sur l'environnement	21
I.15.1. Rejets atmosphériques.....	21
I.15.2. Rejets chimiques	21
I.15.3. Rejets de saumures	22

Chapitre II

Processus de dessalement

II.1. Processus de dessalement appliqués dans la station de Ténès	23
II.1.1. Captation de l'eau de mer.....	23
II.1.2. pré-traitement	24
II.1.2.1. Pré-traitement chimique	24
II.1.2.1.a. Désinfection.....	24
II.1.2.1.b. Injection du métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2$).....	24
II.1.2.1.c. Antitartre	25
II.1.2.2. pré-traitement physique	25
II.1.2.2.a. Filtre à sable	25
II.1.2.2.b. Filtre à cartouche	26
II.1.2.3. osmose inverse	26
II.1.2.4. poste- traitement.....	28

Chapitre III

Contrôle de qualité

III.1. Contrôle de qualité.....	29
III.2. Contrôle physico-chimique.....	29
III.2.1. Prélèvement.....	29
III.2.2. Contrôle physique	30
III.2.3. Contrôle chimique.....	32
III.3. Résultats des contrôles physico-chimiques de l'eau produite	40
III.4. Interprétation des résultats physico-chimiques de l'eau produite	41
III.4.1. Potentiel d'hydrogène (PH).....	41
III.4.2. Température	41
III.4.3. Conductivité	41
III.4.4. Total des solides dissous (TDS).....	41
III.4.5. La turbidité	42
III.4.6. La dureté totale.....	42
III.4.7. Calcium et magnésium	42
III.4.8. Alcalinité	42
III.4.9. Le chlore libre	43
III.4.10. Le bore.....	43
III.4.11. L'indice de langelier	43
conclusion.....	44
Références bibliographiques	
Annexe	

ملخص

إن مشكل نقص المياه الصالحة للشرب يطرح مع مرور الوقت مشكل عويص لدى عدة دول في العالم خاصة في الجزائر، و اهم مصادر المياه موجودة في البحار و المحيطات ، لذلك كان من الضروري اكتشاف طريقة للحصول على ماء صالح للشرب (تحلية مياه البحر) و تحلية مياه البحر تنجز حاليا وجوهريا بطريقة التناضح العكسي.

محطة تحلية مياه البحر بتنس واحدة من اكبر محطات التحلية في الجزائر بقدرة إنتاج تقدر ب 200000م³/ اليوم. في الواقع هذا المشروع يساهم في تلبية الحاجيات لمياه الشرب لولاية الشلف، يهدف هذا العمل إلى تتبع النوعية الفيزيائية و الكيميائية للمياه التي تنتجها محطة تحلية مياه البحر بواسطة تقنية الضغط الأسموزي العكسي.

وتظهر هذه الدراسة أن جميع المعلومات التي تتعلق بالنوعية الفيزيائية والكيميائية مطابقة لمعايير مياه الشرب التي أوصت بها منظمة الصحة العالمية.

الكلمات المفتاحية: تحلية مياه البحر، التناضح العكسي ، النوعية الفيزيائية و الكيميائية.

Résumé

Le problème de pénurie en eau potable se pose encore de nos jours dans de nombreux pays particulièrement dans l'Algérie. Du fait de l'importance de la ressource en eau présente dans les océans, la solution du dessalement de l'eau de mer est en constant progrès. Ce dessalement se fait actuellement majoritairement par osmose inverse.

La station de dessalement de Ténès fait partie des grandes usines de dessalement en Algérie avec une capacité de production de 200000 m³ /jour. En effet, ce projet contribue à résoudre la pénurie des ressources en eau de la wilaya de Chlef, Ce travail a pour objectif de faire un suivi de l'évolution de la qualité physico-chimique de l'eau obtenue par le dessalement de l'eau de mer par la technique d'osmose inverse.

Cette étude montre que tous les paramètres physico-chimiques étudiés respectent les normes de l'eau potable recommandées par l'OMS.

Mots clés : Dessalement, osmose inverse, qualité physico-chimique.

Abstract

The shortage of drinking water still arises to day in many countries and particularly for algeria . Because of the importance of water resources present in the oceans, the solution of desalination of sea water is in constant progress. This is currently done mainly desalination by reverse osmosis.

The Ténès desalination plant is one of the large desalination plants in Algeria with a production capacity of 200,000 m³ / day. Indeed, this project contributes to solving the shortage of water resources in the wilaya of Chlef, The aims of This work is to track the evolution of the physico-chemical quality of the water produced by the desalination of seawater by reverse osmosis technique

This study shows that all studied physicochemical parameters meet the standards of drinking water recommended by WHO.

Keywords : Desalination, Sea water, reverse osmosis , physico-chemical quality.

Liste des figures

Figure I.1 : situation géographique de la station de dessalement (Ténès).	4
Figure I.2 : une molécule d'eau.....	5
Figure I.3 : schéma général d'une installation de dessalement.....	12
Figure I.4 : procédés de dessalement industrialisés	14
Figure I.5 : Distillation par détente successive	15
Figure I.6 : Distillation à multiples effet	16
Figure I.7 : Distillation avec compresseur de vapeur.....	16
Figure I.8 : Unité d'électrodialyse alimentée en parallèle	17
Figure I.9 : mise en évidence de l'osmose inverse.	18
Figure II.1 : Tuyaux de captage de l'eau de mer.	23
Figure II.2 : les deux beaudrey de la station (filtration mécanique).	24
Figure II.3 : filtres à sables.	26
Figure II.4 : filtres à cartouches.	26
Figure II.5 : un rack dans le système d'OI.	27
Figure II.6 : système de récupération d'énergie.	28
Figure III.1 : point de prélèvement de l'eau de mer.	29
Figure III.2 : point de prélèvement de l'eau produite.....	30
Figure III.3 : point de prélèvement de l'eau rejetée (saumure).	30
Figure III.4 : appareil multi-paramètre.	31
Figure III.5 : turbidimètre de la station de Ténès.	31
Figure III.6 : dosage de la dureté.	33
Figure III.7 : dosage de calcium.	34
Figure III.8 : spectromètre pour la mesure de sulfate (a) et TSS (b).	36
Figure III.9 : test de chlorure.	37
Figure III.10 : test de l'alcalinité.	38
Figure III. 11 : appareil de mesure le chlore libre.	39

Liste des tableaux

Tableau I.1: Evolution de population dans la commune de Ténès.	3
Tableau I.2 : paramètres physicochimiques selon l’OMS et le journal officiel algérien.....	5
Tableau I.3: paramètres chimiques selon le JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 18.	6
Tableau I.4 : composition chimique de l’eau de mer.....	10
Tableau III.1 : fourchette d’équilibre de l’indice de langelier.	32
Tableau III.2 : tableau de conversion de bore.	40
Tableau III.3 : résultats des contrôles physico-chimiques.....	40

Liste des Abréviations

CV : compression mécanique de vapeur

ED : Electrodialyse

ERI : Energy Recovery INC

EDTA : Ethyle Diamine Tétra Acitique

Km : kilo mètre

mm : millimètre

mg : milligramme

mg/L : milligramme par litre

m³ : mètre cube

m³/j : mètre cube par jour

m³/h : mètre cube par heure

MED : Distillation à Multiples Effets

MRE : Ministère des ressources en eaux

N : Normalité

NTU : Unité Néphrélométrique

OI : osmose inverse

OMS : Organisation Mondiale de la santé

pH : potentiel d'Hydrogène

ppm : partie par million

RO : Reverse osmosis

T : Température

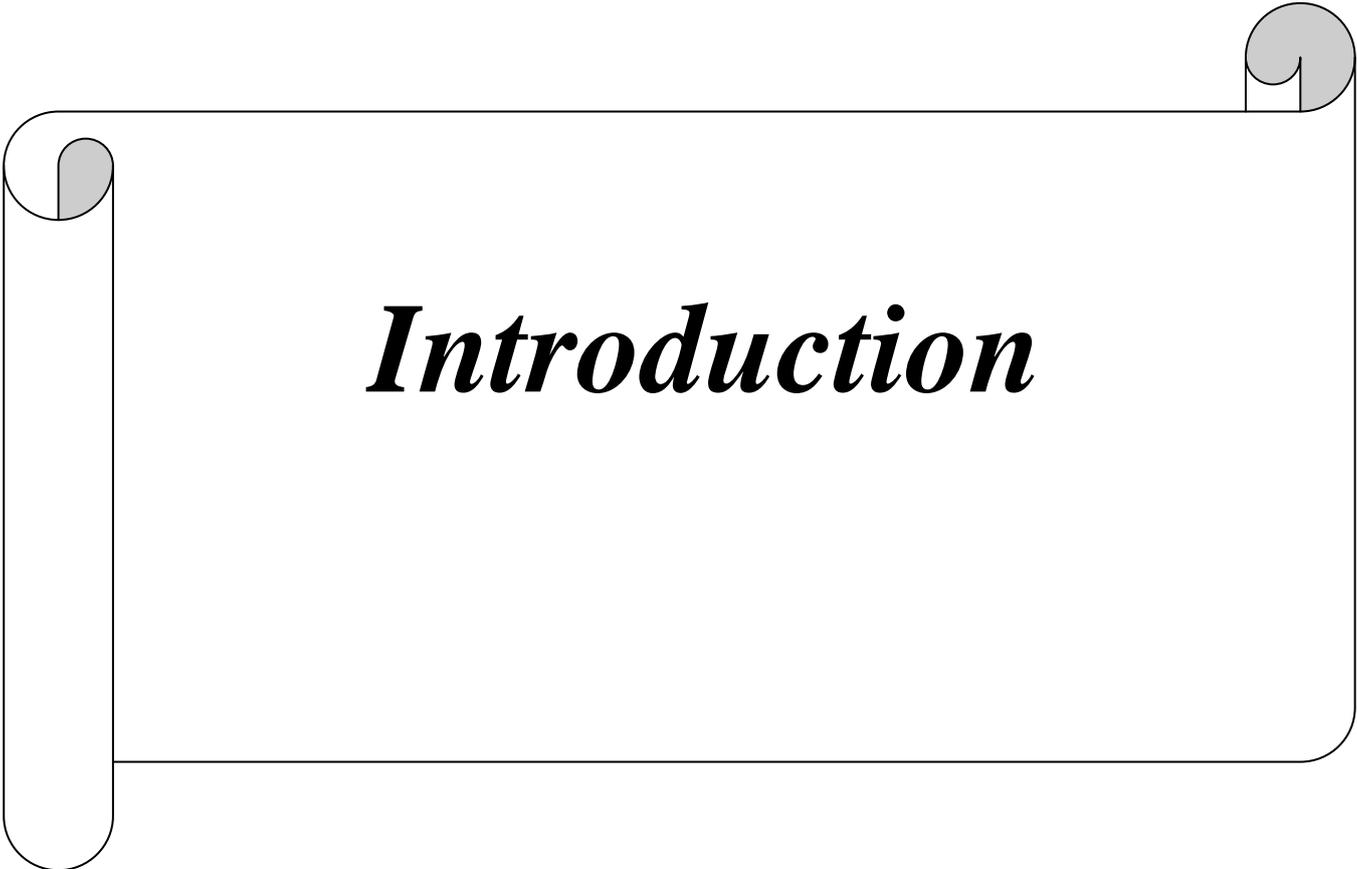
TDS : solide Totaux Dissous

TH : Titre Hydrométrique (la dureté totale)

TSS : Total des matières solides en suspension

µm : micro mètre

µS/cm : micro siemens par centimètre



Introduction

Introduction

L'eau est un élément indispensable à toute forme de vie. Elle n'est, malheureusement, pas disponible en quantité infinie sur notre planète et elle n'est pas toujours disponible là où on en a le plus besoin. Avec le développement de l'Homme et des mégapoles où il vit désormais, le problème de la disponibilité de l'eau se pose avec acuité et se posera d'avantage dans un avenir proche, ce qui constitue une perspective inquiétante. Il se pose en matière de qualité pour les pays du Nord et en matière de quantité pour les pays du Sud.

L'Algérie n'échappe malheureusement pas à cette situation de raréfaction de ce précieux liquide. Cette situation est due à un essor démographique très important, à un exode rural vers la zone côtière qui abrite les grandes villes, à une élévation du niveau de vie, à une agriculture irriguée croissante qui nécessite de grandes quantités d'eau et à une activité industrielle grandissante.

De plus, les changements climatiques, qui provoquent de longue période de sécheresse, viennent augmenter la pression due au déficit en ressource en eaux. Sans tenir compte des caprices de la météo, il s'agit, de tenter d'atteindre, de pourvoir au moins 1000 m³ d'eau par an et par habitant : le défi n'est pas simple à relever mais il n'est pas insurmontable non plus ! En effet, l'OMS considère qu'il y a stress hydrique lorsqu'un être humain dispose de moins de 1700 m³ d'eau par an et pénurie lorsqu'il dispose de moins de 1000 m³ par an. Malheureusement, de nos jours, plus de 1,4 milliards de personnes vivent avec moins de 1000 m³ d'eau par an

Pour la résolution de cette problématique, en supposant qu'au préalable les réflexes parcimonieux quand à l'utilisation du potentiel existant sont acquis (en évitant le gaspillage, les fuites et la pollution), l'Algérie, comme beaucoup d'autres pays de la région, a eu recours, depuis une quinzaine d'années, à des ressources en eaux dites « non conventionnelles ». La plus importante méthode sur laquelle s'est basée l'excellente politique de notre Ministère des Ressources en Eaux (MRE) pour mettre fin à cette situation de crise, est la technique de dessalement de l'eau :

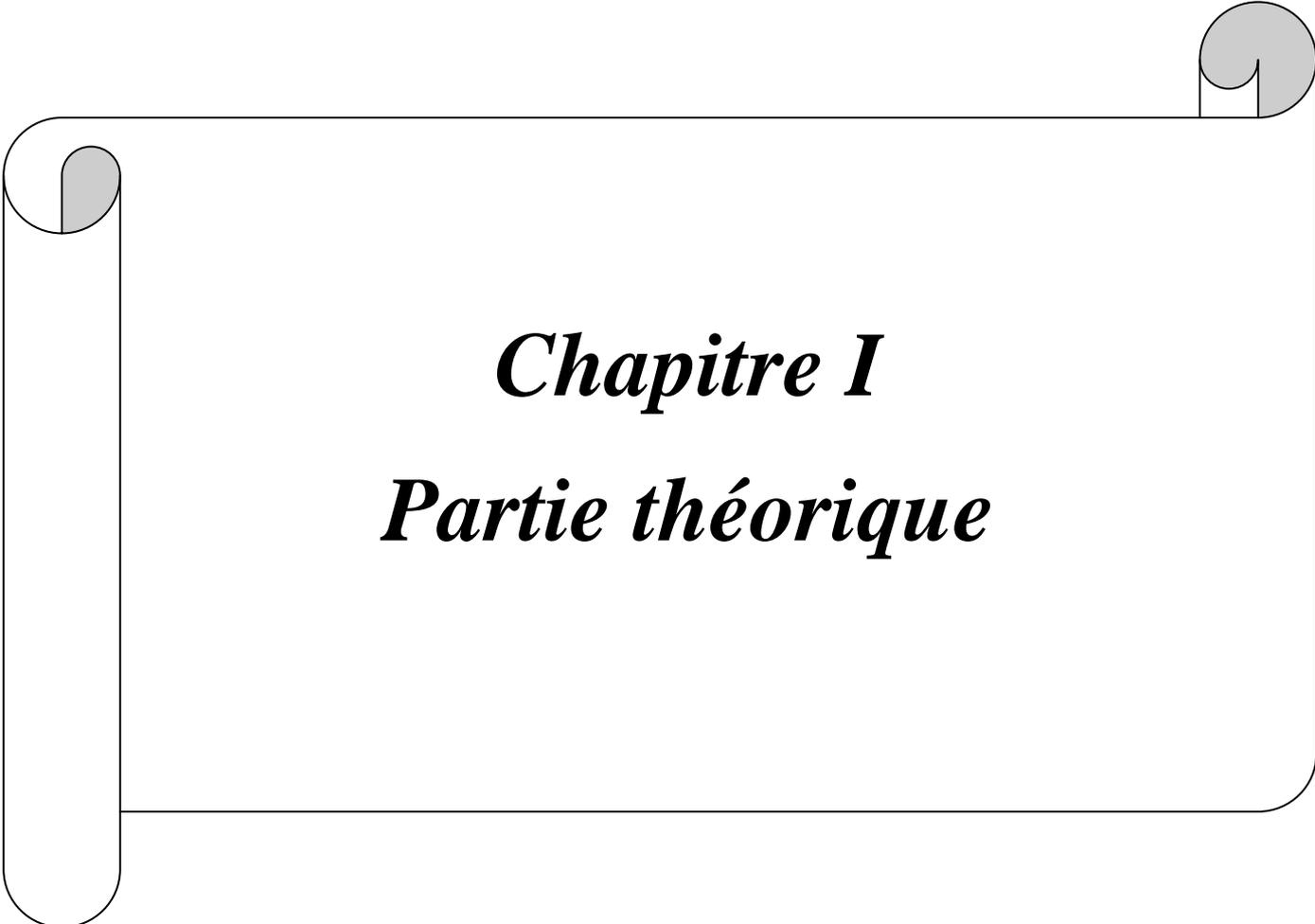
Le dessalement de l'eau de la mer méditerranée, dont la salinité est de 35 mg/litre, pour alimenter en eau potable les villes de la zone côtière et ;

- le dessalement (déméralisation) des eaux saumâtres, dont la salinité ne dépasse pas 0.35 mg/l, pour alimenter les régions enclavées et désertiques. Parmi les nombreuses méthodes de dessalement ayant fait leurs preuves, l'Algérie a opté, dans la grande majorité des cas, pour la technique dite à Osmose Inverse (RO : Reverse Osmosis). C'est une méthode membranaire mûre, technologiquement bien maîtrisée avec des taux de recouvrement de plus de 60%. Le grand inconvénient qu'on lui attribue c'est d'être énergivore. Si notre pays s'est considérablement investi dans le dessalement c'est, principalement, pour répondre aux besoins des populations, les besoins de l'agriculture, eux, sont couverts par l'eau des barrages. Même si de nos jours 84 barrages sont disponibles avec une capacité de stockage estimée à 8,4 milliards de m³, il y a lieu, impérativement, d'améliorer les méthodes d'irrigation.

Le mémoire comporte trois chapitres :

- Le premier chapitre comporte d'une description générale de la station de dessalement de l'eau de mer (Ténès wilaya de Chlef), il est aussi consacré à une étude bibliographique sur les propriétés de l'eau et les différents procédés de dessalement utilisés en Algérie et dans le monde.
- Dans le deuxième chapitre nous présentons les processus de dessalement appliqués dans la station de dessalement de Ténès.
- Dans le troisième chapitre nous citons les contrôles physico-chimiques de l'eau produite et finalement l'interprétation et la discussion sur les résultats obtenus. (A cause de covid 19, ce travail a été limité ce qui n'a pas offert l'opportunité de détailler encore).

Nous terminons ce mémoire par une conclusion générale.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and horizontal lines at the top and bottom. The corners are rounded, and there are grey shaded areas at the top-left and top-right corners, suggesting the scroll is unrolled.

Chapitre I
Partie théorique

I.1.Présentation de la commune de Ténès

I.1.1. Situation géographique

Ténès est une ville côtière de la mer Méditerranée, située au nord de l'Algérie, à mi-distance d'Alger (à environ 215 km à l'est) et d'Oran (à environ 230 km à l'ouest et à 102 km de Cherchell [1]).

I.1.2. Données Climatologiques

- **Climat** : La région de Ténès appartient au domaine méditerranéen avec un climat doux. Les températures moyennes varient entre 12° et 15°c en hiver, 23°et 27° en été [1].
- **Les vents** : Les vents dominants pendant l'année sont :
 1. Vents de l'Est en été ;
 2. Les vents de l'Ouest et Sud-ouest en hiver, et parfois des vents de désert en été (sirocco) [1].
- **La pluviosité** : Elle se manifeste essentiellement en automne et en hiver, soit entre les mois d'octobre (73mm) et avril (62 mm), le maximum des précipitations est atteint en décembre avec 94mm [1].
- **L'humidité** : Elle varie entre 70 et 80 %, elle représente une moyenne agréable, air léger et facile à respirer [1].

I.1.3. Population

Au dernier recensement de 2008, la population de Ténès a été estimée à 35 402 habitants [2].

Tableau I.1:Evolution de population dans la commune de Ténès.

Année	1987	1988	2008
Population	26 380	34 332	35 402

I.2.Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer (Ténès)

La mise en service finale de la station de dessalement Ténès était en juin 2015 dont la capacité de production est de $200\,000\text{m}^3/\text{j}$ par la technique d'osmose inverse, assurant l'approvisionnement en eau potable de plusieurs communes.

L'investissement a été réalisé par l'entreprise « SONATRACH et SONELGAZ » avec 49% et l'entreprise espagnole « ABENGOA » avec 51% de cet investissement.

I.3.Situation géographique de la station de dessalement de l'eau de mer (Ténès)

Le site de l'usine de dessalement d'eau de mer de Ténès est localisé dans la wilaya de Chlef, daïra de Ténès, commune de Ténès à l'entrée Ouest de la ville de Ténès, plus précisément au lieu-dit « **Mainis** » à 7 Km du chef-lieu de commune.

Le site est sillonné par la route nationale RN°11 en provenance de Mostaganem et en direction de Tipaza [2].

Le site considéré pour l'implantation de l'usine de dessalement offre une superficie des 8 hectares, il est limité par :

- Au Nord : par la mer Méditerranée ;
- Au Sud : par la route nationale N°11 ;
- A l'Ouest: par une petite unité de dessalement $5000\text{ m}^3/\text{j}$ (ancienne station) ;
- A l'Est : par les habitations de Mainis.



Figure I.1 : situation géographique de la station de dessalement (Ténès).

I.4.L'eau

L'eau est un corps incolore, inodore et sans saveur. C'est un composé chimique simple, sa formule chimique est H_2O , c'est -à- dire que chaque molécule d'eau est constituée d'un atome d'oxygène (O) relié à deux atomes d'hydrogènes (H) par deux liaisons covalentes simples, formant un angle de 104.5° . La représentation de la molécule d'eau sous sa forme compacte donne une image de la forme réelle de la molécule et de l'encombrement des atomes qui la constitue [3].

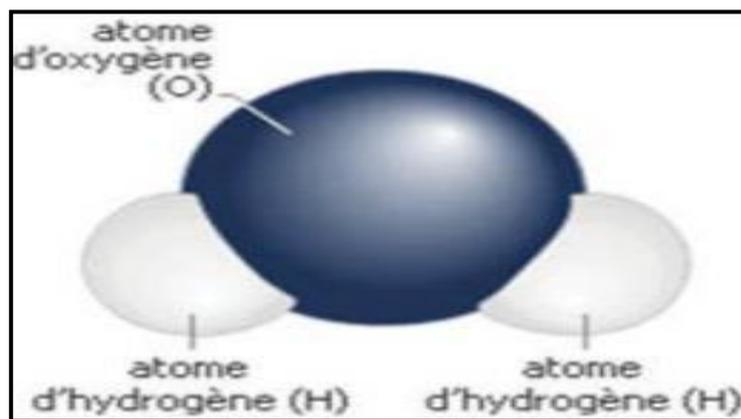


Figure I.2 : une molécule d'eau [3].

L'eau présente sur notre Terre et indispensable à la survie de tout être vivant, animal ou végétal n'est pas un liquide banal [4]. En particulier, l'eau entre, pour 70 à 80 % en moyenne, dans la composition de la matière vivante et c'est le principal constituant de l'organisme humain. De plus, l'homme ne peut pas vivre plus de quatre jours sans eau [5].

I.5.Qualité de l'eau

I.5.1. Paramètres physicochimiques

Tableau I.2 : paramètres physicochimiques selon l'OMS et le journal officiel algérien [6].

Paramètres	Selon l'OMS	Selon le journal algérien	Unité
Ph	9	6.5-8.5	
Conductivité	1000	2800	$\mu s/cm$
Dureté totale	50	100-500	$^\circ F$
Calcium	100	75-200	mg/L
Magnésium	50	150	mg/L
Sodium	150	200	mg/L
Potassium	12	20	mg/L
Sulfates	250	200-400	mg/L
Chlorures	600	200-500	mg/L
Nitrates	50	50	mg/L

Nitrites	0.1	0.1	mg/L
Ammonium	0.5	0.5	mg/L
Phosphates	5	5	mg/L
Oxydabilité (KMnO ₄)	5	3	mg/L
Oxygène dissout	5	5	mg/L
Aluminium	0.2	0.2	mg/L
Température	25	25	°C

Tableau I.3: paramètres chimiques selon le JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 18 [7].

Paramètres	Valeurs limites	Unité
Aluminium	0.2	mg/l
Ammonium	0.5	mg/l
Baryum	0.7	mg/l
Bore	1	mg/l
Fer total	0.3	mg/l
Fluorures	1.5	mg/l
Manganèse	50	µg/l
Nitrates	50	mg/l
Nitrites	0.2	mg/l
Oxydabilité	5	mg/l O ₂
Phosphore	5	mg/l
Acrylamide	0.5	µg/l
Antimoine	20	µg/l
Argent	100	µg/l
Arsenic	10	µg/l
Cadmium	3	µg/l
Chrome total	50	µg/l
Cuivre	2	mg/l
Cyanure	70	µg/l
Mercure	6	µg/l
Nickel	70	µg/l
Plomb	10	µg/l
Sélénium	10	µg/l
Zinc	5	µg/l

I.6.L'eau potable

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur [8].

I.6.1. Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation

Une eau est dite "potable" si elle respecte les valeurs imposées par la loi. Il existe cinq catégories de paramètres [9] :

I.6.1.1. Paramètres organoleptiques

- **Le goût** : Ensemble complexe des sensations olfactives, gustatives perçues au cours de la dégustation, il doit être non désagréable [10].
- **La couleur et l'odeur** : La couleur de l'eau est liée à la présence de substances organiques colorées (principalement des acides humiques et fulviques) et de métaux (le fer et le manganèse). L'odeur a pour origine principale la présence de substances organiques volatiles ou de certains gaz [11].
- **La turbidité** : La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau; c'est l'inverse de la limpidité. Techniquement, la turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée (diffraction) ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite. Elle est causée par diverses matières particulaires ou colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques ainsi que du plancton et d'autres microorganismes [12].

I.6.1.2. Paramètres physico-chimiques

- **Température** : La température d'une eau potable devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air. Pour que l'eau potable soit désaltérante, sa température doit situer entre 8 et 15°C. L'OMS ne recommande aucune valeur. Pratiquement, la température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé humaine, cependant, une température supérieure à 15 °C favorise le développement des microorganismes dans les canalisations en même temps qu'elle peut intensifier les odeurs et les saveurs. Par contre, une température inférieure à 10 °C ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements d'eau [13].
- **La 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^{2+} et Mg^{2+} . 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. On l'exprime aussi en degré français [14].

- **PH** : Le pH exprime l'acidité ou l'alcalinité suivant qu'il se trouve dans la bande de 0 à 7 ou de 7 à 14, le 7 constitue la neutralité du milieu .Le pH est indissociable de la température de l'oxygène dissous de la minéralisation totale. La mesure du pH grâce à un PH-MÈTRE ou un comparateur colorimétrique approprié est tout à fait valable pour déterminer la concentration de l'ion d'hydrogène et l'ion d'hydroxyde [13].
- **La minéralisation** : La minéralisation est la concentration en sel dissous (Sulfates, Chlore, Sodium, Magnésium, Aluminium) [11].

I.6.1.3.Substances indésirables

Ce sont entre autres, les éléments suivants (Acrylamide, Azote Kjeldahl N, Benzène, Bore, Bromates, Chlorure de vinyle , Cuivre, Détergents anioniques , Dichloréthane, Epichlorhydrine, Fer, Fluorures, H₂S , Hydrocarbures dissous, Manganèse, Nitrites (NO₂), Nitrates (NO₃), Oxydabilité au MnO₄K , Phénols, Tétrachloroéthylène et Trichloréthylène, Trihalométhanes) [9].

I.6.1.4.Substances toxiques

Parmi ces substances, on peut citer les éléments suivants (Arsenic, Cadmium, Cyanure, Chrome total, Mercure, Nickel, Plomb, Antimoine, Sélénium, Hydrocarbures aromatiques polycycliques) [9].

I.6.1.5.Paramètres bactériologiques

L'eau contient une multitude de micro-organismes (bactéries, virus, parasites) issus de l'activité biologique naturelle. Certains de ces micro-organismes peuvent être pathogènes pour l'homme. Les maladies d'origine microbienne constituent d'ailleurs le risque sanitaire le plus important dans le domaine de l'eau : les effets sanitaires (gastro-entérite,...) peuvent se produire à court terme et se caractériser dans certaines situations par la survenue d'épisodes épidémiques [11].

L'eau ne doit en aucun cas contenir des organismes pathogènes et/ou d'organismes indicateurs d'une contamination fécale, tels les bactéries coliformes fécales, les bactéries Escherichia coli, les bactéries entérocoques et les virus coli-phages. L'eau ne doit pas contenir plus de 10 bactéries coliformes totales par 100 millilitres d'eau prélevée [15].

I.7. Les ressources de l'eau dans la nature

I.7.1. Les eaux de pluie

Théoriquement, les eaux de pluie ou de précipitation sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine en ajoutant bien sûr à ces eaux les éléments nécessaires pour qu'elles deviennent potables tels que les sels minéraux. Il devait s'agir d'eau distillée, mais en réalité et surtout dans les régions industrialisées, ces eaux peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de leurs captage freinent l'utilisation de cette source [15].

I.7.2. Les eaux de surface

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leur parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement [16].

I.7.3. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont habituellement de bonne qualité. La composition des eaux souterraines est fonction de la composition des sols qui les contiennent. On peut cependant noter d'une façon générale l'absence d'oxygène, une faible turbidité, et une forte minéralisation. De plus, les eaux souterraines sont de composition relativement constante. La présence de fer et de manganèse et l'agressivité de l'eau due à la haute teneur en dioxyde de carbone (CO_2) sont les principales sources de problèmes avec ces eaux [17].

I.7.4. Les eaux de mer et les eaux saumâtres

- **Les eaux saumâtres**

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. Les eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en traversant les sols. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl [18].

- **L'eau de mer**

L'eau de mer est une solution complexe qui contient tous les éléments indispensables à la vie (calcium, silicium, carbone, azote, phosphore, oligo-éléments), des matières organiques (teneur comprise entre 0.5 et 2mg) et, naturellement à l'état dissous, les gaz présents dans l'atmosphère. L'eau de mer est faiblement alcaline. Son pH étant compris entre 7,5 et 8,4 [19].

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g/L. Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées [18] :

- Mer Méditerranée : 36 à 39 g.l⁻¹ ;
- Mer Rouge : environ 40 g.l⁻¹ ;
- Mer Caspienne : 13 g.l⁻¹ ;
- Mer Morte : 270 g.l⁻¹ ;
- Golfe Arabo-Persique : 36 à 39 g.l⁻¹ ;
- Mer Baltique 7 g.l⁻¹ ;
- Mer Noire 20 g.l⁻¹ [20].

Toutefois, 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 [20].

Tableau I.4 : composition chimique de l'eau de mer [21].

Composition de l'eau de mer (g/l)		Proportion (%)
11.035	Sodium	30.64
1.330	Magnésium	3.69
0.418	Calcium	1.16
0.397	Potassium	1.10
0.014	Strontium	0.04
19.841	Chlorures	55.08
2.769	Sulfates	7.69
0.146	Bicarbonates	0.41
0.068	Bromures	0.19

0.001	Fluorures	0.00
36.02	Total	100

I.8. Dessalement dans le monde

Le dessalement de l'eau est en très forte croissance dans le monde. La capacité installée augmente chaque année en moyenne de plus de 10 %. Cela s'explique en partie par l'abaissement significatif des coûts de dessalement et par la proximité des villes de la côte. Ces deux facteurs font du dessalement une vraie ressource alternative [22].

Aujourd'hui, plus de 15 000 unités de dessalement dans 120 pays produisent environ 40 millions de m³/j, dont les trois quarts issus de l'eau de mer et un quart des eaux saumâtres. Sur ces 40 millions, 75% sont destinés à la consommation humaine, 25% à un usage industriel ou agricole. Au rythme actuel d'un doublement de la production tous les 10 ans, les spécialistes estiment que la production grimpera à 50 ou 60 millions de m³/j avant 2015, et pourrait à nouveau doubler d'ici à 2025. 60% des besoins en eau douce des pays du Golfe Persique sont satisfaits par le dessalement d'eau de mer. En effet, Plus de la moitié de la capacité de dessalement mondiale se trouve dans les pays du Moyen Orient [20].

I.9. Dessalement en Algérie

Les ressources hydriques de l'Algérie restent limitées et l'accroissement rapide des besoins en eau potable ainsi qu'en eau pour l'irrigation et l'industrie a été fort et reste continu.

Devant cette situation de fait, la volonté des hommes s'est appuyée sur les ressources de la science en faisant appel à la technologie du dessalement de l'eau de mer. Le dessalement se profile aujourd'hui comme une alternative crédible. Au total, le programme de dessalement de l'eau de mer prévoyait d'installer, à l'horizon 2019 et sur l'ensemble de la côte algérienne, 43 unités, tous modules confondus. Le procédé adopté par les stations de dessalement d'eau de mer est celui dit d'osmose inverse.

I.10. Définition de dessalement de l'eau de mer

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage) est un processus qui permet de retirer le sel de l'eau salée ou saumâtre afin de la rendre potable après traitement. La technique de déminéralisation consiste à séparer les sels dissous dans l'eau et à éliminer l'excès des ions en solution causant une minéralisation excessive. L'élimination peut être obtenue grâce à des procédés variés de traitement des éléments constituant la solution saline, dont les plus répandus sont les sulfates, les chlorures et divers ions halogènes [23].

I.11.Schéma général d'une installation de dessalement

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes :

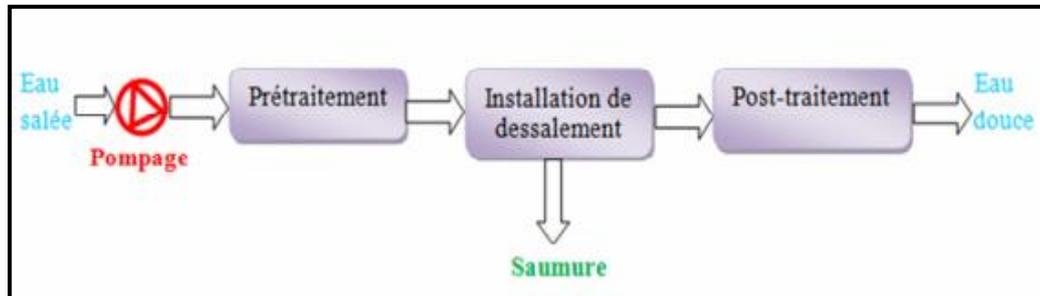


Figure I.3 : schéma général d'une installation de dessalement [24].

I.11.1. Une prise d'eau de mer

Une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière, ils sont utilisés dans cette étape deux types de technologies :

- Les forages côtiers : soit verticaux soit sous forme des galeries horizontales permettant d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stables ;
- La prise d'eau de surface : peut être faite en pleine mer. Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la côte, protégé des pollutions et des forts courants [17].

I.11.2. Un prétraitement

La salinité, les matières en suspension ainsi que les matières organiques des différents océans ou mers du globe sont très variables. Les systèmes de prétraitement de l'eau de mer avant dessalement ont pour but d'éliminer les matières en suspension et le plancton qui sont susceptibles de colmater les installations de dessalement [25].

Les techniques de prétraitement de l'eau de mer sont :

- **Coagulation –floculation** : L'opérateur de coagulation-floculation a pour but la croissance des particules (qui sont essentiellement de floccs colloïdaux) par déstabilisation des particules en suspension puis formation de floccs par agrégation. [26].

- **Filtration** : Protège les pompes et assure le bon fonctionnement des pulvérisateurs.
- **Chloration** : Bloque la prolifération des organismes vivants. Evite l'obstruction des conduites.
- **Antitartre** : La distillation favorise la précipitation du carbonate de calcium qui se dépose sur la paroi des échangeurs et réduit le transfert de chaleur [24].

I.11.3. Installation de dessalement

Plusieurs méthodes permettent la séparation de l'eau de mer en une eau douce contenant une faible concentration des sels dissouts, et une solution concentrée en sels. On citera notamment la distillation, l'osmose inverse, la congélation et l'électrodialyse. Cependant, les deux technologies utilisées actuellement, à l'échelle industrielle, sont celles basées sur la distillation et l'osmose inverse [27].

I.11.4. Poste de traitement

Le post traitement permet la potabilisation de l'eau en sortie de l'installation de dessalement en la rendant minéralisée. Ceci se fait en deux étapes:

- on corrige la corrosivité par ajout de Ca(OH)_2 ou de CaCO_3 .
- on désinfecte l'eau en sortie de l'usine pour garantir sa qualité (pas de micro-organismes) [24].

I.12. Différents procédés de dessalement

Les procédés de dessalement peuvent être regroupés en deux grandes familles:

- Procédés de distillation (ou d'évaporation) ;
- Procédés membranaires.

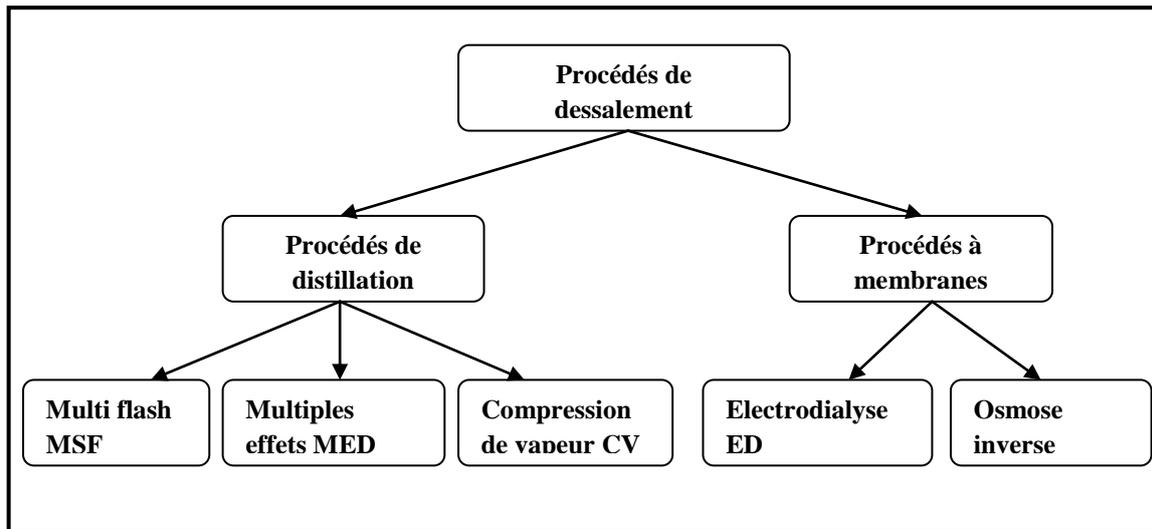


Figure I.4 : procédés de dessalement industrialisés [17].

I.12.1. Procédés de distillation

La distillation est la technique de dessalement de l'eau de mer la plus ancienne. Elle s'appuie sur les propriétés d'évaporation-condensation de l'eau : le chauffage de la solution à purifier permet la vaporisation de l'eau et sa récupération par condensation. Elle conduit à la production d'une eau pure et d'une solution concentrée, le concentrât. Ce procédé thermique est un grand consommateur d'énergie. En effet, la vaporisation d'un volume d'eau salée exige une quantité de chaleur importante pour augmenter la température jusqu'à ébullition puis pour vaporiser l'eau. L'apport de chaleur nécessaire dépend en fait des conditions de température et de pression : à une pression inférieure à la pression atmosphérique, la quantité de chaleur à fournir est moindre car la température d'ébullition de l'eau est plus basse. L'ajustement des conditions de pression et de température, les principes de la distillation en série et de la récupération d'énergie calorifique ont été utilisés pour optimiser le procédé de distillation simple, qui pâtit en outre de rendements faibles [28].

L'optimisation de la consommation énergétique et du rendement, nécessaire pour assurer un intérêt économique à la distillation, a conduit aux techniques actuelles. Les plus utilisées sont :

- La Distillation par détente successive ou procédé 'Flash' ;
- La distillation à multiples effets (MED) ;
- La compression mécanique de vapeur (CV).

I.12.1.1. Distillation par détente successive ou procédé 'Flash'

Consiste à mettre une enceinte sous vide, isolée et ne contenant que de l'eau de mer. On la maintient en équilibre avec sa vapeur à une température « T » et une pression « P ». Lorsque de l'eau chaude est introduite dans l'enceinte, et que P est inférieure à la pression de saturation, on observe une vaporisation instantanée par détente. La chaleur de la vapeur est transférée à l'eau froide circulant dans les tubes de condenseur. Elle est alors condensée sur un faisceau tubulaire situé dans la partie supérieure de l'enceinte. On peut alors récupérer l'eau distillée pure [29].

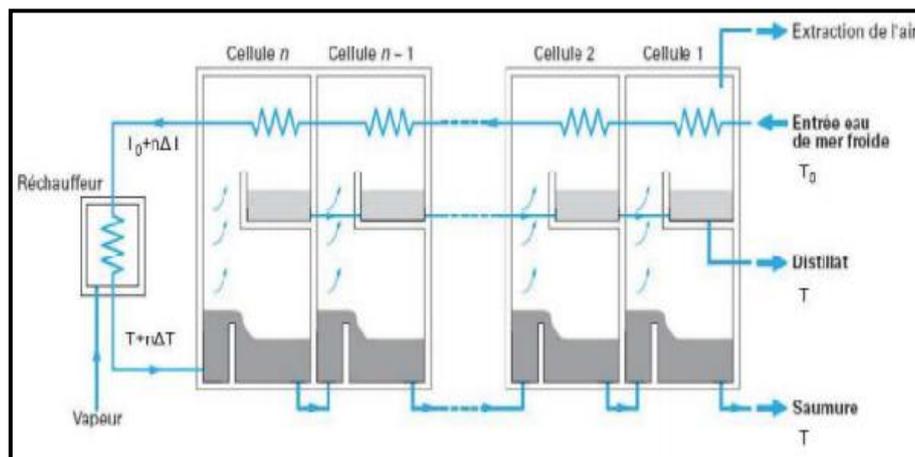


Figure I.5 : Distillation par détente successive [30].

I.12.1.2. Distillation à multiples effets (MED)

Une installation de distillation à multiples effets est constituée par la juxtaposition de n cellules fonctionnant selon le principe de l'effet simple (Figure). Le fluide de réchauffage porte à l'ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule, qui est aussi la cellule où règne la température la plus haute. La vapeur émise par l'ébullition de l'eau de mer est transférée dans la cellule voisine, où on maintient une pression légèrement inférieure. La température d'ébullition diminuant avec la pression, on vaporise l'eau de mer présente dans la deuxième cellule. C'est le deuxième effet. On peut évidemment répéter l'opération plusieurs fois, la limite basse étant donnée par la température de l'eau de mer froide [31].

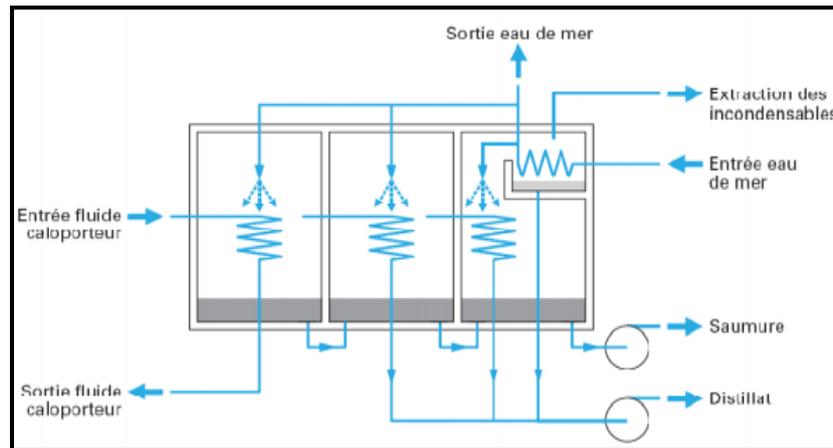


Figure I.6 : Distillation à multiples effet [30].

I.12.1.3. Compression mécanique de vapeur

L'eau salée arrive dans un évaporateur, où elle se vaporise aux environs de 100°C grâce à un serpentin auxiliaire de vapeur qui est ensuite mis hors circuit. La vapeur d'eau à la pression atmosphérique et vers 100°C est alors aspirée par un compresseur qui la porte à une pression relative de l'ordre de 0,2 bar, avec une surchauffe de l'ordre de seulement 6°C , la vapeur surchauffée passe ensuite dans le serpentin principal de l'évaporateur où elle se condense. Parmi les avantages de la thermo compression c'est son haut rendement, on peut retirer environ $0,8 \text{ m}^3$ d'eau douce de 1 m^3 d'eau brute [32].

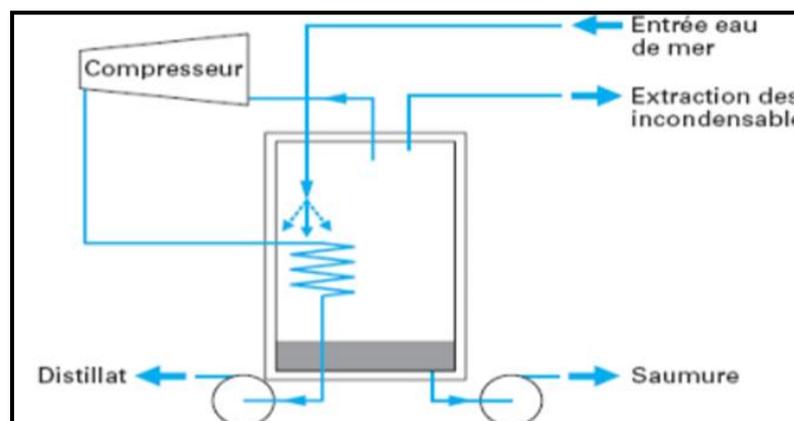


Figure I.7 : Distillation avec compresseur de vapeur [27].

I.12.2. Procédés membranaires

De nombreux facteurs ont contribué à accroître l'intérêt vis-à-vis des procédés membranaires dans la production d'eau potable : dans un premier temps, l'insuffisance

annoncée des ressources en eau douce a conduit à développer des membranes pour le dessalement de l'eau de mer [33].

Dans cette catégorie on note l'existence de l'électrodialyse et de l'osmose inverse. Ce dernier constitue le procédé membranaire le plus utilisé pour l'eau de mer et saumâtre [34].

I.12.2.1. Electrodialyse (ED)

L'électrodialyse est un procédé à membranes très ancien puisque la première installation date des années 1960. Ce procédé consiste à éliminer des sels dissous dans l'eau saumâtre par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique.

Le terme dialyse désigne la diffusion d'un soluté à travers une membrane qui lui est perméable au solvant. L'électrodialyse désigne donc le transfert d'ions à travers une membrane qui leur est perméable sous l'effet d'un champ électrique. L'électrodialyse est donc un procédé électrochimique qui permet d'extraire les ions contenus dans une solution. L'extraction des ions se fait par migration des ions à travers des membranes sélectives (anioniques ou cationiques) sous l'action d'un champ électrique [35].

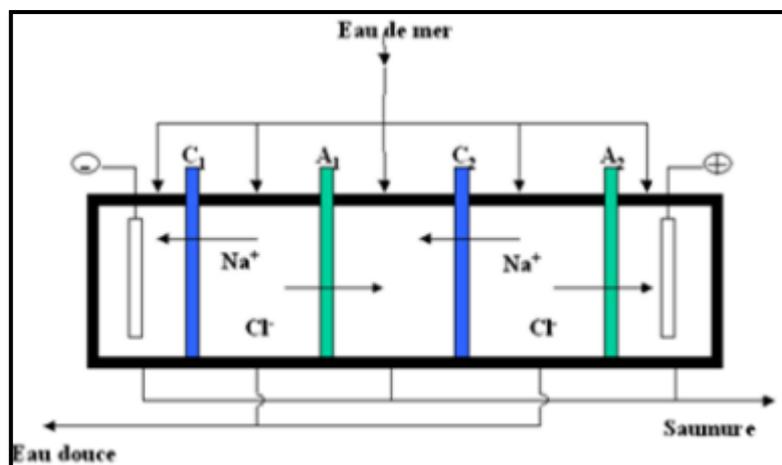


Figure I.8 : Unité d'électrodialyse alimentée en parallèle [35].

I.12.2.2. Osmose inverse (OI)

L'osmose est un phénomène naturel : lorsque deux solutions salines de concentrations différentes sont séparées par une membrane semi-perméable, l'eau passe spontanément de la solution la moins concentrée vers la plus concentrée. Lorsque l'équilibre est établi, la différence de pression entre les deux compartiments est la pression osmotique. L'osmose inverse repose sur le principe contraire. Lorsqu'une pression importante (supérieure à la

pression osmotique) est appliquée à l'eau salée, l'eau douce traverse la membrane. La membrane est constituée d'une pellicule de polymère perméable et sélective ; elle permet seulement le passage des molécules d'eau, produisant ainsi de l'eau douce. La pression osmotique est de l'ordre de 29 bars pour l'eau de mer. Plus l'eau est chargée en sels, plus la pression osmotique est élevée. Elle est donnée par la loi de van 't Hoff. Donc pour pallier l'augmentation de la pression osmotique au fur et à mesure que l'eau est extraite et pour produire un flux d'eau douce significatif, il est nécessaire que le système fonctionne sous une pression nettement plus importante, soit environ 60 à 70 bars [36].

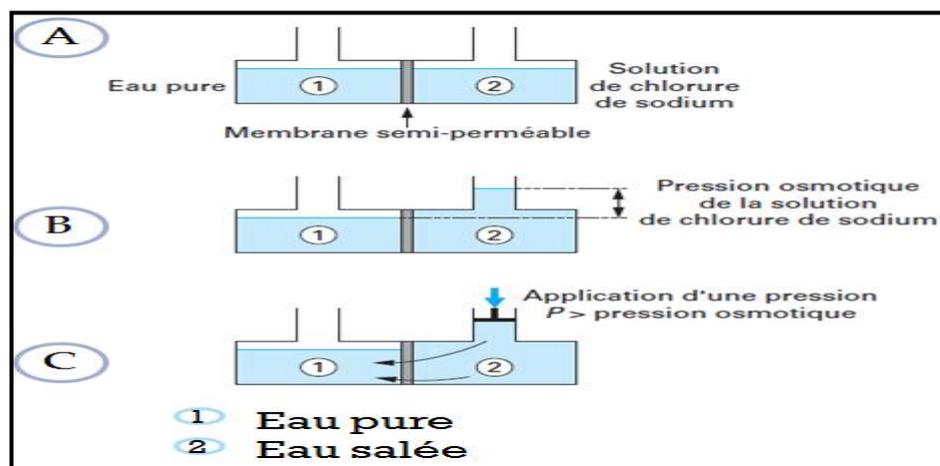


Figure I.9 : mise en évidence de l'osmose inverse [30].

Initialement fabriquées sur une base d'acétate de cellulose, les membranes modernes sont des tri-couches dont la couche active de quelques dizaines de nanomètres d'épaisseur est un polyamide aromatique. En agissant sur l'épaisseur et la porosité, les fabricants obtiennent ainsi un bon compromis entre la perméabilité et la sélectivité des membranes adapté à la nature de l'eau traitée. 6 Travailler à hautes pressions signifie que les membranes doivent résister à d'importants écarts de pressions. Les membranes étant très sensibles aux phénomènes d'encrassement, les usines de dessalement par osmose inverse nécessitent des postes de pré et post-traitement très performants [36].

Pour les solutions diluées, considérées comme thermodynamiquement idéales, la pression osmotique est calculée à partir de l'équation de Van'tHoff [17] :

$$\Pi = C R T$$

Π : pression osmotique de la solution, Pa.

C : concentration de la solution, mol.m^{-3} .

R : constante des gaz parfait, $8,31 \text{ J.mol}^{-1} .\text{K}^{-1}$.

T : température, K.

La pression de fonctionnement pour l'eau de mer est comprise entre 54 et 80 bars contre une pression osmotique de l'ordre de 25 bars [37].

La plupart des usines d'osmose inverse sont équipées par des systèmes de récupération d'énergie de pression à partir du débit de concentrât sortant à pression élevée. Cette récupération se fait au moyen d'une turbine, qui peut être couplée directement à une pompe d'alimentation des modules ou à un alternateur produisant de l'électricité [30].

I.13. Autres procédés de dessalement

I.13.1. Echange ionique

Le phénomène d'échange d'ions se produit quand on met en contact une eau saumâtre avec certaines substances insolubles ayant la propriété d'échanger certains de leurs ions avec les sels de l'eau. Les produits employés actuellement sont des produits insolubles dénommés échangeurs d'ions (résines synthétiques sous la forme de graines d'environ 0,3 à 1,5 mm).

Cette méthode est applicable seulement pour les eaux contenant jusqu'à 10 g/L de sel [32].

I.13.2. Dessalement par congélation

Le dessalement par congélation est basé sur le changement de phase liquide-solide de l'eau de mer. Selon la thermodynamique, la glace formée à partir de l'eau de mer est pure. Elle peut être séparée de la solution concentrée, puis fondue afin d'obtenir une eau douce.

En pratique, la glace est contaminée par les sels lors de la congélation pour des raisons cinétiques, et par la saumure elle-même pendant la séparation glace solution ; Le procédé doit permettre de minimiser cette contamination [38].

I.13.3. Distillation solaire

La distillation solaire est un procédé simple et pouvant être appliqué de façon rustique mais elle ne convient évidemment qu'aux régions où l'ensoleillement est suffisant. L'eau salée dans un bac va se chauffer (d'autant plus vite que le bassin est noir) et avec l'augmentation de température une partie de l'eau s'évapore et la vapeur d'eau se liquéfie sur

la surface intérieure de la vitre transparente. Eventuellement des gouttes d'eau vont se former, couler sur la surface de la vitre et tomber dans le récupérateur situé au coin. Il faut régulièrement nettoyer le bassin pour éliminer le sel [39].

I.14.Problèmes techniques rencontrés en dessalement

Les 4 principaux problèmes que l'on rencontre dans le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres sont :

I.14.1. Entartrage

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

Ces dépôts sont constitués principalement par du carbonate de calcium (CaCO_3) ; de l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et de sulfate de calcium (CaSO_4)...etc. Par la diversité de leurs origines, les dépôts de tartre ont des conséquences considérables sur le fonctionnement des installations de dessalement :

- Réduction de la section de passage ;
- Dégradation des états de surface ;
- Augmentation des pertes de charge pour un débit constant ;
- Obturation des conduites du fait de la diminution de son diamètre par les dépôts de tartre [29].

I.14.2. Corrosion

La corrosion est la dégradation d'une substance, en particulier un métal ou un alliage, provoquée par l'action chimique d'un liquide ou d'un gaz sur la substance. Le terme corrosion s'applique plus particulièrement à l'action graduelle d'agents naturels, tels que l'air ou l'eau salée sur les métaux.

Les principales conséquences de la corrosion sont :

- Rupture des conduites ;
- Augmentation de la rugosité ;
- Fuites d'eau ;
- Pollution de l'eau produite par des agents extérieurs [29].

I.14.3. Colmatage

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

Le développement de microorganismes, dans les parties des installations ou les conditions physicochimiques le permettent, peut accentuer le phénomène par suite de la formation de films biologiques sur les surfaces de transfert.

Le colmatage a comme conséquences :

- Une augmentation de la perte de charge ;
- Une augmentation du passage de sels, le colmatage empêche la retro diffusion des sels rejetés par la membrane ;
- Une perte de flux [29].

I.15. Impact de dessalement sur l'environnement

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 [40].

Cet impact est multiple et se manifeste par :

I.15.1. Rejets atmosphériques

Les usines de dessalement étant essentiellement alimentées par des énergies fossiles, elles génèrent donc directement ou indirectement des polluants atmosphériques ; gaz carbonique, oxydes de soufre et d'azote, particules solides [41].

I.15.2. Rejets chimiques

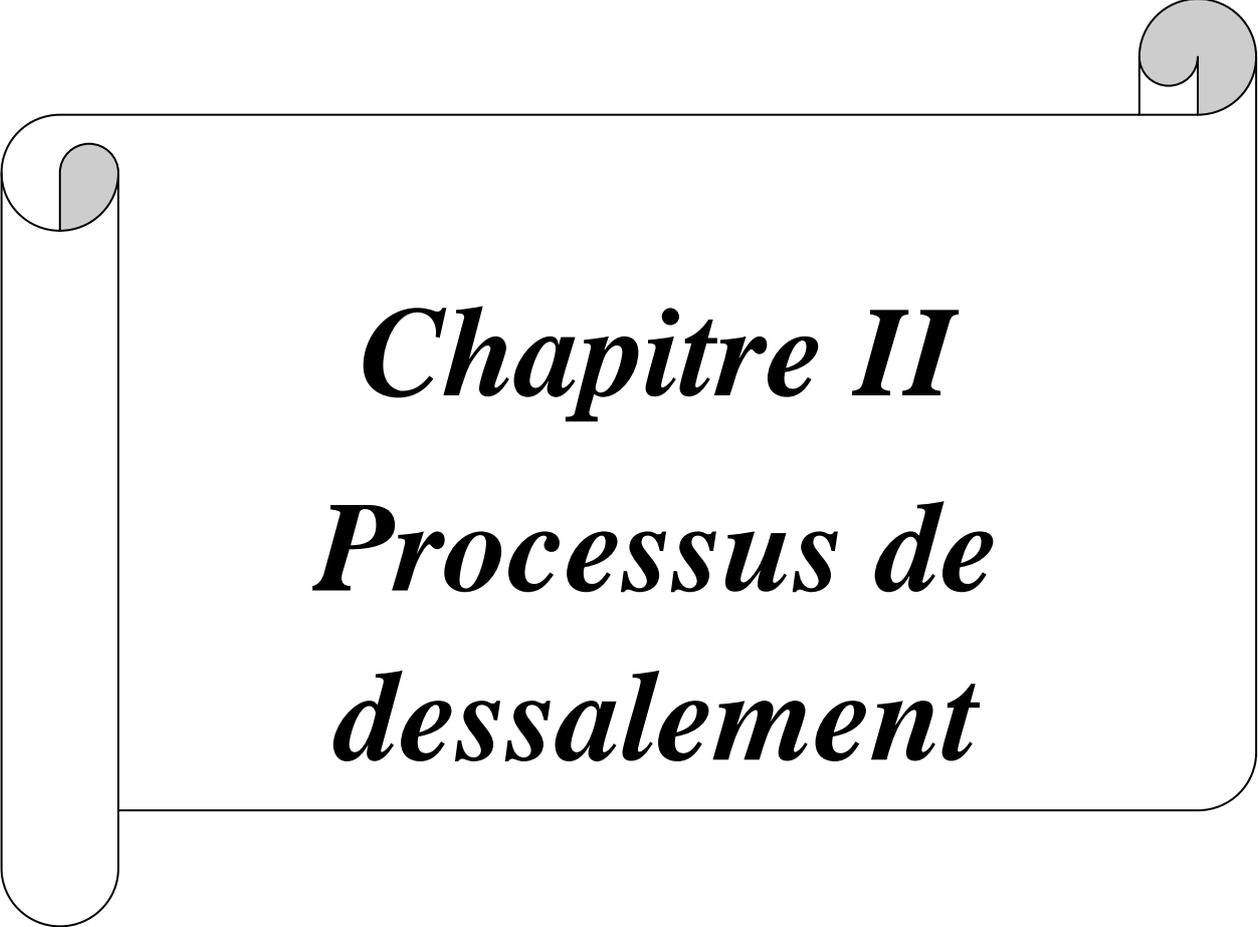
Les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que pour le post-traitement de l'eau produite. La plupart des

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 [40].

I.15.3. Rejets de saumures

Les installations de dessalement rejettent en fait la même charge de sels de l'eau à traiter qu'elles ont reçu, mais dans un volume d'eau moindre, donc plus concentré allant jusqu'à deux fois la concentration initiale dans le cas de l'osmose inverse.

Outre cet excès de concentration qui peut atteindre 70 g/l, ces saumures sont rejetées à des températures plus élevées de 10 à 15°C quand il s'agit d'un procédé de distillation. Ces saumures sont rejetées en mer ou injectées dans le sol. Les usines de dessalement ont donc un impact négatif sur l'environnement, particulièrement lorsque les saumures sont déversées dans des écosystèmes sensibles. Cet effluent peut être extrêmement dangereux pour la vie végétale et animale si certaines précautions ne sont pas prises. L'élimination de ces saumures dans les zones côtières et intérieures n'aura pas la même incidence [38].



Chapitre II
Processus de
dessalement

II.1.Processus de dessalement appliqués dans la station de Ténès

Le processus du dessalement de l'eau de mer comporte quatre étapes principales :

- La captation de l'eau de mer ;
- Le pré-traitement ;
- L'osmose inverse ;
- Le post-traitement.

II.1.1. Captation de l'eau de mer

La première opération s'effectue au niveau de la station c'est la capture de l'eau de mer qui se fera directement de la mer par gravité à travers de deux tuyauteries fabriqués en PRFV (Pipe en Résine et Fibre du Verre), ils ont fixé sur le font marin à une profondeur de 10 m, d'un diamètre de 1800 mm chacune. Avec un débit maximal de capture est de 540.000 m³.

Aux extrémités des tuyauteries de capture, sera installé un tour de captage dans le but d'aspirer de l'eau à une profondeur moyenne de 8 à 10 m tout en limitant l'entrée des sables et de produits flottants [2].



Figure II.1 : Tuyaux de captage de l'eau de mer.

A l'arrivée au réservoir, l'eau de mer brute passe à travers un système de filtrage composé de deux filtres rotatifs pour se débarrasser des petits objets non filtrés par la première filtration brute (le filtre à gros barreaux), avant d'être pompée à partir de ce réservoir vers les installations de prétraitement. L'eau est pompée vers la 2^{ème} étape à l'aide de 4 pompes.



Figure II.2: les deux beaudrey de la station (filtration mécanique).

II.1.2. pré-traitement

C'est la deuxième étape du processus de dessalement dont le but est d'éliminer :

- Les solides en suspension ;
- Les matières organiques ;
- Les micro-organismes.

Elle est aussi nécessaire pour éviter la détérioration des pompes, l'incrustation, l'encrassement et la dégradation des membranes d'osmose inverse par les microorganismes. Cette étape comporte deux types de pré-traitements :

II.1.2.1. Pré-traitement chimique

II.1.2.1.a. Désinfection

Cette opération s'effectue au niveau de la tour de captage de l'eau de mer ou dans l'aspiration des pompes à l'eau de mer ou dans l'impulsion de ces dernières. Elle consiste à l'injection d'hypochlorite de sodium NaOCl ou de gaz dichlore (Cl_2) a pour objectif d'inactivation des micro-organismes (bactéries principalement) mais aussi micro-algues, champignons, qui outre le fait que certains peuvent être pathogènes , sont l'origine d'un colmatage important des membranes appelés biofouling [2].

II.1.2.1.b. Injection du métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2$)

La déchloration doit être effectuée avant l'osmose inverse car le chlore résiduel peut détériorer les membranes d'osmose inverse. Des fournisseurs de membranes donnent une dégradation de la membrane après des temps de contact de 200 à 1 000 heures avec une concentration en chlore résiduel libre de 1 mg.L^{-1} pour des membranes composites. La

dégradation sera plus rapide dans le cas de solutions alcalines et de températures élevées. Normalement, le métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) est utilisé pour la déchloration, pour son efficacité et son faible prix. L'injection de la solution de $\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2$ se fait par un équipement qui est composé de deux réservoirs d'accumulation-dissolution et d'une pompe doseuse par ligne, plus une réserve [2].

II.1.2.1.c. Antitartre

La méthode la plus utilisée pour éviter les tartres (CaCO_3 , CaCO_4 , $2\text{H}_2\text{O}$...) dans les modules d'osmose inverse consiste à injecter dans l'eau brute des inhibiteurs d'entartrage ou antitartres. Il retire à l'eau son caractère entartrant et incrustant tout en lui conservant sa minéralisation originelle.

Il permet d'éviter et de supprimer les dépôts calcaires et prolonge la durée de vie des membranes [42].

II.1.2.2. pré-traitement physique

II.1.2.2.a. Filtre à sable

Ce système élimine la plupart des particules en suspension, huile et graisses qui restent dans l'eau de mer, Ce système contient 36 filtres qui sont distribués d'une surface unitaire de 92m^2 avec une longueur de 11,9m et un largueur de 7,9m. , chaque filtre a 3 couches composées d'une couche de gravier, l'anthracite (0.8-1.6mm) et une autre de silice (0.4-0.8mm), l'eau entre en contact avec les couches filtrantes ce qui contribue à la rétention des impuretés sur la surface des filtres et entre les interstices des sables également. La vitesse de filtration sera de 5,19m/h. le lavage de ces derniers est assurée avec la saumure de la station et l'air grâce à des groupes électropompes horizontaux, le débit de lavage est $3.800\text{ m}^3/\text{h}$ [2].



Figure II.3: filtres à sables.

II.1.2.2.b. Filtre à cartouche

La fonction du système de microfiltration est protéger le système d'osmose inverse empêchant le passage de particules suspendues dans l'eau filtrée non-retenues par les filtres au système de pompage d'haute pression. La microfiltration ne permet pas passer que des particules de tailles $<5\mu\text{m}$.

Ce système contient de 22 unités de filtre à cartouche, chaque unité à 290 cartouches, le débit unitaire est $900\text{ m}^3/\text{h}$, dont 10 qui filtrent l'eau d'alimentation aux pompes de haute pression et 12 filtrant le courant d'alimentation aux récupérateurs d'énergie. Le changement des filtres à cartouche est effectué chaque 3 mois [42].



Figure II.4 : filtres à cartouches.

II.1.2.3. Osmose inverse

Le système d'osmose inverse est le cœur de l'usine et sa fonction est réduire la teneur en sels de l'eau micro-filtrée. Le procédé d'osmose inverse utilise une membrane semi-perméable afin de séparer les solides dissous, la matière organique, les virus et bactéries de l'eau. Le procédé est dit "inverse" car il nécessite une pression suffisante pour 'forcer' l'eau

pure à passer à travers la membrane. Ce procédé abouti à de très bons résultats, car il peut éliminer de 95 à 99% des particules solides dissoutes et 99% des micro-organismes [2].

a. Pompe à haute pression

Avant d'entrée dans les membranes d'OI, l'eau prétraitée arrive au système de pompage de haute pression généralement entre 60 à 70 bar. Les pompes se trouvant dans notre cas sont en nombre de 4 sont fonctionnelles et une de secours, en fournissant une pression totale de l'ordre de 60 bar [2].

b. Système des membranes d'osmose inverse

L'installation des membranes se compose de 12 racks indépendants produisant chacune $17\,391\text{m}^3$ /jours. Chaque rack se compose de 196 tubes de pression, Dans chaque tube sont placées 7 membranes spirales en polyamide, Le facteur de conversion global a été établi à 45% .La capacité totale de production des racks est de $208\,696\text{m}^3/\text{j}$ [42].



Figure II.5 : un rack dans le système d'OI.

c. Récupération d'énergie

Un nouveau concept de récupération fait ses preuves sur les installations de dessalement par osmose inverse et permet de récupérer 95% de l'énergie du rejet de saumure, c'est le système d'échangeur de pression PX (pressure EXchanger) de la compagnie américaine ERI.

Grâce à PX-260 (pressureExchanger) de la marque ERI, un système d'échange de pression s'effectue entre la saumure provenant des membranes à haute pression et l'eau de mer à basse pression, une récupération importante d'énergie permet la réduction de coût de dessalement de l'eau de mer [2].

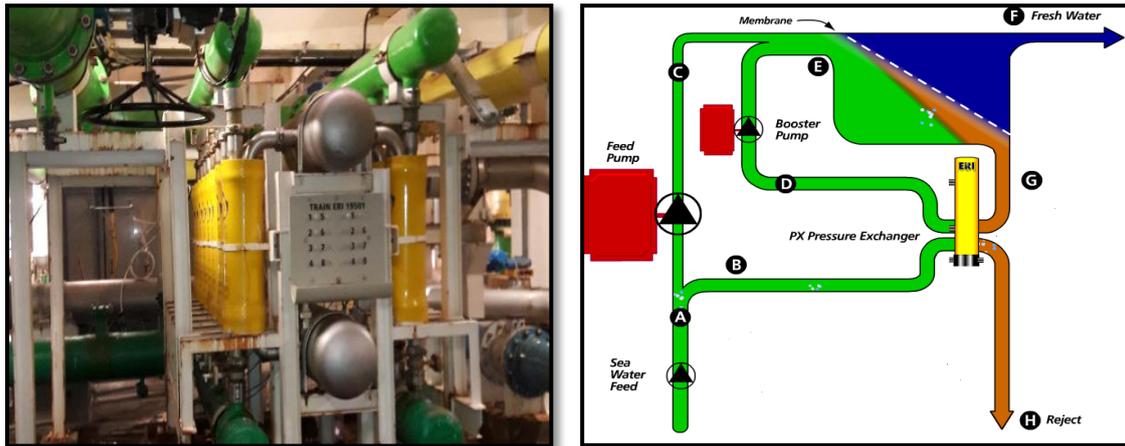


Figure II.6 : système de récupération d'énergie.

d. nettoyage chimique

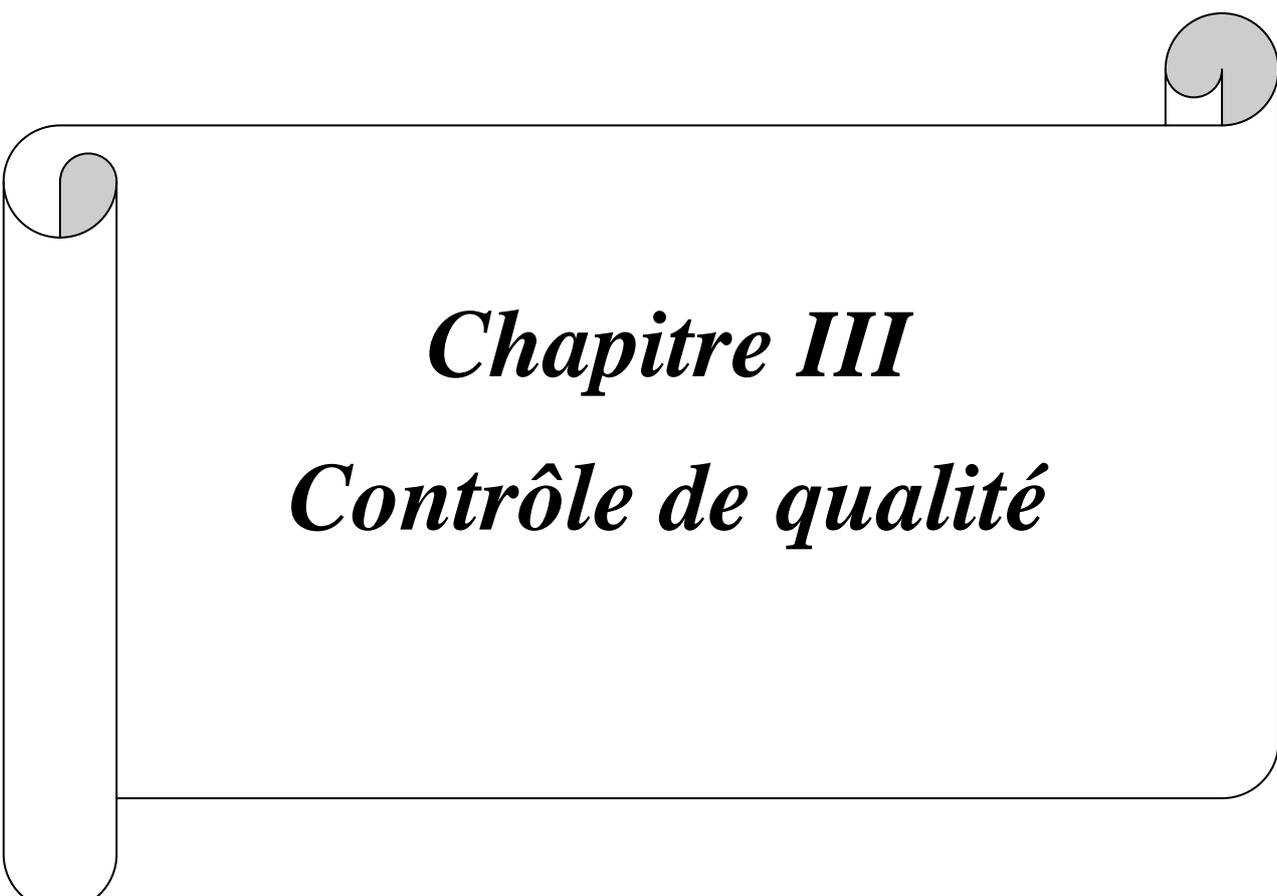
Périodiquement, les membranes doivent être nettoyées pour les débarrasser de tous les dépôts qui tendent à diminuer les performances qualitatives et quantitatives du système. Cette élimination est obtenue en faisant recycler des solutions chimiques acides (pour les dépôts de carbonate de calcium, d'hydroxydes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

II.1.2.4. poste- traitement

L'eau produite est conservée dans un réservoir d'une capacité de 20000 m³, cette eau indemne de tous les minéraux (non consommable), elle sera de nouveau traitée pour qu'elle soit potable, Le post- traitement est constitué de :

- Une reminéralisation par calcite (carbonate de calcium) et avec un apport de dioxyde carbone. Ces deux produits sont dosés dans des chambres, à l'entrée du réservoir d'eau produite. Une fois passée la réaction de reminéralisations, on aura amélioré la dureté et l'alcalinité de l'eau, et il existera un résiduel de CO₂ en équilibre avec le HCO₃ qui déterminera le pH de l'eau produite.
- une injection d'hypochlorite sodium [2].

L'eau sera stockée dans un réservoir de stockage fabriqué en béton armé, ce système a pour Objet de pomper l'eau produite vers le réseau de distribution à travers le réseau de transport d'eau externe géré par l'algérienne des eaux.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and rounded corners on the top and right. The scroll is outlined in black and has a light gray shaded area on the left side.

Chapitre III
Contrôle de qualité

III.1. Contrôle de qualité

L'objectif de notre étude est de vérifier l'efficacité des procédés de traitement utilisés par la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès vis-à-vis de certains paramètres physico-chimiques.

L'eau pour être déclarée potable, doit satisfaire à des critères la rendant propre à la consommation humaine. En plus d'être agréable au goût, elle doit répondre aux exigences des normes du contrat de la station de dessalement de Ténès délivré par L'Algérienne des eaux (ADE) Ténès, contenues dans les directives de l'OMS.

III.2. Contrôle physico-chimique

L'étude expérimentale consiste à effectuer des prélèvements et des analyses physico-chimiques de l'eau traitée après le processus de dessalement ont été effectuées durant le mois de mars 2020.

III.2.1. Prélèvement

Les prélèvements ont été réalisés au niveau de trois points de station dans des flacons en plastique :

- A l'entrée de la station (eau de mer) ;
- A la sortie de la station en deux points (eau produite, eau rejeté (saumure)).



Figure III.1 : point de prélèvement de l'eau de mer.



Figure III.2 : point de prélèvement de l'eau produite.



Figure III.3 : point de prélèvement de l'eau rejetée (saumure).

III.2.2. Contrôle physique

III.2.2.1. Mesure de pH, conductivité, TDS, et température

Ces paramètres ont été mesurés par un appareil multi-paramètre de la marque MAYRON L COMPANY 6 PFC^E au niveau de laboratoire de qualité de la station de dessalement de Ténès.



Figure III.4 : appareil multi-paramètre.

III.2.2.2. Mesure de la turbidité

Les mesures sont réalisées par un turbidimètre de modèle SPE TOQUANT Move100.



Figure III.5 : turbidimètre de la station de Ténès.

III.2.2.3. Indice de langelier

C'est un indice qui tient compte à la fois de la température, du pH, de l'alcalinité et de la dureté. L'indice de langelier est une évaluation globale de la qualité de l'eau pour déterminer si l'eau est corrosive ou s'il aura formation de tartre. On pourra déterminer si l'eau est équilibrée ou non chimiquement. Il est calculé par un logiciel qui s'appelle " Equilibre 1".

Tableau: Fourchette d'équilibre de l'indice de Langelier.

Tableau III.1 : fourchette d'équilibre de l'indice de langelier.

-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	+4	+5	+6	+7
Zone de corrosion				Eau balancée				Zone d'entartrage						
Danger potentiel		Ajustement mineur		Ok		Idéal		Ok		Ajustement mineur		Danger potentiel		

III.2.3. Contrôle chimique

III.2.3.1. Mesure de la dureté totale TH

a. Matériels et réactifs

1. Erlenmeyer de 100ml ;
2. Fiole jaugée de 50 ml ;
3. Burette+ support ;
4. Agitateur magnétique + barreau aimanté ;
5. Entonnoir ;
6. Pipette graduée de 5ml+pro-pipette ;
7. Solution d'EDTA, 0,01N ;
8. Solution Tampon pH=10 ;
9. Noir d'eriochrome T ,1%.

b. Mode d'opérateur

1. Agiter délicatement le flacon d'EDTA 0,01 N ;
2. Remplir la burette avec l'EDTA 0,01 N, Eliminer les bulles d'air contenues dans la partie inférieure de la burette en ouvrant le robinet ;
3. Agiter l'échantillon doucement ;
4. A l'aide d'une fiole jaugée propre de 50 ml, introduire 50 ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml ;
5. Ajouter 4 ml de tampon pH 10 à l'aide de la pipette en plastique propre ;
6. A l'aide de la spatule, ajouter un peu de noir d'Eriochrome 1 % jusqu'à obtenir une coloration rose-violette ;
7. Mélanger le tout et commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration bleu-franche ;

8. Noter le volume « V » de burette [2].

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

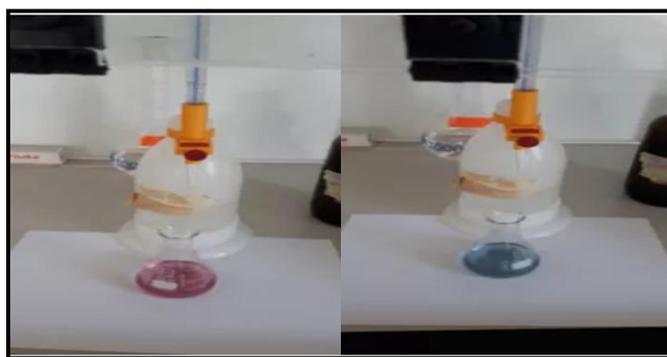


Figure III.6 : dosage de la dureté.

III.2.3.2. Dosage de calcium et magnésium

a. Appareillage et Réactifs

1. Erlenmeyer de 100 ml ;
2. Fiole jaugée de 50 ml ;
3. Burette + support ;
4. Agitateur magnétique + barreau aimanté ;
5. Entonnoir ;
6. Pipette graduée de 5 ml + pro-pipette ;
7. Solution d'EDTA, 0.01 N ;
8. Solution de NaOH 2 N ;
9. Murexide 1 %.

b. Mode opératoire

1. Agiter délicatement le flacon d'EDTA 0,01 N ;
2. Remplir la burette avec l'EDTA 0,01 N, Eliminer les bulles d'air contenues dans la partie inférieure de la burette en ouvrant le robinet ;
3. Agiter l'échantillon doucement ;
4. A l'aide d'une fiole jaugée propre de 50 ml, introduire 50 ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml ;
5. Ajouter 2 ml de NaOH 2 N à l'aide de la pipette en plastique propre ;

6. A l'aide de la spatule, ajouter un peu de murexide jusqu'à obtenir une coloration bien **rose** ;
7. Mélanger le tout et commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration **violette** ;
8. Noter le volume « V » de burette et calculer la concentration en calcium à l'aide de la formule suivante [2] :

$$\text{Concentration en Calcium} \\ \text{en mg/l} = 8,016.V$$

En cas de dilution :

En multipliant la relation par 100, on obtient :

$$\text{Concentration en Calcium} \\ \text{en mg/l} = 100,8,016.V$$



Figure III.7: dosage de calcium.

- **Concentration en Magnésium :**

Magnésium (mg/l en CaCO_3) : c'est la concentration totale des ions (calcium + magnésium) en mg/l en CaCO_3 – Concentration en calcium en mg/l en CaCO_3 .

$$\text{Mg (mg/l en CaCO}_3) = \\ [(\text{Dureté totale} / 50,044) -$$

III.2.3.3. Mesure de sulfate et TSS**a. Appareillage et réactifs**

1. Spectrophotomètre HACH DR 3900 ;
2. Cuvette rectangulaire en verre ;
3. Papier pour le nettoyage ;
4. Réactif sulfaver powder pillow ;
5. Eau distillée.

b. Mode d'opérateur

- 1- Démarrer le programme 680 pour le sulfate et 630 pour TSS ;
- 2- Préparer l'échantillon : faite une dilution de 50 fois, (10ml d'échantillon dans 500 ml d'eau distillée) ;
- 3- Remplir la cuvette en verre avec 10 ml prélevé de l'échantillon préparé ;
- 4- Ajouter le contenu d'un sachet de sulfaver powder pillow dans la même cuvette remplis avec l'échantillon ;
- 5- Agiter la cuvette afin d'homogénéiser la solution, une turbidité blanche se forme à la présence de sulfate ;
- 6- Démarrer le chronomètre, laisser la réaction s'effectuera pendant 5 minutes. Eviter de bouger ou d'agiter la cuvette pendant ce temps ;
- 7- Préparation du blanc : remplir une cuvette en verre avec de l'eau distillée sans mettre le réactif sulfaver powder pillow, insérer la dans le puits et appuyer sur zéro, une valeur de 0 mg/l SO_4^{-2} s'affiche sur l'écran de l'instrument ;
- 8- Après l'expiration des 5 minutes, nettoyer la cuvette avec un papier, insérer dans le puits la dilution (80 fois pour eau de mer ou saumure, 50 fois pour eau potable) et enfin appuyer sur mesure [2].



(a)

(b)

Figure III.8: spectromètre pour la mesure de sulfate (a) et TSS (b).

III.2.3.4. Test de chlorure

a. Appareillage et réactifs

- a. Une fiole jaugée de 1 litre et une autre de 100m ;
- b. La solution d'AgNO₃ 0.10N ;
- c. Indicateur coloré K₂CrO₄ à 0.5mol/l ;
- d. La solution NaCl 0.10N ;
- e. L'eau minéralisée ;
- f. Un erlrmeyer ;
- g. Une pipette.

b. Mode opératoire

- 1- Diluer l'échantillon d'eau de mer 5 fois en pipétant 20 ml d'échantillon dans une fiole jaugée de 100ml ;
- 2- Prélever 10ml de l'échantillon dilué dans un erlrmeyer, ajouter quelques gouttes de K₂CrO₄ et doser avec AgNO₃ 0.10N jusqu'à la coloration orange du mélange en agitant constamment. Soit V le volume lu à la burette.

La concentration en chlorures de l'échantillon d'eau de mer est égale à [2] :

$$[0.10N. (35,5(g)).1000 (mg).V (ml). (5fois)] / 10(ml) = (1775.V)(mg/l)]$$



Figure III.9 : test de chlorure.

III.2.3.5. Mesure de salinité :

La salinité est la présence des sels en eau, elle a été calculée au niveau de laboratoire par la relation suivante :

$$S = 0,03 + 1,805 \cdot Cl$$

Avec : **S** : salinité ;

Cl : concentration de chlorure.

III.2.3.6. Test de l'alcalinité

a. Appareillage et réactifs

1. Erlenmeyer de 250 ml ;
2. Fiole jaugée de 100 ml ;
3. Burette + support ;
4. Agitateur magnétique+ barreau aimanté ;
5. Entonnoir ;
6. Pipette graduée de 1 ml ;
7. HCL 0,02 N ;
8. Thiosulfate de sodium 0,1 N ;
9. Phénolphtaléine 1 % ;
10. Méthyle orange 0,4 %.

b. Mode opératoire

1. Agiter délicatement le flacon de HCL 0,02 N ;
2. Remplir la burette avec HCL 0,02 N ;
3. Eliminer les bulles d'air contenues dans la partie inférieure de la burette en ouvrant le robinet ;
4. Agiter l'échantillon doucement ;
5. A l'aide d'une fiole jaugée propre de 100 ml, introduire 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml ;
6. Ajouter 5 goutte de méthyle orange dans le même erlenmeyer et mélanger, (on obtient une coloration jaune-orange) ;
7. Continuer à verser HCL goutte à goutte tout en mélangeant jusqu'à obtenir le début d'une coloration orange ;
8. Noter le volume de burette « V » [2].

$$\text{T.A.C en mg/l CaCO}_3 = V.10$$

(Alcalinité totaux)



Figure III.10: test de l'alcalinité.

III.2.3.7. Le chlore libre

Le chlore a été mesuré au niveau de laboratoire de qualité de la station de Ténès par un appareil de la marque HI96711 ;

- 1- Préparation du blanc : remplir une cuvette en verre avec de l'eau distillée, insérer la dans le puits et appuyer sur zéro ;

- 2- Remplir la cuvette en verre avec 10 ml prélevé de l'échantillon préparé ;
 - 3- Ajouter un sachet indicateur de chlore pour obtenir une coloration rose claire ;
- Insérer la cuvette dans le puits de l'appareil et appuyer sur READ [2].



Figure III. 11 : appareil de mesure le chlore libre.

III.2.3.8. Test de Bore (pour l'eau de mer et le saumure)

a. Appareillage et réactifs

1. Un bécher, pipette ;
2. Un pH mètre ;
3. Les solutions HI38074A-0, HI38074B-0, HI38074C-0, HI38074D-0, HI38074E-0;
4. Un sachet de mannitol.

b. Mode opératoire

1. Dans un bécher verser 50 ml de l'échantillon ;
2. Ajouter 3 gouttes de HI 38074A-0 et mélanger avec le pH mètre jusqu'à l'obtention de la couleur mauve, donc le pH dépasse le 7 ;
3. Ajouter une goutte de HI 38074B-0 et mélanger jusqu'à le changement de couleur jaune, donc le pH est de 6,97 ;
4. Ajouter le HI 38074C-0 pour l'obtention d'un pH est de 7,85 ;
5. Ajouter un sachet de mannitol réagent pour obtenir un pH inférieur à 7,52 ;
6. Ajouter HI 38074 E-0 à l'aide d'une pipette pour augmenter le pH à 7,8, et noter le nombre des gouttes ($N = 25 \rightarrow 5 \text{ g/l de bore}$) [2].

Tableau III.2 : tableau de conversion de bore.

Nombre de goutte	Bore (mg/l)	Nombre de goutte	Bore (mg/l)
1	0,2	14	2,8
2	0,4	15	3
3	0,6	16	3,2
4	0,8	17	3,4
5	1	18	3,6
6	1,2	19	3,8
7	1,4	20	4
8	1,6	21	4,2
9	1,8	22	4,4
10	2	23	4,6
11	2,2	24	4,8
12	2,4	25	5
13	2,6	26	5,2

III.3. Résultats des contrôles physico-chimiques de l'eau produite

Les résultats des contrôles physico-chimiques de l'eau produite sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : résultats des contrôles physico-chimiques.

Date	Unité	03/03/2020	04/03/2020	09/03/2020	10/03/2020	Limite maximale
Eléments						
pH	/	7,80	7,84	7,83	7,80	7,5-8,5
Température	(C°)	18,05	18,46	18,16	18,11	15<TEMP<25
Conductivité	(µS/cm)	666,45	672,98	641,09	606,78	<2800
TDS	ppm	319,16	323,08	303,28	281,85	150<TDS<500
Turbidité	NTU	0	0	0	0	<5
Salinité	%	0	0	0	0	/
Dureté totale	mg/l CaCO ₃	81,38	82,00	81,13	80,63	80<DT<150
Calcium	mg/l en CaCO ₃	71,39	71,39	70,64	70,14	200
Magnésium	mg/l en CaCO ₃	9,99	10,61	10,49	10,49	<150

Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	85,88	86,75	84,75	87	>65
Chlore libre	mg/l	0,22	0,27	0,21	0,26	1
Bore	mg/l	0,61	0,60	0,60	0,60	<1
Indice de langelier	/	0,10	0,16	0,14	0,10	0à0.4

III.4. Interprétation des résultats physico-chimiques de l'eau produite

III.4.1. Potentiel d'hydrogène (PH)

Il s'agit d'un facteur d'investigation de l'acidité ou de l'alcalinité d'une eau. Les valeurs de pH des eaux traitées sont comprises entre 7,80 et 7,84 avec une valeur moyenne de 7,82, Se référant aux normes de qualité de l'eau potable, les valeurs du pH des eaux traitées sont conformes à la norme du contrat de la station délivré par ADE de Ténès dont les valeurs sont fixées de 7,5-8,5.

III.4.2. Température

Les mesures de nos échantillons ont donné une valeur de Température égale à $T_{\min}=18.5^{\circ}\text{C}$, $T_{\max}= 18,46^{\circ}\text{C}$ avec une valeur moyenne de $T_{\text{moy}}= 18.20^{\circ}\text{C}$, ces valeurs sont en accord avec les normes du contrat de la station délivré par ADE de Ténès dont les valeurs sont fixées entre 15°C et 25°C .

III.4.3. Conductivité

Les mesures de la conductivité électrique de l'eau traitée enregistrée sont entre 606,78 et 672,98 $\mu\text{s}/\text{cm}$ avec une valeur moyenne de 646,83 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Les valeurs de conductivité électrique sont conformes à la norme du contrat de la station délivré par ADE de Ténès dont les concentrations maximales admissibles (CMA) sont respectivement inférieurs à 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

III.4.4. Total des solides dissous (TDS)

Le total des solides dissous ou TDS représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques

Les résultats obtenus après l'analyse des eaux de consommation ont montré que le taux du TDS varie entre 281,85 et 323,08 ppm, soit une valeur moyenne de 306,84 ppm

Les valeurs de TDS se révèlent conformes aux normes préconisées par le contrat de la station délivré par ADE de Ténès qui sont de 150 à 500 ppm dans les eaux traitées par le dessalement.

III.4.5.La turbidité

La turbidité est un paramètre important à suivre lors de la production de l'eau destinée à la consommation humaine car il rend compte de la bonne efficacité des étapes de clarification et de filtration.

La norme du contrat de la station délivré par ADE de Ténès fixe une valeur de 5 NTU de la potabilité de l'eau, les échantillons analysés ont une valeur plus proche de zéro ; ce qui est dans la norme.

III.4.6.La dureté totale

Les mesures de la dureté totale de l'eau traitée s'échelonnent de 80,63- 82 mg/L en CaCO_3 avec une valeur moyenne 81.40mg/L en CaCO_3 , ces valeurs sont en accord avec les normes du contrat de la station délivré par ADE de Ténès dont les valeurs sont fixées entre 80 et 150 mg/l en CaCO_3 .

III.4.7.Calcium et magnésium

- **Calcium**

L'analyse des concentrations en calcium sont comprises entre 70,14 et 70,39 mg/l en CaCO_3 , Ces valeurs sont très inférieures par rapport la norme du contrat de la station délivré par ADE de Ténès qui indique 200mg/l en CaCO_3 .

- **Magnésium**

Le magnésium est un élément indispensable à la croissance et pour la production de certaines hormones.

Les teneurs obtenues pour l'eau traitée durant le mois du mars sont respectivement de 9,99 mg/l en CaCO_3 en minimum, 10,61mg/l en CaCO_3 en maximum et 10,40 mg/l en CaCO_3 comme moyenne qui sont en accord avec les normes du contrat de la station délivré par ADE de Ténès qui fixent 150 mg/l comme valeur maximale.

III.4.8.Alcalinité

L'alcalinité correspond à la présence d'espèces basiques telles que les ions hydrogène (OH^-), les ions carbonates (CO_3^{2-}) et les ions bicarbonates (HCO_3^-).

Les résultats montrent des valeurs comprises entre 84,75-87 mg/L en CaCO₃ avec une valeur moyenne de 86,10 mg/L en CaCO₃. Ces valeurs sont également conformes aux normes du contrat de la station de Ténès délivré par ADE de Ténès qui limitent le taux d'alcalinité des eaux de consommation à >65 mg/L en CaCO₃.

III.4.9. Le chlore libre

Le chlore est l'un des réactifs les plus utilisés pour la désinfection de l'eau. Il est utilisé essentiellement sous forme d'hypochlorite de sodium (eau de javel).

Le taux de chlore libre fluctue entre 0,21 et 0,27 mg/L, avec une valeur moyenne de 0,24 mg/L, ces valeurs sont conformes à la norme du contrat de la station délivré par ADE de Ténès qui est 1 mg/l.

III.4.10. Le bore

Les formes de bore naturellement présentes dans l'eau de boisson ne sont pas considérées comme nocives pour la santé, aux concentrations naturelles ≤ 1 mg/l en moyenne mondiale.

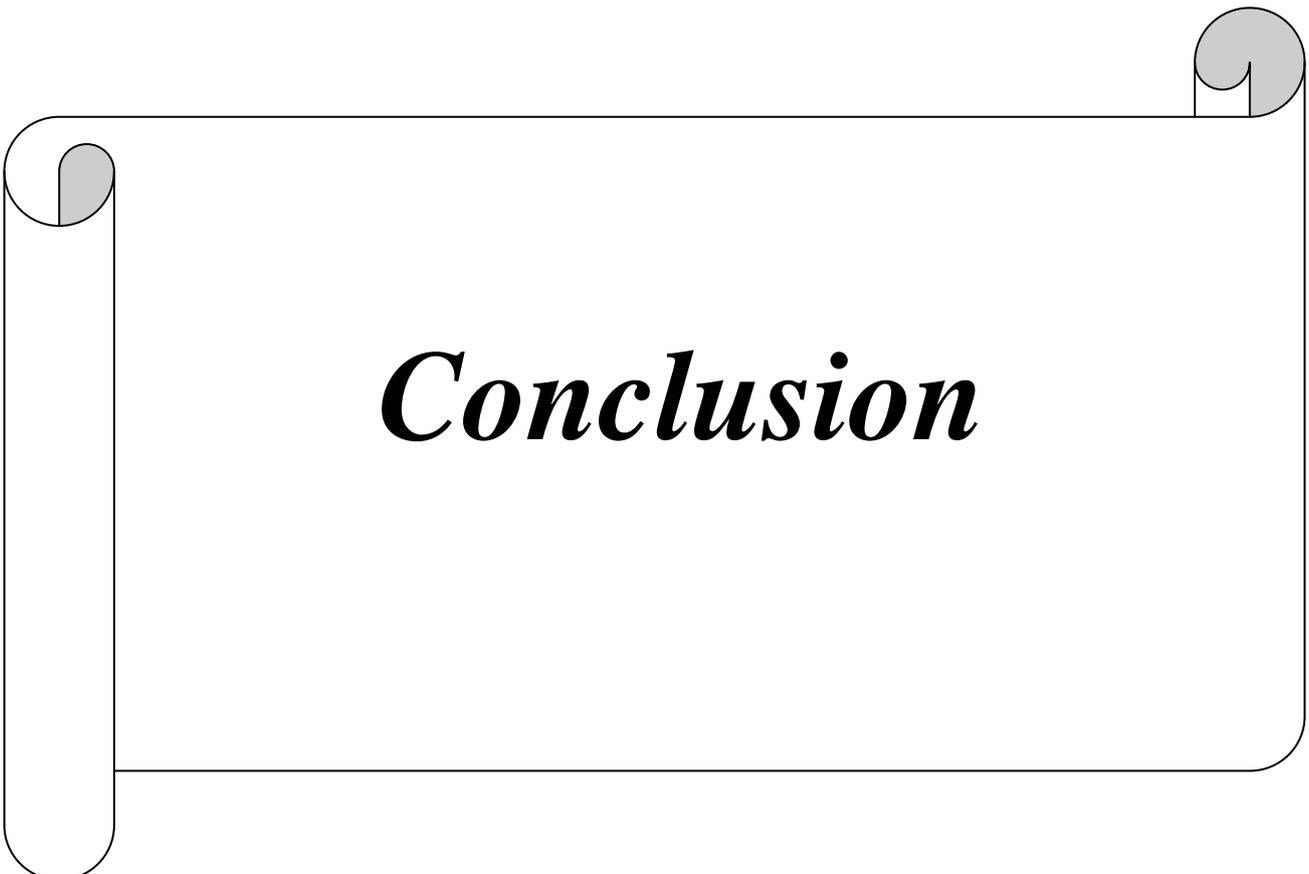
Le bore est présent avec des teneurs respectives de 0.60 ppm comme valeur minimale, 0.61 ppm comme valeur maximale et 0.60 ppm comme valeur moyenne. Ces valeurs sont conformes par rapport aux normes du contrat de la station délivré par ADE de Ténès qui recommandent 1 ppm de bore comme teneur maximale dans l'eau potable.

III.4.11. L'indice de langelier

L'indice de Langelier est une évaluation globale de la qualité de l'eau pour déterminer si cette dernière est corrosive ou provoquera une formation de tartre.

Les résultats de calcul de cet indice comprise entre 0.10 et 0.14 se qui signifient que l'eau produite conforme à la potabilité.

D'après les résultats des paramètres étudiés, nous pouvons dire que l'eau de dessalement de cette station répond aux normes de potabilités.



Conclusion

Conclusion

D'après les résultats des paramètres étudiés, nous pouvons dire que le dessalement de l'eau de la station de « Ténès » répond aux exigences d'utilisation et selon les normes internationales requise à l'exploitation.

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

Dans la station de dessalement de « Ténès », les étapes de pré-traitement utilisées garantissent le bon entretien de l'équipement de la station, en produisant une eau douce de bonne qualité.

Les analyses organoleptiques exposent une eau de bonne saveur. Les analyses du pH et conductivité électrique révèlent des valeurs conformes aux normes algériennes et celles de l'OMS.

- Les teneurs en chlore, bicarbonates et nitrates sont conformes aux recommandations soulignées.
- Le profil en certains cations et anions spécifiquement le calcium, magnésium, les sulfates et phosphates témoigne d'une diminution notable reflétant les normes algériennes et celles de l'OMS.
- Les valeurs de l'Indice de Langelier révèlent une conformité d'une potable avec des mesures préventives pour préserver l'équipement.

Perspectives

Sur la base de ces travaux de terrain et analyses de recueillis au niveau du laboratoire de la station de 'TENES', il serait intéressant de souligner les perspectives suivantes :

- Recommander un ajustement des cations et anions déficitaires au niveau d'eau traitée à savoir : le calcium ; le magnésium, les sulfates et les phosphates selon des normes adéquates.
- Prévoir et investir pour des méthodes d'élimination des métaux polluants (cadmium, plomb et chrome) telle qu'une échangeuse d'ion sélect.

Références bibliographiques

- [1] S.BACHI et N.GUENDOOUZ, 2018. « MARINA LA BAIE DE TENES ». Master en architecture et urbanisme. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.
- [2] Bureau d'étude National Eau et Environnement .SPA Alger.janvier 2009.
- [3] L.CHERIF ,2012. « L'influence de la coagulation-floculation et décantation sur le Prétraitement des eaux saumâtres ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention de Diplôme de Master en Hydraulique. université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.
- [4] <http://www.cieau.com/tout-sur-l-eau/>
- [5]<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/eauproprietes-qualite-valeurs-d-usage-42506210/caracteristiques-et-proprietes-des-eaux-w110/>
- [6] OMS (2002), journal officiel de la république algérienne n°27 (26 avril 2006 p10, 11, 12)
- [7] Rabie Ethani 1432, le JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 18 (23 mars 2011).
- [8] <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/potable/menuRessour.html>
- [9] <http://www.medecine-et-sante.com/nutrition.html>
- [10] A.Sidiki MAIGA, 2005. « Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de BAMAKO : Evaluation saisonnière ». Pour obtenir le grade de Docteur en Pharmacie. Faculté de Médecine de Pharmacie et D'ODONTO-STOMATOLOGIE.
- [11] Direction Générale de la Santé, 2003. « Rapport de synthèse 1996-1997-1998-Ressources en eau- Distribution de l'eau d'alimentation- Qualité des eaux distribuées dans les unités de distribution de plus de 5 000 habitants ». 8, Avenue de Ségur – Paris.
- [12] Groupe scientifique sur l'eau ,200. « Turbidité ». Dans Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Institut national de santé publique du Québec. <http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/198-CartableEau/Turbidite.pdf>.

- [13] Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds
<http://dspace.univ-tlemcem.dz/bitstream/112/995/8/CHAPITRE04.PDF>
- [14]. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général Fiche 2 Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement http://ww3.ac-poitiers.fr/math_sp/pedago/CAPPHY/PHICHI.PDF
- [15]A. FECIH ,2012. « L'influence de la filtration sur sable sur le traitement des eaux saumâtres ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention de Diplôme de Master en Hydraulique. Université Aboubakr Belkaid. Tlemcen.
- [16] DEGEMENT ,2005. « Mémento technique de l'eau ». Tome I. Lavoisier. Paris. France.
- [17] A. Maurel ,2006. « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». 2ème édition 11. Rue Lavoisier. Paris.
- [18] A. HUOT, 2010. « Eau et santé ». La revue Biocontact, n°200.
- [19] M.RAPINAT, 1982. «L'eau Presse universitaire de France»,1ere édition : 1982 ISBN 2130375626.127 p.
- [20] <http://hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2012-g04/>
- [21] <http://www.encyclo-ecolo.com/Image:Eausaum2.jpg>
- [22] S.BENHAMOU et N.KADER ,2007. « Système de dessalement solaire ». Mémoire fin d'étude du diplôme de master en génie mécanique. Université d'Ain-Temouchent.
- [23] G. Morvan, « Les techniques de potabilisation de l'eau, dessalination, dessalement, traitement de l'eau saumâtre ».
- [24] A.BUSHNAK, « Évaluation des meilleures technologies disponibles pour le dessalement en zones rurales/locales », version 2, Projet financé par l'Union européenne.
- [25] A. Maurel, 2001. « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». 1ème édition 11, rue Lavoisier, Paris. France.
- [26] F. VALLIRON, 1989. « Gestion des eaux: alimentation en eau d'assainissement ».
Presses de l'école nationale des ponts et chaussés, Paris.

- [27] Y. MANDRI, 2011. « Etude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide ». Thèse de doctorat. génie des procédés, université- Claude Bernard Lyon1, n° d'ordre : CT12.
- [28] O.K. BUROS, 1990. « The ABC'S of Desalting. Published by: International Desalination Association. Topsfield, Massachusetts, USA. Ed. IDA ».
- [29] Y. HADJALI, 2012. « Impact des stations de dessalement de l'Eau de mer sur le littoral cas de la station plage El Hilel Ain Ti mouchent ». Mémoire de fin d'études. Master. Université bou Bekr belkaid Tlemcen. 91 pages.
- [30] P. DANIS, 2003. « Dessalement de l'eau de mer ». Technique de l'ingénieur, Traité génie des procédés.
- [31] N. BOULNOUAR, 2014. « Etude d'alimentation de rendement du procédé de dessalement à thermo compression au niveau du complexe d'ammoniaque sorfert ». Mémoire de fin d'études. Master. Université Mohamed Boudiaf Oran. 74 pages.
- [32] D. BECHKI, 2011. « Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes ». Thèse de doctorat en génie mécanique. Université Hadj Lakhdar Batna.
- [33] Y. Bessiere, 2007. « filtration frontale sur membrane, mise en évidence du volume filtré critique pour l'anticipation et le contrôle du colmatage ». version1.page 1_204.
- [34] A. Sadi, 2004. « le Dessalement, procédé et énergie solaire ». Bulletin des énergies renouvelables N° 6. Décembre 2004. Page 11_12.
- [35] FZ.BENAISSA, 2013. « Étude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres ». Mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique. université Boubakr belkaid, Tlemcen.
- [36] A.D. Khawajia et I.K. Kutubkhanaha, 2008. « J-M. Wieb, Advances in seawater desalination technologies ».
- [37] O.K. Buros, 2000. « The ABCs of Desalting, Second ed. International Desalination Association ».

[38] MANDRI, Y., Etude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide, Thèse de doctorat, génie des procédés, université Claud bernard lyon1, n°d'ordre : CT12, 2011. (22)

[39] A.ATALLAH, 2014. « Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station HONAINNE ». Mémoire de fin d'étude. Master.Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.

[40]O. HAMITI, 2010. « L'influence des paramètres physico-chimique sur la performance de la station de dessalement de GHAZAOUET ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique. Université Aboubakr Belkaid. Tlemcen.

[41] François de Dardel, directeur technique et Rohm and Haas, 2013. « Les résines échangeuses d'ions en traitement d'eau potable ».

http://dardel.info/IX/processes/Article_EIN.pdf

[42] Document de la station. «UTE, desalodra Ténès Opération et Maiteniments O &M ». juin 2016.

Annexe

Annexe I: Normes de l'OMS de potabilité des eaux de consommation

Paramètre	Unité	Niveau guide	Concentration maximale admissible
PH		6.5	9
Conductivité	ms /cm	200	1000
Résidu sec	mg/l		1500
Dureté totale	°F		50
Calcium	mg/l		100
Magnésium	mg/l		50
Sodium	mg/l		150
Potassium	mg/l		12
Sulfates	mg/l		250
Chlorures	mg/l		600
Nitrates	mg/l	-	50
Nitrites	mg/l	-	0.1
Ammonium	mg/l	-	0.5
Phosphate	mg/l	-	5
Oxydabilité(kMn O ₄)	mg/l	-	5
Oxygène dissout	mg/l	-	5
Aluminium	mg/l		0.2
Température	°C	-	25

Annexe II : Comparaison entre les méthodes de distillation.

	Distillation multi-flash (MSF)	Distillation à multiples effets (MED)	Compression mécanique de vapeur (VC)
Principe	Détentes successives	Détentes successives	Compression (cf. principe pompe à chaleur)
Température (°C)	90-120 (chambre 1) 30 (chambre n)	60-70	60
Pression (bar)	2 (chambre 1) 0,05 (chambre n)	Basse : 0.25-0.4	0.7-1
Prétraitement de l'eau	Nécessaire	Nécessaire	Nécessaire
Capacité de traitement	Grande : 4.000 à 57.000 nr jour (Buros, 1990).	Grande : 2.000 à 20.000 m ³ /jour	Installations de petites et de moyennes capacités (<5000 m ³ /jour) Capacité plus importante si association avec d'autres techniques
Avantages	Fiabilité	Récupération d'énergie (chaleur latente de vaporisation) maximale Bons rendements	Faible consommation électrique
Inconvénients	Important prétraitement		Rendement limité à cause de problèmes de corrosion et d'entartrage des composants

Annexe III : Comparaison entre les méthodes membranaires.

	Osmose inverse (OI)	Nanofiltration (NF)	Electrodialyse (ED)
Principe	Membrane semi-perméable Pression osmotique	Membrane semi-perméable à porosité contrôlée Gradient de pression	Migration des espèces ioniques sous l'effet d'un champ électrique
Prétraitement de l'eau	Nécessaire	Nécessaire	Nécessaire
Capacité de traitement	Faible à grande	Faible à grande	Faible à grande
Avantages	Purification poussée	Perméabilité de la membrane plus élevée qu'en osmose inverse : flux d'eau traitée 5 fois plus importants. Moins énergétique que l'osmose inverse	Consommation d'énergie électrique directement proportionnelle à la quantité de sel à extraire.
Inconvénients	Eaux agressives et peu minérales : post traitement nécessaire - si production d'eau potable.	Moins sélectif que l'osmose inverse Post-traitement nécessaire	Coût
Autres Informations		Souvent appliqué en amont d'autres techniques (osmose inverse ou MED) pour éviter les phénomènes parasites (entartrage, colmatage).	Développement limité au traitement des eaux saumâtres , Principalement pour des questions de coût.

Annexe IV : les grandes unités de dessalement dans l'Algérie.

N°	Localisation	Capacité (m³ /j)	Population à servir	Echéancier prévision
1	Kahrama (Arzew)	90000	540000	En Exploitation
2	Hamma (Alger)	200000	L'Algérois	En Exploitation
3	Skikda	100000	666660	En Exploitation
4	Beni Saf (Ain Temouchent)	200000	1333320	En Exploitation
5	Mosyaganem	200000	1333320	En Exploitation
6	Douaouda (Algérie ouest)	120000	666660	En Exploitation
7	Cap Djanet (Algérie est)	100000	666660	En Exploitation
8	Souk Tlata (Tlemcen)	200000	1333320	En Exploitation
9	Honaine (Tlemcen)	200000	1333320	En Exploitation
10	Mactaa (Oran)	500000	1333320	1 er T 2014
11	El Tarf	50000	-	-
12	Ténès	200000	999990	En exploitation
13	Ouest Sebt (Tipaza)	100000	-	-