



Département de Technologie Chimique Industrielle

Rapport de Soutenance

En vue de l'obtention du diplôme
De Licence Professionnalisant en :

Génie Chimique

Thème

**Dessalement de l'eau de mer, UTE Desaladora de
Ténès-Wilaya de Chlef : « Etude théorique »**

Réalisé par :

M^{elle} ABADELIA Abir

Encadré par :

— M^{me} DAIRI Nassima

M.A.A / Université de **Bouira**

Tutrice de l'entreprise :

— M^{elle} BOUZEKRI Abir

Technicienne au laboratoire de la station de Ténès-**Chlef**

Corrigé par :

— M^{me} BENHAMADA Malika

M.C.B / Examineur / Université de **Bouira**

Année Universitaire : 2019 /2020

Dédicaces

Je dédie ce travail à

Ma mère qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

Mon père, qui trouvera aujourd'hui le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit.

Ma petite sœur et mon frère, que j'adore, je leur souhaite une vie pleine de santé et du succès.

Ma promotrice M^{me} DAIRI, j'espère que Dieu la récompensera pour ses efforts et ses conseils.

Ma grande famille de l'Institut de Technologie et à tous les enseignants qui m'ont donnés de nouvelles clés de connaissance.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier **Dieu** le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

J'exprime mes profonds remerciements à mon tuteur de l'Institut, Madame **N.DAIRI** pour l'aide compétente qu'elle m'a apportée, pour sa patience et son encouragement. Son œil critique mon été très précieux pour structurer le travail et pour améliorer la qualité de mon travail.

Mes vifs remerciement vont également aux **membres du jury** pour l'intérêt qu'ils sont porte à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leur propositions.

J'adresse mes remerciements à **Mr OUDAN Mustapha** et **M^{elle} BOUZEKRI Abir** pour leur accueil, leur aide et leur gentillesse tout long du stage.

Merci également à **toute ma famille**, et en particulier à **mes parents**, qui ont toujours su me conseillé et me soutenir à mes choix.

Mes remerciements d'adressent également à tous **les enseignants de l'Institut de Technologie** de l'Université de Bouira.

Enfin, je tiens à remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à l'exécution de ce Modest travail.

Sommaire

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumé

Introduction générale 1

Chapitre I

Etude bibliographique

I.1	Dessalement en Algérie	3
I.1.1	Historique	3
I.1.2	Stations de dessalement en Algérie	3
I.1.3	Avantages et Inconvénients de dessalement de l'eau de mer en Algérie	5
I.2	Généralité sur l'eau.....	7
I.2.1	Sources d'eau.....	7
a)	Eau douce de surface	7
b)	Eaux souterraines.....	7
c)	Eaux de mer.....	7
I.2.2	L'eau de mer.....	8
I.2.3	Paramètres de l'eau potable.....	11
I.3	Généralités sur le dessalement de l'eau de mer	11
I.3.1	Définition.....	11
I.3.2	Principe de dessalement	12
I.4	Présentation de la station de dessalement à la ville de Ténès.....	19
I.4.1	Présentation de la commune de Ténès.....	19
I.4.2	Présentation de la station UTE desaladora O&M.....	19
I.4.3	Présentation du groupe ABENGOA dans la station	20
I.4.4	Situation géographique de la station.....	21

Chapitre II

Procédés de dessalement des eaux de mer

II.1	Processus général de dessalement	22
II.2	Etapes de dessalement des eaux de mer	22
II.2.1	Captation de l'eau de mer	22
II.2.2	Prétraitement.....	23
II.2.3	Reminéralisation.....	31
II.2.4	Stockage de l'eau potable et sa distribution au niveau de la ville	33

Chapitre III

Contrôle physico-chimique des eaux

III.1.	Contrôle physique.....	35
III.1.1.	Potentiel d'hydrogène (pH)	35
III.1.2.	Température (T).....	35
III.1.3.	Conductivité (δ).....	35
III.1.4.	Total des solides dissous (TDS)	35
III.1.5.	Turbidité (Turb).....	36
III.1.6.	Indice de Langelier	37
III.2.	Contrôle chimique	37
III.2.1.	Dureté totale (Th)	37
III.2.2.	Test de Chlorure	37
III.2.3.	Test d'alcalinité	38
III.2.4.	Dosage de calcium et de magnésium.....	38
III.2.5.	Mesure de la salinité	38
III.2.6.	Chlore libre	38
III.2.7.	Les sulfates et le total des Matières en suspension (MES)	39
Conclusion		41

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I

Etude bibliographique

Figure I.1: Composition du sel dans l'eau de mer.....	8
Figure I.2: Principe de dessalement de l'eau de mer.....	12
Figure I.3: Coagulation – Flocculation.....	14
Figure I.4: Principe de distillation.....	16
Figure I.5 : Distillation à multi flash.....	16
Figure I.6: Distillation multiples effets.....	17
Figure I.7 : Principe du phénomène d'osmose et d'osmose inverse.....	18
Figure I.8: Principe du procédé d'électrodialyse.....	18
Figure I.9: Les entreprises qui gèrent la station de dessalement de Ténès.....	19
Figure I.10: Situation géographique.....	21
Figure I.11: Vue générale sur la station de Ténès.....	21

Chapitre II

Procédés de dessalement des eaux de mer

Figure II.1: Processus de dessalement.....	22
FigureII.2: Tuyaux de captage de l'eau de mer.....	22
Figure II.3: Baudry de la station.....	23
Figure II.4 : Pompes de captation de l'eau de mer.....	23
Figure II.5 : Filtre à sable.....	24
Figure II.6 : Filtre à cartouche.....	25
FigureII.7: Pompe HP intermédiaire.....	25
Figure II.8: Principe de fonctionnement d'osmose.....	26
Figure II.9: Membrane.....	27
Figure II.10: Pression osmotique.....	27
Figure II.11: Fonctionnement d'osmose inverse.....	28

Figure II.12: Bâtiment d'osmose inverse.....	29
Figure II.13: Récupération de l'énergie.....	29
Figure II.14: Schéma général d'une unité d'osmose inverse.....	30
Figure II.15: Principe de fonctionnement d'ERI.....	30
Figure II.16: Antitartre Méta bisulfate.....	31
Figure II.17: Saturateur de $\text{Ca}(\text{OH}) + \text{H}_2\text{O}$	33
Figure II.18: Silos de stockage de CaCO_3	33
Figure II.19: Réservoir de stockage de l'eau produite.....	34
Figure II.20: Pompe HP pour la distribution de l'eau produite.....	34

Chapitre III

Contrôle physico-chimique des eaux

Figure III.1: Multi-paramètre.....	36
Figure III.2: Turbidimètre.....	37
Figure III.3 : Appareil d'analyse de chlore (chlorométrie).....	40
Figure III.4 : Spectrophotomètre.....	40

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre I

Etude bibliographique

Tableau I.1: Grandes unités de dessalement en Algérie.....	4
Tableau I.2: Petites stations de dessalement.....	5
Tableau I.3: Normes de potabilités de quelques paramètres	11
Tableau I.4: Quantité distribuée par la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès.....	20

Chapitre III

Contrôle physico-chimique des eaux

Tableau III.1 : Fourchette d'équilibre de l'indice de Langelier.....	37
Tableau III.2: Normes Algériennes des paramètres chimiques.....	40
Tableau III.3: Normes Algériennes des paramètres physiques.....	40

Liste des abréviations

Abréviations

Al : Alcalinité

EB : Eau Brute

ED: Electrodialyse

EDTA: Ethyle Diamine Tétra Acétique

ERI: Energy Recovery INC

Hb: Habitants

mm/an: Millimètre par an

m/s: Millimètre par second

m³/j : Mètre cube par jour

m/h : Mètre par heure

MSF: Multi Stage Flash

NTU: Unité Néphélométrie de Turbidité

OI: Osmose Inverse

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

pH : Potentiel d'Hydrogène

ppm : partie par million

km² : Kilomètre au carré

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

UTE : Unité traitement des eaux

Résumé

Résumé

L'augmentation de la densité de la population ainsi que la consommation à travers le globe a causé la pénurie de l'eau douce suivie d'un déséquilibre des proportions des eaux de surfaces notamment l'eau de mer, ceci mené à penser de dessaler cette eau, ce qui apparaît comme la solution la plus appropriée à cette crise.

Par conséquent, nous avons étudié la technologie de dessalement au sein de la station de Ténès qui est l'une des plus grands projet entreprise par le gouvernement Algérienne pour fournir de l'eau potable avec une capacité de 200 000 m³ par jour et sa confirme la vigilance de cette unité afin de répondre aux besoins de la population.

Les mots clé : Technologie - station - dessalement de l'eau - l'eau de mer

Abstract

The high population density and the shortage of water resources in many countries of the world led to this problem of fresh water and the rise in the proportion of sea water on the face of the earth ,which illuminating the idea of the filtering and desalinating its water which is the most appropriate solution to this crisis.

Therefore, we have studied the filtering technology at Ténès station, which is one of the largest projects undertaken by the Algerian government in order to supply potable water with capacity 200 000 m³ /day, and from it we can confirm the readiness of this institution in order to fulfill the requirement of population.

Key word: Desalination - Water - technology – filtering -

المخلص

إن ارتفاع الكثافة السكانية ونقص الموارد المائية في كثير من دول العالم أدى الى مشكل نقص المياه العذبة وارتفاع نسبة مياه البحر على وجه الكرة الأرضية انار فكرة تصفية وتحلية مياهه وهي الحل الانسب لهذه الازمية. لذا قد قمنا بدراسة تقنية التصفية بمحطة تنس وهي واحدة من اكبر المشاريع التي قامت بها الحكومة الجزائرية من اجل التزويد بالمياه الصالحة للشرب بسعة 200000 م³ في اليوم , ومنه نؤكد جاهزية و سهر هذه الوحدة من اجل تحقيق متطلبات السكان.

الكلمات المفتاحية "محطة تنس – تحلية و تصفية مياه البحر – عذوبة المياه- تقنية"

Introduction générale

Introduction

L'eau couvre la plus grande partie de la surface de la terre, avec un pourcentage qui est environ 71% pour cette raison on l'appelle la planète bleue, ou volume d'eau est estimée 1,4% milliard par km cube.

Quant à l'eau douce, sur 71% elle ne constitue que 1%, et comme on le sait, l'eau douce est un élément indispensable à la vie, mais en raison de la croissance démographique, de nombreux pays souffrent de pénurie d'eau.

Afin de couvrir les besoins des populations de manière efficace et rapide, les chercheurs ont opté pour une nouvelle technique le dessalement de l'eau de mer qui est une technique qui consiste à retirer les sels du l'eau.

Le dessalement représente une solution efficace face aux sérieux problèmes de pénurie d'eau, malgré cela il comporte certaine inconvénients sur l'environnement.

L'Algérie parmi les pays qui utilise la technique de dessalement des eaux de mer, elle a développé un programme ambitieux dans ce domaine en mettant en place, en premier lieu, 23 stations « Monobloc », réparties sur un littorale qui s'étale sur plus de 1200 Km de long.

Ce stage a été effectué au sein de l'UTE desaladora de Ténès O&M (l'unité de traitement des eaux) de la wilaya de chlef durant deux semaines du mois de février et la première semaine du mois de mars de l'année 2020. Une étude théorique du procédé de dessalement ainsi que les caractéristiques physico-chimiques de l'eau potable traitée et dessalée ont été étudiés.

Vu l'état de santé causé par le Covid 19, mon travail de stage a été réduit en une seule étude théorique. Le contrôle physico-chimique de l'eau n'a pas été réalisé au sein du laboratoire.

Le travail se divise en trois (3) chapitres :

Chapitre I : Qui traite la notion du dessalement son principe, ainsi que des généralités sur de l'eau. Une description complète de la station de Ténès a été bien décrite.

Chapitre II : est consacré à détailler les étapes du processus de dessalement au sein de la station de Ténès.

Chapitre III : Les différentes analyses de l'eau traitée ont été décrites théoriquement dans ce chapitre.

Chapitre I

Etude bibliographique

I.1 Dessalement en Algérie

I.1.1 Historique

L'instar des autres pays méditerranéens, l'Algérie, est confrontée davantage à d'énormes problèmes en matière de politique de l'eau. La surcharge du littoral, les disparités entre zones rurales et urbaines, les périodes de sécheresse et l'accroissement de la pollution sont autant de facteurs qui déstabilisent l'équilibre déjà précaire de l'alimentation en eau [1].

L'Algérie dispose de ressources en eau très limitées particulièrement au nord où vivent les trois quarts de la population. La crise de ressources hydriques qui a menacé ces dernières années l'alimentation en eau potable la population dans diverses régions du pays a accentué l'intérêt de l'Algérie au dessalement [1].

Le projet de dessalement d'eau de mer fait partie d'un programme d'urgence décidé par le gouvernement pour pallier durablement au déficit en ces ressources. Engendré par la situation de sécheresse qu'a connue le pays pendant les années quatre-vingt-dix.

Les installations de dessalement d'eau de mer entamé en 2002, font partie d'un projet d'alimentation en eau potable de la région côtière algérienne. A cet effet, la réalisation du projet va se traduire par la production du 57500 m³/j.

L'Algérie a construit 13 usines de dessalement en **2011** un peu partout sur son territoire (utilisant la méthode de l'osmose inverse) [1].

I.1.2 Stations de dessalement en Algérie

✓ Grandes stations de dessalement

Le littoral de l'Algérie compte 13 station de dessalement d'eau de mer réparties les wilayas côtières et 2 autres en construction qui relèvent du ministère des ressources en eau. Elles fournissent 17% de l'eau dans le pays et alimente 6 millions de personnes avec un volume de 2,6 millions m³/jour.

Le tableau ci-dessous reflète une idée sur le nombre et l'échéancier des stations de dessalement

Tableau I.1 : Grandes unités de dessalement en Algérie [1].

N°	Localisation	Capacité m ³ /j	Population service	Echéancier prévisionnel
1	Kahrama (Arzew)	90 000	540 000	En exploitation
2	Hamma (Alger)	200 000	L'Algérois	En exploitation
3	Skikda	100 000	666 660	En exploitation
4	A.temochent (Beni saf)	200 000	1 333 320	En exploitation
5	Mostaganem	200 000	1 333 320	En exploitation
6	Douaouda (Alger ouest)	120 000	666 660	En exploitation
7	Cap Djenet (Alger est)	100 000	666 660	En exploitation
8	Tlemcen (souk tleta)	200 000	1 333 320	En exploitation
9	Tlemcen (honaine)	200 000	1 333 320	En exploitation
10	Oran (Mactaa)	500 000	1 333 320	En exploitation
11	El tarf	50 000	-	-
12	Chlef (Ténès)	200 000	999 990	-
13	Tipaza (oued sabt)	100 000	-	-

✓ Petites stations de dessalement

Le projet de dessalement de l'eau de mer fait partie d'un programme d'urgence décidé par le gouvernement pour palier durablement au déficit en eau. Ce programme lancée en 2002 comprenant l'installation de 21 stations monobloc totalisant une capacité de 57 500 m³ /jour.

Tableau I.2: Petites stations de dessalement [1].

Wilaya	Site	Commune	Capacité m ³ /j	Population à service
Alger	Champ de tir	Zeralda	5000	33 330
Alger	Palm Beach	Staoueli	2500	16 660
Alger	La fontaine	Ain benain	5000	33 330
Tlemcen	Ghazaouet	Ghazaouet	5000	33 330
Tipaza	Bou Ismail	Bou Ismail	5000	33 330
Skikda	L .Ben Mhidi	l.ben Mhidi	7000	47 000
Tizi-ouzou	Tigzirt	Tigzirt	2500	16 660
Oran	Bou sfer	Bou sfer	5000	33 330
Oran	Les dunes	Ain Türk	5000	33 330
Ain-Temouchent	Bou zdjer	Bou zdjer	5000	33 330
Ain-Temouchent	Chatt el Ward	Bou zdjer	5000	33 330
Boumerdes	Corso	Corso	5000	33 330

I.1.3 Avantages et Inconvénients de dessalement de l'eau de mer en Algérie

Le dessalement de l'eau de mer est un moyen moderne pour avoir de l'eau potable. C'est l'une des techniques les plus utilisées pour permettre de produire de l'eau non conventionnelle afin de pouvoir pallier les déficits constatés par rapport à la disponibilité de l'eau conventionnelle[1].

Les principaux avantages du procédé de dessalement sont :

- ✓ L'Algérie dispose d'un littoral de 1200 km ;

- ✓ L'utilisation de l'eau de mer qui est une ressource pratiquement non polluante et inépuisable ;
- ✓ La population ainsi que l'industrie à grande consommation d'eau se trouvent à proximité de la mer [1] ;
- ✓ Le domaine de dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée technologique remarquable grâce au développement de différents procédés (l'osmose inverse) ;
- ✓ Une importante demande en eau se situe à proximité de la cote ce qui réduit davantage les prix de revient d'eau [1] ;
- ✓ L'un des grands avantages de dessalement d'eau de mer est la sécurisation de l'alimentation en eau (potable ou industrie) des différents consommateurs, car cette ressource n'obéit pas aux aléas climatiques et elle permet donc de produire d'une manière permanente les quantités voulues, des quantités journalières qui dépassent les 200000m³/j (station Kahrama à Oran 500 000m³/j)[1].

Bien que, le dessalement soit bénéfique pour répondre aux besoins des citoyens, il présente de nombreux inconvénients.

- Les installations de dessalement coutent chères et elles se caractérisent par leur grande consommation énergétique ;
- Ces installations dégagent des gaz à effet de serre, ce qui provoque le réchauffement climatique ;
- Elles détruisent les zones côtières ;
- Elles bouleversent les écosystèmes, car elles rejettent les déchets appelés saumure, certaines espèces ou végétations sont très sensibles à la salinité ;
- Présence de traces de métaux lourds échappés des installations ;
- Les rejets associés aux unités de dessalement comme les eaux provenant du nettoyage (filtre à sable, membranes et dépôts) contaminent le milieu [1].

I.2 Généralité sur l'eau

I.2.1 Sources d'eau

Les sources d'eau naturelles se subdivisent en trois groupes

a) Eau douce de surface

Leur volume total est très faible : il représente 0,18 millions de km³, soit 0,013 % de l'hydrosphère. Elles sont présentes dans les cours d'eau (ruisseaux, rivières, fleuves) et les lacs.

Elles sont très vulnérables à la pollution car elles reçoivent directement les eaux de ruissellement, c'est-à-dire les eaux de pluie ruisselant sur le sol, qui s'infiltrent dans le sol ou dans le sous-sol, ou qui rejoignent un cours d'eau [2].

b) Eaux souterraines

Elles proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Celles-ci s'insinuent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches constituant le sous-sol, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable [2].

c) Eaux de mer

La mer s'étend sur 71% environ de la surface du globe. L'hémisphère sud est le principal réservoir d'eau de mer. Dans l'hémisphère nord on trouve plusieurs mers salées qui communiquent pour certaines avec l'océan (mer Méditerranée, mer Baltique, etc...) On trouve 30 à 40 grammes de sels dissous pour un kilogramme d'eau de mer [2].

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

Les masses terrestres sont en grande partie concentrées dans l'hémisphère nord. Hémisphère nord : 61% de mer, hémisphère sud : 81 % de mer. Cette disparité dans la répartition devient encore plus évidente si l'on place la terre sur un axe Nord-Sud passant

par l'Ouest de la France vers l'embouchure de la Vilaine et le Sud Est de la Nouvelle-Zélande. On a alors un hémisphère continental qui comprend 80% de la masse terrestre globale [2].

I.2.2 L'eau de mer

L'eau de mer est une eau salée qui contient des substances dissoutes.

I.2.2.1 Composition chimique

L'eau de mer est composée de sels ainsi que de diverses substances en faible quantité. L'eau de mer est considérée comme une solution de onze constituants majeurs qui sont par ordre décroissant d'importance, le chlorure (Cl^-), l'ion sodium (Na^+), le sulfate (SO_4^{2-}), l'ion magnésium (Mg^{2+}), l'ion calcium (Ca^{2+}), l'ion potassium (K^+), le bicarbonate, le bromure (Br^-), l'acide borique ($\text{B}(\text{OH})^3$), le carbonate (CO_3^{2-}) et le fluorure (F^-).

Les deux principaux sels sont Na^+ et Cl^- qui en s'associant forment le chlorure de sodium, principal constituant du « sel marin », que l'on extrait dans les marais salants pour obtenir du sel alimentaire.

Les gaz dissous comprennent principalement : 64 % d'azote, 34 % d'oxygène, 1,8 % de dioxyde de carbone (soit 60 fois la proportion de ce gaz dans l'atmosphère terrestre) [3].

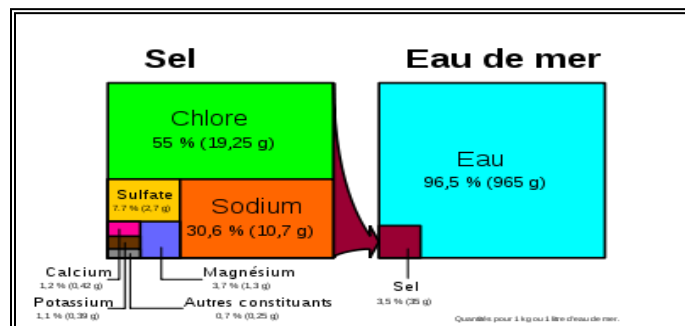


Figure I.1:Composition du sel dans l'eau de mer.

I.2.2.2 Caractéristiques physico-chimiques**a/ Caractéristiques chimiques****✓ Salinité(S)**

Par définition, la salinité désigne la quantité de sels dissous dans un liquide.

La salinité moyenne des eaux de mer varie entre 34 g et 35 g par litre, elle peut être modifiée par l'apport d'eau douce des grands fleuves près des estuaires (eaux moins salées à l'Équateur qu'en mer Baltique). Elle peut être modifiée également par le climat, car les régions humides sont moins salées que les régions chaudes soumises à une évaporation plus importante (mer Méditerranée, mer Rouge). Sous les tropiques, l'eau est salée car il y a une forte évaporation [3].

✓ Alcalinité

Par définition, l'alcalinité est la capacité quantitative d'une solution aqueuse à neutraliser un acide.

L'alcalinité mesure les concentrations d'ions de bicarbonate (HCO_3^-), de carbonate (CO_3^{2-}) et d'hydroxyde (OH^-); elle est exprimée en tant que concentration équivalente de carbonate de calcium (CaCO_3) [2].

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

b/ Caractéristiques physiques**✓ Température**

La température des eaux varie de $-1,9^\circ\text{C}$ à 30°C ;

- ❖ $-1,9^\circ\text{C}$: est la température de congélation de l'eau de mer à une salinité de 35g/l ;
- ❖ 30°C : est obtenue en certain point de la surface des océans par rayonnement solaire et sous l'action de l'atmosphère ;
- ❖ A 4000 m de profondeur, elle varie entre 0 et $2,5^\circ\text{C}$;
- ❖ En Méditerranée (à 2000 m) : elle varie de 13 à $13,5^\circ\text{C}$ [3].

✓ Masse volumique

Masse volumique désigne une grandeur physique qui définit la masse d'un matériau par unité de volume.

La masse volumique de l'eau de mer en surface varie de 1 020 à 1 029 kg/m³. En profondeur, dans les océans, la haute pression peut augmenter la masse volumique jusqu'à des valeurs de l'ordre de 1 050 kg/m³ [3].

✓ Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est un indice qui permet de mesurer l'activité de l'ion hydrogène dans une solution.

L'eau de mer est faiblement alcaline et son pH moyen est de 8,2 avec des variations entre 7 et 8,4.

Le pH des eaux de mer décroît avec une augmentation de température. Pour une eau de chlorinité de 19,5%.

Le pH égale à 8, une élévation de température de 1°C, et entre 10°C et 20°C, le pH diminue à 0,0109.

De même, une augmentation de pression de 100 Bars produit une diminution du pH de l'ordre de 0,02 [3].

✓ Viscosité

La viscosité est une grandeur physique qui caractérise la résistance à l'écoulement laminaire d'un fluide incompressible [3].

La viscosité décroît rapidement en fonction de la température et de la salinité.

✓ Densité

Rapport de la masse volumique de l'eau de mer à celle de l'eau distillée à une température de 4°C. La densité des océans est en moyenne de l'ordre de 1,035 à 1,036. Elle varie avec la salinité, la température et la pression [4].

✓ **Solubilité**

La solubilité d'un composé ionique ou moléculaire, appelé soluté, est la quantité maximale de moles de ce composé que l'on peut dissoudre ou dissocier, à une température donnée, dans un litre de solvant. La solution ainsi obtenue est saturée [4].

I.2.3 Paramètres de l'eau potable

Une eau potable est une eau propre à l'alimentation, dépourvue de tous éléments nocifs. Elle doit être : limpide, incolore, inodore, fraîche. Ces qualités sont facilement décelées par nos sens [5].

Tableau I.3: Normes de potabilités de quelques paramètres

Paramètre	Norme de potabilité
Température	Inférieure à 25°C.
pH	Supérieur à 6,5 et inférieur à 8,5
Conductivité électrique	Entre 0,0005 à 0,05 $\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Dureté totale	Entre 80 et 100 mg/L (en CaCO_3)

I.3 Généralités sur le dessalement de l'eau de mer

L'augmentation de la population amène de nombreuses régions du monde à se trouver en manque d'eau ; pour cela de nombreuses solutions ont été envisagées pour pallier ce problème, y compris le dessalement de l'eau de mer.

I.3.1 Définition

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. Toute station de dessalement de l'eau de mer a pour but de produire l'eau douce pour la consommation humaine [6].

I.3.2 Principe de dessalement

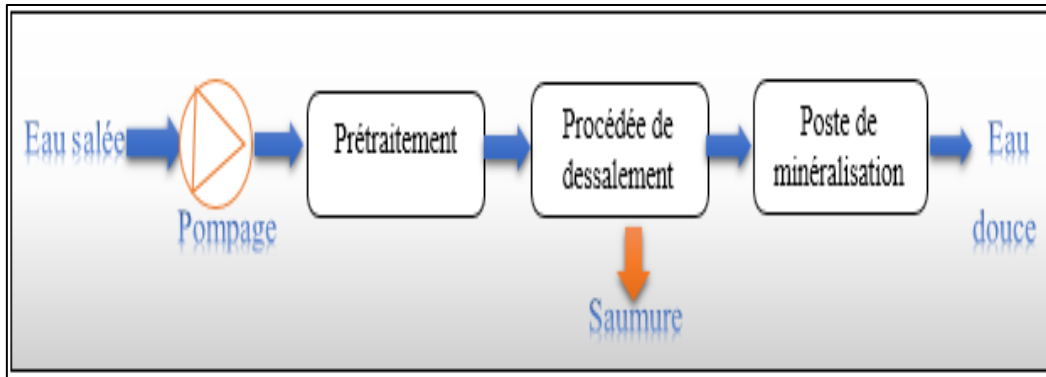


Figure I.2: Principe de dessalement de l'eau de mer.

I.3.2.1 Captage de l'eau

Consiste à pomper l'eau de mer vers la station de dessalement, cette eau doit être bonne du point de vue matière en suspension. Deux types de technologies sont utilisés dans cette étape:

- **Les forages côtiers**

Soit verticaux, soit sous forme des galeries horizontales permettant d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stables [7].

- **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 [7].

I.3.2.2 Prétraitement

Le prétraitement consiste à débarrasser les eaux usées des polluants solides les plus volumineux susceptibles de gêner les traitements ultérieurs voire endommager les équipements.

Le prétraitement de l'eau de mer avant osmose inverse est absolument nécessaire car les membranes d'osmose inverse sont très sensibles au colmatage et une bonne qualité de l'eau en entrée des modules d'osmose inverse est indispensable pour assurer

des performances stables de l'osmose inverse sur le long terme [8]. Les procédés de prétraitement peuvent être divisés en deux **catégories** :

- ✓ **Le prétraitement physique** : incluent les préfiltres mécaniques, la clarification (coagulation-floculation), la décantation, la filtration et la microfiltration [9].
- ✓ **Le prétraitement chimique** : consiste en l'addition d'inhibiteurs d'entartrage, de désinfectants et acidification et injection de séquestrant [9].

a) Prétraitement physique

- **Filtration mécanique**

Pour une alimentation par prise directe en mer, il convient d'éliminer toutes les matières grossières avant qu'elles ne pénètrent dans le système. Pour ce faire, la conduite de prise en mer doit être équipée d'une crépine.

Pour ne pas avoir à nettoyer manuellement les crépines, il est préférable de choisir des crépines à fentes, obtenues par enroulement d'un fil de section triangulaire, dont l'angle est orienté vers l'intérieur de la crépine, dans le sens de la filtration, ce qui les rend peu sensibles au colmatage [8].

- ✓ **Coagulation –floculation**

a) Coagulation

La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles tendent à éloigner les particules les unes des autres et, par conséquent, à les stabiliser dans la solution.

Le but principal de la coagulation est de déstabiliser ces particules pour favoriser leur agglomération. Les coagulants sont utilisés pour neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau [10].

b) Floculation

La floculation est le processus physico-chimique au cours duquel des matières en suspension dans un liquide s'agglomèrent pour former des particules plus grosses, généralement très poreuses, nommées floes. Les floes sédimentent généralement beaucoup plus rapidement que les particules primaires dont ils sont formés. La

floculation peut avoir lieu naturellement ou peut être accélérée par l'ajout d'un floculant [10].

L'opération 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 [8].

Les floccs ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite.

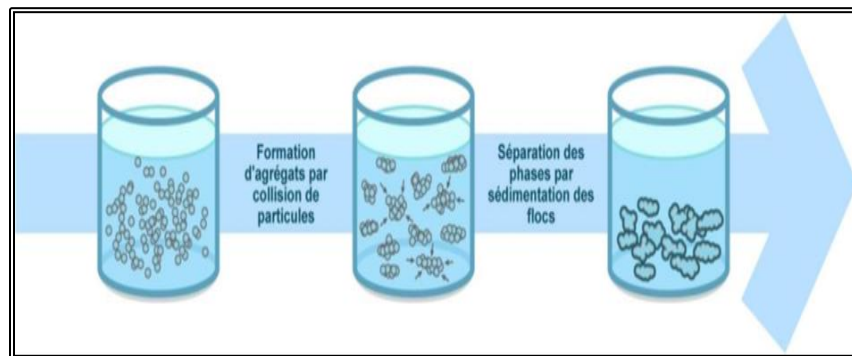


Figure I.3:Coagulation - Floculation.

✓ Filtration

Dans le cas de la filtration sur sable, la séparation s'effectue le long d'un milieu poreux (le sable), plus ou moins tortueux, qui se colmatra en profondeur au fur et à mesure de l'accumulation des particules en suspension lors du passage du fluide. Plusieurs autres types de filtres reposent sur ce principe (filtre à cartouche, filtre à disque,...). Un milieu poreux représente un ensemble de grains ou d'agrégats autour desquels des espaces vides appelés pores, sont interconnectés ou non. Le matériau doit être perméable à un écoulement de fluide [8].

✓ Microfiltration

La microfiltration consiste à éliminer d'un fluide les espèces dont les dimensions sont comprises entre 0,05 à 10 μ m. Les espèces sous la forme de solutés ou de particules sont retenues à la surface de la membrane par effet d'exclusion.

Les membranes les plus utilisées sont poreuses en polyamides ou polypropylène, ou encore inorganiques (en oxyde métallique ou céramique). La pression transmembranaire

varie environ de 0,05 à 3 bars. La microfiltration se prête non seulement à la séparation solide-liquide mais aussi liquide- liquide des émulsions d'huile dans l'eau [8].

b) Prétraitement chimique

Après la filtration à sable, des équipements de dosage font partie de prétraitement chimique appliqué à l'eau de mer avant l'entrée dans les membranes.

Cette opération s'effectue au niveau de la tour de captage de l'eau de mer ou dans l'aspiration des pompes à eau de mer ou dans l'impulsion de ces dernières. Elle consiste à l'injection d'hypochlorite de sodium (NaOCl), de chlorure ferrique (FeCl_3) et du méta bisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2$) [8].

I.3.2.3 Procédés de dessalement

La plupart des stations de dessalement utilisent différentes méthodes pour ce procédé de dessalement, comme il existe des méthodes traditionnelles (distillation, osmose inverse, électrodialyse) et autres non conventionnels (distillation solaire, cristallisation, congélation...) et chaque station choisit ce qui convient à ses critères [6].

a/ Procédé de distillation

La distillation occupe aujourd'hui environ 60% du marché mondial du dessalement. Elle est la plus vieille et la plus rustique des techniques de dessalement [11].

- **Distillation à simple effet**

Elle reproduit en milieu industriel le processus naturel de dessalement. Il s'agit de chauffer l'eau de mer pour en vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite ne contient des sels, et suffit alors de refaire passer cette vapeur à l'état liquide en la refroidissant pour obtenir de l'eau potable [11].

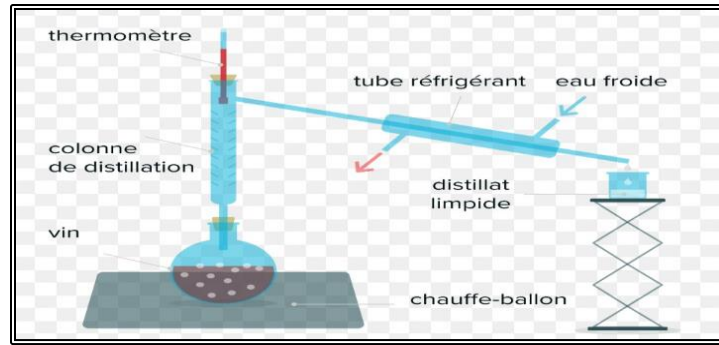


Figure I.4: Principe de distillation.

- **Distillation à 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 conduites 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) [11].

L'eau est alors instantanément transformée en vapeur par détente appelée **Flash**. La vapeur ainsi créée va monter au contact des premiers dans lesquels passent l'eau de mer.

Sont assez froids ce qui provoque la condensation de cette vapeur qui est alors récupérée à l'état liquide. Pour l'eau qui 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 lesquels l'opération se répète dans 40 compartiments [11].

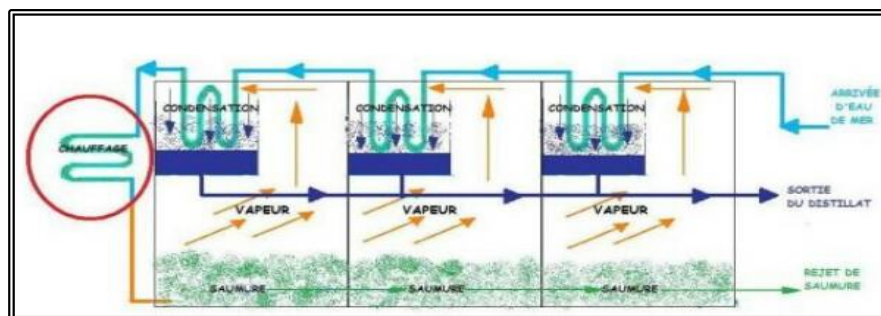


Figure I.5 : Distillation à multi flash.

- **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 variant entre 70° et 80°C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échanges contrairement au cas du procédé précédent, ou elle assure par détente au sein des étages successifs.

La distillation à effets multiples est moins courante car elle ne permet pas de produire de grandes quantités d'eau douce et son installation est délicate et coûteuse [11].

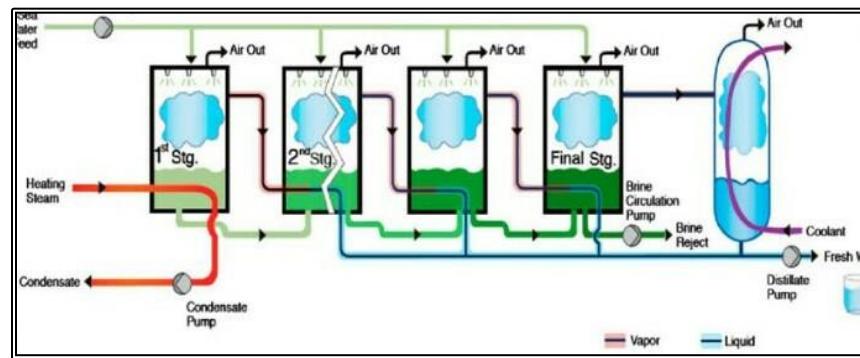


Figure I.6: Distillation multiples effets.

a/ Procédées membranaires

Les membranes ont les capacités de différencier et séparer sélectivement les sels et l'eau. Deux procédés de dessalement à membrane ont été développés et sont actuellement disponibles au marché ; l'électrodialyse(ED) et l'osmose inverse(OI) [6].

✓ **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 [6].

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 [6].

La teneur en sel de l'eau osmosée est de l'ordre de 0,5g/L [6].

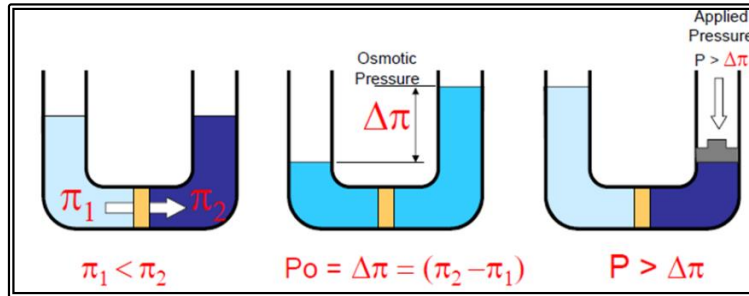


Figure I.7 : Principe du phénomène d'osmose et d'osmose inverse.

b/ Électrodialyse

L'électrodialyse est un procédé de nature électrochimique. Il permet d'extraire en partie ou en totalité les ions contenues dans une solution en conservant des substances pas ou très peu ionisées [12].

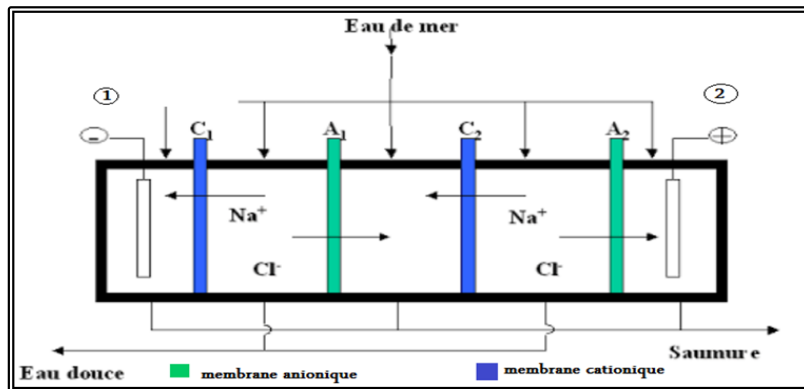


Figure I.8: Principe du procédé d'électrodialyse.

I.3.2.4 Poste de minéralisation

L'eau issue du traitement de l'osmose inverse est indemne de tous les minéraux, c'est à-dire non consommable, une reminéralisation est nécessaire pour rendre cette eau potable. L'injection automatique de CO_2 pour réduire le pH proche de 5 permet de rendre plus efficace le processus de reminéralisation. Ce dernier est réalisé dans des tours ou chambres en nombre de dix, à l'intérieur desquelles est situé le lit de calcite (carbonate de calcium) de 2.86 m de hauteur, équipées par des tuyaux de distribution. A travers ce lit de calcite, l'eau traitée passe et atteindra le fond (réservoir) par un canal à l'intérieur de la tour. Après et à l'aide d'un doseur automatique, il y aura un ajout d'hypochlorite de sodium à partir des deux citernes suscitées [6].

I.4 Présentation de la station de dessalement à la ville de Ténès

I.4.1 Présentation de la commune de Ténès

La commune de Ténès s'étend sur une superficie de 92,28 km² dont 5,70 km² en zones urbaines et 86,58 Km² en zones rurales. Elle est limitée par :

- Le nord : la mer Méditerranée ;
- Le sud : Sidi Akkacha et Abou El-Hassen ;
- L'Est : Oued Goussine ;
- L'Ouest: Sidi Abderahmane [13].

I.4.2 Présentation de la station UTE desaladora O&M

La mise en service finale de la station de dessalement Ténès était en juin 2015 dont la capacité de production est de 200 000m³/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 SONEGGAZ** » avec 49% et l'entreprise espagnole « **ABENGOA** » avec 51% de cet investissement.

Il s'agit de quatre lignes de production avec un débit de produit par une unité de 2.175 m³/h et un débit de rejet de 2.658 m³/h [14].

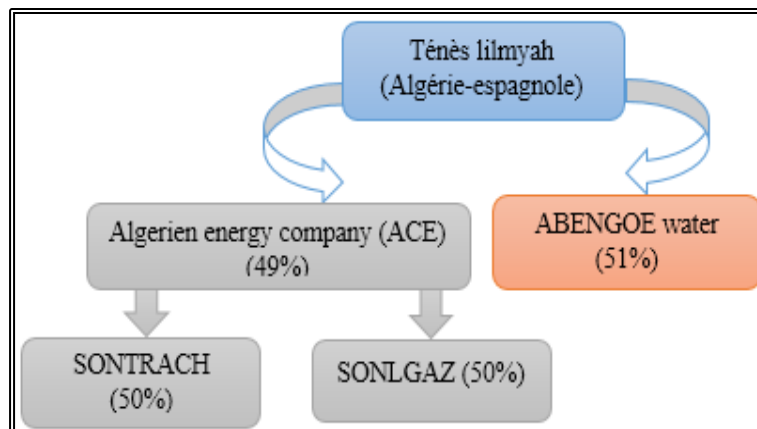


Figure I.9: Les entreprises qui gèrent la station de dessalement de Ténès.

Tableau I.4: Quantité distribuée par la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès [13].

N° point de Piquage /adduction	Lieu	Pop total (Ha)	Quotas alloués (m ³ /J)	Dot l/Hab
1	Ténès (station de pompage)	56711	17000	300
2	El kharba(Bouzhghaya)	68183	13000	191
3	Bouzhghaya(station de pompage N°5)	75487	9000	119
4	Heumis	51594	8000	480
5	Chattia	119103	30000	252
6	ArdBeidha(Chettia)	153682	25000	163
7	103 longements(Chettia)	175343	32000	182
8	Sortie Chlef Ouest	174859	29000	166
9	Pont Boutaiba	200104	37000	185
Total population concernées	/	1075066	200000	/

I.4.3 Présentation du groupe ABENGOA dans la station

UTE desaladora de Ténès O&M : unité traitement des eaux desaladora (l'usine de dessalement en espagnole) de Ténès Opération et Maintenance.

- ❖ Nom ou raison sociale de l'entreprise : UTE DESALADORA TENES ;
- ❖ Adresse : BP 155-TENES W. CHLEF 022000 TENES ALGERIE ;
- ❖ Adresse email : Laboratoire.tenes@gmail.com ;
- ❖ Téléphone : 00213 5 60 40 42 81 ;
- ❖ Télécopie : 00213 27 45 81 16 ;
- ❖ Nombre de salarié : 50 Personnes ;
- ❖ Description des activités de l'entreprise :
 - Dessalement de l'eau de mer ;
 - Production de CO.

I.4.4 Situation géographique de la station

Le site de la station de dessalement est localisé dans la région de Chlef, à la rentrée Ouest de la ville de Ténès, plus précisément au lieu-dit « Mainis » à 7 km de la commune de Ténès [14] il est limité par :

- Le nord : la mer méditerranée ;
- Le sud : la route nationale N°11 ;
- L'Ouest : une petite unité de dessalement 5000 m³/j (ancienne station) ;
- L'Est : les habitations de Mainis [11].

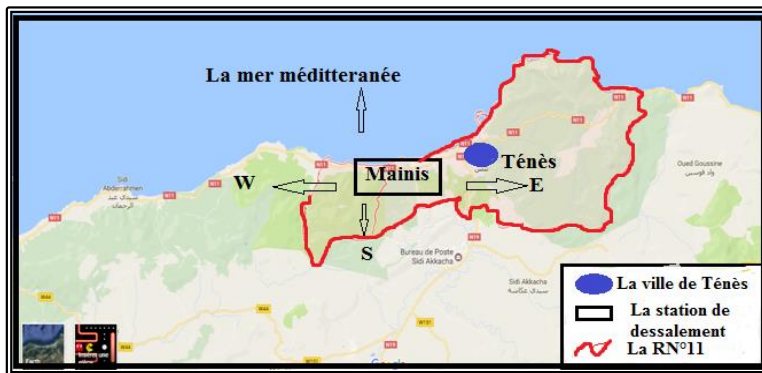


Figure I.10: Situation géographique

• Topographie du site

Le niveau de la surface actuelle du terrain varie de 2,5 m à 16m depuis la route nationale RN°11 jusqu'à la partie inférieure de la mer [14].



Figure I.11: Vue générale sur la station de Ténès

Chapitre II

Procédés de dessalement des eaux de mer

II.1 Processus général de dessalement

Le processus du dessalement d'eau de mer dans la station de Ténès comporte quatre étapes principales schématisées sur la figure suivante :

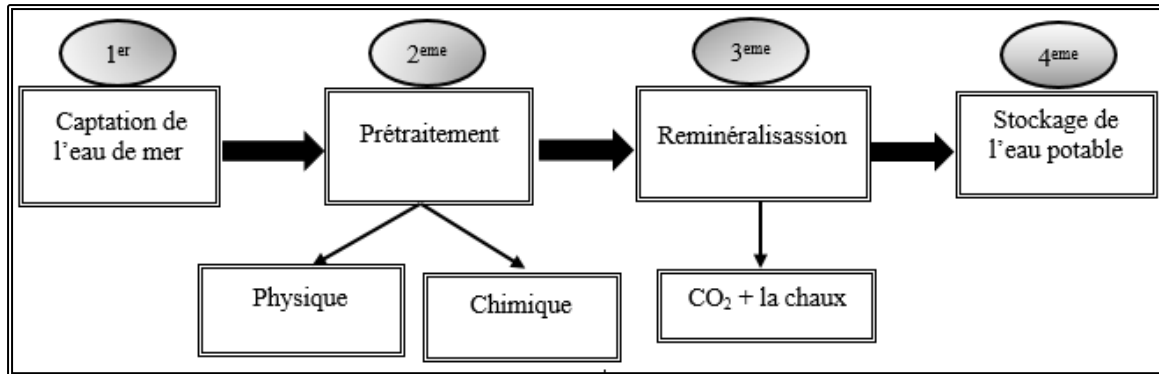


Figure II.1: Processus de dessalement.

II.2 Etapes de dessalement des eaux de mer

II.2.1 Captation de l'eau de mer

La capture de l'eau de mer se fait directement de la mer par gravité, à l'aide de 2 tuyauteries fabriqués en PRFV (Pipe en Résine et Fibre du Verre), ils sont installés à une profondeur de la mer de 10 m, ils ont une longueur de 600 m et d'un diamètre de 1600 mm, avec un débit max de capture de 540.000 m³/j. Aux extrémités des tuyauteries de capture, sera installé un tour de captage dans le but d'aspirer de l'eau à une profondeur moyenne tout en limitant la rentrée des sables et de produits flottants, jusqu'aux réservoirs de collecte. L'eau salée est passée par des grilleurs (Beaudry) afin d'éliminer les gros déchets.

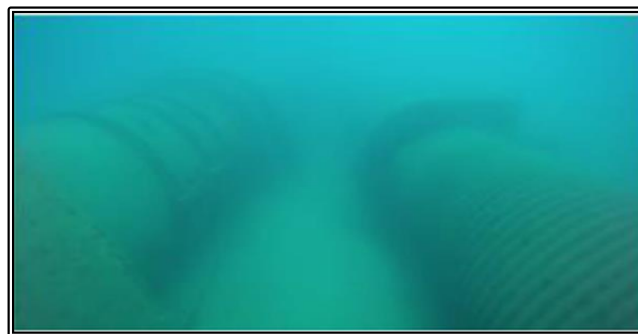


Figure II.2: Tuyaux de captage de l'eau de mer.



Figure II.3: Baudry de la station.

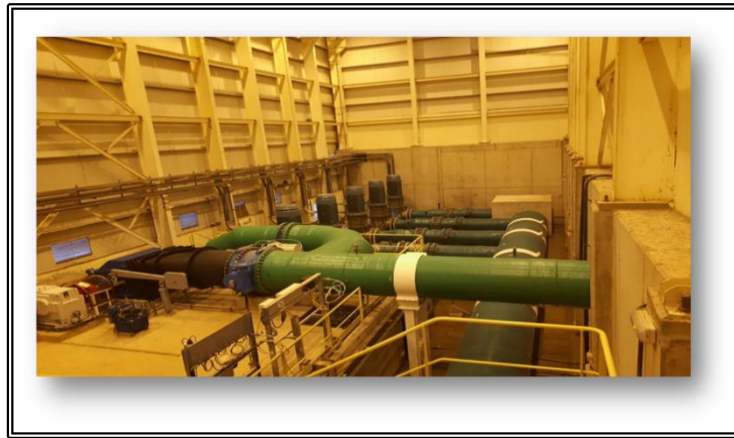


Figure II.4 : Pompes de captation de l'eau de mer.

II.2.2 Prétraitement

Le but de la deuxième étape de dessalement est d'éliminer :

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

Cette étape comporte deux types de traitements

a/ Prétraitement physique

Le prétraitement physique, consiste à séparer les solides en suspension dans l'eau.

Il se fait comme suit :

✓ Filtration à sable

La filtration à sable aide à éliminer la plupart des particules en suspension, huile et graisse qui restent dans l'eau de mer. La filtration se fait par gravité, l'eau rentre par le haut dans le filtre. Ce système contient 36 filtres qui sont distribués d'une surface unitaire de 92m² avec une longueur de 11,9m et une largeur de 7,9m. L'épaisseur de la couche de sable est de 1,2m, elle est supportée sur de faux fonds dotés de buses filtrantes. La vitesse de filtration sera de 5,19m/h.



Figure II.5 : Filtre à sable.

Après chaque filtration, l'eau est destinée vers un réservoir de l'eau filtrée pour la prochaine étape suivante.

✓ Filtration à cartouche

Les filtres à cartouches sont les plus efficaces et économique pour des applications traitant des effluents ayant une contamination inférieure à 100, c'est une microfiltration pour des contaminations plus élevées de 0.5 à 150 microns (aide à éliminer le sable, calcaire, chaux, rouille, particules fines).



Figure II.6 : Filtre à cartouche.

C'est la dernière étape de prétraitement de l'eau destinée à alimenter l'étage d'osmose inverse.

L'eau filtrée à travers le filtre à sable passe par des filtres à cartouches. Ces filtres de nombre de 22 sont partagés à deux, 12 lignes alimentent **les récupérateurs d'énergies (ERI)** et 10 lignes alimentent les pompes hautes pression pour pomper l'eau vers l'osmose inverse.



Figure II.7: Pompe HP intermédiaire.

✓ Osmose inverse

a) L'osmose

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. C'est le passage de molécules de solvant, en général de l'eau, à travers une membrane semi-perméable, depuis le milieu le moins concentré (hypotonique) en solutés vers celui le plus concentré (hypertonique).

Ce phénomène s'arrête lorsque les deux liquides séparés par la membrane ont atteint la même concentration. On parle alors de milieux isotoniques. La pression hydrostatique due à la différence de hauteur d'eau entre ces deux milieux compense alors la pression osmotique.

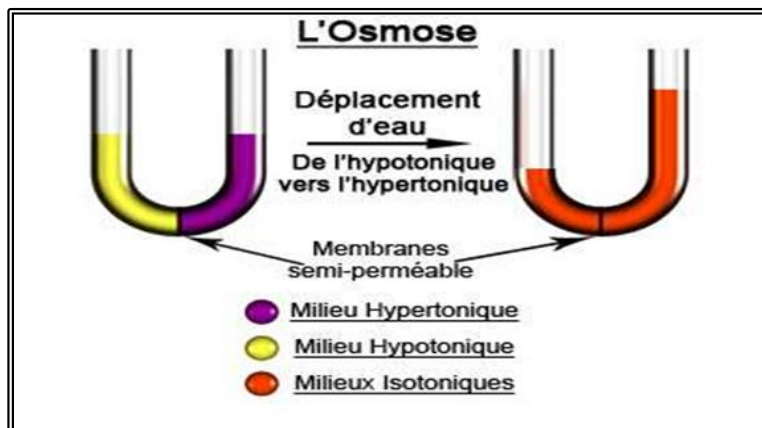


Figure II.8: Principe de fonctionnement d'osmose.

Membrane

La membrane semi perméable est une membrane qui est formée de plusieurs couches ne laissant passer que la molécule d'eau. Elle est composée de plusieurs sous-membranes qui renforcent la purification de l'eau de mer.

Cette membrane est formée d'une couche nommée « support » d'une taille d'environ 50 μ m de largeur et d'une autre couche appelée « barrière » qui a une taille très petite environ 0,2 μ m d'épaisseur.

L'eau de mer passe à travers des membranes semi-perméables qui ne laissent passer que les molécules d'eau et stoppe les sels présents dans l'eau qui sont de l'ordre de 10^{-7} mm. De plus, cette technique permet de désinfecter l'eau de mer de plus près, c'est-à-dire grâce à la membrane semi-perméable, qui laisse que les molécules d'eau de passer et elle désinfecte cette eau de toutes les particules qui restent en suspension ou des micro-organismes.

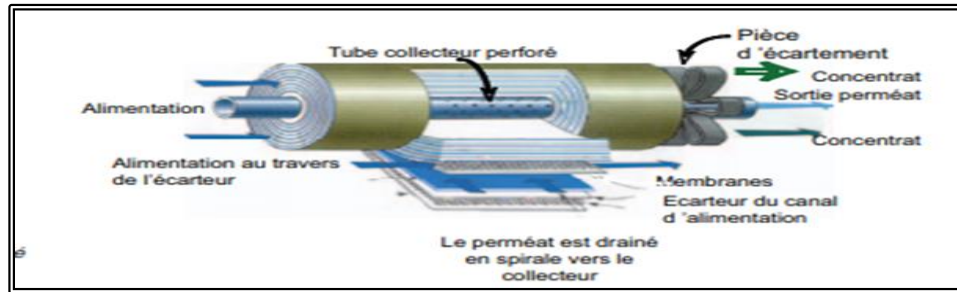


Figure II.9: Membrane.

Pression osmotique

Pression empêchant un solvant de passer au travers d'une membrane semi-perméable.

Si on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte, le flux d'eau va même s'annuler : cette pression est nommée la pression osmotique.

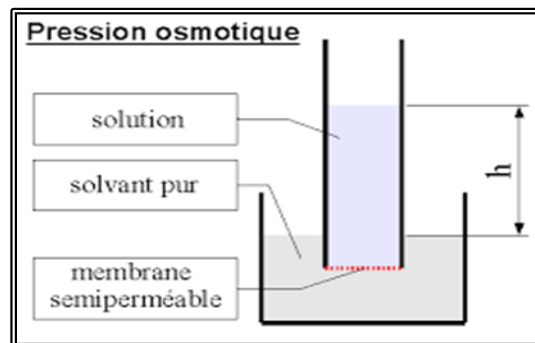


Figure II.10: Pression osmotique.

b) Osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméation (pénétration d'un perméat à travers un solide) à travers des membranes dense sous l'effet d'un gradient de pression. Si on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique : c'est le phénomène d'osmose inverse.

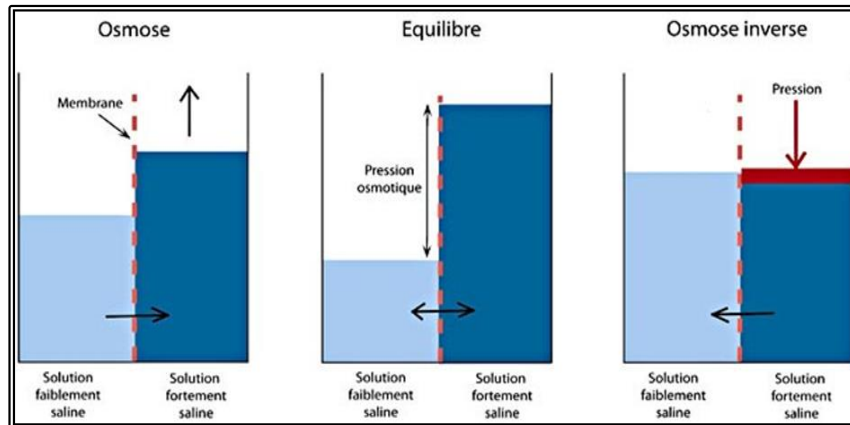


Figure II.11: Fonctionnement d'osmose inverse.

c) Bâtiment d'osmose inverse dans la station

Dans cette partie de prétraitement de l'eau, le bloc d'osmose inverse est constitué de 4 unités. Une unité contient 3 Rack, au totale 12 Racks, chaque Rack contient 196 tubes de pression et 7 membranes dans chaque tube.

- **Pompe à haute pression (pompe HP)**

Avant d'entrer dans les membranes d'OI (osmose inverse), l'eau prétraitée arrive au système de pompage de haute pression généralement entre 55 et 85 bars.

Les pompes se trouvant dans notre cas sont en nombre de 5 dont 4 sont fonctionnelles et une de secours, en fournissant une pression totale de l'ordre de 60 bars.



Figure II.12: Bâtiment d'osmose inverse.

La capacité dessalée par Rack est $17\,391\text{ m}^3/\text{j}$. La capacité totale de production des 4 unités est de $208\,696\text{ m}^3$ nominale de la production de l'eau /j.

- **Récupération de l'énergie**

La consommation énergétique de l'osmose inverse est une préoccupation majeure. Puisque seulement la moitié de l'eau est extraite sous forme d'eau douce à partir de l'eau salée, l'unité rejette une saumure concentrée à une pression très élevée, de l'ordre de $60\text{--}70\,10^5\text{ Pa}$, quasiment égale à la pression de fonctionnement de l'osmoseur. Très rapidement, des dispositifs récupérant cette énergie de pression ont été intégrés.



Figure II.13: Récupération de l'énergie.

Le système le plus élaboré est l'échangeur de pression développé par la société ERI car il est rotatif et ne comporte ni clapet ni piston. C'est la pression de la saumure qui assure la rotation du dispositif à une vitesse de 1200 tours par minute. Le rendement

de récupération est supérieur à 95%. A cause de l'absence de piston, les fluides se mélangent partiellement mais seulement de quelques pour cent.

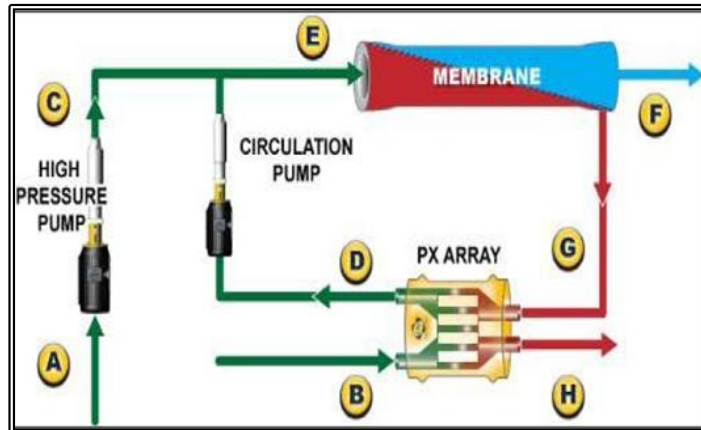


Figure II.14: Schéma général d'une unité d'osmose inverse.

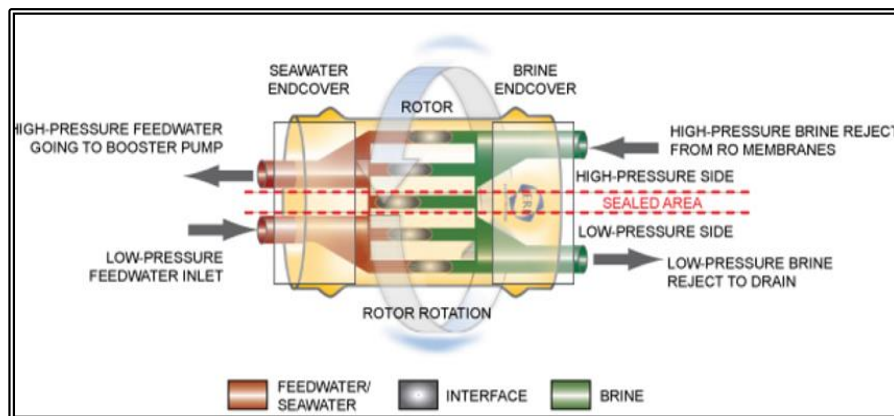


Figure II.15: Principe de fonctionnement d'ERI.

b/ Prétraitement chimique

Le prétraitement chimique comporte 3 étapes :

✓ Désinfection

La chloration est un moyen simple et efficace pour désinfecter l'eau. La dose injectée est de 5g de chlore libre /m³ dans l'émissaire sous-marin et dans la chambre d'aspiration des pompes sont effectué.

✓ **Dosage de méta bisulfate**

L'utilisation de méta bisulfate permet d'éliminer le chlore contenu dans l'eau de mer avant son arrivée aux membranes d'osmose inverse après le filtre cartouche. L'injection de la solution de méta bisulfate ($\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2$) se fait par un équipement composé de deux réservoirs d'accumulation-dissolution et d'une pompe doseuse par ligne.



Figure II.16:Anti-tart Méta bisulfate.

Equation du dosage



✓ **Dosage d'inhibiteur anti-scalant**

Le dosage d'inhibiteur est effectué de manière continue, ce qui permet de protéger la membrane contre l'impact négatif des sels de rigidité.

Les sels de rigidité forment des composés qui vont dans le drainage et ne se déposent pas sur la surface de la membrane.

II.2.3 Reminéralisation

Après le passage de l'eau prétraitée dans les membranes, l'osmose inverse élimine non seulement les contaminants présents dans l'eau potable, mais également les

minéraux. A la sortie, on obtient une eau dessalée pauvre en minéraux. Cette eau a quelques aspects non souhaitables :

- Un fort potentiel corrosif ;
- Carence alimentaire causant des risques de maladies cardiovasculaires ;
- L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) recommande 10mg/L de Magnésium et 30 mg/L de Calcium pour une eau potable.

Pour cela il faut la reminéraliser

La reminéralisation est la transformation de molécules organiques en formes inorganiques.

La reminéralisation est réalisée par l'ajout de dioxyde de carbone(CO₂) et de l'hydroxyde de calcium. L'ajout de CO₂ à l'eau potable augmente sa dureté et préserve l'équilibre entre carbonate, bicarbonate et dioxyde de carbone libre. Le Ca(OH) permet d'ajouter à l'eau produite un taux de calcium.

Ces deux produits sont dosés dans des chambres à l'entrée du réservoir de l'eau produite.

L'injection de CO₂ se fait à la sortie du perméat, puis l'eau est dirigée vers la 1^{ère} chambre de réservoir.

Le stockage de Ca(OH) se fait dans deux silos de stockage. Le Ca(OH) se mélange dans une cuve avec de l'eau perméat pour obtenir un lait de chaux concentré, ce dernier est pompé vers le saturateur pour diminuer la concentration de la solution (eau + Ca(OH) (sous agitation)), puis dirigé vers la 2^{ème} chambre de réservoir, afin de mélanger les deux solutions.





Figure II.17: Saturateur de $\text{Ca(OH)} + \text{H}_2\text{O}$.



Figure II.18: Silos de stockage de CaCO_3 .

II.2.4 Stockage de l'eau potable et sa distribution au niveau de la ville

L'eau minéralisée est transférée vers le réservoir de stockage construit en béton armé. Dans cette étape, l'ajout d'hypochlorite de sodium (NaClO) est nécessaire pour désinfecter l'eau des microbes. À partir de ce réservoir, l'eau produite est pompée vers les points de distribution, le pompage est assuré par 5 pompes haute pression.



Figure II.19: Réservoir de stockage de l'eau produite.



Figure II.20: Pompe HP pour la distribution de l'eau produite.

Chapitre III

Contrôle physico-chimique des eaux

Le contrôle de qualité des eaux de mer sera mené en comparant les valeurs des paramètres analysés avec les seuils fixés par les normes algériennes de qualité des eaux ainsi qu'une comparaison avec les normes internationales de l'organisation mondiale de la santé (OMS., 2017). Les normes de l'eau potable sont établie par l'organisation mondiale de la santé OMS ou le ministère Algérienne des ressources.

III.1. Contrôle physique

Cette étude a été réalisée au niveau du laboratoire de contrôle de la qualité de cette station de dessalement.

III.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le potentiel d'hydrogène (pH) est une mesure de l'activité chimique des ions hydrogène en solution. Plus souvent, le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution dans un milieu aqueux.

III.1.2. Température (T)

La température est une grandeur physique liée à la notion immédiate de chaud et froide. Cette mesure est effectuée sur les échantillons à l'aide d'un appareil multi paramètres au niveau du laboratoire.

III.1.3. Conductivité (δ)

Grandeur physique caractérise la résistance au passage de courant ou de la chaleur dans le matériau. L'unité de mesures est $\mu\text{S}/\text{cm}$.

III.1.4. Total des solides dissous (TDS)

TDS signifie le total des solides dissous, il représente la concentration totale des substances dissoute dans l'eau. L'unité de mesure est ppm (partie par million).

La détermination de ces paramètres (pH, TDS, conductivité et T) se fait par un appareil multi-paramètre, de marque MAYRON L CAMPANY 6 PFC^E, au niveau du laboratoire de contrôle de qualité de la station de dessalement de Ténès.



Figure III.5: Multi-paramètre.

III.1.5. Turbidité (Turb)

La turbidité mesure et quantifie l'état d'une eau troublée par des particules en suspension, cela s'applique à toutes les eaux. Elle reflète ainsi l'état d'un liquide dû à la présence de particules en suspension, fines mais visibles, qui gênent le passage de la lumière. L'unité de mesure est NTU ((Nephelométric Turbidity Unit), (unité de turbidité néphélométrie))

La néphélométrie est une technique de mesure de la teneur de particules en suspension de la turbidité d'un milieu (respectivement gazeux ou liquide), elle fait partie de la photométrie des milieux troubles.

Les mesures se font par un turbidimètre de modèle SPE TOQUANT Move100.



Figure III.6: Turbidimètre.

III.1.6. 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 balancée ou non chimiquement. Il est calculé par un logiciel qui s'appelle 'Equilibre 1''

Tableau III. 4 : 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. Contrôle chimique

III.2.1. Dureté totale (Th)

La dureté totale d'une eau, encore appelée TH, représente sa teneur en ions calcium et magnésium. L'unité de mesure est mg/l en CaCO_3 .

• Principe

La détermination de la dureté de l'eau se fait par un dosage complexométrique par l'E.D.T.A (acide éthylène diamine tétra acétique). L'ammoniaque + EDTA peuvent former un complexe avec l'ion de Ca^{2+} et Mg^{2+} .

III.2.2. Test de Chlorure

C'est une méthode de mesure pour déterminer le taux de chlorure présent dans l'eau de mer, cette méthode s'appelle : la méthode de Mohr est valable pour tous les eaux dont le pH est compris entre 6 et 8.

III.2.3. Test d'alcalinité

L'alcalinité est la capacité d'une solution minérale à neutraliser les ions hydrogène généralement exprimée en équivalent de carbonate de calcium. L'unité de mesure est mg/l en CaCO_3 .

- **Principe**

Le titre alcalimétrique d'une eau correspond à la mesure des concentrations des ions carbonates (CO_3^{2-}) et des ions hydroxydes (OH^-) par la méthode titrage, cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau à analyser par l'acide chlorhydrique (HCl) dilué en présence de phénophtaléine et un indicateur coloré.

III.2.4. Dosage de calcium et de magnésium

Le calcium est présent dans les eaux de manière naturelle. Le magnésium peut être estimé par la différence entre la dureté de l'eau et le calcium.

- **Principe**

La détermination du taux de **Calcium et de Magnésium** se fait par un dosage par l'EDTA en présence de la soude. L'unité de mesure est en mg/l de CaCO_3 .

III.2.5. Mesure de la salinité

- **Principe**

La salinité est la présence des sels en eau, elle se calcule au niveau du laboratoire par la relation suivante :

$$S = 0,03 + 1,805 \cdot [\text{Cl}]$$

Avec : S : salinité ;

Cl: concentration de chlorure.

III.2.6. Chlore libre

Correspond à la quantité de gaz de HOCl et de Cl_2 dissous dans la solution (solution neutre ou acide et de surcroît très diluée).

- **Principe**

L'analyse du chlore se fait à l'aide d'un appareil de marque HI96711 qui indique le taux du chlore dans l'eau potable.



Figure III.7 : Appareil d'analyse de chlore (chlorométrie).

III.2.7. Les sulfates et le total des Matières en suspension (MES)

Les matières en suspensions caractérisent la teneur des éléments non dissous de diverses granulométries transportées par l'eau de mer. Ces matières peuvent être d'origine minérale ou organique.

- **Principe**

La détermination du taux de sulfate présente dans l'eau de mer ou l'eau usée est détectée à l'aide d'un spectrophotomètre (HACH DR 3900).



Figure III.8 : Spectrophotomètre.

Les deux tableaux ci-dessous regroupent les différentes normes des paramètres physico-chimiques

Tableau III.5: Normes Algériennes des paramètres chimiques.

Paramètre chimique	Unité	Norme
Dureté total (CaCO_3)	mg/l	$80 < \text{DT} < 150$
Chlorure	mg/l	$19000 < \text{Cl} < 22000$
Alcalinité (CaCO_3)	mg/l	≥ 60
Calcium (CaCO_3)	mg/l	< 75
Magnésium (CaCO_3)	mg/l	< 150
Salinité	/	/
Chlore libre	ppm	1
Sulfate	mg/l	< 3200
MES	mg/l	< 10

Tableau III.6: Normes Algériennes des paramètres physiques.

Paramètre physique	Unité	Norme
pH	/	$7,5 < \text{pH} < 8,5$
Température	° C	$15 < T < 25$
Conductivité	$\mu\text{S/cm}$	< 1500
Turbidité	NTU	< 5
Indice de Langelier	/	0 à 0,4
TDS	ppm	$35000 < \text{TDS} < 39000$

Conclusion

Conclusion

Pendant la période de stage, nous avons effectué une visite générale de toutes les installations de l'usine et une visite spéciale des bâtiments d'exploitation. Une étude théorique des étapes de dessalement a été bien détaillée, de la première étape (captage de l'eau de mer) à la dernière phase (stockage dans le grand réservoir).

Dans la station de dessalement de Ténès, les étapes de prétraitement utilisées garantissent le bon entretien de l'équipement de la station, produisant une eau douce de bonne qualité et présentent une conformité aux normes d'OMS et normes algériennes.

Ce travail est destiné à apporter une contribution à l'étude du procédé de dessalement au sein de l'UTE desaladora de Ténès. Ce stage m'a donné l'opportunité d'appliquer les connaissances acquises au cours des trois années à l'Université et d'acquérir de nouvelles connaissances dans le domaine d'emploi.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]Ministère des ressources en eaux et de l'environnement Algérienne des eaux.
- [2]Bureau d'étude National Eau et Environnement .SPA Alger, janvier 2009.
- [3]**M.RAPINAT**, «L'eau. Presse universitaire de France».1^{ere} édition : 1982 ISBN 2130375626.127 p, 1982.
- [4] **N.SABER**, « l'eau, c'est la vie ». Energie et mines,Avril 2004.
- [5]**A.MAUREL**, « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », 2^{ème}édition, TEC & doc. 286p, 2006.
- [6]**F. VALLIRON**, « Gestion des eaux: alimentation en eau d'assainissement », presses de l'école nationale des ponts et chaussés, Paris, 1989.
- [7]**V. RENAUDIN**, « Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres » CNRS, Nancy 2003.
- [8]**NICOS X. TSIOURTIS**, « desalination and the environment » ; desalination vol 141, 2005.
- [9]**UNEP/MAP**, « dessalement de l'eau de mer en méditerranée évaluation et lignes directrices », MAP Technical Reports Séries No. 139, Athens, 2003.
- [10]**UNEP** « Programme des Nations Unies pour l'Environnement »,07 mai 2001.
- [11]**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.
- [12]**M.BOUHAMADOUCHE**, « Sédimentologie du plateau continental Est-Algérois, Boumerdes Boudouaou El-Bahri», mémoire de magistère, USTHB Alger, 1993.
- [13]Algérienne des eaux, ADE Ténès, mars 2017.
- [14]Document de la station. «UTE, desaladora Ténès Opération et Maitenimients O &M », juin 2016.