

UNIVERSITE Saad DAHLAB – BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département des Sciences de l'Eau et Environnement



MEMOIRE DE MASTER

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ressources Hydrauliques

Thème:

Etude de l'exploitation et le suivi d'une station de dessalement d'eau de mer: cas de la station de Ténès (Wilaya de Chlef)

Présenté par :

HAMDANI Fethi

MESSAFEUR Youcef

Devant le jury composé de :

Mme. Anser	Maitre de conférence A, U Blida 1	Présidente
Mr. FILLALI	Maitre assistant A, U de Blida 1	Examineur
Mlle. BENZINEB K	Maitre assistante B, U de Blida 1	Examinatrice
Mr. BESSENASSE M	Professeur, U de Blida 1	Promoteur

Promotion 2017/2018

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie Allah, tout puissant, de m'avoir donné la force, la volonté, le courage, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Je voudrai exprimer mes profondes gratitude et mes remerciements les plus chaleureux à mon promoteur Mr. BESSENASSE Mohamed pour ses précieux conseils, encouragements et le temps qu'il m'a consacré pour l'élaboration de ce travail.

Je tiens à remercier mes parents, mon grand père, ma grand-mère, ma femme, qui n'ont pas cessé de m'encourager pour continuer mes études.

J'adresse également mes remerciements à tous les membres du jury qui ont pris le soin de consulter ce document, et de juger mon travail.

Un grand merci aussi pour toute l'équipe de la station de dessalement de Ténès (w.Chlef), cadres, ingénieurs, techniciens, et administrateurs qui m'ont fournit tous les moyens nécessaires pour accomplir ce travail.

HAMDANI Fethi

Dédicaces

Je dédie ce document de travail

A mon grand-père

A mes parents, mes frères, mes sœurs

A ma petite famille

HAMDANI Fethi

Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la foi et de m'avoir permis d'en arriver là.

Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi.
Je remercie mes frères et mes sœurs pour leur encouragement.

Je tiens à remercier mon cher ami Saad Allah, pour leur encouragement et soutien.

Je tiens à remercier notre encadrant Mr. BESSENASSE Mohamed pour son encadrement, son soutien, pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de notre recherche.

Je remercie également les membres du jury d'avoir honoré ma soutenance et pour l'effort fournit afin de juger ce modeste travail.

Je remercie aussi l'ensemble des personnes dans la station du dessalement de Ténès (w.Chlef) pour son accueil, son aide, son attention et sa gentillesse tout au long du stage.

MESSAFEUR Youcef

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes chers parents, pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour ma réussite.

A mes frères et mes sœurs.

A tous mes amis : Saad Allah, Sidja, Ibrahim

Abd Allah, Ahmed et Yacine.

MESSAFEUR Youcef

ملخص :

مهمتنا هي دراسة تشغيل و متابعة محطة تحلية مياه البحر لتنس (ولاية شلف).

تركز هذه الدراسة على أداء المحطة من خلال سلسلة من التحليلات التي أجريت على عينات من المياه المنتجة، وكذلك تشخيص مراحل تشغيل المحطة من أجل تحديد موقع الأعطال وإعطاء عدد من توصيات لتحسين الانتاج ، وفي الاخير تأثير الماء المالح على البيئة.

الكلمات المفتاحية : تحلية المياه, الماء المالح, المياه المنتجة, البيئة

Résumé :

Notre travail consiste à faire une étude sur l'exploitation et le suivi de l'usine de dessalement d'eau de mer de Ténès (w. Chlef).

L'étude s'intéresse à la performance de la station par une série d'analyses effectuées sur des échantillons d'eau produite, ainsi qu'un diagnostic de fonctionnement global de la station a fin de localiser les dysfonctionnements et donner un certain nombre de recommandations pour améliorer la production de la station, et en fin l'impact d'eau de saumure sur l'environnement.

Mots clés : Dessalement – Saumure – Eau produite – Environnement

Abstract :

Our work is making a study about the exploitation and the follow-up of the seawater desalination station of Tenes, Chlef wilaya.

The study focuses on the performance of the station through making a series of analyzes on water produced, as well as a diagnosis for all desalination steps in the station, in order to locate the malfunctions and give some recommendations to improve the production of the station, in the end, the impact of brine water on the environment.

Keywords : Desalination – Brine water - water produced - Environment

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau est la source de vie sur Terre. Les êtres humains, formés de 70% d'eau, ne peuvent survivre que quelques jours sans eau douce. De plus, l'eau couvre les trois quarts de notre planète (75%), soit 361 millions km² sur les 510 millions de la surface terrestre. Or, 97% de cette eau est salée, retrouvée majoritairement dans les mers et les océans. L'eau douce, avec un pourcentage très faible 3% est située dans des régions quasi-atteignables par l'Homme. ^[01]

Aujourd'hui, selon l'OMS, une personne sur trois dans le monde n'a pas assez d'eau pour répondre à des besoins quotidiens ^[01]. Le problème d'eau dans le monde est de plus en plus grave particulièrement avec le réchauffement climatique et l'explosion démographique.

D'après les données statistiques, la population Algérienne doublera dans les 25 ans à venir, et avec la croissance économique qui entraîne une demande en eau, le pays est toujours confronté à un énorme problème de pénurie d'eau, qui fait un obstacle à l'amélioration du niveau de vie et au développement des secteurs qui en dépendent. Alors que les ressources conventionnelles en eau n'auront pas beaucoup changé, dépendantes des aléas climatiques jusque-là défavorables. D'où la solution du dessalement de l'eau de mer, une ressource abondante et inépuisable. ^[02]

L'option pour le dessalement a longtemps été bloquée par des hésitations découlant de la référence à l'expérience des pays du golf où le coût de production était élevé, les spécialistes ont réussi à plaider la cause du dessalement et de la méthode d'osmose inverse particulièrement intéressante avec son dimensionnement adaptable en fonction de la demande.

À travers ce travail nous allons étudier l'exploitation et le suivi de la station de dessalement de Ténès (w.Chlef), fonctionnant par le procédé d'osmose inverse après faire un stage pratique pendant 8 semaines du 15/04/2018 au 14/06/2018 au niveau de la station, le travail est structuré comme suit :

- Chapitre I : Généralités sur le dessalement ;
- Chapitre II : Le dessalement en Algérie ;
- Chapitre III : Etude de cas de la station de Ténès (W.Chlef) ;
- Chapitre IV : Analyses et interprétations de la qualité de l'eau produite ;
- Chapitre V : Problèmes d'exploitation de la station et l'impact sur l'environnement.

On a fini notre travail avec une conclusion générale qui résume les résultats obtenus.

I.1. Introduction :

Suite à la croissance démographique et l'augmentation de la demande en eau potable dans le monde, et surtout dans les régions aride et semi aride, le monde se dirige vers le dessalement comme une solution pour faire face à la pénurie d'eau.

Il existe aujourd'hui de nombreuses techniques de dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre, les plus utilisées sont la distillation et l'osmose inverse, en parallèle au développement technologique existant en termes de coût et qualité produite.

I.2. Historique de dessalement :

Le monde a connu le dessalement avec la technique de distillation, c'était la méthode la plus ancienne utilisée, elle a été découverte au IV^{ème} siècle avant J-C par le philosophe grec Aristote, qui a dit dans son livre de Météorologie que la vapeur résultant de l'ébullition de l'eau de mer est douce, et la condensation de cette dernière ne reproduit pas l'eau de mer.

Le philosophe et le chimiste Adélarde de Bath au XI^{ème} siècle, a expliqué le principe de l'évaporation qui se produit naturellement sur les roches situées aux bordures de la mer à cause de l'activité solaire.

Les Grecs utilisaient la technique de distillation d'eau de mer, lorsqu'ils effectuaient de longs séjours en mer et pendant leurs croisades, pour assurer une réserve d'eau potable par l'ébullition de l'eau, utilisant des moyens simples comme des casseroles,....etc.

En 1850, l'osmose inverse a été découverte, mais l'application de ce procédé a débuté en 1960. Après, le procédé a connu un développement important.

En 1964, une première usine de dessalement a été construite par le général Franco en Europe et précisément en îles de canaries à cause du tourisme et le fort besoin de l'eau potable.

Aux cours des années, plusieurs usines de dessalement ont été établies dans le monde, et le dessalement a connu une large propagation. [03]

I.3. Différents eaux salines :

Deux catégories d'eau salée concernent le dessalement :

- L'eau de mer ;
- L'eau saumâtre.

I.3.1. Caractéristiques d'eau de mer :

L'eau de mer représente 70 % de la surface de la planète et 97 % des ressources en eau. Les océans et mers occupent un volume estimé à 1340.10^6 km^3 .

- **La salinité:** la valeur moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g/l, qui peut être très différent dans le cas des mers fermées, ou peu ouvertes sur les masses océaniques:

- mer Méditerranée : 36 à 39 g/l ;
- mer Rouge : environ 40 g/l ;
- mer Baltique : 7 g/l ;
- mer Caspienne : 13 g/l ;
- mer Morte : 270 g/l ;
- mer Noire : 20 g/l ;
- Golfe Arabo-persique : 40 à 70 g/l.

- **Le pH :** La valeur moyenne des eaux de mer varie entre 7,5 et 8,4 (milieu légèrement basique). [04]

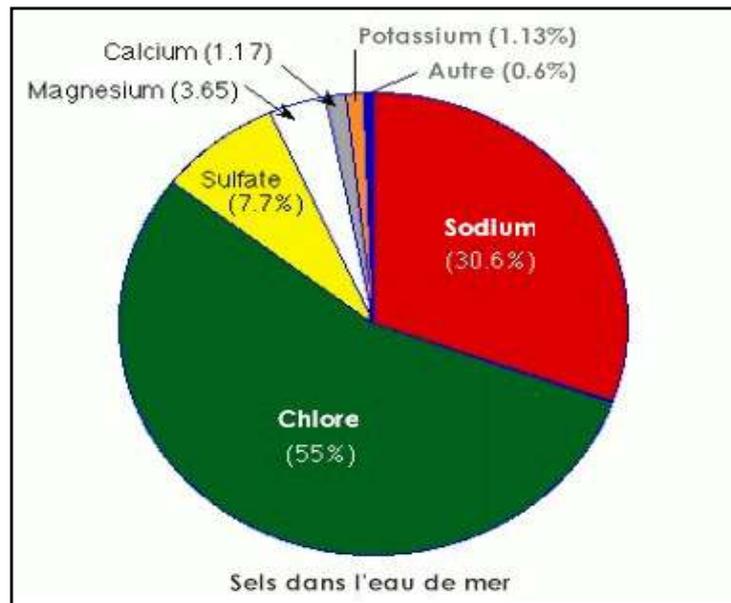


Figure I. 1: Principaux composés des sels dans l'eau de mer [05]

I.3.2. Caractéristiques des eaux saumâtres : [06]

Les eaux saumâtres sont des eaux non potable sous forme d'eau de surface ou souterraines avec une salinité inférieure à celle de mer comprise entre 1 et 10g/l.

La composition chimique varie d'une région à l'autre, et sur la même région d'une saison à l'autre, ces variations de composition chimique dépendent de la pénétration de l'eau dans le sol qui dissout les sels qui composent l'écorce terrestre.

Les sels dissouts qui sont présents en assez grandes quantités sont :

- CaCO_3 ;
- CaSO_4 ;
- MgCO_3 ;
- NaCl .

I.4. Définition du dessalement :

Le dessalement est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'eau salée et saumâtre par élimination des sels contenus.

I.5. Les différents procédés de dessalement :

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en trois catégories, selon le principe appliqué :

1) Les procédés thermiques :

- Distillation,
- Congélation.

2) Les procédés qui utilisent des membranes :

- Electrodialyse,
- Osmose inverse.

3) Les procédés qui agissent sur les liaisons chimiques :

- Echange d'ions.

En fait, la totalité des installations actuellement en service fait appel à deux grandes familles de procédés : les procédés par évaporation (distillation) et les procédés de séparation par membranes (osmose inverse).

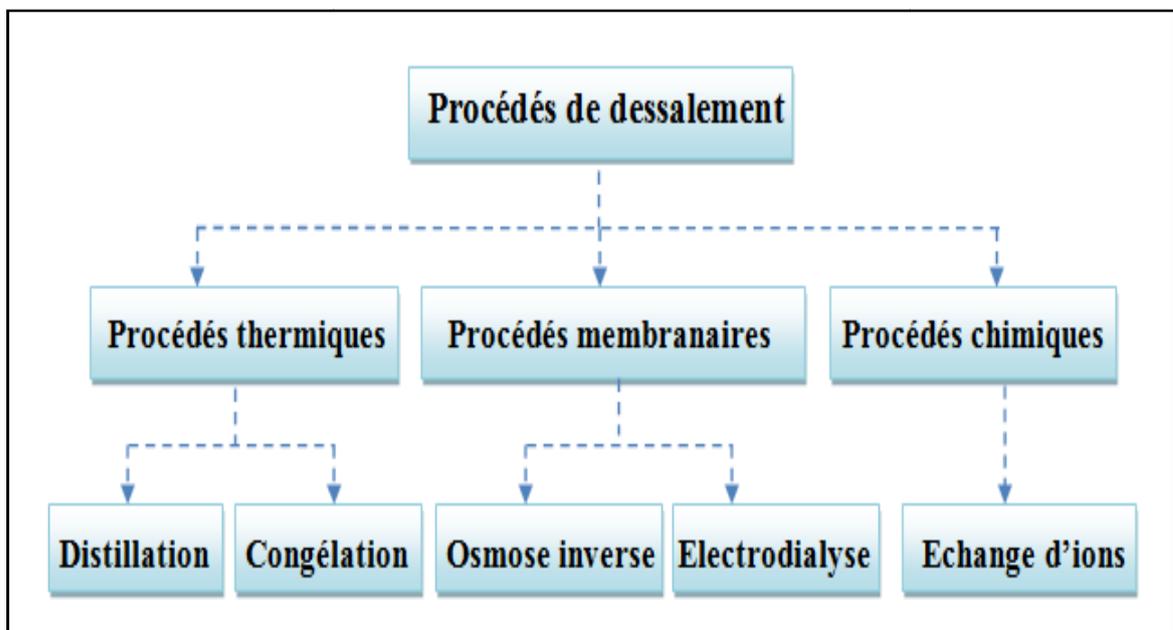


Figure I. 2: Organigramme des procédés des dessalements [06]

I.5.1. Procédé thermique :

I.5.1.1. La distillation :

La distillation est la technique la plus utilisée dans les usines de dessalement de l'eau, occupe aujourd'hui 65% dans le monde ^[08], cette dernière peut être effectuée par plusieurs méthodes :

I.5.1.1.1. Distillation à simple effet :

Ce procédé de distillation d'eau de mer est mis en œuvre depuis longtemps sur les navires, son principe est simple :

L'eau de mer est chauffée dans un récipient étanche par la vapeur circulant dans un faisceau tubulaire plongé dans l'eau de mer. La vapeur formée est condensée sur un autre faisceau tubulaire placé dans la partie haute de l'enceinte et parcouru par de l'eau de mer froide. [08]

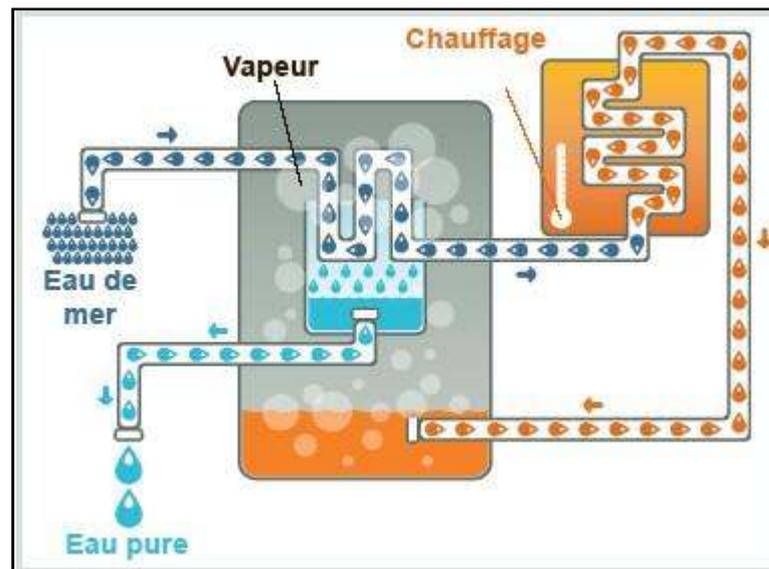


Figure I. 3: Principe de distillation à simple effet [08]

I.5.1.1.2. Distillation à effets multiples (Multi Effet Distillation MED) :

Cette technique est moins utilisée, caractérisée par une faible production d'eau douce et une installation coûteuse. Elle reste cependant la méthode de distillation la plus importante pour des petites et moyennes installations (de 1000 à 15 000 m³ par jour). Elle consiste en une simple association en série de compartiments évaporateur et condenseur. Cette disposition permet de réduire les pertes thermiques. De plus,

ce procédé permet d'optimiser la récupération de la chaleur latente de condensation de l'eau. [08]

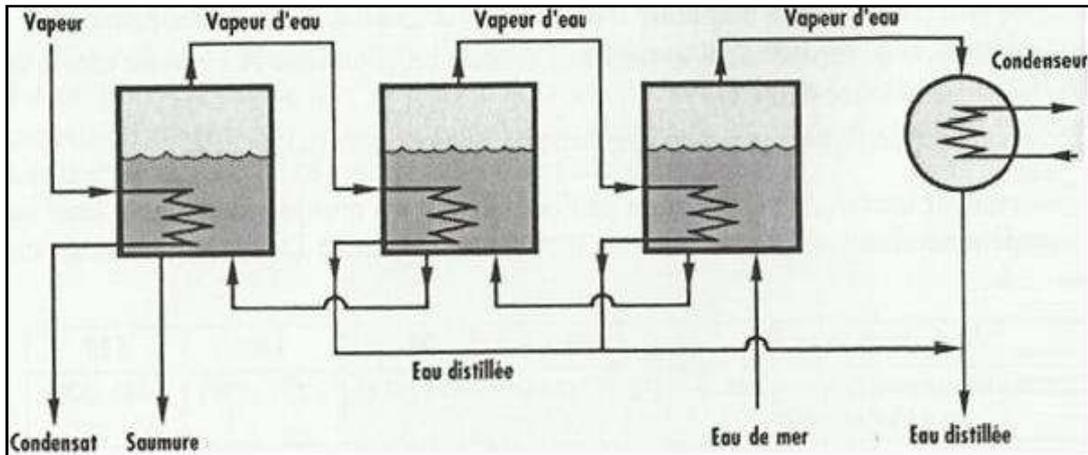


Figure I. 4: Principe de distillation à multiples effets [06]

C'est la mise en série des plusieurs modules évaporateurs qui l'on appelle 'effet'. La vapeur résultante du premier effet se condense au niveau du second effet et la chaleur latente (chaleur latente = chaleur provoquée par le passage, d'une substance, d'un état physique à un autre) par la condensation sert à évaporer l'eau de mer qui s'y trouve. Puis le troisième effet joue le rôle de condensateur pour les vapeurs issues du second effet, et ainsi de suite, la vapeur du dernier effet servant à chauffer l'eau d'alimentation du premier. La perte de chaleur est presque nulle, elle peut être réutilisée de façon infinie. [10]

1.5.1.1.3. Distillation à multi flash:

Ce procédé est apparu dans les années 60 pour faire face aux problèmes d'entartrages des surfaces d'échange de la distillation à multiples effets MED.

L'eau dessalée, après avoir été prétraitée, est portée sous pression à une température T_0 dans des condenseurs en série placés dans une succession de chambres, l'eau de mer s'échauffe dans ces condenseurs jusqu'à la température T_1 . Elle est alors introduit dans un réchauffeur qui élève la température jusqu'à T_{max} . Le réchauffeur qui alimente par un débit de vapeur M_v provenant d'une chaudière.

L'eau de mer chaude est recueillie dans le bas de la première chambre ou il y'a une pression inférieure à sa pression de saturation. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée « flash », la vapeur qui produite va se condenser

sur la surface du condenseur. Le condensat de cette vapeur, recueilli dans un réceptacle placé sous le condenseur, forme la production d'eau douce de la première chambre. Ce phénomène se reproduit à la chambre 2, puis 3, jusqu'à la chambre n, les températures des chambres (t_1, t_2, \dots, t_n) vont en décroissant et par conséquent, il en est de même pour les pressions. Se sont les écarts de pression entre les chambres qui autorisent, sans la nécessité de pompes, l'écoulement de l'eau de mer et de l'eau douce produite jusqu'à la dernière chambre. [11]

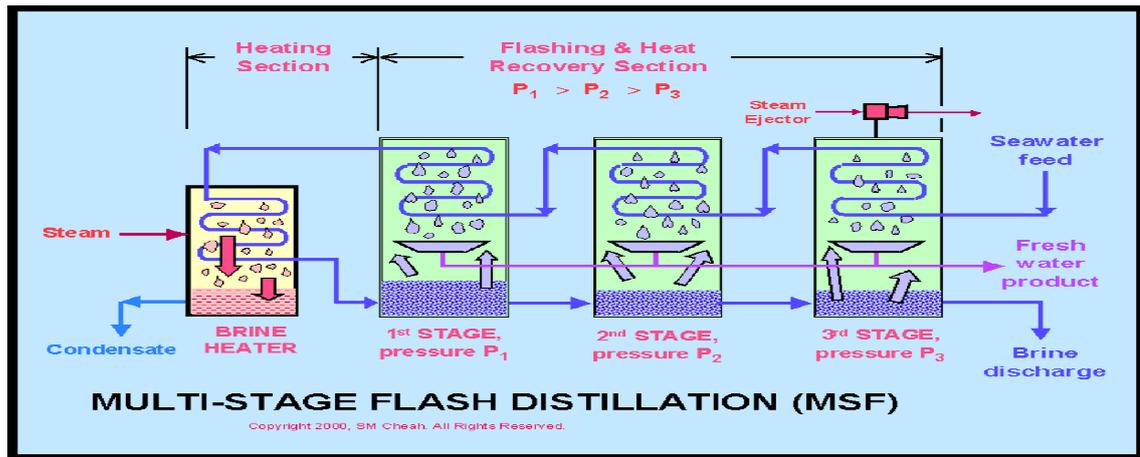


Figure I. 5: Principe de Distillation à multi flash [12]

I.5.1.1.4. Distillation par compression de vapeur :

Le principe est de récupérer la chaleur de condensation avec un apport d'énergie sous forme mécanique. Cette technique permet de limiter la consommation en énergie thermique. La compression de vapeur peut s'appliquer dans le cas de la distillation à simple effet ou à multiples effets.

L'eau de mer est chauffée jusqu'à l'évaporation dans une enceinte thermique isolée. La vapeur d'eau récupérée se condense en se refroidissant. La vapeur produite dans le dernier effet dans le cas de la distillation à multiples effets par compression de vapeur ou dans l'effet unique dans le cas de la distillation à simple effet par compression de vapeur est aspirée par un compresseur. Ce dernier augmente la température et la pression de la vapeur. Cette vapeur à haute pression est ensuite envoyée vers la partie basse de l'enceinte où elle se refroidit. En se condensant, la vapeur haute pression se transforme en eau douce. [13]

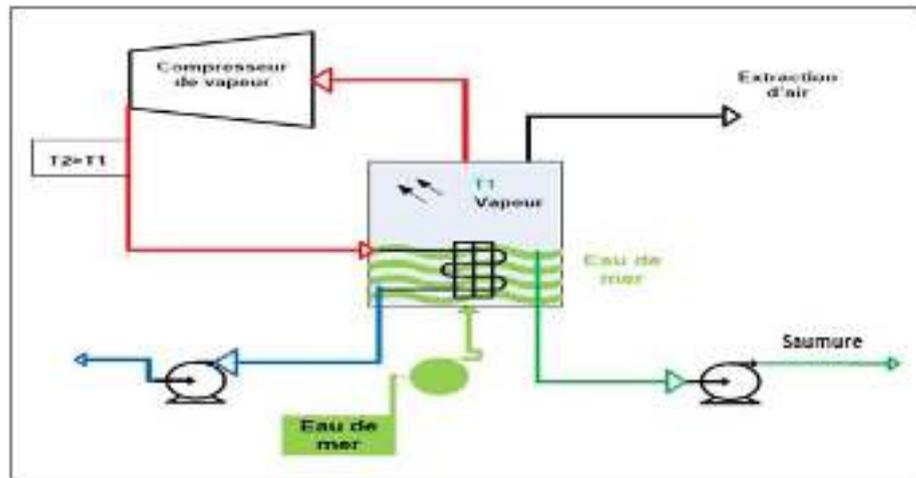


Figure I. 6: Principe de distillation par compression de vapeur [14]

I.5.1.2. La congélation :

Il est possible de dessaler l'eau par congélation. La température de congélation est presque indépendante de la pression. Plus la concentration en sels est élevée et plus la température de solidification de l'eau est faible. Alors qu'elle est de 0°C pour de l'eau pure, elle descend à -2°C pour l'eau de mer et -4°C pour une eau qui a une concentration en sels deux fois supérieure à celle de l'eau de mer.

Leur principe est basé sur le fait que, lorsque l'on congèle une solution aqueuse (eau de mer), les cristaux de glace formés sont constitués d'eau pure, le soluté ou polluant restant dans la phase liquide aqueuse.[15]

I.5.2. Les procédés qui utilisent des membranes :

I.5.2.1. Electrodialyse :

L'électrodialyse est un procédé à membranes très ancien puisque la première installation date des années 1960. C'est une méthode électrochimique dans laquelle le sel est séparé de l'eau par transfert d'ions et migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique.[16]

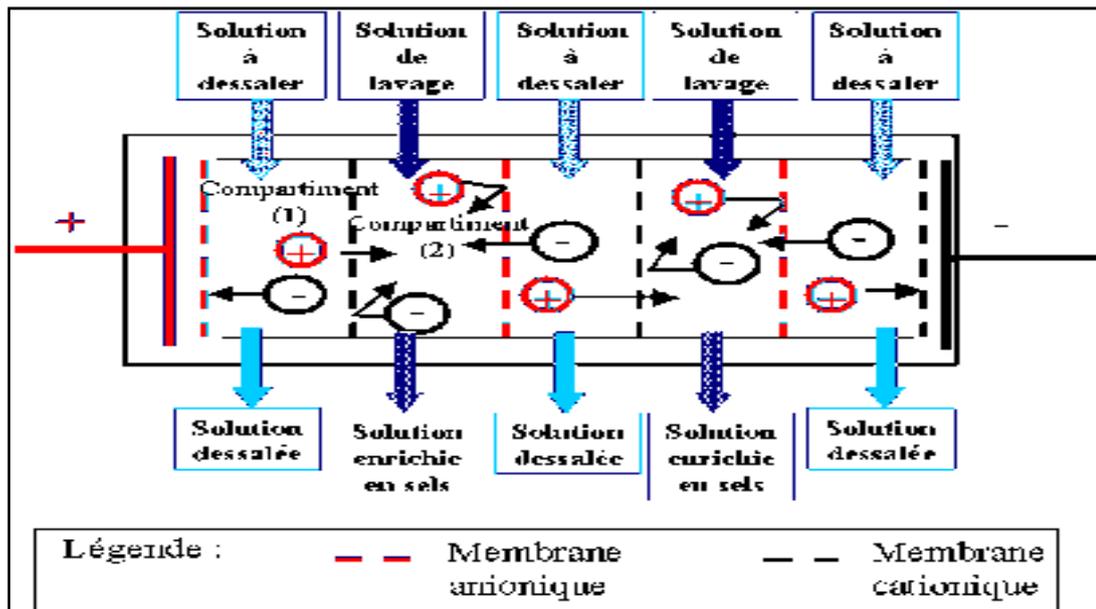


Figure I. 7: Principe de l'électrodialyse [17]

Soit une cellule d'électrolyse dans laquelle on fait circuler une solution saline : les cations vont se diriger vers la cathode et les anions vers l'anode. Ainsi que seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique et seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique. Si l'on intercale entre les électrodes des membranes perméables respectivement aux anions et aux cations, il y aura concentration et recombinaison des ions dans certains compartiments ou la solution s'enrichira en sels (compartiments de concentration), alors que dans les autres la salinité diminuera (compartiments de déminéralisation).[16]

1.5.2.2. Osmose inverse :

L'osmose est un phénomène naturel, c'est un processus de transfert d'une solution moins concentrée vers une solution concentrée.

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau des sels dissous, au moyen des membranes semi-perméables sous l'action de la pression. Ce procédé fonctionne à la température normale.

Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10-7 mm de taille.

La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de 0,5 g/l^[15]. Le coût d'eau dessalée en 2011 été de 0,64 euros/m³.^[10]

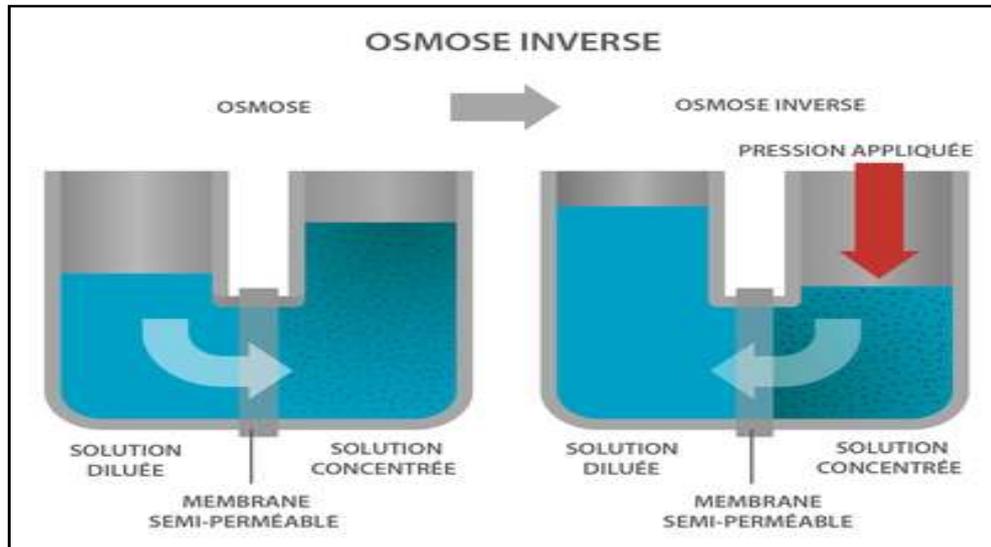


Figure I. 8: Principe de l'osmose inverse [18]

- **L'installation générale de l'osmose inverse :**

Les principaux constituants d'une installation d'osmose inverse sont les suivants :

- La membrane proprement dite ;
- Le module d'osmose inverse ;
- La pompe haute pression ;
- Eventuellement un système de récupération d'énergie ;
- Le poste de prétraitement.

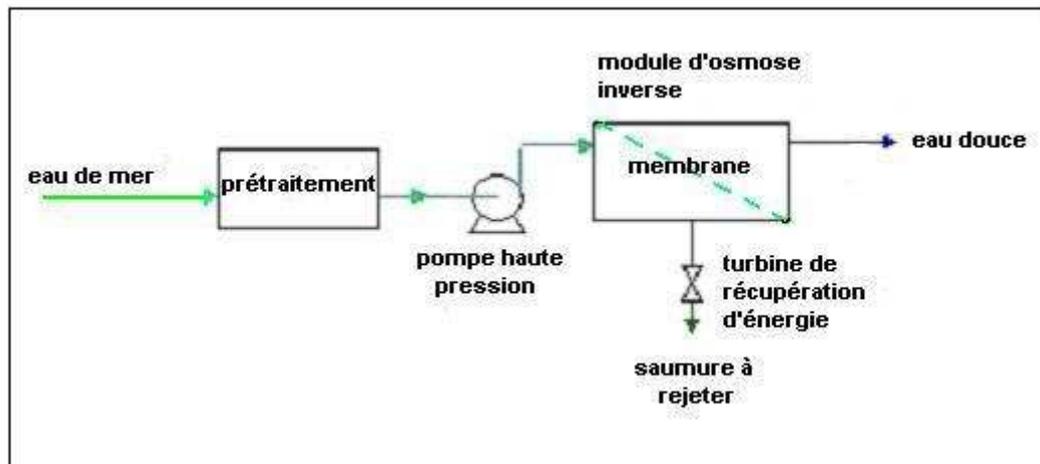


Figure I. 9: Installation générale de l'osmose inverse [19]

I.5.2.2.1 Définition de la membrane :

Une barrière séparant deux compartiments et permettant le passage préférentiel d'au moins une espèce parmi les autres sous l'action d'une force de transfert chimique (concentration ...) ou physique (pression).

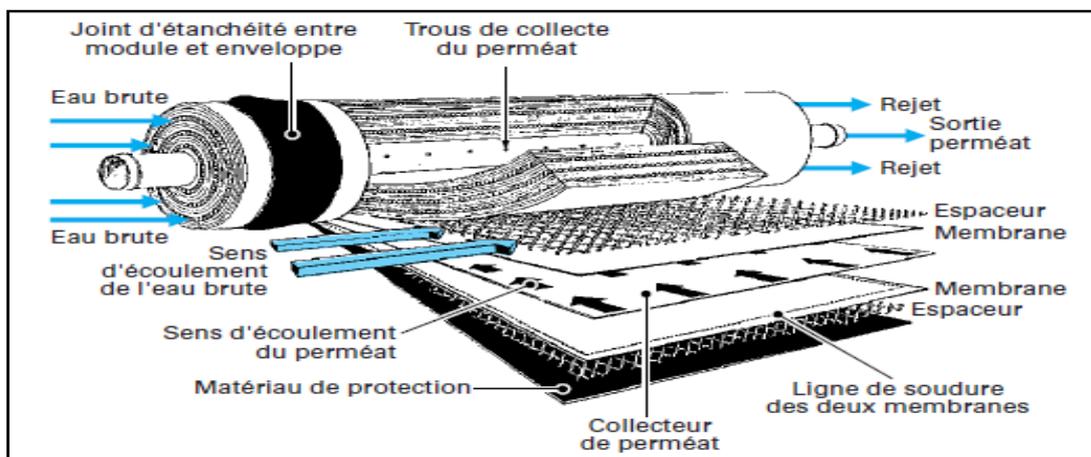


Figure I. 10: Structure d'une membrane d'osmose inverse [20]

I.5.2.2.2 Type des membranes :

a) Membrane organique :

Fabriquée de polymère organique (acétate de cellulose, polysulfones, polyamides, etc), elle a une grande adaptabilité aux différentes applications...

La majeure partie des membranes d'ultrafiltration et de microfiltration sont constituées de membranes organiques (90%). [21]

Les membranes organiques sont les plus utilisées malgré leurs résistances thermiques et chimiques relativement limitées, car elles sont nettement moins chères que les membranes minérales

b) Membranes minérales (inorganiques) :

Se sont des membranes composées de corps entièrement minéraux, principalement les matières céramiques, le métal fritté et le verre. Les membranes minérales sont essentiellement sous forme tubulaire. Elles présentent l'avantage d'une bonne résistance chimique, mais l'inconvénient majeur d'une faible compacité (surface filtrante par rapport au volume occupé). [21]

c) Membranes composites :

Elles sont caractérisées par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique. Elles peuvent être organiques (superposition de polymères organiques différents), organo-minérales ou minérales (association d'alumine comme support et d'oxyde métalliques tels que la zircone, le dioxyde de titane).

Elles ont une excellente résistance chimique, mécanique et surtout thermique. Leur inconvénient réside dans leur coût élevé et leur mode de préparation relativement complexe. [21]

1.5.3. Les procédés qui agissent sur les liaisons chimiques :

1.5.3.1. Echange d'ions :

L'échange d'ions est un procédé utilisé dans le but de la déminéralisation ; il consiste à éliminer les sels ; par la mise en contact d'une solution saline avec une substance insoluble appelée : échangeur d'ions, c'est des résines dont la plupart utilisées de nos jours sont des matières synthétiques produites à partir d'un polymère : des chaînes de polystyrène reliées entre elles, se présentant sous forme de granules de 0,3-0,6 mm ou sous forme de sphères irrégulières. La résine comporte dans sa structure des radicaux susceptibles d'attirer un ion positif ou négatif de la solution saline et rejette un autre de même signe, c'est un phénomène de permutation interprété par l'équation suivante : [22]

Selon le type de radicaux on distingue :

- ❖ Résines échangeuses de cations : consiste à remplacer les cations contenus dans la solution saline par des ions H^+ ou Na^+ (permutation acide ou sodique);
- ❖ Résines échangeuses d'anions : permet d'effectuer un échange hydroxyle en permutant les anions du liquide à déminéraliser par des ions OH^- .

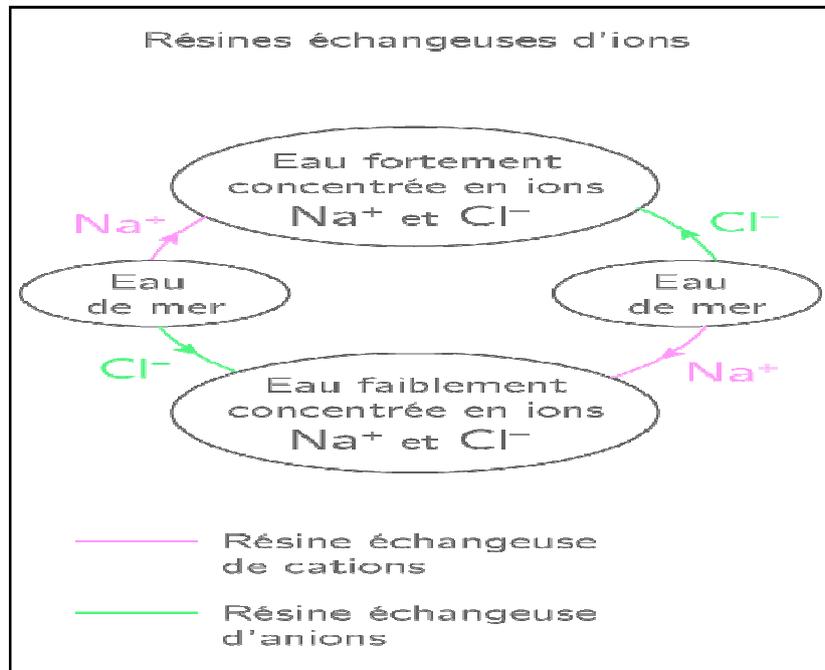


Figure I. 11: Principe d'échange d'ions [22]

Pour obtenir une eau déminéralisée, on effectue l'échange d'ions avec les deux types de résines, les ions H^+ et OH^- donnent en se combinant de l'eau H_2O .

Ce procédé est appliqué avec une certaine limite de salinité de 1000 ppm, c'est pour cela qu'il s'applique à des eaux de rivières et de nappes souterraines ayant une faible salinité, pour l'alimentation de chaudière à haute pression dépassant même 50 bars et pour obtenir une eau de bonne qualité. Les résines peuvent être colmatées par toute sorte d'impuretés, elles doivent être régénérées, le coût des réactifs chimiques de régénération et les résines changées périodiquement limitent le domaine d'utilisation du procédé bien qu'il ne consomme que peu d'énergie. [22]

I.6. Critères de choix d'un procédé de dessalement :

Il est très difficile de choisir un des procédés pour une station de dessalement, sans une étude effectuer cas par cas, prenant en compte les conditions locales à la fois technique et économique.

I.6.1 Critères économiques :

- Coût de l'énergie : la nature de cette énergie et sa disponibilité localement ;
- Coût des équipements ;
- Conditions de financement (taux d'intérêt) ;
- Coût des produits chimiques utilisés suivant que ces produits sont fabriqués localement ou doivent subir des transports plus ou moins longs; [02]
- Coût de la main d'œuvre.

I.6.2 Critères techniques :

❖ Qualité des eaux :

- Salinité de l'eau à traiter : en général, les procédés de distillation permettent de traiter des eaux de forte concentration, et les procédés à membranes pour les eaux saumâtres et les eaux de mer ;

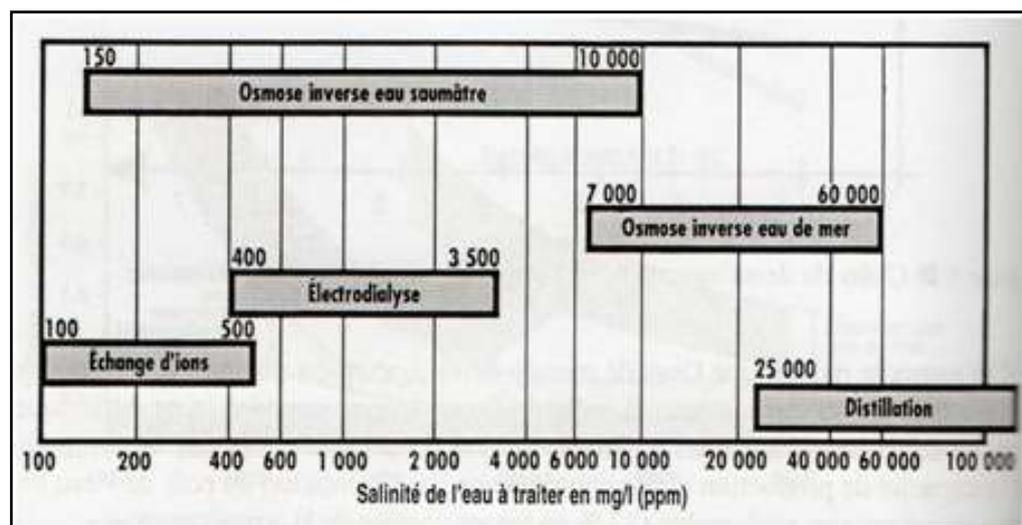


Figure I. 12: Domaine d'utilisation des différentes techniques de dessalement en fonction de la salinité de l'eau à traiter [06]

- Composition chimique de l'eau à traiter (particulièrement dans le cas des eaux saumâtres, teneur en sulfate, en carbonates) ;
- Caractéristiques physiques de l'eau (turbidité, matières en suspension,....) ;
- Salinité de l'eau produite : selon l'usage qui en sera fait.[06]

❖ Capacité de traitement :

- Les besoins d'eau actuels à couvrir et leur augmentation ;
- Le degré de rentabilité de l'installation ;
- Qualification du personnel disponible ;
- La taille de l'unité. [02]

I.7. Conclusion :

L'eau de mer méditerranéenne contient des nombreux sels dissous, leur salinité varie entre 36 et 39 g/l, et le pH varié entre 7,5 et 8,4.

Le développement technologique des procédés de dessalement durant ces dernières années, a donné une solution viable, efficace et permanente pour produire une eau pure à des prix raisonnables.

Des critères économiques tels que le coût de l'installation et la production (prix de 1m³ d'eau dessalée) , et des critères technique telle que la qualité des eaux et la capacité de traitement sont les mesures à prendre pour choisir un des procédés pour une station de dessalement.

CHAPITRE I:

Généralités sur le dessalement

II.1. Introduction :

Les ressources en eau en Algérie restent limitées pour des raisons climatiques. Après plus d'une décennie de sécheresse qui a confronté l'Algérie, le gouvernement algérien a pris des mesures importantes pour sortir de la situation de pénurie d'eau qui a touché le pays durant les années 2000.

L'une des mesures était d'adopter le dessalement d'eau de mer comme une ressource non conventionnelle pour répondre aux besoins en eau de la population à court et à long terme.

II.2. Les ressources hydriques en Algérie :

Selon la demande croissante en eau, et la faible pluviométrie qui oscille entre 100 et 600mm/an ^[23] seulement, les ressources hydriques de l'Algérie restent limitées.

L'accroissement rapide des besoins en eau potable ainsi que l'eau pour l'irrigation et l'industrie, a été fort et reste continu. Une période de sécheresse assez longue a, par ailleurs, amené à une surexploitation des réserves hydriques jusqu'à l'épuisement d'une grande partie de celles-ci.

En 1962, les ressources disponibilité annuelle en eau par habitant étaient de 1500 m³, elle n'était plus que de 720 m³ en 1990, de 680 m³ en 1995 et de 630 m³ en 1998. La disponibilité annuelle en eau par habitant est aujourd'hui de 500 m³. Du fait de la pression démographique, cette disponibilité ne sera plus que de 430 m³ par habitant en 2020. [24]

Tableau II. 1:Disponibilité annuelle en eau par habitant. [24]

Année	Ressources annuelle/hab (m ³)
1962	1500
1990	720
1995	630
2020	430

Le pays est divisé en 5 bassins hydrographiques (figure II.01) regroupant les 17 bassins versants. Les ressources en eau ne sont pas réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, de leur quantité ou de leur nature (eaux de surface ou souterraines).

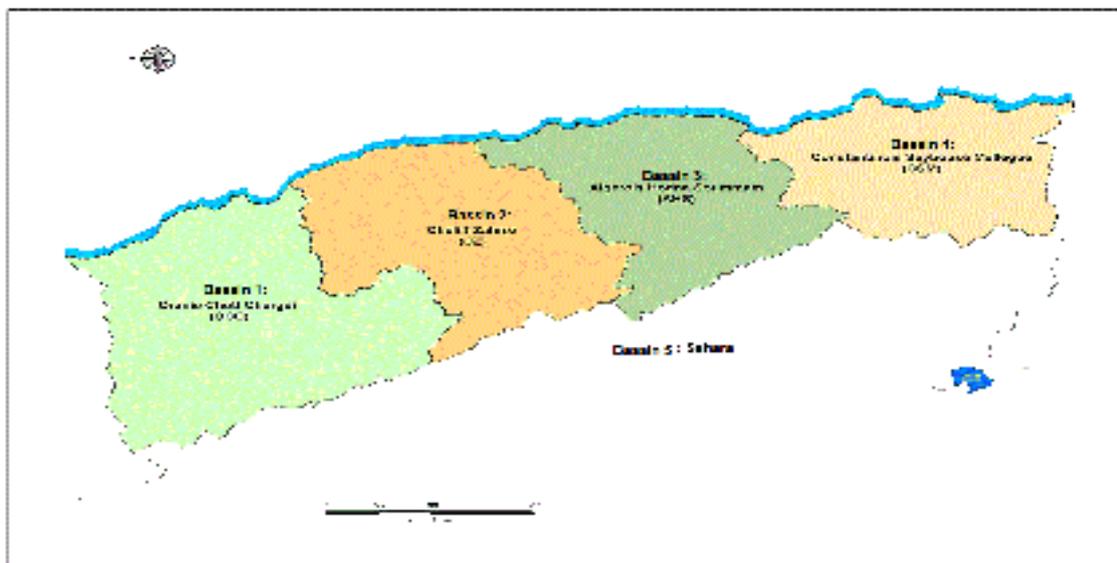


Figure II.1: Les 5 bassins hydrographiques de l'Algérie. [25]

II.2.1. La répartition des ressources en eau : [26]

Les ressources hydriques disponibles et mobilisables en Algérie sont estimées à 17,2 milliards de m³ et réparties comme suit :

- 2 milliard de m³ d'eaux souterraines dans le nord avec un taux d'exploitation de 90% ;
- 10 milliards m³ de ressources superficielles dans le Nord ;
- 5,2 milliards m³ dans le Sud (souterraines) ;
- L'Algérie compte actuellement 75 barrages d'une capacité totale de 6,5 milliards de mètres cubes et le taux de remplissage de ces derniers avait atteint 68% ;
- Par ailleurs, l'Algérie a largement dépassé les critères de la banque mondiale en matière d'accès à l'eau potable avec un taux national de raccordement de plus de 93% ;

De plus l'Algérie a fait des progrès dans la mobilisation des ressources non

conventionnelles avec :

- 11 grandes stations de dessalement d'une capacité totale de 2 110 000m³/j et 2 autres en cours de réalisation (El Taref et Zeralda) ;
- 180 stations d'épuration en service ;
- 850 millions m³ de Capacité épuratoire installée ;
- 400 millions m³ Volume d'eau usée épurée ;
- 45.000 km du réseau d'assainissement ;
- Un taux de raccordement au réseau d'assainissement de 90%. [27]

II.3. Les avantages et les inconvénients de dessalement en l'Algérie :

II.3.1. Avantages: [28]

Les avantages du procédé de dessalement en Algérie sont :

- L'Algérie dispose d'un littoral de 1280 km ;
- La forte demande en eau situé à la proximité de la mer ;
- L'eau de mer est une ressource inépuisable ;
- Le monde a connu un développement remarquable en matière de dessalement (procédé d'osmose inverse) ;
- Indépendamment aux aléas climatiques, le dessalement assure une production permanente des quantités d'eau voulues ;
- 70% de la population habite à moins de 100 km de la mer.

II.3.2. Inconvénients : [28]

Quelque soit le procédé utilisé, il n'est pas sans inconvénients :

- Les installations coûtent cher ;
- Une grande consommation énergétique ;
- Ces installations dégagent des gaz à effet de serre (CO₂, NO_x), ce qui provoque le réchauffement climatique ;

- Pollution des zones côtières par les rejets de la station ;
- Présence de traces de métaux lourds qui s'échappent des installations ;
- Les rejets associés aux unités de dessalement comme les eaux provenant du nettoyage (filtre à sable, membranes et dépôts) contaminent le milieu.

II.4. L'expérience algérienne en matière de dessalement :

L'Algérie a fait des efforts importants pour augmenter et améliorer les ressources en eau depuis son indépendance, pour les domaines de l'industrie, l'irrigation et l'alimentation en eau potable, dans les zones urbaines et rurales du pays.

Dans le domaine industriel, le dessalement est utilisé pour assurer la fourniture de l'eau pour les chaudières, le refroidissement et le traitement.

Selon une étude du centre de développement des énergies renouvelables, en 1964, trois petites unités de 8 m³/j chacune ont été installées dans le complexe de gaz liquéfié d'Arzew, suivies en 1969 d'une unité monobloc de 4560 m³/j. [29]

Les premières installations destinées à fournir de l'eau potable pour la consommation humaine ont été réalisées pour la première fois dans les bases pétrolières du grand sud.

En 1980, l'Algérie a lancé la première unité de dessalement de l'eau de mer à Mostaganem par osmose inverse, d'une capacité de 57600 m³/j. [29]

On retrouve l'ensemble des procédés de dessalement tel que : la distillation, l'électrodialyse, l'échanges d'ions et l'osmose inverse.

Le dessalement d'eau de mer représente actuellement 17% (année 2018) des sources d'eau potable en Algérie. [30]

II.4.1. Stations exploitées par le Ministère des ressources en eau :

Deux stations de dessalement ont été réalisées pour l'alimentation en eau potable:

Tableau II.2: Stations exploitées par le Ministère des ressources en eau. [23]

Station	Procédé	Capacité	Mise en service
Ouenza (w. Guelma)	Osmose Inverse	3.360 m ³ /j	-----
Ouled Djellal	Electrodialyse	4.320m ³ /j	1981

II.4.2. Stations installées par la Compagnie «SONELGAZ» :

En raison des besoins de production d'énergie électrique et les quantités d'eau nécessaires pour l'appoint des chaudières, SONALGAZ a doté chacune de ces nouvelles centrales à vapeur d'unité de dessalement d'eau de mer.

Tableau II.3: Stations exploitées par SONALGAZ. [31]

Centrale	Capacité (m ³ /j)	Technique	Année d'installation
Mers el Hadjadj	1500	Thermo compression	1977
Mers el Hadjadj	2000	MSF	1991
Mers el Hadjadj	500	Thermo compression	1989
Cap Djinet	2000	MSF	1985
Djdjel	2000	MSF	1992
Djdjel	500	Osmose inverse	1992

II.4.3. Stations installées par la Compagnie «SONATRACH» :

A l'époque de lancement de la station de Mostaganem, dont la capacité est de 57600 m³/j, cette dernière a été la plus importante au monde, la plus grande

expérience dans le domaine de dessalement, ainsi que le plus grand nombre de stations installées revient à la Compagnie «SONATRACH», 31 centrales ont été construites pendant 18 ans : de 1964 à 1982. C'est l'équivalent de 107.401 m³/j produits par les différentes techniques, et dont la qualité de l'eau d'alimentation a été très diversifiée (eau de mer, eau chargée de barrage, eau saumâtre souterraine). [31]

Tableau II.4: Stations exploitées par Sonatrach [31]

Central	Capacité (m ³ /j)	Technique	Mis en service
Arzew	576	Multi effets	1964
Arzew	5460	MSF	1969
SkiKda	1440	MED-TVC	1971
SkiKda	720	MSF	1971
SkiKda	1440	Echangeurs d'ions	1971
Annaba	960	Echangeurs d'ions	1971
Annaba	3600	Echangeurs d'ions	1973
Ghazaouat	840	Echangeurs d'ions	1974
Arzew	3888	Electrodialyse	1975
Arzew	960	Echangeurs d'ions	1975
Hassi Messaoud	1000	Electrodialyse	1975
Hassi Messaoud	110	Electrodialyse	1976
Gassi Touil	55	Electrodialyse	1977
Arzew	350	Thermo-compression	1978
Annaba	14180	MSF	1978
Hassi Messaoud	350	Electrodialyse	1978
Bel Abes	1500	Echangeurs d'ions	1978
Haoud Berkaoui	55	Electrodialyse	1979
Hassi Messaoud	300	Electrodialyse	1979
Rhourd El Baghuel	25	Electrodialyse	1979
Arzew	960	MSF	1979
Annaba	144	Echangeurs d'ions	1979
Annaba	576	Echangeurs d'ions	1979

Hassi-Rmel	792	Osmose inverse	1979
Annaba	6240	Echangeurs d'ions	1980
Ghardaia	960	Osmose d'inverse	1980
Arzew	960	MSF	1980
Mostaganem	57600	Osmose inverse	1980
Rhourd El Baghuel	300	Electrodialyse	1981
Annaba	1800	Echangeurs d'ions	1981
Reghaia	160	Echangeurs d'ions	1982
Arzew	960	MSF	1979
Annaba	144	Echangeurs d'ions	1979
Reghaia	160	Echangeur d'ions	1982

II.4.4. Stations installées par d'autres Compagnies :

D'autres stations sont aussi construites par des Compagnies du secteur économique privé pour répondre aux besoins de la production. [29]

Tableau II.5: Stations installées par d'autres compagnies [31]

Compagnies	Localité	Capacité (m ³ /j)	Technique	Réalisée par	Année d'installation
Tongo	Rouiba	1500	Echangeur d'ions	Chriwa: Allemagne	2000
Brasserie la bavaroise	Annaba	35	Osmose inverse	Chriwa: Allemagne	2000

II.4.5. Stations en exploitation :

II.4.5.1. Méga stations :

Il y'a 11 grandes stations de dessalement d'eau de mer ont été réalisées et mises en service, la plus grande est de Mactaa (Oran), avec une capacité de 500 000m³/j. Le volume global de ces stations est de 770 millions de m³/an, sachant qu'elles ont mobilisé une enveloppe globale de trois 3 milliards de dollars. [30]

Tableau II.6: Les 11 mégas stations de dessalement d'eau de mer actuellement en exploitation [31]

N°	Localisation	Capacité m ³ /j	Population à servir	Echéancier prévisionnel
01	Kahrama (Arzew)	90.000	540.000	En Exploitation
02	Hamma (Alger)	200.000	L'Algérois	En Exploitation
03	Skikda	100.000	666.660	En Exploitation
04	BeniSaf (AinTemouchent)	200.000	1.333.320	En Exploitation
05	Mostaganem	200.000	1.333.320	En Exploitation
06	Fouka (Tipaza)	120.000	666 660	En Exploitation
07	CapDjinet (Boumerdes)	100.000	666 660	En Exploitation
08	Souk Tleta (Tlemcen)	200.000	1.333.320	En Exploitation
09	Honaine (Tlemcen)	200.000	1.333.320	En Exploitation
10	Mactaa (Oran)	500.000	1 333 320	En Exploitation
11	Ténès (Chlef)	200.000	999.990	En Exploitation

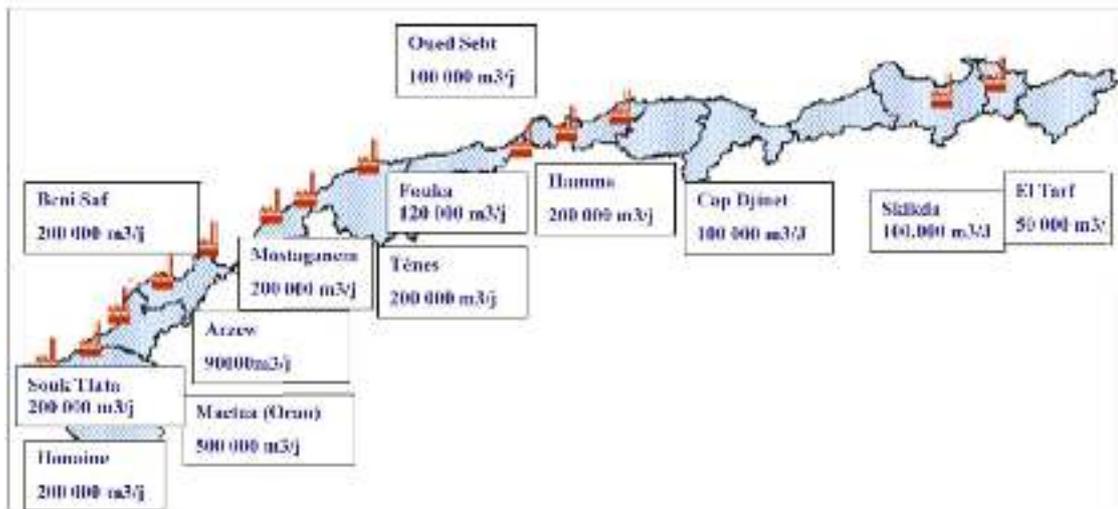


Figure II.2: Situation géographique des grandes stations de dessalement en Algérie [31]

II.4.5.2. Stations Monoblocs :

Tableau II.7: Les stations Monoblocs du dessalement d'eau de mer actuellement en exploitation [31]

Wilaya	Site	Commune	Capacité (m³/j)	Population à servir
Alger	Champ de tir	Zéralda	5 000	33 330
Alger	Palm Beach	Staoueli	2 500	16 660
Alger	La Fontaine	Ain Benian	5 000	33 330
Tlemcen	Ghazaouet	Ghazaouet	5 000	33 330
Tipasa	Bou Ismail	Bou Ismail	5 000	33 330
Skikda	L.BenMhidi	L.BenMhidi	7 000	47 000
Tizi –Ouzou	Tigzirt	Tigzirt	2 500	16 660
Oran	Bou Sfer	Bou Sfer	5 000	33 330
Oran	Les Dunes	Ain Turk	2X2 500	33 330
Ain-Temouchent	Bou Zdjer	Bou Zdjer	5 000	33 330
Ain-Temouchent	Chatt el Ward	Bou Zdjer	5 000	33 330
Boumerdes	Corso	Corso	5 000	33 330

II.4.6. Plan de réalisation des usines de dessalement :

Pour mettre en face aux besoin de la population en eau potable suite au crise d'eau connu dans les années 2000, en 2003 l'état a lancé un plan pour réaliser des usines de dessalement porte 30 stations monobloc et 13 méga stations dans le nord du pays en vue de produire 2.26 millions de m³/j d'eau dessalé jusqu'à l'année 2019, ce qui représente près de 850 millions de m³/an, pour desservir 8 millions d'habitants. [32]

II.4.7. Stations en cours de réalisation :

A ce jour il y'a 11 méga stations opérationnelles, et deux autres en cours de réalisation, d'une capacité chacune de 300.000 m³/jour, la première de ces deux stations sera installée dans la wilaya d'El Tarf, elle sera appelée à renforcer et à sécuriser l'alimentation en eau potable d'une large zone géographique de l'Est du pays. La deuxième station sera installée à Zéralda, à l'Ouest d'Alger, elle sera destinée à sécuriser et à stabiliser l'alimentation H24 de la partie Ouest d'Alger et aussi à sécuriser l'alimentation en eau potable de la wilaya de Blida qui connait un déficit structurel en ressources hydriques.

La réalisation de la station de Zéralda est d'autant plus nécessaire que les aléas climatiques sont à l'origine d'une chute drastique des réserves des barrages ainsi que du rabattement des niveaux des nappes phréatiques, dont celles de la Mitidja, de Mazafran et du Hamiz.

Les deux stations seront réalisées en mode BOT (Build Operate and Transfer) qui signifie Construire, Exploiter et Transférer, et ce, sous la conduite d'Algérien Energy Compagny (AEC), filiale de Sonatrach et de Sonelgaz. [33]

II.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, on constate qu'il y'a vraiment un manque d'eau en Algérie. Le gouvernement algérien avec les techniques de dessalement a fait un grand pas pour faire face au problème de manque d'eau douce dans le pays.

L'Algérie a réussi de réaliser plusieurs stations de dessalement depuis 1964 que ce soit des stations mono-bloc (petite capacité de production)

et des méga-stations (grande capacité de production), actuellement l'eau de dessalement représente 17 % ^[30] des sources d'eau potable.

Le programme de réalisation des stations est en cours d'application depuis 2003 jusqu'à ce jour, pour desservir 8 millions d'habitants jusqu'à l'année 2019.

CHAPITRE II:

Le dessalement en Algérie

III.1. Introduction :

La station de Ténès est une de treize Méga stations du programme Algérien de dessalement, le projet consiste à acheminer l'eau produite par cette station vers les agglomérations concernées par le projet, à fin d'avoir une disponibilité d'eau 24h/24.

III.2. Présentation de la zone d'étude :

III.2.1. Situation géographique et climatique:

III.2.1.1. La géographie :

La commune de Ténès situé au Nord-Est de la ville de Chlef avec une superficie de 92,28 km², a une zone urbaine de 5,70 km² et 86,58 Km² zones rurales. Elle est limitée au Nord de la mer méditerranée, au Sud de Sidi Akkacha et Abou El-Hassen, à l'Est Oued Goussine, et à l'Ouest Sidi Abderahmane.

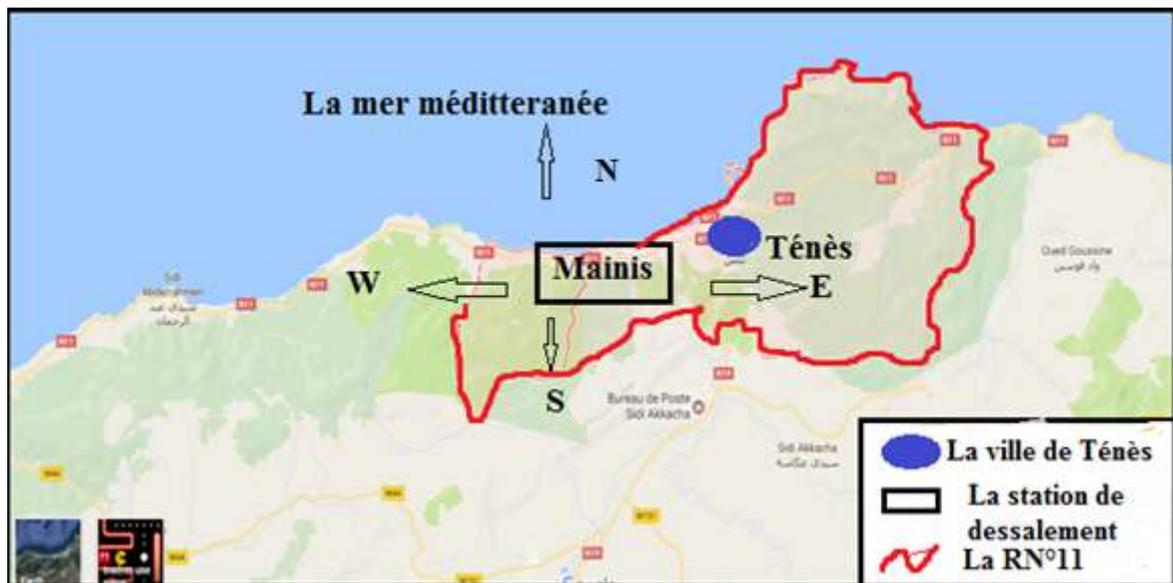


Figure III.1: Situation géographique de la station de Ténès [34]

III.2.1.2. Le climat :

Notre zone d'étude se caractérise par un climat méditerranéen semi-aride, avec :

- Précipitation : la pluviométrie moyenne annuelle est de 414,7 mm/an ; [35]
- La température : La moyenne annuelle est de 18,98°C ; [35]
- Le vent : les vitesses moyennes annuelles des vents varient de 2,45 m/s à 4,4 m/s avec une moyenne annuelle de 3,4 m/s ; [35]

- L'humidité (%) : le taux d'humidité relative de l'air dans la région varie entre 69% et 79%. [35]

III.2.2. Population :

Au dernier recensement de 2008, la population du commun de Ténès a été estimée à 35 402 habitants. [36]

III.2.3. Localisation de la station de dessalement de Ténès :

Le site de l'usine de dessalement d'eau de mer de Ténès est localisé dans la wilaya de Chlef, à 52 Km à l'Est du chef-lieu de wilaya, à l'entrée Ouest de la commune de Ténès (Mainis) et à environ 110 Km à l'Ouest de la wilaya de Tipaza.

Elle est sillonnée par la route nationale RN°11 en provenance de Mostaganem et en direction de Tipaza.

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 m³/j (station ancienne);
- A l'Est : par les habitations de Mainis.



Figure III.2: Photo satellitaire de la station de Ténès. [34]

III.3. L'importance de la station de dessalement dans la zone :

Suite à l'explosion démographique, le développement industriel et agricole, ainsi que la sécheresse, la station a été réalisée pour faire face aux besoins d'alimentation en eau potable dans la zone, elle serve aujourd'hui en totalité à 1 075 066 habitants. [37]

III.4. Présentation de la station de dessalement de Ténès :

Suite au programme d'état en 2003 pour la réalisation d'usines de dessalement d'eau de mer, la mise en service de la station est en juin 2015 avec une capacité de 200 000 m³/j par la technique d'osmose inverse.

La station a été réalisée par l'entreprise « *SONATRACH* et *SONELGAZ* » avec 49% dont (50% *SONATRACH* et 50% *SONELGAZ*), et l'entreprise espagnole « *ABENGOA* » avec 51% de cet investissement. [37]

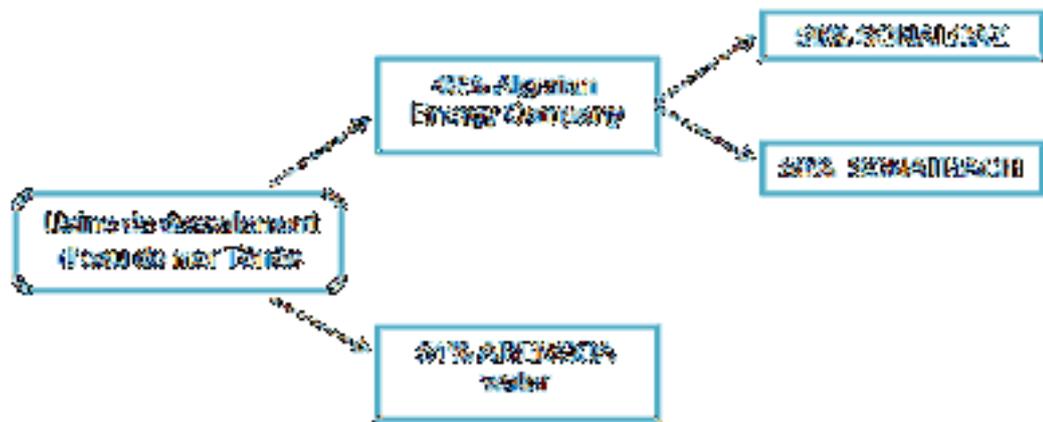


Figure III. 3: Les entreprises qui gèrent la station de dessalement de Ténès [37]

III.4.1. Caractéristiques techniques de l'usine :

Tableau III.1: Caractéristiques techniques de l'usine [37]

Production d'eau Commercialisable :	200.000 m ³ /jour
Processus de dessalement :	Osмосe inverse
Conversion du système :	45 %
Nombre d'étapes :	Une
Nombre de passes :	Une
Nombre d'Unités :	4
Salinité de l'eau au Point de Livraison	< 500 ppm

Type de prise d'eau de mer :	Émissaire sous-marin
Type de décharge de saumure :	Émissaire sous-marin
Prétraitements physiques :	Pré-filtration, coagulation-floculation, filtres à sable- anthracite et filtres à cartouche.
Prétraitement chimiques :	Hypochlorite de sodium, chlorure ferrique, dioxyde de carbone (Acide sulfurique comme produit de remplacement éventuel du dioxyde de carbone), métabisulfite de sodium, Hydroxyde de sodium et inhibiteur.
Pompes à haute pression :	Centrifuge horizontale
Système de récupération d'énergie :	Chambres hyperboliques modèle PX-260 de ERI
Post-traitement du produit :	Lait de chaux, CO2 et hypochlorite de sodium.
Tuyauteries à basse pression :	Polyester renforcé de fibre de verre (PRFV)
Tuyauteries à haute pression :	Acier inoxydable qualité 904 L

III.5. Processus de dessalement de la station :

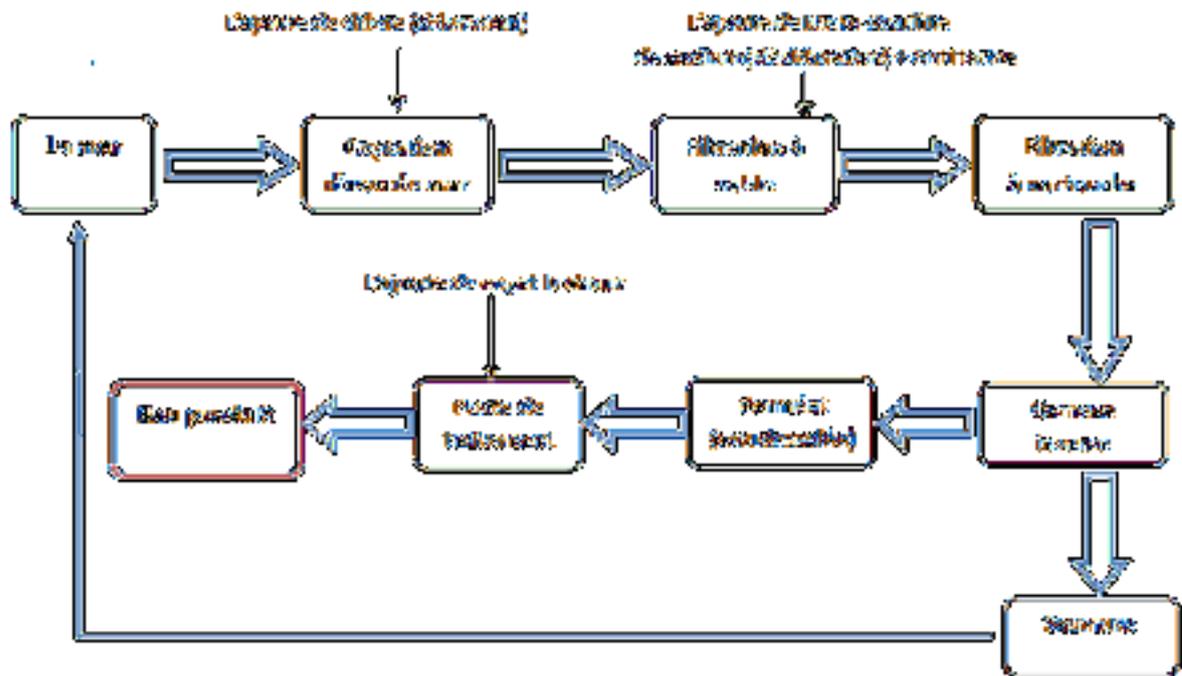


Figure III.4 : Schéma explicatif du processus de dessalement de la station de Ténès ^[38].

III.5.1. Le captage d'eau de mer:

Le captage de l'eau de mer se fait directement de la mer par gravité, avec deux tuyauteries prenant appui sur le fond marin d'un diamètre de 1.8M chacune. Le débit de capture nécessaire pour la production de l'usine est fixé à $468406 \text{ m}^3/\text{j}$ [38].

Une tour de captage est installée aux extrémités des tuyauteries dans le but d'aspirer l'eau d'une profondeur comprise entre 8 à 10m et à une distance de 500m. [38]

Le débit nécessaire arrive à travers les deux tuyauteries au bassin de captation, et à l'aide de 4 pompes (plus une de rechange) qui pompent $4879 \text{ m}^3/\text{h}$ chacune, vers la phase de prétraitement.

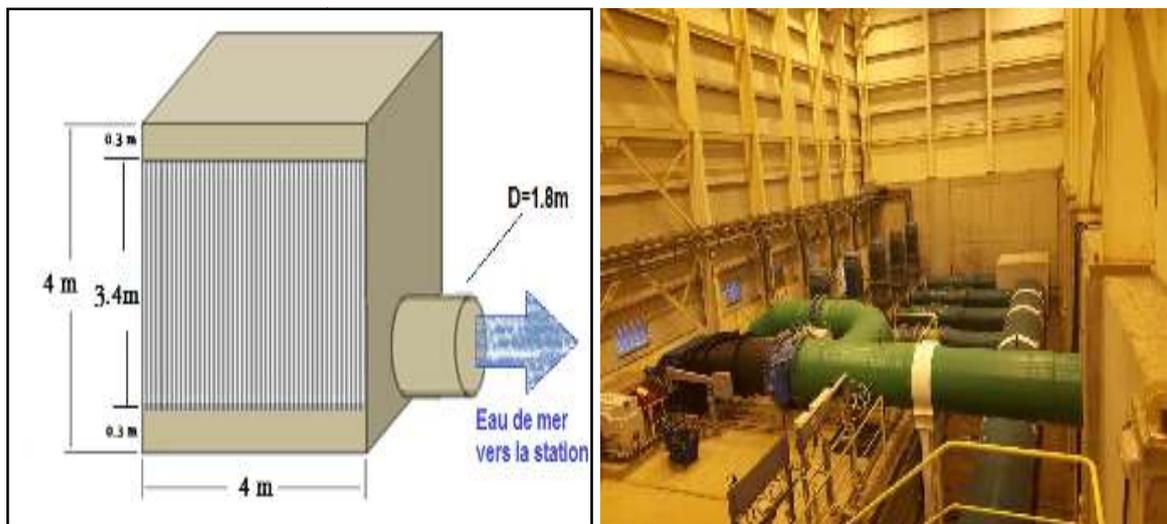


Figure III.5 : La prise d'eau et les pompes de captage d'eau de mer. (mai 2018)

III.5.1.1. Désinfection :

On effectue une chloration de l'eau brute moyennant dosage d'hypochlorite de sodium dans l'émissaire sous-marin et dans la chambre d'aspiration des pompes, L'injection d'hypochlorite s'effectue au moyen d'une pompe doseuse plus une en réserve.

L'hypochlorite de sodium est fabriqué sur place par électrolyse. Dans le processus d'électrolyse, l'eau de mer est traversée par un courant électrique grâce à laquelle des bulles d'hydrogène et de chlore vont être formées. Les bulles de chlores réagissent avec l'hydroxyde de sodium, un autre produit de la réaction d'électrolyse, en donnant matière à la formation d'hypochlorite de sodium.

Le stockage d'hypochlorite est commun au prétraitement et au post-traitement. Les réservoirs seront placés dans une cuve de rétention à l'objet d'éviter des fuites accidentelles.

III.5.2. Le prétraitement :

Le prétraitement a pour but d'éliminer les macros et micros éléments de l'eau de mer, pour avoir que de l'eau salée à l'entrée du système d'osmose inverse, afin de les protéger contre :

- leur entartrage par précipitation de certains sels dans les zones « concentrât » ;
- leur colmatage par les matières en suspension ;
- leur encrassement par des matières biologiques (bactéries, ...).

III.5.2.1. Filtration à sable :

Traitement physique pour but d'éliminer les macros éléments par gravité (matières en suspension, huile et graisses), à l'aide d'un filtre bicouches met en œuvre deux types de granulométrie de densité différente.

Pour un filtre à sable, la filtration en profondeur est obtenue en conservant une granulométrie uniforme sur toute hauteur de la couche.

L'installation contient 36 filtres divisés en deux lignes et d'une surface unitaire de filtration de 94 m², une longueur de 11,9 m et une largeur de 7,9 m, avec une vitesse de filtration de 5,19 m/h.



Figure III.6: Les filtres à sable de la station de dessalement de Ténès (juin 2018)

III.5.2.1.1 Type de filtre à sable:

Filtre bicouche porte les caractéristiques suivant :

- Anthracite 0,8-1,6 mm → hauteur 0,6m
- Silice 0,4-0,8 mm → hauteur 0,4m

III.5.2.1.2 Qualité de l'eau filtrée :

- Elimination du nombre de particules supérieures à 10 μm : 95 % environ ;
- Turbidité : 0,5 NFU, ou moins ;
- Indice de colmatage (SDI) : inférieur à 5.



Figure III.7: Image explicative d'un filtre à sable. [38]

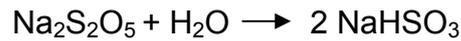
III.5.2.1.3 Réactifs après les filtra à sable :

❖ Dosage de dioxyde de carbone :

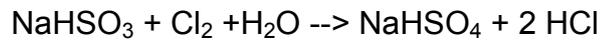
L'injection de dioxyde de carbone est destinée à réduire le pH de l'eau de mer et à éviter les précipitations de carbonates et de bicarbonates. La fabrication de CO_2 se fait dans la station avec un générateur de CO_2 .

❖ Dosage de bisulfite de sodium (la déchloration) :

L'addition de ce produit a pour objet d'éliminer le chlore résiduel du dosage d'hypochlorite de sodium injecté avant les filtres à sables pour ne pas dégradé les membranes d'OI, Cela s'effectue à l'aide de métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Ce produit en poudre, mélangé à l'eau pour obtenir une solution injectable, se transforme en bisulfite de sodium suivant la réaction :



Réaction avec le chlore :



❖ Dosage d'inhibiteur« anti tartre »

L'ajout de l'anti tartre pour but d'éviter la précipitation des sels de sulfate de calcium et de strontium, d'hydroxyde ferrique et de fluorure de calcium, dans les membranes, l'addition du produit est réalisée en cours de fonctionnement (en aval des filtres à sables) pour fournir le plus de temps de contact possible.

❖ Dosage d'hydroxyde de sodium

L'addition de ce produit a pour objet la réduction du Bore de telle manière qu'à la sortie de l'usine l'eau traitée ait une quantité de Bore $\leq 1\text{mg/l}$ (moyenne annuelle). L'addition du produit est effectuée en cours de fonctionnement et en aval des filtres à sables pour fournir le plus de temps de contact possible.



Figure III.8: Poste d'injection des produits chimique (mai 2018)

✚ Pompage intermédiaire :

L'eau qui traverse les bassins des filtres à sables arrive à un réservoir intermédiaire qui donne à la station une régulation de volume de 2180 m^3 , l'eau pompée avec un pompage intermédiaire composé de 5 pompes (dont une de recharge) vers les filtres à cartouches.



Figure III.9: Pompage intermédiaire (mai 2018)

- Pompage intermédiaire haute pression :

Débit = 2227 m³/h

P = 9 à 15,3 bar.

III.5.2.2 Filtration à cartouches :

Traitement physique a pour but d'éliminer les micros éléments utilisant une pression (pompage intermédiaire), c'est la microfiltration.

Constitue la dernière étape de la filtration de l'eau destinée à alimenter l'étage d'osmose inverse, sont rôle est l'affinage de l'eau ayant été filtrée préalablement sur le filtre a sable, afin d'améliorer la turbidité et l'indice de colmatage.



Figure III.10: Les filtres à cartouches (mai 2018)

Au total, il y'a 22 filtres avec 290 cartouches chacune. En amont et en aval de ce procédé on mesure le SDI. La valeur de SDI est limitée par le fabricant des membranes afin de ne pas les endommager.

Les filtres de construction verticale ce qui permet de renouveler facilement les cartouches filtrantes.

❖ **En sortie du poste de filtre à cartouche :**

- La turbidité doit être inférieure à 0,5 NFU. La valeur recommandée est inférieure ou égale à 0,2 NFU, pour éviter des nettoyages de membranes trop fréquents ;
- L'indice de colmatage doit être inférieur à 5. La valeur recommandée est de 2 à 3.



Figure III.11: Contrôle de qualité de l'eau filtré (mai 2018)

III.5.3. Osmose inverse :

Le bâtiment contient 12 Racks d'osmose inverse, chaque rack avec 196 tubes, 7 membranes dans chaque tube, avec une conversion de 45%, (45% eau dessalée et 55% eau de saumure) avec un débit de production de 8695 m³/h.



Figure III.12: Un rack dans le bâtiment d'osmose inverse (mai 2018)

✚ Le pompage à haute pression

L'eau salée arrive aux membranes avec une pression de 70 bar, l'équipement de pompage et de récupération d'énergie est composé de pompes à haute pression pour une partie de l'eau vers les membranes, d'un récupérateur d'énergie de la saumure avec des chambres hyperboliques et de pompes de recirculation ou booster pour élever la pression du reste de l'eau vers les membranes. Les groupes de pression ont la mission fondamentale de fournir la pression nécessaire permettant de parvenir à vaincre la pression osmotique de l'eau d'appoint et les pertes de charge du système.

L'eau de rejet des modules osmoseurs, est utilisée pour alimenter les chambres hyperboliques, réalisant de la sorte une économie énergétique maximale de l'unité, car ces groupes sont ceux qui consomment le plus. [38]



Figure III.13: Pompe à haute pression [mai 2018]

✚ **Pompage de recirculation :**

Les chambres hyperboliques élèvent une partie de l'eau d'alimentation aux membranes jusqu'à une pression légèrement inférieure à celle de rejet de la saumure. Pour augmenter cette pression jusqu'à l'entrée aux membranes, on utilise ces pompes de recirculation.

✚ **Système de récupération d'énergie :**

La récupération de l'énergie de la saumure à la sortie des membranes est réalisée au moyen des chambres hyperboliques. Le système utilisé consiste en des échangeurs de pression de la marque ERI.

Il contient 12 racks, chaque rack a 16 ERI, avec efficacité de 98%

• Pompage récupérateurs d'énergie

Débit = 2604 m³/h.

P = 3,9 bar.

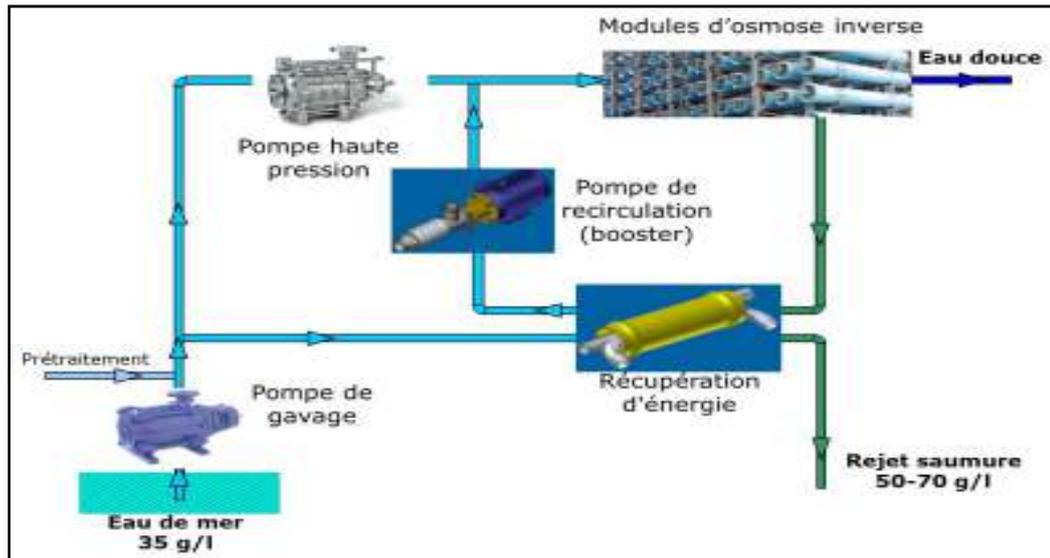


Figure III.14: Système de récupération d'énergie [39]

III.5.4. Post-traitement :

III.5.4.1. Désinfection de l'eau produite :

L'eau produite traitée avec l'hypochlorite de sodium, l'équipement de dosage d'hypochlorite est composé des pompes doseuses dont l'une est en réserve, le réservoir de stockage est commun pour le prétraitement et le post-traitement.

III.5.4.2. La reminéralisation :

Cette opération se fait avec un lait de chaux sur deux lignes indépendantes dans des chambres avec un apport de dioxyde de carbone.

La minéralisation doit être corrigée pour obtenir une eau apte à la distribution c'est-à-dire agréable à boire, non agressive et non corrosive.



Figure III.15: Point d'injection de chaux et de CO_2 (mai 2018)

Dosage de chaux par vis : de 100 à 760 kg/h.

Débit de pompage prévue: 3250 L/h, fixe.

III.5.4.3. Réservoir d'eau traitée :

Un réservoir de 20 000 m³ construit en béton armé destiné au stockage de l'eau produit, Le réservoir prévu est divisé en deux compartiments qui peuvent être isolés l'un de l'autre, dont le but de pouvoir faire la maintenance.

✓ Contrôle de qualité d'eau produit en ligne :

Le contrôle de qualité en ligne mesure automatiquement et de façon instantané le PH, la turbidité (NTU) et la concentration de chlore (mg/l) pour rester dans les normes de la station.



Figure III.16: Contrôle de qualité d'eau produite en ligne (mai 2018)

III.5.5. Pompage d'eau produite :

L'eau produite pompée avec 4 pompes (plus une de réserve) avec un débit de 200 000 m³/j, et une pression de 30 bar, vers les bassins d'ADE.



Figure III.17: Pompage d'eau produite (mai 2018)

III.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a expliqué le fonctionnement normal de la station du dessalement d'eau de mer de Ténès. On a défini les différentes étapes du dessalement telles que : le captage, le prétraitement, l'unité d'osmose inverse, et le poste traitement afin de fournir de l'eau à la population.

CHAPITRE III:

Etude de cas de la station
de Ténès (W.Chlef)

IV.1. Introduction :

A travers ce chapitre on va effectuer des prélèvements et des analyses sur des échantillons : d'eau douce produite de la station afin de s'assurer le bon fonctionnement des différentes phases de traitement, pour voir la qualité de l'eau produite et sa conformité aux normes Algérienne de potabilité.

IV.2. Les paramètres de qualité d'eau produite : ^[40]**❖ La température :**

La température est une grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre et étudiée en thermométrie. Dans la vie courante, elle est reliée aux sensations de froid et de chaud, elle joue un rôle très important dans le traitement des eaux. Sa variation peut affecter les caractéristiques physico-chimiques d'eau.

❖ Le pH :

Le potentiel hydrogène, est une mesure de l'activité chimique des hydrons en solution, il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau.

Le pH interfère avec d'autres paramètres de la qualité dans les complexes réactions chimiques : dureté, alcalinité, turbidité, conductivité c'est pour ça c'est un paramètre très important donnant une idée sur l'équilibre de l'eau ainsi que sur la qualité de l'eau produite, il doit être étroitement surveillé aux cours de toute opération de dessalement.

❖ La conductivité:

Elle mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique. La conductivité permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau dans la mesure où la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La conductivité varie proportionnellement avec les fluctuations de la température, elle s'exprime en us/cm.

❖ Le TDS:

Les solides dans l'eau se trouvent soit en solution ou en suspension, et se distinguent par le passage de l'échantillon de l'eau à travers un filtre de fibres de

verre. Par définition, les matières en suspension sont retenues sur le dessus du filtre, et les solides dissous passent à travers le filtre avec de l'eau. Lorsque la partie filtrée de l'échantillon d'eau est placée dans une coupelle, puis évaporé, les solides dissous dans l'eau restent comme résidu dans la capsule d'évaporation. Cette matière est appelée matières totales dissoutes ou TDS.

❖ **La turbidité :**

La turbidité donne une idée sur la teneur en matière colloïdale d'origine organique ou minérale, liée à la transparence. Elle s'exprime en Nephometric Turbidity Unit, (NTU).

❖ **Ion Calcium (Ca²⁺) :**

Le calcium, élément essentiel de la dureté de l'eau, est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Ses sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles.

❖ **Le titre hydrotimétrique (TH):**

Il mesure la concentration en ions alcalino-terreux, le calcium et magnésium essentiellement, le titre hydrotimétrique de l'eau permet de quantifier une notion qualitative : la dureté de l'eau.

❖ **Le titre alcalimétrique complet (TAC):**

C'est la grandeur utilisée pour mesurer le taux d'hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates d'une eau. Il exprime l'alcalinité totale de l'eau.

❖ **Indice de Langelier de saturation (LSI) :**

La méthode la plus simple pour le calcul de l'agressivité de l'eau est la « méthode de Langelier ». Il a établi un indice, appelé « indice de saturation ou indice de Langelier ». L'eau est agressive si cet indice est négatif, elle est calcifiante si l'indice est positif et elle est à l'équilibre calcocarbonique si l'indice de saturation est nul.

IV.3. Les analyses de l'eau produite :

IV.3.1. Matériels et méthode :

✚ Le pH, TDS, conductivité et température :

Le pH, TDS, la conductivité et la température, sont des paramètres mesurés au niveau de laboratoire de la station à l'aide d'un appareil multi-paramètres, de la marque MAYRON L COMPANY 6 PFC^E.



Figure IV.1: Appareil de mesure pH, Conductivité, et Température (mai 2018)

✚ Mesure de la dureté totale TH :

❖ Matériels et réactifs :

- Erlenmeyer de 100ml ;
- Fiole jaugée de 50 ml ;
- Burette+ support ;
- Agitateur magnétique + barreau aimanté ;
- Entonnoir ;
- Pipette graduée de 5ml+pro-pipette ;
- Solution d'EDTA, 0,01N ;
- Solution Tampon pH=10 ;

- Noir d'eriochrome T ,1%.

❖ **Mode d'opérateur : [41]**

1. Avant tout, agiter l'échantillon doucement ;
2. A l'aide d'une fiole jaugée propre de 50ml, introduite 50ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 100ml ;
3. Ajouter 4 ml de tampon pH 10 à l'aide de la pipette en plastique propre ;
4. A l'aide de la spatule, ajouter un peu de noir d'erichrome 1% jusqu'à obtenir une couleur rose-violette ;
5. Mélanger le tout et commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration bleu-franche ;
6. Noter le volume « V » de burette.

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

🚦 **Mesure de sulfate et TSS :**

❖ **Appareillage et réactifs :**

- Spectrophotomètre HACH DR 3900 ;
- Cuvette rectangulaire en verre ;
- Papier pour le nettoyage ;
- Réactif sulfaver powder pillow ;
- Eau distillée.

❖ **Mode d'opérateur : [41]**

- 1- Démarrer le programme 680 pour le sulfate et 630 pour TSS ;
- 2- Préparer l'échantillon : faite une dilution de 50fois,(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.



Figure IV.2: Appareil de mesure de sulfate et TSS (mai 2018)

✚ Teste de chlorure :

❖ Appareillage et réactifs :

- Une fiole jaugée de 1 litre et une autre de 100m ;
- La solution d'AgNO₃ 0.10N ;
- Indicateur coloré K₂CrO₄ à 0.5mol/l ;
- La solution NaCl 0.10N ;

- L'eau minéralisée ;
- Un erlnmeyer ;
- Une pipette.

❖ **Mode opératoire :** [41]

1- Diluer l'échantillon d'eau de mer 5 fois en pipetant 20 ml d'échantillon dans une fiole jaugée de 100ml ;

2- Prélever 10ml de l'échantillon dilué dans un erlnmeyer, 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.

$$[0.10N.(35,5(g)).1000(mg).V (ml).(5fois)] /10(ml) = (1775.V)(mg/l)]. [41]$$

✚ **Mesure de salinité :** [41]

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

$$S= 0,03+ 1,805.CI$$

Avec : S : salinité ;

CI : concentration de chlorure. [41]

✚ **Mesure de la turbidité :** [41]

La turbidité désigne la teneur d'un fluide en matières qui le troublent. Dans les cours d'eau elle est généralement causée par des matières en suspension et des particules colloïdales qui absorbent, diffusent et/ou réfléchissent la lumière. [wiki]

La turbidité se mesure à l'aide d'un appareil multi paramètre de la marque Spectroquant Move 100. [41]



Figure IV.3: Turbidimètre (NTU) (mai 2018)

✚ Test de l'alcalinité :

❖ Appareillage et réactifs:

- Erlenmeyer de 250 ml ;
- Fiole jaugée de 100 ml ;
- Burette + support ;
- Entonnoir ;
- Pipette graduée de 1ml ;
- HCL 0,02 ;
- Méthyle orange 0,4%.

❖ Mode opératoire : [41]

- 1- A l'aide d'une fiole jaugée propre, verser 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml ;
- 2- Ajouter 5 gouttes de méthyle orange dans le même erlenmeyer et mélanger,(on obtient une coloration jaune-orange) ;

3- Verser HCL goutte à goutte tout en mélangeant jusqu'à obtenir le début d'une coloration orange ;

4- Noter le volume de burette «V».

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

Dosage de Calcium et de Magnésium :

❖ Appareillage et réactifs

- Erlenmeyer de 100 ml ;
- Fiole jaugée de 50 ml ;
- Burette + support ;
- Entonnoir ;
- Pipette graduée de 5ml + pro-pipette ;
- Solution EDTA 0,01N ;
- Solution de NaOH 2 N ;
- Murexide. [41]

❖ Mode opératoire : [41]

- 1- A l'aide d'une fiole jaugée propre de 50 ml, introduire 50 ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml ;
- 2- Ajouter 4ml de NaOH 2 N à l'aide de la pipette en plastique propre ;
- 3- A l'aide de la spatule, ajouter un peu de murexide jusqu'à obtenir une coloration bien rose ;
- 4- Mélanger le tout et commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration violette ;
- 5- Noter le volume « V » de la burette et calculer la concentration en calcium à l'aide de la formule suivante :

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

🚦 Test de Bore :**❖ Appareillage et réactifs**

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

❖ Mode opératoire : [41]

- 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 5g/l de bore).

🚦 Le chlore libre : [41]

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 ;
- 4- Insérer la cuvette dans le puits de l'appareil et appuyer sur READ.



Figure IV.4: Appareil de mesure du chlore libre (mai 2018)

Tableau IV.1: Normes de potabilité d'OMS.[42]

Paramètres physico-chimique	Unités	Normes OMS
Température	°C	< 25
pH	/	6,5 – 8,5
Conductivité électrique	µs/cm	< 2800
TDS	ppm	[150 ; 500]
Dureté totale	mg/l en CaCo3	< 500
Bore	mg/l	< 1
Turbidité	NTU	<5
Calcium	mg/l en CaCo3	<200
Chlore libre	mg/l	< 1
Alcalinité	mg/l en CaCo3	>65
Magnésium	mg/l	<150

➤ Remarque : les normes Algérienne de potabilité prises des normes OMS.

IV.3.2. Résultats et interprétation :

✚ Le pH :

Tableau IV.2: Résultats de pH de l'eau produite.

Période	pH mesuré	Norme
S1 (17-23/04/2018)	7,82	[6,5 ; 8,5]
S2 (24-30/04/2018)	7,81	
S3 (01-07/05/2018)	7,79	
S4 (08-14/05/2018)	7,78	

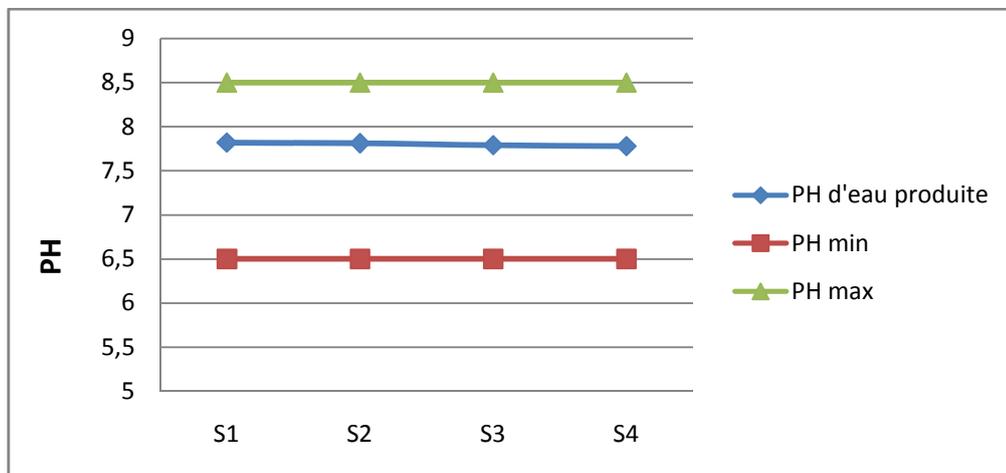


Figure IV.5: Comparaison du pH de l'eau produite et la norme.

Les résultats de pH d'eau produite ont de faibles variations comprises entre 7.82 et 7,78, la valeur moyenne de ces résultats est de 7,80. Comparant avec les normes de potabilité Algériennes qu'ils sont fixées entre 7,5 et 8,5 on trouve que les résultats obtenu référant a ces normes.

✚ Température :

Tableau IV.3: Résultats de température de l'eau produite.

Période	Température mesuré (°C)	Norme (°C)
S1 (17-23/04/2018)	17,95	<25
S2 (24-30/04/2018)	18.32	
S3 (01-07/05/2018)	18,85	
S4 (08-14/05/2018)	19,87	

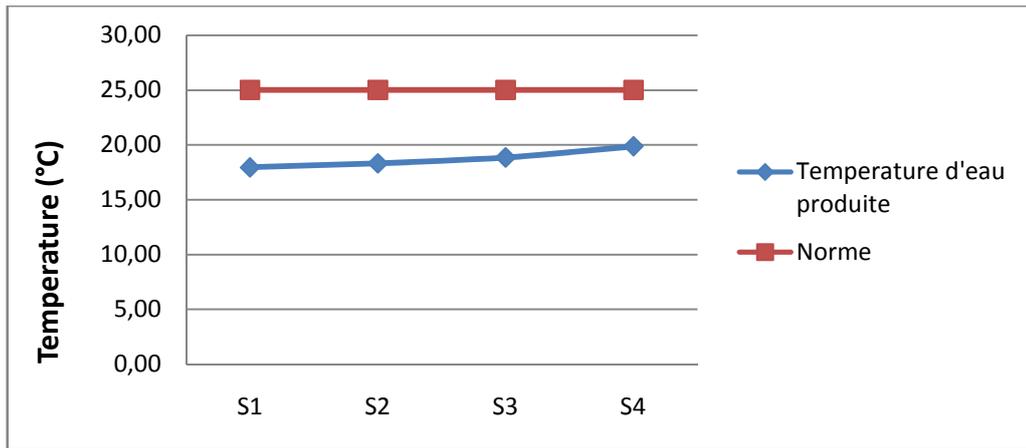


Figure IV.6: Comparaison de la température de l'eau produite et la norme.

A partir de ces résultats on note qu'il ya une variation de température des échantillons d'eau produit, elles varient entre 17,95°C et 19,8°C avec une valeur moyenne de 18,75°C, mais cette variation reste conforme aux normes de potabilité Algérienne qui préconise une valeur inférieure à 25C°.

✚ La conductivité électrique :

Tableau IV.4:Résultats de la conductivité électrique de l'eau produite.

Période	conductivité électrique mesuré (µs/cm)	Norme (µs/cm)
S1 (17-23/04/2018)	749,71	< 2800
S2 (24-30/04/2018)	745,02	
S3 (01-07/05/2018)	764,6	
S4 (08-14/05/2018)	787,9	

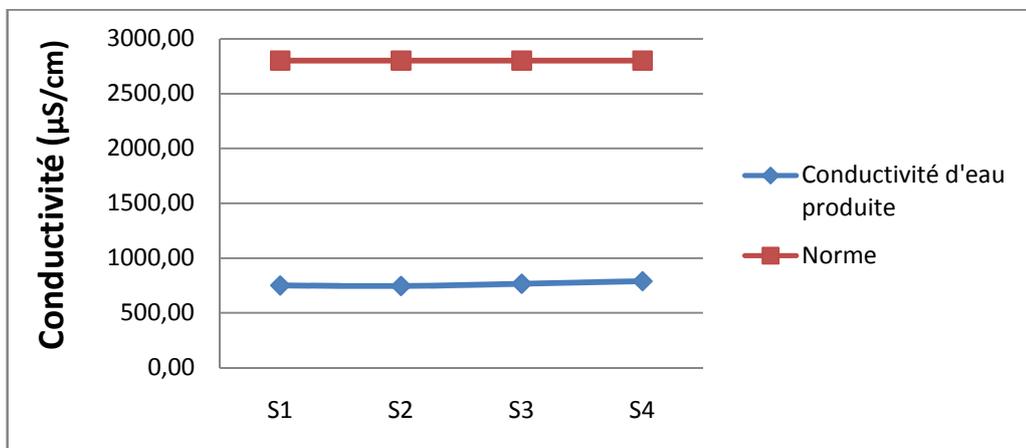


Figure IV.7: Comparaison de la conductivité de l'eau produit et la norme.

Selon les résultats obtenus, on remarque que la variation des valeurs de la conductivité d'eau produite varie de 749,71 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 787,9 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au cours de quatre semaines de suivi, avec une valeur moyenne de 761,81 $\mu\text{s}/\text{cm}$, cela s'explique par l'absence des sels dissouts après les modules d'osmose inverse. L'évolution de la conductivité électrique reste respectable aux normes Algérienne, (Inferieurs à 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

✚ Total des solides dissous (TDS) :

Tableau IV.5: Résultats de TDS de l'eau produite.

Période	TDS mesuré (ppm)	Norme (ppm)
S1 (17-23/04/2018)	465,53	[150 ; 500]
S2 (24-30/04/2018)	461,63	
S3 (01-07/05/2018)	473,26	
S4 (08-14/05/2018)	478,06	

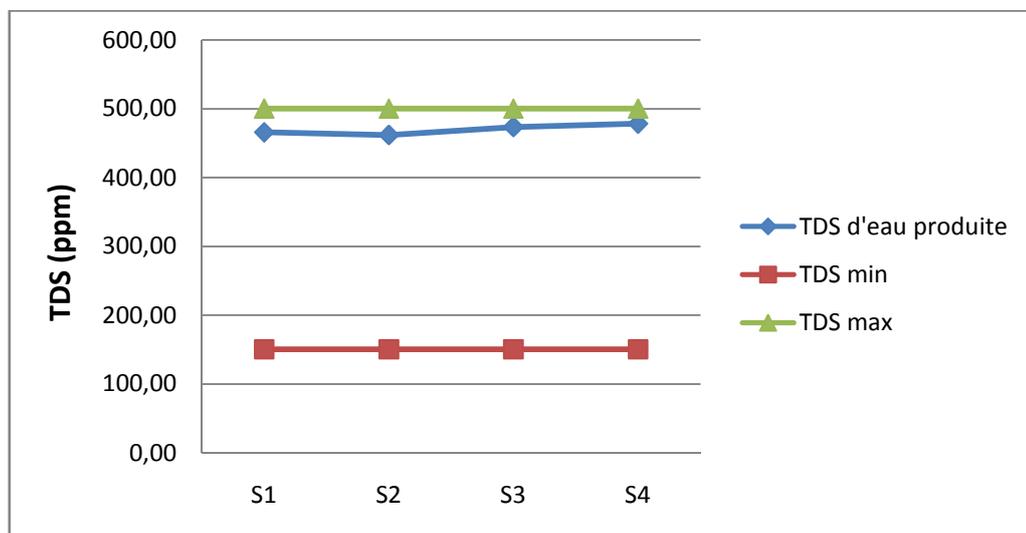


Figure IV.8: Comparaison de TDS de l'eau produit et la norme.

On remarque que la valeur de TDS de l'eau produite a de faible variation entre 465,53 ppm et 478,06 ppm, soit une valeur moyenne de 469,62 ppm. Les valeurs de TDS conforme à la norme Algérienne qui préconise une valeur compris entre 150 et 500ppm.

✚ La dureté totale :

Tableau IV.6: Résultats de la dureté totale de l'eau produite.

Période	Dureté totale mesuré (mg/l en CaCo3)	Norme (mg/l en CaCo3)
S1 (17-23/04/2018)	80,14	< 500
S2 (24-30/04/2018)	80,07	
S3 (01-07/05/2018)	80,14	
S4 (08-14/05/2018)	80,07	

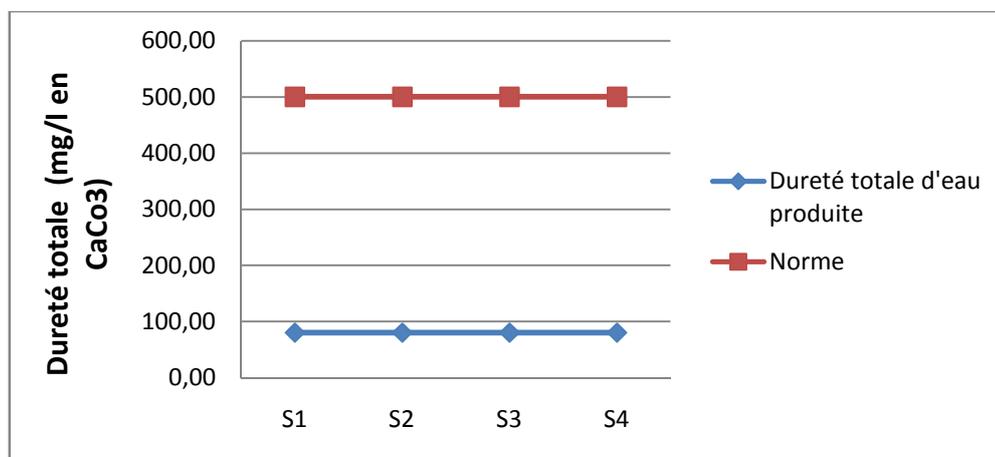


Figure IV.9: Comparaison de la dureté totale de l'eau produite et la norme.

D'après Les résultats de mesure de la dureté totale de l'eau traitée obtenues, nous observons des valeurs allant de 80,14 à 80,07 mg/l en CaCo₃. La valeur moyenne de ces résultats est de 80,11 mg/l. Après ces analyses on constate qu'il y'a un équilibre entre les résultats obtenu et les normes de potabilité Algérienne (inferieur à 500mg/l en CaCo₃).

✚ Le bore :

Tableau IV.7: Résultats de bore de l'eau produite.

Période	Le bore mesuré (mg/l)	Norme (mg/l)
S1 (17-23/04/2018)	0,63	< 1
S2 (24-30/04/2018)	0,6	
S3 (01-07/05/2018)	0,63	
S4 (08-14/05/2018)	0,6	

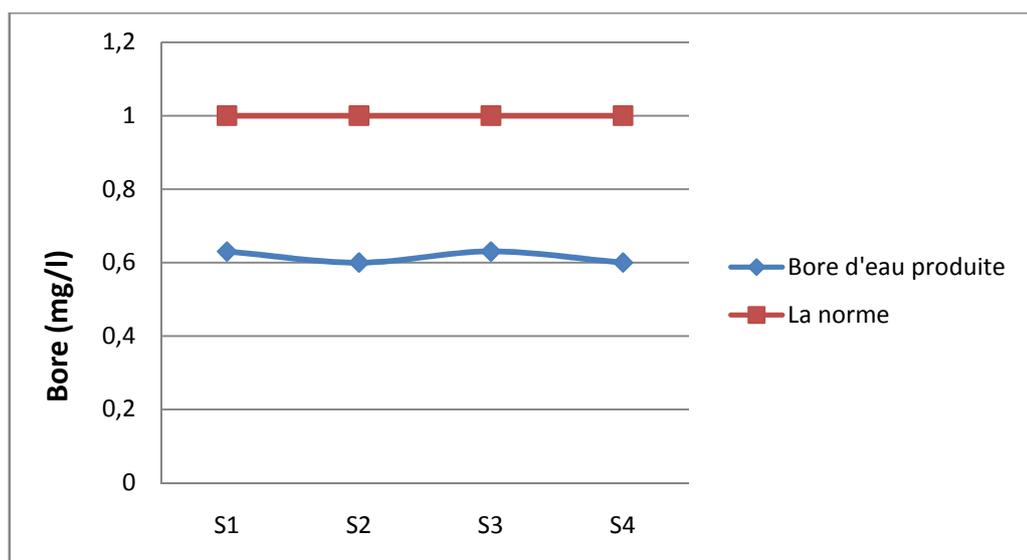


Figure IV.10: Comparaison de bore de l'eau produite et la norme.

D'après les résultats des analyses des échantillons d'eau produite qui indique qu'il ya pas une grande différence entre les concentrations en Bore, environ 0,62mg/l, les normes de potabilité dit que la teneur en bore doit être inférieure à 1 mg/l, donc les résultats obtenues conforme à ces normes.

🚦 La turbidité :

Tableau IV.8: Résultats de la turbidité de l'eau produite.

Période	Turbidité mesuré (NTU)	Norme (NTU)
S1 (17-23/04/2018)	0	<5
S2 (24-30/04/2018)	0	
S3 (01-07/05/2018)	0	
S4 (08-14/05/2018)	0	

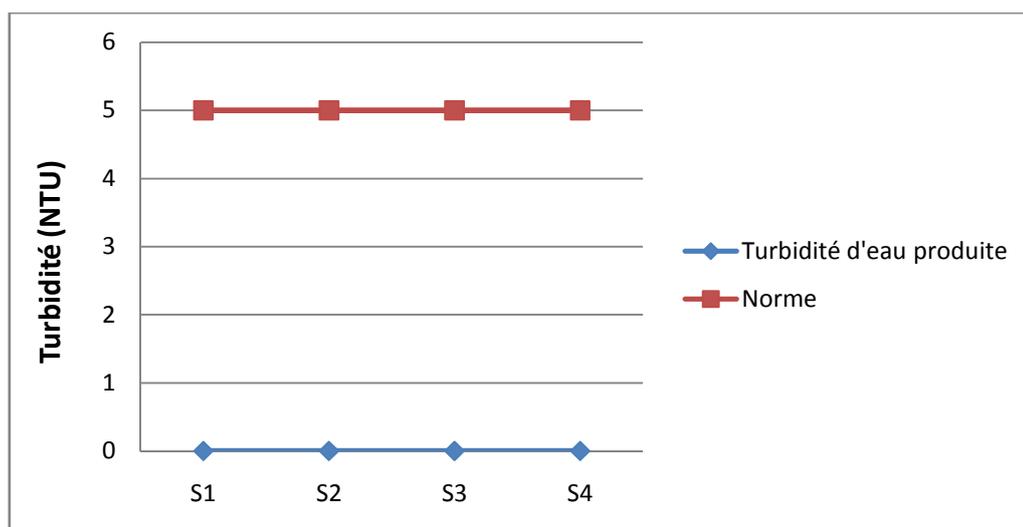


Figure IV.11: Comparaison de turbidité de l'eau produite et la norme.

Les analyses de la turbidité de notre échantillon (eau produite) donnent des valeurs de 0 NTU, Ce qui indique l'élimination des matières colloïdales après le passage à travers les filtres. Ces valeurs respectent la norme Algérienne de potabilité qui est fixé à moins de 5 NTU.

🚦 Calcium (mg/l en CaCo3) :

Tableau IV.9: Résultats de Calcium en CaCo3 de l'eau produite.

Période	Calcium en CaCo3 mesuré (mg/l en CaCo3)	Norme (mg/l en CaCo3)
S1 (17-23/04/2018)	69,96	<200
S2 (24-30/04/2018)	70,03	
S3 (01-07/05/2018)	70,21	
S4 (08-14/05/2018)	70,18	

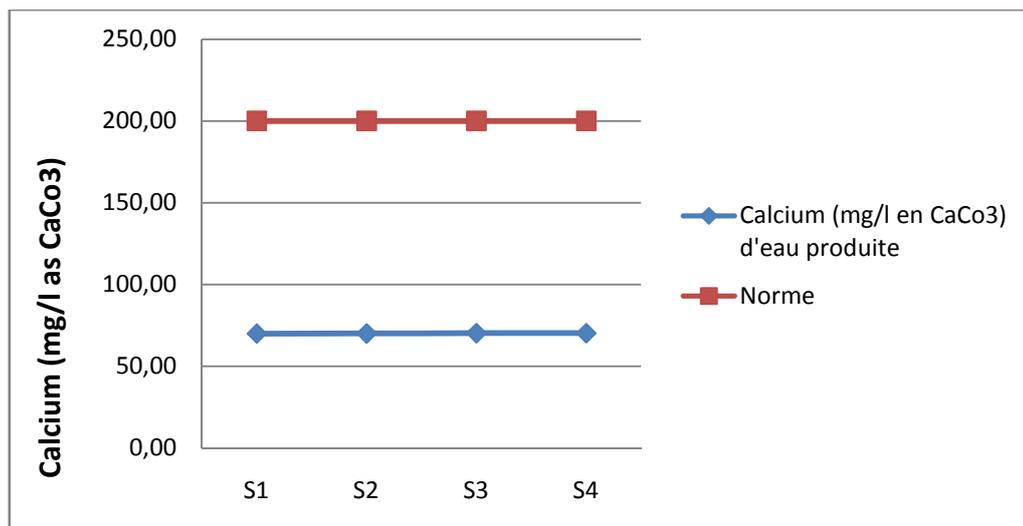


Figure IV.12: Comparaison de calcium de l'eau produite et la norme.

On remarque que les valeurs obtenues montrent une légère variation compris entre 69,96 mg/l et 70,18 mg/l, avec une moyenne de 70,10 mg/l, les normes Algérienne de potabilité exige des valeurs moins de 200 mg/l, alors que notre échantillon respecte ces normes.

🚦 Le chlore libre :

Tableau IV.10: Résultats de chlore libre de l'eau produite.

Période	Le chlore libre mesuré (mg/l)	Norme (mg/l)
S1 (17-23/04/2018)	0,28	<1
S2 (24-30/04/2018)	0,2	
S3 (01-07/05/2018)	0,23	
S4 (08-14/05/2018)	0,22	

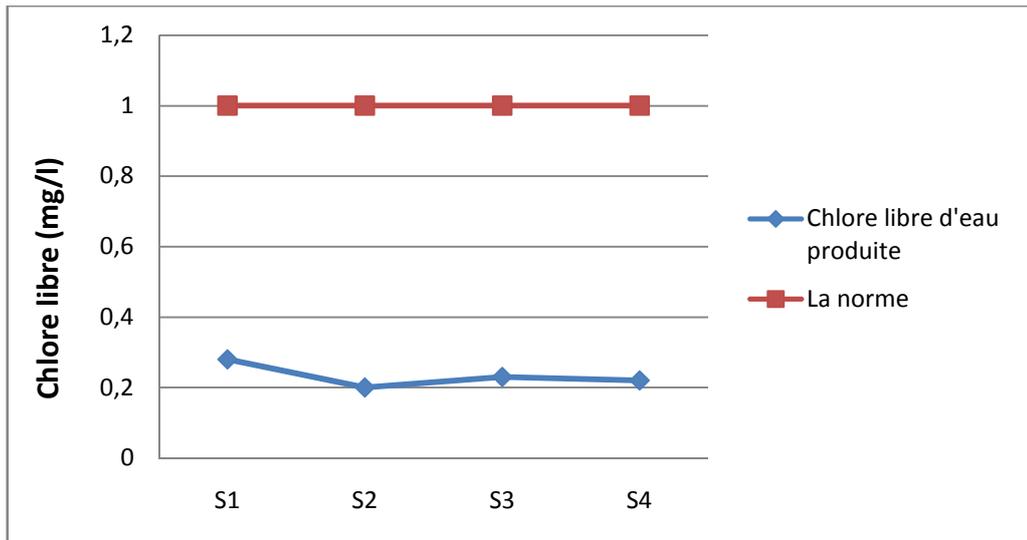


Figure IV.13: Comparaison de chlore libre de l'eau produite et la norme.

Le chlore est un réactif utilisé pour la désinfection, les norme de potabilité Algérienne exige des valeurs entre 0.6 mg/l et 1 mg/l, les normes de la station est d'obtenir des valeurs environ de 0.2 mg/l, car la station envoie l'eau produit au station de traitement qui ajoute de chlore à son tour et respecte les normes Algérienne, et selon les résultats de notre échantillon (eau produit), les valeurs de chlore libre varient entre 0,28 mg/l et 0,22 mg/l, avec une moyenne de 0,23 mg/l, ce qui est dans les normes de la station.

✚ Alcalinité :

Tableau IV.11: Résultats de l'alcalinité de l'eau produite.

Période	Alcalinité mesuré (mg/l en CaCo3)	Norme (mg/l en CaCo3)
S1 (17-23/04/2018)	86,31	>65
S2 (24-30/04/2018)	86,23	
S3 (01-07/05/2018)	86,2	
S4 (08-14/05/2018)	86,13	

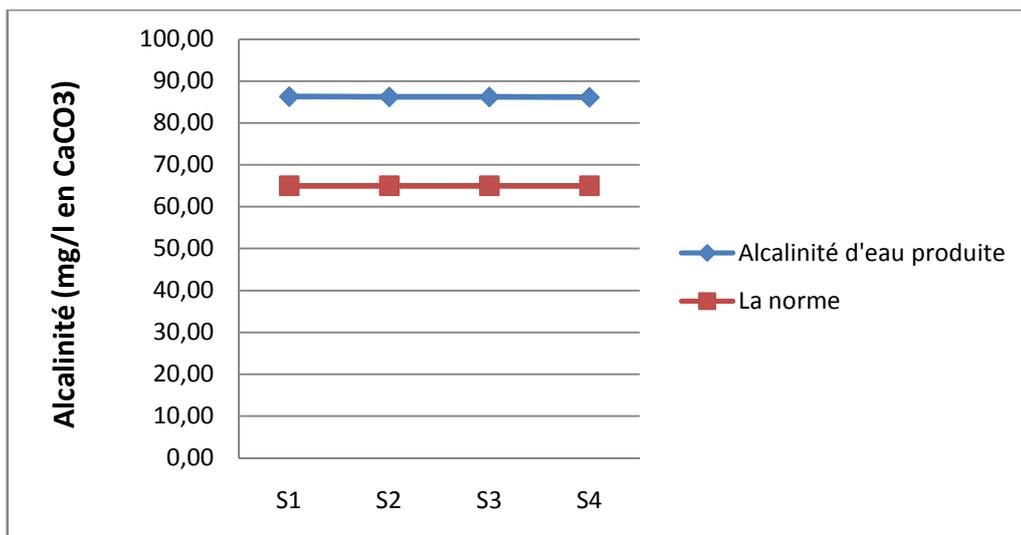


Figure IV.14: Comparaison de l'alcalinité de l'eau produite et la norme.

Les analyses montrent une faible variation entre 86,31 et 86,13 avec une moyenne de 86,22 ces valeurs sont également conformes aux normes algériennes qui limitent le taux d'alcalinité des eaux de consommation (supérieur à 65 mg/L en CaCo₃).

✚ Magnésium :

Tableau IV.12: Résultats de magnésium de l'eau produite.

Période	Magnésium mesuré (mg/l)	Norme (mg/l)
S1 (17-23/04/2018)	10,18	<150
S2 (24-30/04/2018)	10,04	
S3 (01-07/05/2018)	9,93	
S4 (08-14/05/2018)	9,9	

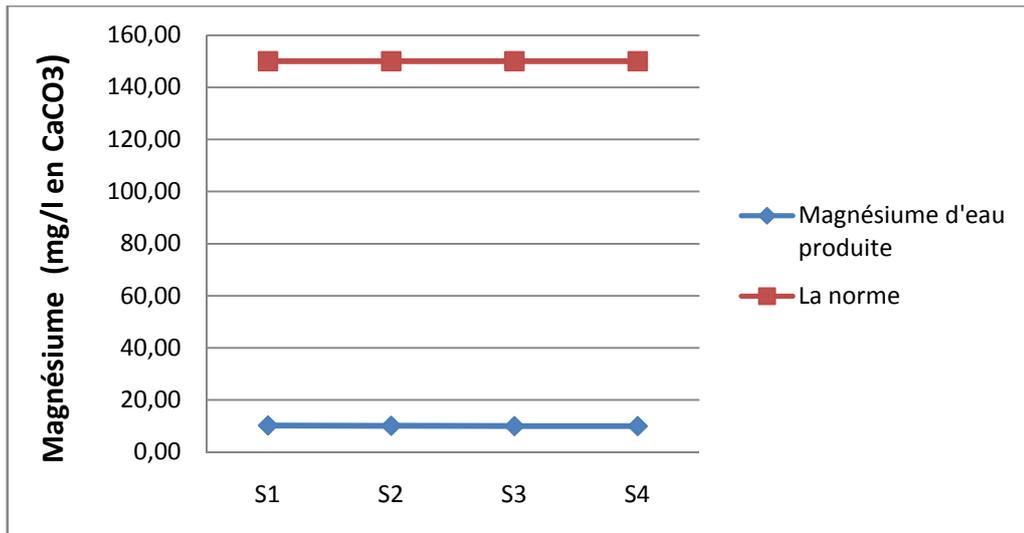


Figure IV.15: Comparaison du Magnésium de l'eau produite et la norme.

A partir des résultats obtenus, la concentration de magnésium sont variable compris entre 10,18 mg/l et 9,9 mg/l, la moyenne de ces résultats est de 10,01 mg/l, la norme Algérienne exige une valeur inférieur à 150 mg/l.

Indice de Langelier :

Tableau IV.13: Résultats de l'indice de Langelier de l'eau produite.

Période	L'indice de Langelier
S1 (17-23/04/2018)	0,11
S2 (24-30/04/2018)	0,11
S3 (01-07/05/2018)	0,12
S4 (08-14/05/2018)	0,12

Tableau IV.14: Fourchette d'équilibre de l'indice de Langelier. [41]

-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	+4	+5	+6	+7
Zone de corrosion				Zone d'équilibre						Zone d'entartrage				
Langelier potential		ajustement inverse		OK		OK		OK		ajustement meilleur		Langelier potential		

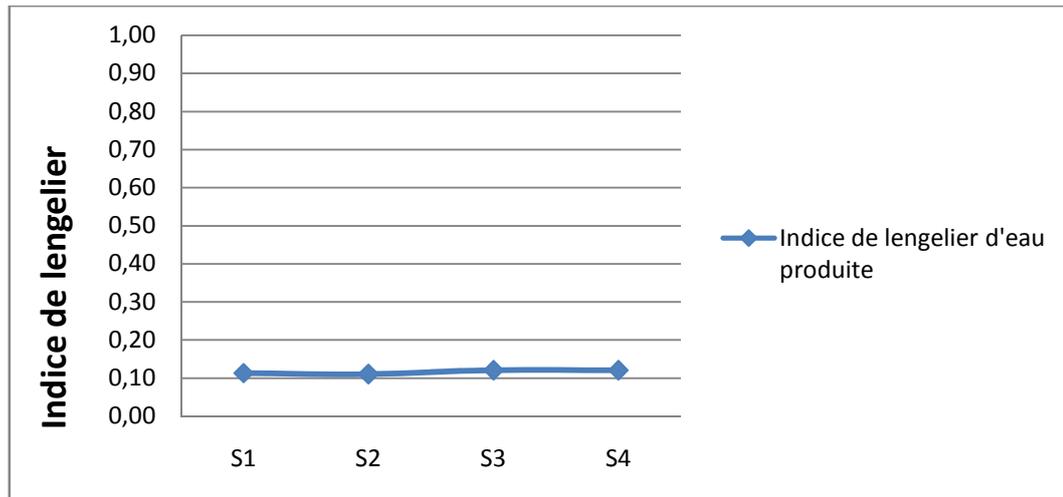


Figure IV.16: L'indice de Langelier de l'eau produite.

Les résultats obtenus montrent une faible variation de 0,11 à 0,12 avec une moyenne de 0,12 se qui signifie que l'eau produite conforme à la potabilité (eau idéal).

IV.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, et à l'aide des analyses qu'on a fait au niveau de laboratoire de la station de dessalement d'eau de mer de Ténès pendant la durée de stage pour l'eau douce produite, on constate que tous les paramètres de qualité de l'eau sont conformes aux normes, ce qui nous permet de conclure que la qualité d'eau dessalée, distribuée aux habitants, est de bonne qualité et conforme aux normes de potabilité exigée par l'état.

CHAPITRE IV:

Analyses et interprétations
de la qualité de l'eau produite

V.1. Introduction :

Les problèmes dans la station de dessalement réduiront sa performance, on les cible après l'établissement d'un diagnostic des différentes étapes : captage, prétraitement, unité d'osmose inverse, et poste traitement ou on a relevé tous des dysfonctionnements.

Il y a des problèmes d'exploitation qui sont périodiquement résolus à la station aux jours de maintenance, et d'autres problèmes qui sont présents sans solution ou nécessite une amélioration.

On va voir aussi les rejets des stations de dessalement et leurs impacts sur l'environnement.

V.2. Les problèmes rencontrés dans la station de Ténès :**V.2.1. Le colmatage :**

- **L'indice de colmatage SDI:** ^[38]

La mesure de SDI se fait dans la phase de prétraitement, avant les filtres à cartouches et avant le bâtiment d'osmose inverse, pour protégé et augmenté la durée de vie des membranes.

L'eau pressurisée à une pression de 2.1 bars traverse une membrane filtrante de 0.45 µm et de 47mm de diamètre.

Au fur et à mesure de l'encrassement du filtre, le débit de l'eau diminue engendrant une augmentation du temps de remplissage d'un récipient de 500ml installé à la sortie de l'instrument de mesure.

L'analyse consiste en l'enregistrement de différents intervalles de temps et de volumes permettant ainsi le calcul du SDI avec la formule suivante :

$$SDI = \frac{100 * (1 - T_0/T_x)}{T}$$

Avec :

- T₀ est le temps de remplissage de la première éprouvette

- TX est le temps de remplissage des éprouvettes et est égal à T5, T10 ou T15 selon la valeur de T choisi.
- T est égal à 15minute

La valeur maximale de SDI avant les filtres à cartouches est de 5% et 3% pour le SDI avant les modules d'osmose inverse.

V.2.1.1. Le colmatage des filtres à sable :

Le colmatage des filtres à sables est a cause des macros éléments existants dans l'eau de mer.

On détecte le colmatage lorsqu'on a une augmentation de niveau d'eau dans les bassins des filtres à sable et une diminution de débit d'eau filtrés qui sorte de ces bassins.

V.2.1.1.1. L'opération de décolmatage des filtres à sable :

L'opération de décolmatage ce fait par retour d'air et d'eau. Si le lavage s'effectuait à l'eau seule, il y avait création d'une stratification du lit, les grains les plus fins se retrouvant en surface. De ce fait le filtre aurait tendance à se colmater rapidement.

Le processus de nettoyage comptera les étapes suivantes :

- 1) Foisonnement : Lors de cette étape, la saumure sera introduite à contre-courant pendant 5 minutes, à une vitesse de $15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$, pour obtenir de cette façon le foisonnement du lit filtrant.
- 2) On laisse baisser le niveau du filtre jusque 10 cm par-dessous de la surface de l'antracite.
- 3) Aération : Lors de cette étape, le nettoyage sera réalisé en introduisant de l'air à une vitesse de $50 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ et pendant une période de 7 minutes. De cette façon, le lit filtrant est remué et la saleté qui adhère aux grains de sable est détachée.
- 4) Temps d'attente : après l'étape d'aération on laisse le filtre en repos pendant 3 minutes.
- 5) Rinçage : Il s'agit d'un rinçage du filtre, réalisé en introduisant de l'eau pendant 15minutes à une vitesse de $30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$. Pour cette étape, la saleté détachée des grains de sable est entraînée vers les conduites d'eau de lavage.

6) Vidange : Finalement, une étape de vidange est réalisée, permettant à l'eau d'alimentation d'entrer, pour éliminer la saumure qui aurait pu être retenue à l'intérieur du filtre.

V.2.1.3. Le colmatage des filtres à cartouche :

Le colmatage des filtres à cartouches est provoqué par les micros éléments qui traversent les filtres à sables, la solution de ce problème est le changement des cartouches colmatées.

La détection du problème est l'augmentation de pression dans les filtre à cartouches (la différence de pression entre l'entrée et la sortie des cartouches) et la diminution de débit d'eau qui sort de ces filtres.

La perte de charge maximum tolérable pour les cartouches, due au colmatage par les particules, doit être limitée à 1,5 bar, ce qui correspond à 90 % de leur durée de vie maximum.

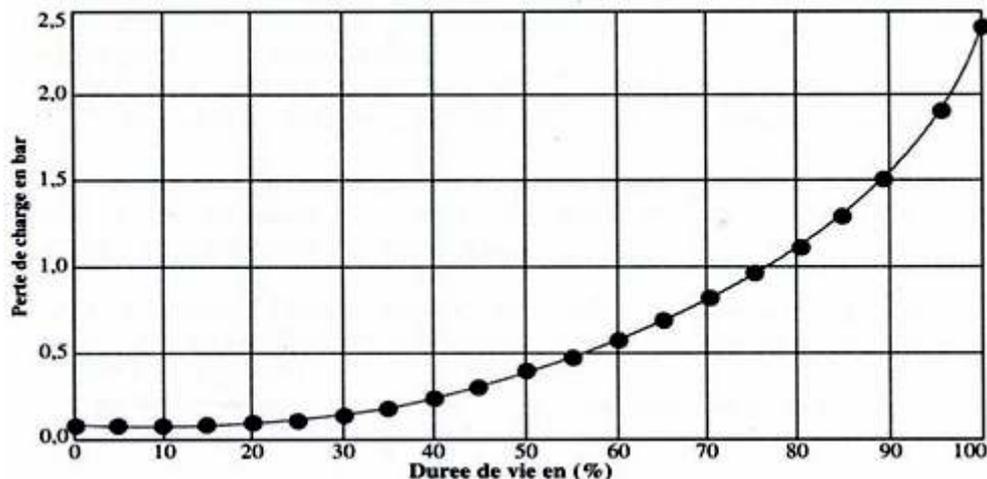


Figure V.1: Perte de charge par rapport à la longévité [38]

On voit donc qu'il n'est pas économique d'aller au-delà de 1,5 bar de perte de charge, car pendant les 10 % de vie restante, on augmente la pression nécessaire au refoulement des pompes basse-pression, et donc la consommation en énergie électrique, sans compter les risques de relargage de particules.

V.2.1.4. Le colmatage des membranes d'osmose inverse :

Le colmatage des membranes nécessite un nettoyage chimique dès que :

- Le débit normalisé du perméat a baissé de 10 % ;
- Les sels dissous totaux normalisés du perméat ont augmentés de 10 % ;
- La perte de charge entre circuit d'alimentation et circuit concentrât a augmentée de 15 % par rapport à la perte de charge initiale.

V.2.1.4.1. Le nettoyage chimique :

Le nettoyage chimique nécessite les étapes suivantes :

- Lavage basique, acide et basique ;
- La désinfection.

La première étape est l'isolation de racks colmaté et le rinçage des corps de pression avec du perméat jusqu'à ce que la conductivité sortie du concentrât soit à peu près égale à celle du perméat ;

Remarque : Vérification périodique de la valeur du pH, suivie par les corrections nécessaires dès que les variations sont de l'ordre de 0,5 unité de pH.

 Processus de lavage :

Etape 1 : Préparation de la solution de nettoyage nécessaire ;

Etape 2 : évacuation à l'égout du fluide de rinçage, en alimentant les corps de pression à petit débit (50 % du débit maximum de recirculation) ;

Etape 3 : Recirculer la solution pendant 1.5 heures à 75 % du débit maximum toléré ;

Etape 4 : Laisser tremper les membranes dans la solution pendant deux heures ;

Etape 5 : Recirculation de la solution au débit maximum toléré, pour évacuer les matières décrochées de la surface de la membrane par le nettoyage ;

Etape 6 : Vidange des solutions usées et remplissage du bac avec du perméat ;

Etape 7 : Rinçage des membranes en rejetant le fluide à l'égout, jusqu'à obtention d'une conductivité voisine de celle du perméat.

❖ **Lavage basique :**

Mélangeant Na OH, Na EDTA et SLS jusqu'à obtenir un ph égale à 12, l'opération se fait pendant 12heurs.

❖ **Lavage acide :**

Préparation de la solution acide citrique jusqu'à obtenir un pH de 2 à 2.20, l'opération se fait pendant 10heurs et suivre les mêmes étapes du lavage basique.

❖ **Lavage basique :**

La solution basique utilisant Na OH et Na EDTA citrique jusqu'à obtenir un ph égale à 12, l'opération se fait pendant 12 heures et suivre les mêmes étapes précédentes.

✚ **La désinfection :**

Cette procédure doit être appliquée pour éliminer les matières biologiques qui ont pu se développer à la surface de la membrane, mais également à l'intérieur des pores et même sur la surface côté perméat.

Après les étapes de lavage, on effectue l'opération de désinfection, cette dernière se fait par la recirculation d'un biocide pendant 2 heures.

A la fin de l'opération de désinfection, On effectue un vidange et remplissage du bac avec du perméat, pour le rinçage des membranes jusqu'à l'obtention d'une conductivité voisine de celle du perméat ;

Remise en service de rack isolé après que toutes les membranes de la ligne aient été nettoyées.

○ **L'équipement de nettoyage :**

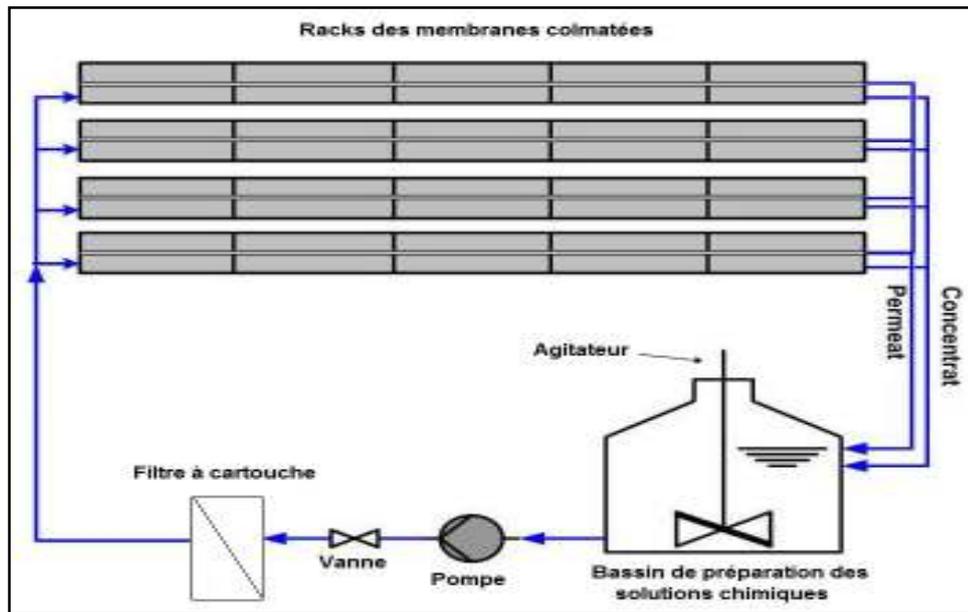


Figure V.2: Installation d'équipement de nettoyage chimique [43]

Du fait que le pH des solutions peut varier de 2 à 11, les composants du poste doivent être constitués de matériaux résistant à la corrosion. En particulier, la pompe de recirculation doit être choisie dans la gamme des pompes de processus chimiques.

Le bac est équipé d'un agitateur permettant de mettre en solution les produits livrés en poudre et d'homogénéiser les solutions. La recirculation ne doit commencer que lorsqu'il est obtenu une dissolution complète des produits

Le poste est équipé d'un microfiltre à cartouches consommables présentant un seuil de coupure de 10 μm . Il est destiné à arrêter les particules détachées des membranes au cours du nettoyage, et qui pourraient les endommager si elles étaient recirculées.

V.2.2. L'augmentation de la salinité de perméat après les modules d'OI :

La détection de problème est quand on a une augmentation observée de la conductivité de l'eau qui sort des racks d'osmose inverse, après chaque rack il ya un appareil qui mesure la conductivité de l'eau dessalée.

Ce problème peut résulter à cause :

- Une cassure au niveau des raccords qui relient les membranes ;
- Le phénomène de Téléscooping dans les membranes.

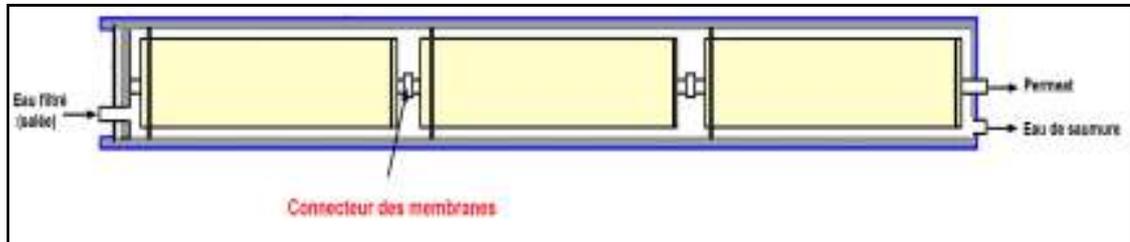


Figure V.3: Tube des membranes d'OI avec les connecteurs



Figure V.4: Phénomène de Téléscooping dans les membranes d'OI [44]

○ **La résolution de problème :**

Le responsable doit :

- Cibler le rack qui a une conductivité élevée par rapport aux autres racks ;
- Isolation de rack affecté ;
- Mesuré dans chaque membrane la conductivité utilisant un tuyau spécial, sans démonter les membranes ;
- Définir la membrane qui a une conductivité élevée ;
- Changement de membrane affectée en cas de phénomène de Téléscooping et changement de connecteur en cas de cassure.

V.2.3. Problème d'augmentation de TSS de l'eau de mer captée:

La station de dessalement de Ténès rencontre le problème d'augmentation de taux des matières solides en suspension (TSS) durant la période d'hiver, résultant des eaux chargées venues des deux oueds situés près de la station qui se déversent à la mer, le premier oued situé à 670m de la station (ouest), le deuxième à 2.8km (l'est de la station).

La valeur limite de TSS de la station est de 10 mg/l, le dépassement de cette dernière, oblige les responsables à arrêter complètement l'exploitation de l'usine ou produire un faible débit en cas le TSS dépasse légèrement le seuil.

D'après les responsables de la station, ce problème cause des pertes estimées à 2 millions dollars chaque année, en parallèle aux arrêts de l'exploitation pendant l'année.



Figure V.5: Photo satellitaire du premier oued qui se déverse vers la mer. [34]



Figure V.6: Photo satellitaire du deuxième oued qui se déverse vers la mer [34]

- **Remarque :** En cas d'arrêt de l'usine, les analyse de TSS se fait tous les 30 minutes durant les heures et les jours d'arrêt, attendant la diminution de TSS pour redémarrer l'exploitation de l'usine.



Figure V.7: L'oued se diverse vers la mer (2018)

V.2.3.1. Solutions proposées :

1) Eloigner le point de captage de l'eau de mer : pour éviter les eaux chargés en MES venant des oueds.

2) Mettre la coagulation-floculation-décantation en service a la phase prétraitement pendant la période d'hiver :

La coagulation et la floculation sont des traitements qui visent à optimiser l'élimination des particules en suspension par les procédés de décantation et de filtration. Ces traitements favorisent l'agrégation des particules colloïdales en larges et denses agrégats. Ils se déroulent en deux étapes principales à savoir la déstabilisation des particules et la collision des particules déstabilisées pour former des agrégats volumineux.

La décantation dans des bassins est nécessaire pour éviter le colmatage rapide des filtres à sable.

3) L'augmentation de la surface des filtres à sable : pour améliorer la capacité de filtration de la phase prétraitement.

4) Réaliser des forages pour la captation d'eau de mer naturellement filtrée.

Pour mettre ça en pratique il faut :

- ✓ Faire une prospection sur la zone et voir es ce qu'il y'a des forages et des terrains agricoles pour éviter le phénomène de l'intrusion marine ;
- ✓ Faire une étude géophysique pour déterminer la profondeur des forages à réaliser ;
- ✓ Un bon équipement pour réaliser les forages (à cause de la nature de terrain qu'il contient de sable).

5) Modification sur la prise d'eau :

- ✚ L'élévation de la prise d'eau :
 - Eviter le courant de densité des eaux chargées avec des particules qui vient des oueds en période d'hiver;
 - Eviter les courants et les vagues de fond qui met l'eau de fond en turbulence.

La solution de l'augmentation de la prise d'eau reste à prouver et pour mettre ça en pratique, il fallait faire des mesures de TSS en fonction de la profondeur au point de captage, et aux jours quand il y a un dépassement de la valeur de TSS 10mg/l.

Les mesures doivent être à chaque 1m de profondeur pour déterminer la hauteur optimale (c'est la hauteur de la moindre valeur de TSS de nos mesures), sans perturber le milieu. En fin, placer l'installation nécessaire pour stabiliser et protéger les conduites contre les vagues et le courant de fonds. (La section de captage ne doit pas installer à la surface de la mer, limitant l'entrée des particules flottantes).

Concernant les moyens utilisés pour la vérification et la détermination de la profondeur optimale, c'est l'instrument portatif TSS pour la turbidité/les matières en suspension de la marque HACH référence LXV322.99.00001, (n'existe plus au niveau de la station de Ténès).



Figure V.8: Instrument portatif TSS pour la turbidité/les matières en suspension, la marque HACH [45]

Installation actuelle de conduite et tour de captage:

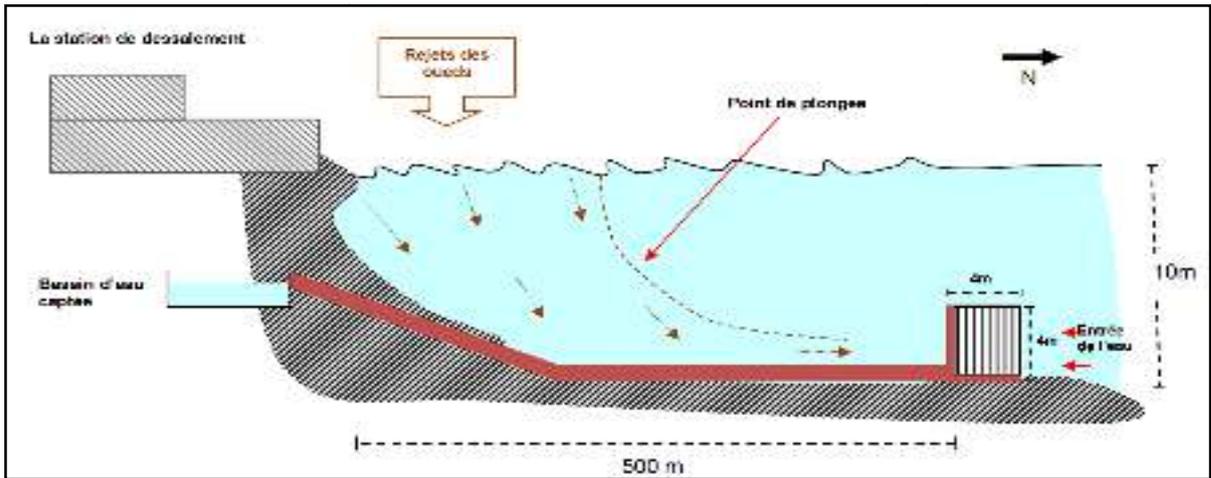


Figure V.9: Installation actuelle de captage d'eau de la station de Ténès

Conception de tour de captage actuelle :

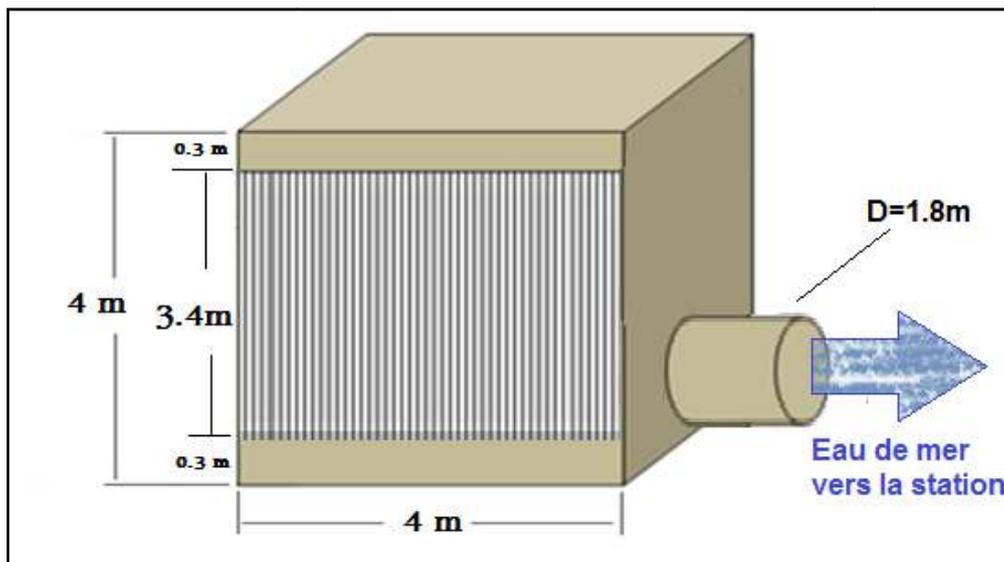


Figure V.10: Conception actuelle de tour de captage

Tableau V.1: Dimensions de tour de captage d'eau de mer actuelle.

Conception	Dimensions
Débit d'eau brute instantané	468 406 m ³ /j
Débit par prise	234 203 m ³ /j
Vitesse d'entrée au débit moyen	0.083 m/s

Barreaux 20 mm espacés à	100 mm c/c
Facteur d'encombrement	80 %
Surface requise d'entrée	32,6 m ²
Longueur totale de grille des 2 prises	24 m
Hauteur de grille des 2 prises	3,4 m

- **Vitesse actuelle d'eau captée :**

$$V_1 = \frac{Q}{S} = \frac{\frac{234\,203}{86400}}{3,4 * 3,2 * 3} = 0.083 \text{ m/s.}$$

Q : débit soutiré (m³/s);

D : diamètre de la conduite (m);

V₁ : vitesse de captage d'eau de mer a chaque conduite (m/s) ;

S : section de la conduite de captage (m²).

🏗️ Installations proposées :

a) Première proposition :

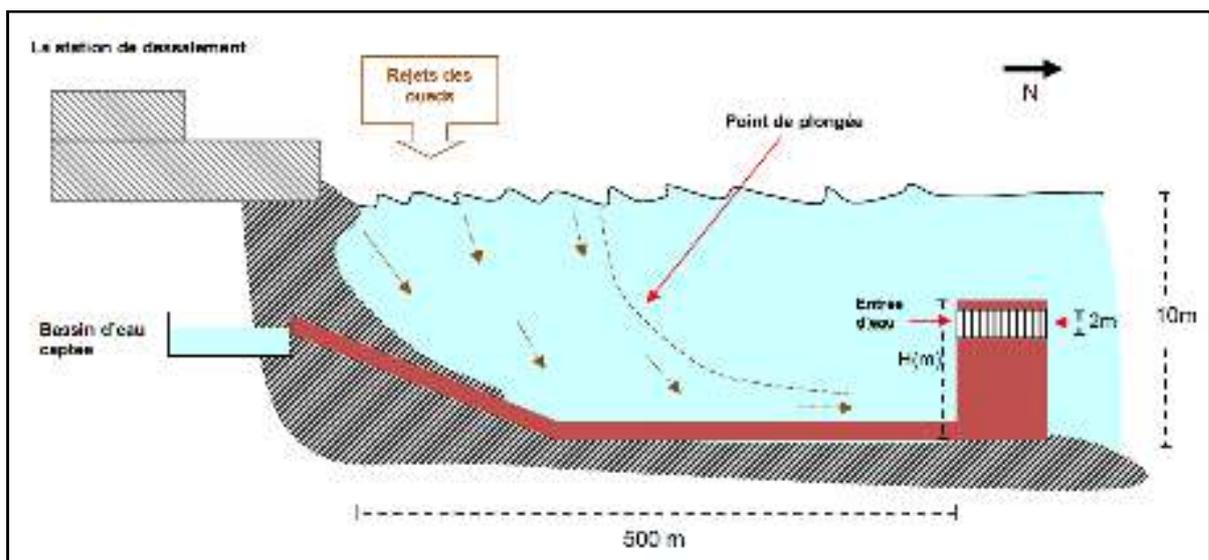


Figure V.11: Solution d'augmentation de la hauteur de la prise d'eau.

 Conception de tour de captage proposée :

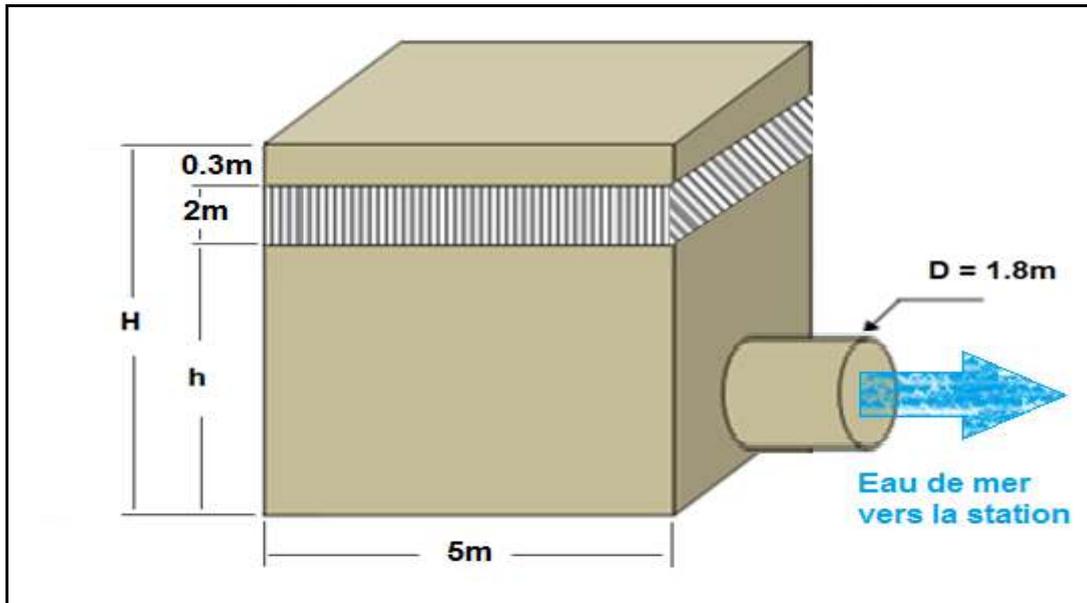


Figure V.11: Schéma de la tour de captage proposée pour chaque prise d'eau

- H (m) : hauteur totale de tour de captage tel que $H = h + 2 + 0.3$;
- h (m) : hauteur de prise d'eau (à déterminer utilisant l'appareil de mesure TSS en fonction de la profondeur) ;
- D (m) : diamètre de la conduite de captage ;
- Largeur de la grille de chaque face de tour : 5 m ;
- Hauteur de grille de chaque prise 2 m.

Tableau V.2: Dimensions proposées pour la tour de captage d'eau de mer

Conception	Dimensions
Débit d'eau brute instantané	468 406 m ³ /j
Débit par prise	234 203 m ³ /j
Vitesse d'entrée au débit moyen	0.085 m/s
Barreaux 20 mm espacés à	100 mm c/c
Facteur d'encombrement	80 %

Surface requise d'entrée	32 m ²
Longueur totale de grille des 2 prises	40 m
Hauteur de grille des 2 prises	2 m

▪ **Vitesse d'eau captée:**

$$V_2 = \frac{Q}{S} = \frac{234\,203}{\frac{84600}{16}} = 0.085 \text{ m/s.}$$

Q : débit soutiré (m³/s);

S : Section de tour de captage (m²);

V₂ : vitesse de captage d'eau de mer dans chaque prise (m/s).

b) Deuxième proposition :

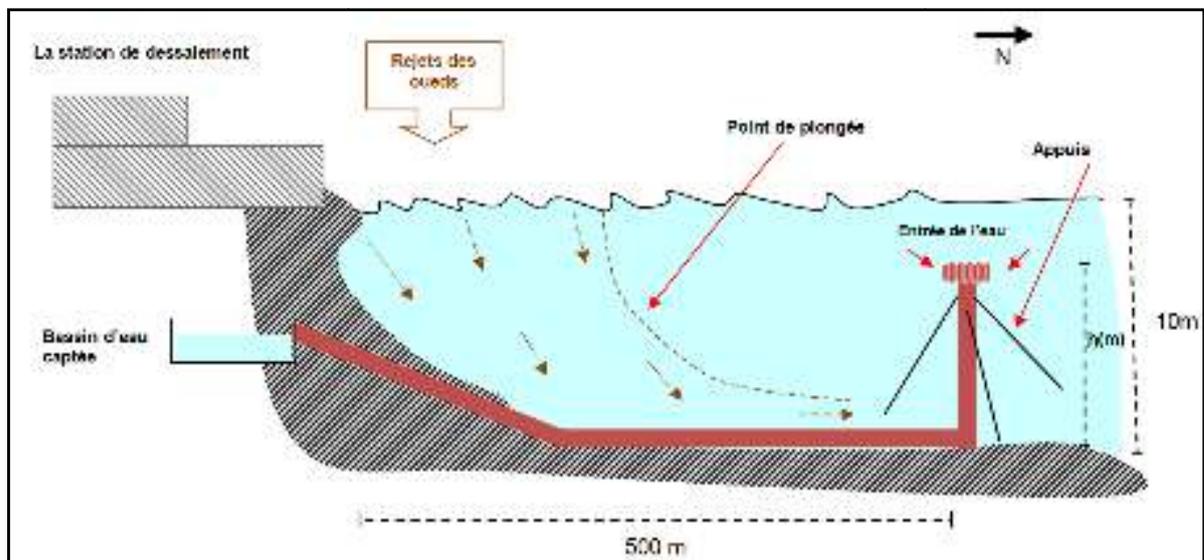


Figure V.13: Solution d'augmentation de la hauteur de prise d'eau utilisant des appuis

- h : a déterminé avec l'appareil de mesure TSS en fonction de la profondeur.

Cette installation ne pas se concentrer pas à la vitesse d'eau captée a la prise d'eau.

- **Remarque** : Faire une expérience sur un modèle réduit (physique) pour voir le rendement de la solution proposée.

6) Clarification des eaux de mer par flottation rapide, technologie « Seadaf » :

Le Seadaf est un flottateur à air dissous (DAF) qui clarifie les eaux de mer. Sa conception particulière permet de traiter des volumes d'eau très importants sur une faible surface au sol. Il s'agit du système de séparation des liquides/solides le plus moderne.

Le débit traité possible atteindre jusqu'à 4 fois supérieur à celui autorisé par un filtre. La technologie Seadaf est adapté à la clarification des eaux de mer pouvant présenter des pointes occasionnelles de matières en suspension et les algues.

Sur les grosses installations qui ont une prise d'eau en mer, ces eaux peuvent être chargées en algues, matières organiques et des matière en suspension, de façon saisonnière ou permanente nécessité d'avoir une chaine de filtration conventionnelle (filtre a sable) ou membranaire (filtre a cartouche) devant l'osmose inverse. Le Seadaf permet d'optimiser le fonctionnement de ces étapes de filtration et les pertes en eau associées.



Figure V.12: Clarification des eaux de mer par flottation rapide, technologie «Seadaf» ^[46]

✚ Principe de fonctionnement :

1. Coagulation : Chlorure Ferrique ou sulfate d'alumine. Temps de Coagulation =2 min ;

2. Flocculation hydraulique : Permet de créer un micro floc. Temps de flocculation = 6 min ;
3. Saturation : 9 à 12% de recirculation ;
4. Flottation : Formation d'un lit de bulles dans la zone de flottation ;
5. Faux plancher: Technologie brevetée. Vitesse de 25 m/h.

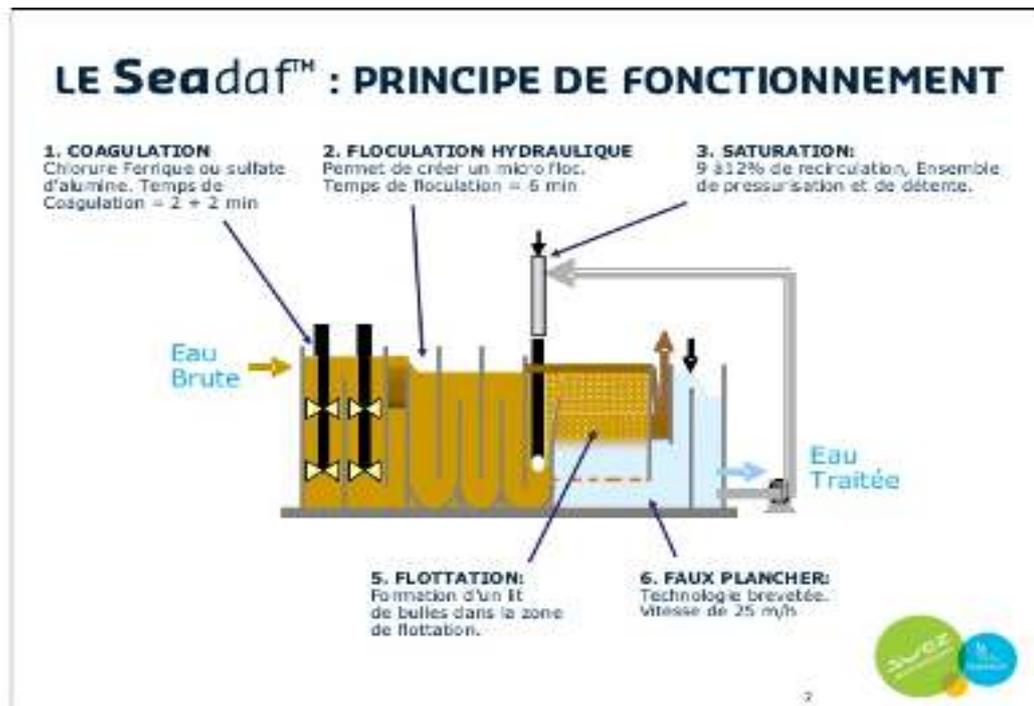


Figure V.13: Principe de fonctionnement de Seadaf [46]

Tableau V.3: Capacité de traitement d'eau avec la technologie Seadaf [46]

	Seadaf™	
Vitesse maximum de circulation (*)	30 m/h	40 m/h
Débit en m ³ /h	200 à 2 700	270 à 3 500
Temps nécessaire à la flocculation	5 à 10 min	

Les avantages du « Seadaf » pour les eaux de mers :

- ❖ Un traitement pour un large éventail de qualité d'eau de mer (pointes d'algues ou de solides en suspension).
- ❖ Un produit flexible : Supporte de fortes pointes occasionnelles de turbidité (jusqu'à 20 NTU)
- ❖ Le Seadaf est un produit facile à exploiter :

- Système d'évacuation hydraulique des boues qui limite les pertes en eau ;
- Entretien aisé (peu de mécanique, pas de modules lamellaires) ;
- Démarrage et arrêt instantanés sans précaution particulière (Fonctionnement ON/OFF) ;
- ❖ Très peu d'équipements électromécaniques en contact avec l'eau de mer grâce au réacteur flocculateur ;
- ❖ Un produit compact qui requiert moins d'espace au sol que la flottation conventionnelle.
- ❖ Le Seadaf dans les filières du dessalement permet de diminuer la fréquence de lavages des filtres à sable et unité d'OI.

 **Exemple des stations qui utilisent cette technologie:** [46]

- Al Dur (Bahreïn) – 218 000 m³/j
- Barcelone (Espagne) – 200 000 m³/j
- Minera Escondida (Chili) – 45 000 m³/j

V.3. L'impact de dessalement sur l'environnement

V.3.1. Type des rejets au niveau de la station :

C'est vrai que le dessalement offre une source d'eau inépuisable et peuvent compenser le déficit existant en eau potable, mais dans tous les stations, on trouve des rejets de type atmosphérique, chimique et saumure concentré, cette pollution va influencer sur le milieu, si pas a court terme peut être a long terme.

V.3.1.1. Rejets atmosphérique :

L'usine de dessalement produise le CO₂ pour l'ajustement de pH a la phase poste de traitement, la production de ce dernier se fait utilisant des combustibles fossiles et séparation du CO₂ du d'autres gaz émis.

V.3.1.2. Rejets chimique :

On trouve dans la station de dessalement des produits chimiques nécessaire a la production et la maintenance dans :

- la phase prétraitement : Meta-Bisulfite de sodium et l'antitartre.
- Lavage chimique des membranes d'osmose inverse : Na EDTA, Na OH, SLS, acide citrique et Biocide.

Certain produits chimiques disparaissent à cause des réactions chimiques existant lors de traitement et lors de processus maintenance.

Remarque : Les produits de lavage chimique rejetés à la mer avec des faibles quantités après les diluer avec l'eau de saumure.

V.3.1.3. Saumure concentrée :

Le rejet de la saumure au niveau de la station se fait sur une distance de 250m.

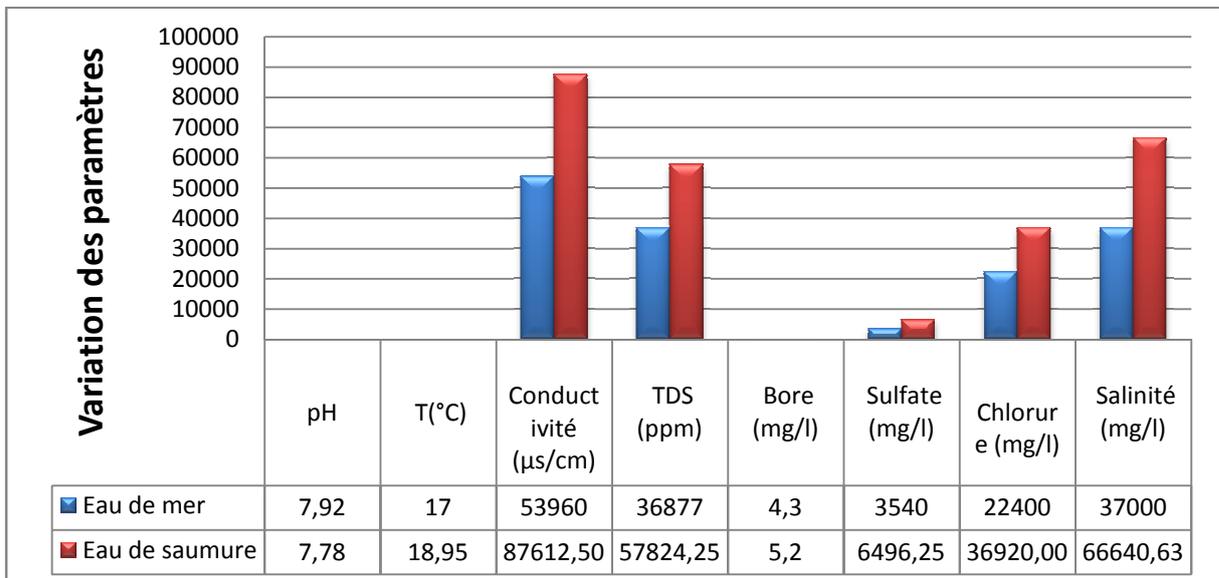


Figure V.16: Comparaison des concentrations paramètres d'eau de mer et d'eau de saumure.

D'après les analyses faites sur l'eau de mer et l'eau de saumure, la concentration des différents paramètres d'eau de saumure est presque le double par rapport à l'eau de mer.

V.3.2. L'impact sur l'environnement :

V.3.2.1. L'effet due la production de CO₂ :

La production par des combustibles présente pour l'environnement l'inconvénient d'émettre des polluants atmosphériques, la production de plusieurs

millions de mètres cubes par jour se traduirait par l'émission dans l'atmosphère de plusieurs milliers de tonnes de CO₂ par jour, ce qui influe sur l'atmosphère et provoque le réchauffement climatique.

V.3.2.2. L'effet due aux produits chimiques: [47]

Les produits chimiques rejeter chaque jour a la mer se traduise par une pollution permanent qui dérange la vie aquatique et la mettre en danger.

❖ Antitartre :

Il a été montré que les produits antitartre rejetés par les usines de dessalement provoquent l'eutrophisation à cause des polyphosphates. Ces produits peuvent donc induire une prolifération d'algues dans des milieux qui habituellement en comptent peu à la mer méditerranéenne, mais la question qui se pose, quelle est l'impact de ces algues sur la vie aquatique qui va traduire à un impact sur la santé humain?

❖ Métaux lourds :

Les rejets de saumure provenant des usines d'osmose inverse ne contenant que des traces de certains métaux lourds, la contamination du milieu induit est généralement peu importante et donc sans effets sur la faune et la flore.

❖ Métabisulfite de sodium :

La saumure contient également les résidus des produits chimiques ayant servi aux prétraitements, dont certains peuvent entraîner une acidification de l'eau, affectant certains organismes. Le métabisulfite de sodium, utilisé pour la déchloration de l'eau d'alimentation ou en tant que biocide, a également un effet toxique, sur le phytoplancton notamment.

❖ Les produits de lavage chimiques :

Les produits de lavage chimique ne son pas biodégradable, ils polluent l'environnement et peuvent rester pendant des années. Ces produits sont responsables de la morte et la perturbation du milieu.

V.3.2.3. L'effet due a la concentration de la saumure:

Les usines rejettent un énorme volume de saumure, ce qui est problématique compte tenu du fait que certains organismes marins sont très sensibles à la forte salinité, ils sont menacés par les rejets de saumure, ce qui pourrait entrainer à long terme la disparition de certains de ces organismes.

V.3.3. Recommandations :

Pour le rejet de la saumure il faut :

- 1) Eloigner la conduite de rejets ;
- 2) Choisir une zone tranquille ;
- 3) La mise en place de systèmes de diffuseurs afin de maîtriser la dilution de la saumure avec l'eau de mer, limitant spatialement la zone d'impact ;
- 4) La dilution de saumure avec l'eau de mer (2 à 3 volume d'eau de mer pour un volume de saumure) dans la conduite de saumure avant la rejeté a la mer.

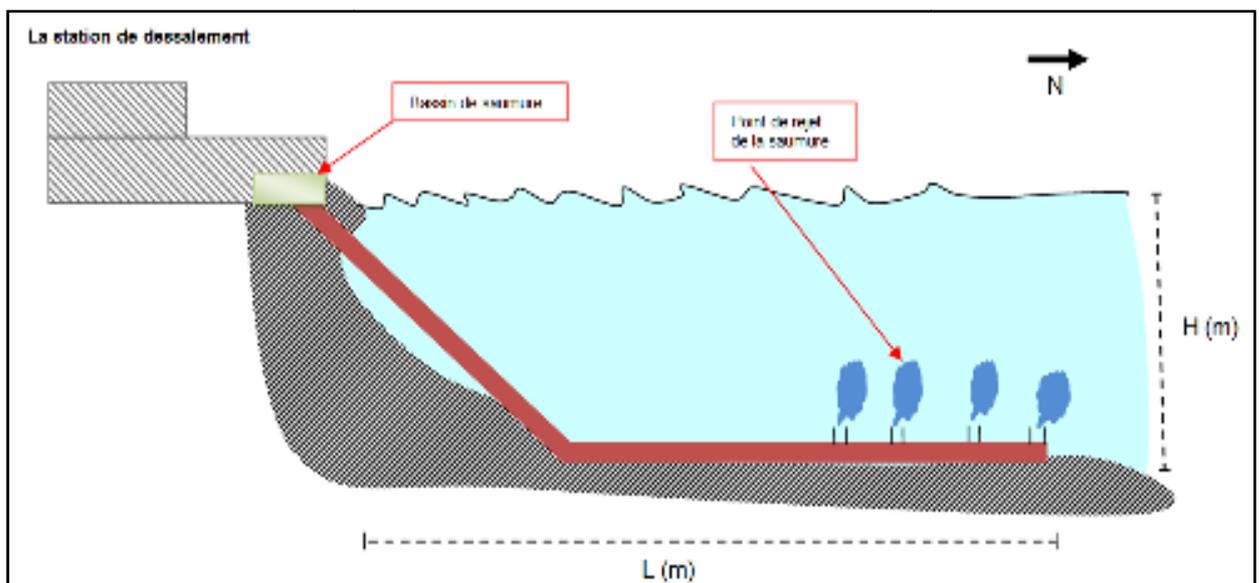


Figure V.14: Conduite de partage de l'eau de saumure au fond de la mer

V.4. Conclusion :

À l'issue de cette étude, nous avons constaté les dysfonctionnements de la station de dessalement de Ténès, qui réduira sa performance (le colmatage, l'absence de coagulation floculation et le problème d'augmentation de TSS d'eau captée).

Pour mettre en face à au problème de TSS, on a proposé des solutions pour résoudre ou bien améliorer la situation.

Dans ce chapitre on a cité les différents types du rejet et leur impact sur l'environnement. La comparaison de la qualité physico-chimique de la saumure et de l'eau de mer a montré l'augmentation de la salinité engendrée par le déversement de la saumure. Pour le cas de la station de Ténès, des efforts ont été consentis pour la protection de l'environnement, avant le rejet, la saumure est neutralisée et son pH ajusté à celui de l'eau de mer.

CHAPITRE V:

Problèmes d'exploitation
de la station et l'impact
sur l'environnement

CONCLUSION GENERALE

La démarche du dessalement est incontournable pour l'Algérie, car la majorité des spécialistes disent que c'est la ressource de XXI siècle.

Le dessalement est une bonne solution pour l'Algérie, vu l'explosion démographique et la croissance économique entraînant une demande en eau qui dépasse de très loin les ressources disponibles.

Cette étude, bien que limitée dans le temps, nous a permis de réaliser certains objectifs concernant le fonctionnement de la station de dessalement d'eau de mer de Ténès, wilaya de Chlef.

Nous avons effectué une série d'analyses d'eau douce produite, et on a constaté que la qualité d'eau produite conforme aux normes Algérienne de potabilité.

Après faire un diagnostic des différentes étapes de processus de dessalement, on a montré les dysfonctionnements, les plus essentiels sont :

- L'absence de coagulation-floculation-décantation ;
- Le colmatage des filtres à sable, ça solution est le nettoyage par retour d'air et d'eau utilisant l'eau de saumure et l'eau de mer ;
- Le colmatage des filtres à cartouche, qui nécessite un changement des cartouches colmatées ;
- Le colmatage des membranes d'OI, ça solution est le nettoyage chimique ;
- Le phénomène de Téléscooping dans les membranes d'OI, il faut un changement de la membrane affecté.
- Cassure des raccords qui relient les membranes, la solution est la réparation ou le changement du raccord.

- Le grand problème de la station est durant la période d'hiver comme le TSS augmente à cause des rejets des deux oueds situés près de la station, l'un a 668m et l'autre de 2.8km, les solutions proposées sont :
 - ✓ Eloignement du point de captage de l'eau de mer ;
 - ✓ Mettre la coagulation-floculation-décantation en service au période d'hiver ;
 - ✓ Réaliser des forages pour la captation d'eau de mer ;
 - ✓ L'augmentation de la surface des filtres à sable ;
 - ✓ Utiliser la technologie DAF (Seadaf) a la phase prétraitement ;
 - ✓ L'élévation de la hauteur de tour de captage et l'augmentation de la surface d'entrée d'eau de mer.

Les solutions proposées nécessitent une étude économique, en prenant en considération l'efficacité de chaque solution pour résoudre le problème.

D'après la comparaison des analyses de saumure à celles de l'eau de mer, on a illustré la grande différence entre eux, ainsi que l'impact de la saumure et les rejets chimiques sur l'environnement, d'après ça, on voit qu'il ne faut pas penser seulement à la quantité d'eau produite pour juste satisfaire le besoin, et ignorer la quantité des rejets qui menacent l'environnement et qui peuvent nous envoyer vers un scénario de catastrophe d'environnement et de santé, donc il nous faut des études très approfondies et une vue globale par rapport à cette pollution sur différentes formes.

Liste des abréviations

km² : Kilomètre au carré

km³ : Kilomètre au cube

g/l : gramme par litre

pH : Potentiel d'Hydrogène

MED : distillation à multiples effets

DMF : distillation a multi flashe

MSF : distillation par détetes successive

MSF: Multi Stage Flash

OI : Osmose Inverse

ED: Electrodialyse

MES : matières en suspension

RN : La Route Nationale

ppm : Partie par million

mm/an : Millimeter par an

m³/j : Mètre cube par jour

km : Kilomètre

m³/an : Mètre cube par an

BOT : Build Operation and Transfer

AEC : Algérien Enery Company

m/s: Millimeter par second

m/h : Mètre par heure

µm : micro mètre

µs/cm : microsiemens par centimètre

SDI : Silt Density Index (indice de colmatage)

NTU: Unité Néphrélométrique de Turbidité

mg/l : Milligramme par litre

ERI : Energy Recovery INC

Kg/h : kilogramme par heure

l/h : litre par heure

ADE : Algérienne Des Eaux

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

T : Température

TDS: Solides Totaux Dissous

TH : Titre Hydrométrique (la dureté totale)

TAC : Titre alcalimétrique complet

LSI : Indice de Langelier de saturation

EDTA: Ethyle Diamine Tétra Acitique

TSS : Total des matières solides en suspension

S: Salinité

V : volume

Hab : Habitant

FAD (DAF) : Flottation à air dissous

Liste des figures

CHAPITRE I : Généralités sur le dessalement.

Figure I.1 : Principaux composés des sels dans l'eau de mer	03
Figure I.2 : Organigramme des procédés de dessalement	04
Figure I.3 : Principe de distillation à simple effet	05
Figure I.4 : principe de distillation à multiples effets	06
Figure I.5 : Principe de Distillation à multi flash	07
Figure I.6 : Principe de distillation par compression de vapeur	08
Figure I.7 : Principe de l'électrodialyse	09
Figure I.8 : Principe de l'osmose inverse.....	10
Figure I.9 : Installation générale de l'osmose inverse	11
Figure I.10 : Structure d'une membrane d'osmose inverse	11
Figure I.11 : Principe d'échange d'ions	13
Figure I.12 : Domaine d'utilisation des différentes techniques de déminéralisation en fonction de la salinité de l'eau à traiter	14

CHAPITRE II : Le dessalement en Algérie

Figure II.1 : Les 5 bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord	17
Figure II.2 : Situation géographique des grandes stations en Algérie.....	24

CHAPITRE III : Etude de cas de la station de Ténès (W.Chlef)

Figure III.1 : Situation géographique de la station de Ténès	27
Figure III.2 : Photo satellitaire de la station de Ténès	28
Figure III.3 : Les entreprises qui gèrent la station de dessalement de Ténès	29
Figure III.4 : Schéma explicatif du processus de dessalement de la station de Ténès.....	30
Figure III.5 : La prise d'eau et les pompes de captage d'eau de mer.....	31
Figure III.6 : Les filtres à sable de la station de dessalement de Ténès	32
Figure III.7 : Image explicative d'un filtre à sable.....	33

Figure III.8 : Poste d'injection des produits chimique.....	34
Figure III.9 : Pompage intermédiaire.....	35
Figure III.10 : Les filtres à cartouches	35
Figure III.11 : Contrôle de qualité de l'eau filtré	36
Figure III.12 : Les racks dans le bâtiment d'osmose inverse.....	37
Figure III.13 : Pompe à haute pression	38
Figure III.14 : Système de récupération d'énergie.....	39
Figure III.15 : Point d'injection de chaux et de CO_2	39
Figure III.16 : Contrôle de qualité d'eau produite en ligne	40
Figure III.17 : Pompage d'eau produite.....	41
CHAPITRE IV : Analyses et interprétations de la qualité de l'eau produite	
Figure IV.1 : Appareil de mesure pH, Conductivité, et Température (mai 2018)....	44
Figure IV.2 : Appareil de mesure de sulfate et TSS (mai 2018).....	46
Figure IV.3 : Turbidimètre (NTU) (mai 2018).....	48
Figure IV.4 : Appareil de mesure du chlore libre (mai 2018).....	51
Figure IV.5 : Comparaison du pH de l'eau produite et la norme.....	52
Figure IV.6 : Comparaison de la température de l'eau produite et la norme.....	53
Figure IV.7 : Comparaison de la conductivité de l'eau produit et la norme.....	53
Figure IV.8 : Comparaison de TDS de l'eau produit et la norme.....	54
Figure IV.9 : Comparaison de la dureté totale de l'eau produite et la norme.....	54
Figure IV.10 : Comparaison de bore de l'eau produite et la norme.....	56
Figure IV.11 : Comparaison de turbidité de l'eau produite et la norme.....	57
Figure IV.12 : Comparaison de calcium de l'eau produite et la norme.....	58
Figure IV.13 : Comparaison de chlore libre de l'eau produite et la norme.....	59
Figure IV.14 : Comparaison de l'alcalinité de l'eau produite et la norme.....	60
Figure IV.15 : Comparaison du Magnésium de l'eau produite et la norme.....	61
Figure IV.15 : L'indice de Langelier de l'eau produite.....	62

CHAPITRE V : Problèmes d'exploitation de la station et l'impact sur l'environnement

Figure V.1: Perte de charge par rapport à la longévité	65
Figure V.2: Installation d'équipement de nettoyage chimique	68
Figure V.3: Tube des membranes d'OI avec les connecteurs	69
Figure V.4: Phénomène de Téléscooping dans les membranes d'OI	68
Figure V.5: Photo satellitaire du premier oued qui se déverse vers la mer	70
Figure V.6: Photo satellitaire du deuxième oued qui se déverse vers la mer	71
Figure V.7: L'oued se déverse vers la mer	71
Figure V.8: Instrument portatif TSS pour la turbidité/les matières en suspension la marque HACH.....	73
Figure V.9: Installation actuelle de captage d'eau de la station de Ténès.....	74
Figure V.10: Conception actuelle de tour de captage	74
Figure V.11: Solution d'augmentation de la hauteur de la prise d'eau.....	75
Figure V.12: Schéma de la tour de captage proposée pour chaque prise d'eau..	76
Figure V.13: Solution d'augmentation de la hauteur de prise d'eau utilisant des appuis	77
Figure V.14: Clarification des eaux de mer par flottation rapide, technologie «Seadaf».....	78
Figure V.15: de fonctionnement de Seadaf	79
Figure V.16: Comparaison des concentrations paramètres d'eau de mer et d'eau de saumure.....	81
Figure V.17: Conduite de partage de l'eau de saumure au fond de la mer.....	83

Liste des tableaux

CHAPITRE II : Le dessalement en Algérie

Tableau II. 1: Disponibilité annuelle en eau par habitant	16
Tableau II.2: Stations exploitées par le Ministère des ressources en eau	20
Tableau II.3: Stations exploitées par SONALGAZ	20
Tableau II.4: Stations exploitées par Sonatrach	21
Tableau II.5: Stations installées par d'autres compagnies	22
Tableau II.6: Les 11 mégas stations de dessalement d'eau de mer actuellement en exploitation	23
Tableau II.7: Les stations Monoblocs du dessalement d'eau de mer actuellement en exploitation.....	24

CHAPITRE III : Etude de cas de la station de Ténès (W.Chlef)

Tableau III.8: Caractéristiques techniques de l'usine	29
Tableau IV.9: Normes de potabilité d'OMS	51

CHAPITRE IV : Analyses et interprétations de la qualité de l'eau produite

Tableau IV.10: Résultats du pH de l'eau produite.....	52
Tableau IV.11: Résultats de température de l'eau produite	52
Tableau IV.12: Résultats de la conductivité électrique de l'eau produite	53
Tableau IV.13: Résultats de TDS de l'eau produite	54
Tableau IV.14: Résultats de la dureté totale de l'eau produite	55
Tableau IV.15: Résultats de bore de l'eau produite	55
Tableau IV.16: Résultats de la turbidité de l'eau produite	56

Tableau IV.17: Résultats de Calcium en CaCo_3 de l'eau produite	57
Tableau IV.18: Résultats de chlore libre de l'eau produite	58
Tableau IV.19: Résultats de l'alcalinité de l'eau produite	59
Tableau IV.20: Résultats de magnésium de l'eau produite	60
Tableau IV.21: Résultats de l'indice de Langelier de l'eau produite	61
Tableau IV.22: Fourchette d'équilibre de l'indice de Langelier	61

**CHAPITRE V : Problèmes d'exploitation de la station
et l'impact sur l'environnement**

Tableau V .23: Dimensions de tour de captage d'eau de mer actuelle.....	74
Tableau V .2: Dimensions proposées pou la tour de captage d'eau de mer.....	76
Tableau V .3: Capacité de traitement d'eau avec la technologie Seadaf.....	79

➤ **Référence :**

[01] : www.futura-sciences.com

[02] : Mr.BESSENASSE Mohamed « Dessalement de l'eau de mer: une variation incontournable pour l'algérie » La Houille Blanche (2009)

[03] : « Historique du Dessalement ». <https://tpedessalementmaroc.weebly.com>
(Consulté en février 2018)

[04] : Article rédigé par Viviane Renaudin, Le Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. 06/2018

[05] : René Quinton: "L'eau de mer - milieu organique". Ed. Masson 1912 . Ed. ENCRE 1995.

[06] : Maurel A., « Le Dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre », 2 ème édition :2006.

[07] : « La distillation ». <http://tpebdmw.e-monsite.com>. (Consulté en mars 2018)

[08] : « Tout pour dessaler de l'eau de mer ». <http://tpe-osmose.e-monsite.com>
(consulté en mars 2018)

[09] : First Edition « Desalination of Seawater ». American Water Works Association,2011

[10] : TATA-DUCRU, F. (2009): « Dessalement de l'Eau de Mer: Bilan des Dernieres Avancés Technologiques ; Bilan Economique; Analyse Critique en Fonction des Contextes». Paris: Agence Francaise de Developpement. Ed : 2012.

[11] : V. RENAUDIN, « Le Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres » CNRS, Nancy 2003.

[12] : « Distillation ». <http://www.separationprocesses.com>, (consulté en mars 2018)

[13] : « Distillation par compression de vapeur ». <http://dessalementunisie.e-monsite.com>, (consulté en mars 2018)

[14] : « Distillation par compression de vapeur » <https://tpedessalementntmaroc.com>
(consulté en mars 2018)

[15] : Anouar Rich, Youssef Mandri, « Dessalement des eaux marines et saumâtres par congélation», Mars 2017

[16] : Maurel A. « Dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre », 1ère édition :2006

[17] : <http://tpebdmw.e-monsite.com> (consulté en mars 2018)

[18] : « L'osmose inverse ». <https://dessaleaumer.weebly.com>, (Consulté en avril 2018)

[19] : « Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». <http://culturesciences.chimie.ens.fr> (Consulté en mars 2018)

[20] : « Travaux bei beiere book export ». <http://hmf.enseeiht.fr>, (consulté en avril 2018)

[21] : Jean-Marc BERLAND et Catherine JUERY. « Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau ». Décembre 2002

[22] : PATRICK DANIS Ingénieur ENSIA « France Techniques de l'Ingénieur, traité Génie des procédés ».

[23] : <http://www.ade.dz>, « dessalement de l'eau de mer ». (Consulté en avril 2018)

[24] : NICHANE, M., KHELIL M.A. (2014) « Changements climatiques et ressources en eau en Algérie : vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation ». Revue des Bio Ressources Vol 4 N° 2 Décembre 2014.

[25] : MORGAN MOZAS et ALEXIS GHOSN « Etat des lieux du secteur d l'eau en Algérie ». Octobre 2013.

[26] : Algérie presse service, « Les chiffres clés du secteur de l'eau et de l'assainissement en Algérie », 2015.

[27] : Ministre des ressources en eau, Hocine Necib, en août 2017.

[28] : N.SABER, « l'eau, c'est la vie ». Energie et mines,Avril 2004.

[29] : Centre de développement des énergies renouvelables (CDER), 2009.

[30] : « Dessalement d'eau de mer : 2 projets de grandes stations à El Tarf et Zeralda sont à l'étude ». www.radioalgerie.dz. Le 24/12/2017.

[31] : A.D.E, Kouba, wilaya d'Alger.

[32] : Forum mondial de l'eau: le ministre des ressources en eau, Necib présente l'expérience algérienne à Brasilia, 20 mars 2018.

[33] : M. Necib, ministre des ressources en eau à la radio Chaine 3, en marge d'une journée technique sur la gestion de l'activité de dessalement de l'eau de mer, organisé à l'Ecole de formation du Groupe Sonelgaz à Ben Aknoun. Le 23/12/2017

[34] : Google Maps (Consulté en mai 2018)

[35] : ONM de Dar El-Beida période (1995-2005)

[36] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ténès>

[37] : Document de la station, « Construction et exploitation d'une usine de dessalement d'eau de mer de Ténès ».

[38] : Document de la station, « Manuel de formation des exploitants d'usines de dessalement par le procédé d'osmose inverse ».

[39] : « le dessalement d'eau de mer et des eaux saumâtres ». encyclopedie-energie.org

[40] : <https://www.wikipedea.com>

[41] : Document de laboratoire de la station de ténès

[42] : Journal officiel de la republique d'Algérienne N13

[43] : « Maintenance et Nettoyage des membranes d'osmose inverse ». <https://www.lennotech.fr> (Consulté en mai 2018)

[44] : « Phénomène de Téléscooping ». <http://www.roplant.org>, (consulté en mai 2018)

[45] : <https://www.hach.com> (Consulté en mai2018)

[46] : « Technologies-degrement R/dessalement flottation clarification des eaux de mer par flottation rapide-Seadaf ». <https://www.suezwaterhandbook.fr> (Consulté en mai 2018)

[47] : « Dessalement.php ». <http://www.ecotoxicologie.fr> (Consulté en mais 2018)

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Résumé	
Introduction générale	

CHAPITRE I: Généralités sur le dessalement

I.1. Introduction	01
I.2. Historique de dessalement	01
I.3. Différents eaux salines	02
I.3.1. Caractéristiques d'eau de mer	02
I.3.2. Caractéristiques des eaux saumâtres	03
I.4. Définition du dessalement.	03
I.5. Les différents procédés de dessalement	04
I.5.1. Procédé thermique	05
I.5.1.1. La distillation	05
I.5.1.1.1. Distillation à simple effet	05
I.5.1.1.2. Distillation à effets multiples (Multi Effet Distillation MED)	05
I.5.1.1.3. Distillation à multi flash.	06
I.5.1.1.4. Distillation par compression de vapeur	07
I.5.1.2. La congélation	08
I.5.2. Les procédés qui utilisent des membranes	08
I.5.2.1. Electrodialyse	08
I.5.2.2. Osmose inverse	09
I.5.2.2.1 Définition de la membrane	11
I.5.2.2.2 Type des membranes	11
I.5.3. Les procédés qui agissent sur les liaisons chimiques	12
I.5.3.1 Echange d'ions.	12
I.6. Critères de choix d'un procédé de dessalement	13

I.6.1 Critères économiques	14
I.6.2 Critères techniques	14
I.7. Conclusion	15

Chapitre II : Le dessalement en Algérie

II.1. Introduction	16
II.2. Les ressources hydriques en Algérie	16
II.2.1. La répartition des ressources en eau	17
II.3. Les avantages et les inconvénients de dessalement en l'Algérie	18
II.3.1. Avantages	18
II.3.2. Inconvénients	18
II.4. L'expérience algérienne en matière de dessalement	19
II.4.1. Stations exploitées par le Ministère des ressources en eau.....	20
II.4.2. Stations installées par la Compagnie «SONELGAZ».....	20
II.4.3. Stations installées par la Compagnie «SONATRACH».....	20
II.4.4. Stations installées par d'autres Compagnies.....	22
II.4.5. Stations en exploitation	22
II.4.5.1. Mégas stations	22
II.4.5.2. Stations Monoblocs	24
II.4.6. Plan de réalisation des usines de dessalement	25
II.4.7. Stations en cours de réalisation	25
II.5. Conclusion	25

Chapitre III : Etude de cas de la station de Ténès (W.Chlef)

III.1. Introduction.....	27
III.2. Présentation de la zone d'étude.....	27
III.2.1. Situation géographique et climatique.....	27
III.2.1.1. La géographie.....	27
III.2.1.2. Le climat	27
III.2.2. Population.....	28
III.2.3. Localisation de la station de dessalement de Ténès	28
III.3. L'importance de la station de dessalement dans la zone	29
III.4. Présentation de la station de dessalement de Ténès.....	29
III.4.1. Caractéristiques techniques de l'usine	29

III.5. Processus de dessalement de la station	30
III.5.1. Le captage d'eau de mer.....	31
III.5.1.1. Désinfection.....	31
III.5.2. Le prétraitement	32
III.5.2.1. Filtration à sable	32
III.5.2.1.1. Type de filtre à sable.....	33
III.5.2.1.2. Qualité de l'eau filtrée.....	33
III.5.2.1.3. Réactifs après les filtra à sable.....	33
III.5.2.2. Filtration à cartouches	35
III.5.3 Osmose inverse.....	36
III.5.4 Post-traitement	39
III.5.4.1. Désinfection de l'eau produite	39
III.5.4.2. La reminéralisation	39
III.5.4.3 Réservoir d'eau traitée	40
III.5.5. Pompage d'eau produite	40
III.6. Conclusion.....	41

Chapitre IV: Analyses et interprétations de la qualité de l'eau produite

IV.1. Introduction.....	42
IV.2. Les paramètres de qualité d'eau produite	42
IV.3. Les analyses de l'eau produite	44
IV.3.1. Matériels et méthode	44
IV.3.2. Résultats et interprétation.....	52
IV.4. Conclusion	62

Chapitre V: Problèmes d'exploitation de la station et l'impact sur l'environnement

V.1. Introduction.....	63
V.2. Les problèmes rencontrés dans la station de Ténès	63
V.2.1. Le colmatage	63
V.2.1.1. Le colmatage des filtres à sable	64
V.2.1.1.1. L'opération de décolmatage des filtres à sable	64
V.2.1.3. Le colmatage des filtres a cartouche.....	65

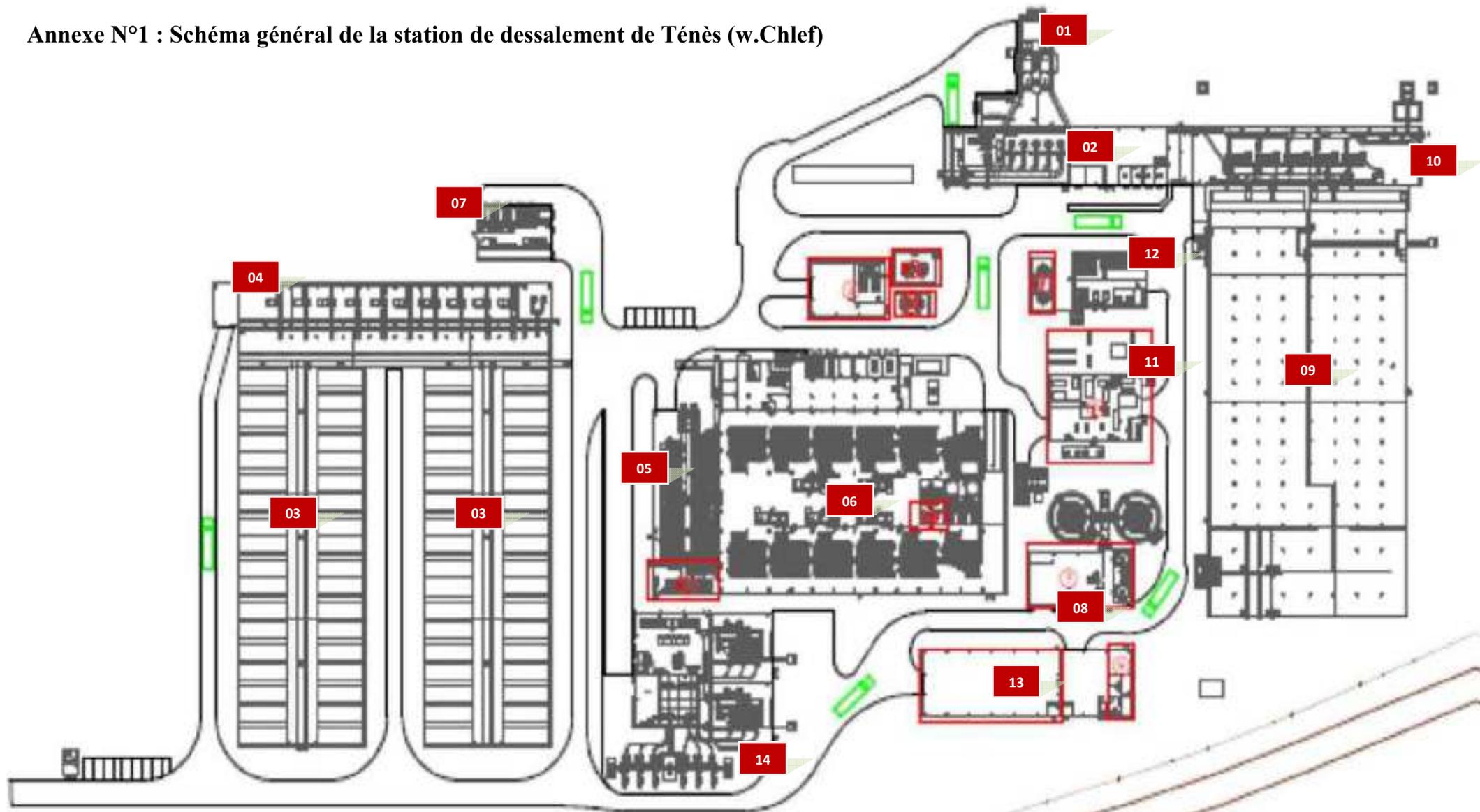
V.2.1.4. Le colmatage des membranes d'osmose inverse.....	66
V.2.1.4.1. Le nettoyage chimique	66
V.2.2. L'augmentation de la salinité de perméat après les modules d'OI.....	68
V.2.3. Problème d'augmentation de TSS de l'eau de mer captée.....	70
V.2.2.1. Solutions proposées	72
V.3. L'impact de dessalement sur l'environnement	80
V.3.1. Type des rejets de la station	80
V.3.1.1. Rejets atmosphérique	80
V.3.1.2. Rejets chimique	80
V.3.1.3. Saumure concentré	81
V.3.2. L'impact sur l'environnement	81
V.3.2.1. L'effet dû à la production de CO ₂	81
V.3.2.2. L'effet dû aux produits chimiques.....	82
V.3.2.3. L'effet dû a la concentration de la saumure.....	83
V.3.3. Recommandations.....	83
V.4. Conclusion	84

Conclusion générale

Références bibliographiques

Annexes

Annexe N°1 : Schéma général de la station de dessalement de Ténès (w.Chlef)



01	Dégrillage grossier	04	Pompage pour filtres a cartouche	07	Pompes booster	10	Pompage de l'eau produite	13	Laboratoire
02	Pompage pour filtres à sable	05	Filtres à cartouche	08	La remineralisation	11	Production de CO2	14	Centrale électrique
03	Filtres à sable	06	Modules d'osmose inverse	09	Bassin de stockage de l'eau produite	12	Production du chlore		