

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Abdelhamid ibn Badis University of  
Mostaganem

Faculty of Nature and Life Sciences

Department of agronomy



جامعة عبد الحميد ابن باديس

كلية علوم الطبيعة و الحياة

قسم العلوم الفلاحية

DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE

N° \_\_\_\_\_ /AGRO/2023

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

Melle BOUAZIZA Salima

En vue de l'obtention du diplôme de

Master Académique en Agronomie

Spécialité : AMÉNGEMENT HYDRO-AGRICOLE

THÈME

**Organisation et principe de fonctionnement de la station de  
dessalement des eaux de mer de la ville de Ténès**

Devant le JURY :

Soutenu publiquement 09/10/2023

Président

Mr TAYEB CHERIF AEK

M.A.A

U. Mostaganem

Examinatrice

Mme BENOUDAH Salima

M.C.B

U. Mostaganem

Encadreur

Mr BENFETTA Hassen Nouredine

Professeur

U. Mostaganem

Année Universitaire : 2022 /2023

## *Remerciements*

*Merci tout d'abord à Dieu, Tout puissant qui m'a donné la santé pour entreprendre*

*Cette mémoire*

*Je remercie très sincèrement toute ma famille de son soutien combien très important*

*Durant la préparation de ce travail.*

*J'exprime mon immense gratitude et mon grand respect à **monsieur BENFETTA.***

*.H mon*

*Directeur de mémoire qui a bien voulu m'encadrer, correctrice infatigable, rigoureuse dans le*

*Travail, toujours disponible et conseillée avisée, je n'aurais guère assez de mots pour lui*

*Transmettre toute ma reconnaissance.*

*Je tiens à rendre un vibrant hommage à Monsieur, **ALIMRINA. S** Directeur du*

*Station de dessalement, à l'ensemble du personnel du laboratoire*

***Melle BOUZEKRI. A & Mr OUDANE. M,***

*Je remercie également les membres de jury Messieurs **Pr LARID MOHAMMED** et*

***Dr TAYEB CHERIF ABDELKADER***

*Qui ont accepté d'examiner mon travail.*

*Je remercie chaleureusement tous mes enseignants sans exception pour la formation*

*Qu'ils m'ont donnée du primaire jusqu'au Master.*

*Enfin, je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous mes amis pour leurs*

*Encouragements.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mon père, école de mon enfance, mon professeur de toujours qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.*

*A celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse et de force, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, ma mère ... Que dieu les gardes et les protèges.*

*A ma sœur NAZIHA qui m'a toujours soutenu et encouragé à voire loin et ne jamais perdre espoir*

*A tous mes amis, en particulier : HANA, FELLA, SAFIA, HADIL,*

*A tous mes oncles et tantes, cousins et cousines, toute les familles BOUAZIZA & BENACHOUDA...*

*A tous mes camarades de la classe, A tous ceux qui me connaissent*

*BOUAZIZA SALIMA*

## ***Table des matières***

Table des figures .....	8
Listes des tableaux .....	9
Liste des Abréviations : .....	10
Résumé : .....	13
Introduction générale.....	15

### ***Partie I Recherches bibliographique***

#### ***Chapitre I***

##### Généralité sur le dessalement des eaux de mer

I.1- Introduction .....	17
I.2- Caractéristiques des eaux marines et saumâtres.....	18
I.2.1- Les eaux marines .....	18
I.2.2- Les eaux saumâtres.....	18
I.3- Les principales technologies de dessalement des eaux .....	19
I.3.1- L'osmose inverse.....	19
I.3.1.1- Principe de l'osmose inverse .....	20
I.3.1.2. Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.....	22
I.3.2. l'électrodialyse.....	23
I.4- Les procédés de distillation .....	25
I.4.1- Le procédé de distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF) .....	25
I.4.2- Le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED). .....	27
I.4.2.1- Plusieurs technologies d'évaporateurs multiples effets existent : .....	28
I.4.2.2.-La compression de vapeur (MVC, TVC) : .....	28
I.4.2.3.-Compression mécanique de vapeur (MVC) : .....	30
I.4.2.4-Thermocompression de vapeur : .....	31
I.5-Les nouvelles techniques de dessalement des eaux de mer .....	32
Conclusion.....	32

**CHAPITRE II**  
**UNITE DE DESSALEMENT DE TENES**

II. Introduction.....	35
II.1- Stations de dessalement en Algérie .....	35
II.2- Description de la station de Ténès .....	37
II.2.1-Présentation de la commune de Ténès.....	38
II.2.1.2-Situation géographique de Ténès.....	38
II.2.1.3-Cadre climatique.....	38
II.3.1-Situation géographique et la topographie de la station de dessalement .....	38
II.3.2-Topographie du site .....	38
II.3.3-Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer (Ténès).....	39
II.4.1-Tours et tuyauterie de captage .....	43
II.4.2- Description et fonctionnement normal des installations des procès .....	43
II.4.2.1- Conditionnement chimique .....	44
II.4.2.2- Sous système de filtration .....	45
II.4.2.3 Filtration à sable.....	46
II.2.2.4- Système de microfiltration .....	46
II.4.2.5-Filtre à cartouche (micro-filtres).....	47
II.2.2.6- Système l'osmose inverse .....	47
II.4.2.7-La membrane .....	49
II.2.2.8- Système de Pompage Haut Pression, Pompe Booster et Récupérateur d'Energie.....	50
II.2.2.9-Châssis d'osmose inverse .....	51
II.2.2.10-Nettoyage chimique .....	52
II.4.2.10.1-Lavage chimique .....	53
II.4.2.10.2-Les procédures de nettoyage chimique et de désinfection des membranes .....	54

II.4.2.10.3-Procédures de protection des membranes en cas d'arrêt de la production .....	54
II.4.2.10.4-Les solutions de nettoyage .....	55
II.4.2.10.5- Procédures de désinfections .....	55
II.4.2.10.6-Les différentes étapes d'un nettoyage chimique .....	55
II.4.2.11- Système de ré minéralisation et conditionnement de l'eau osmotique .....	55
II.4.2.11.1-Reminéralisations .....	56
II.4.2.11.2-Préparation de la chaux liquide .....	57
II.4.2.11.3- Production de CO <sub>2</sub> .....	58
II.4.2.11.4-Chloration .....	58
II.4.2.11.5-Stockage et pompage d'eau dessalée .....	59
II.4.2.12 - Système de recirculation du ré minéralisation .....	58
Conclusion.....	60

### CHAPITRE III

#### CONTROLE DE QUALITE

III. Introduction.....	62
III.1-Analyse physico-chimique : .....	61
III.1.1-Mesure de la température : .....	62
III.1.2-Mesure du pH : .....	62
III.1.3-Mesure la turbidité : .....	63
III.1.4- Mesure de la conductivité : .....	64
III.1.5- Détermination de la dureté de l'eau : .....	64
III.1.6- Détermination du titre d'alcalinité TA .....	66
III.1.7-Dosage de Calcium et de Magnésium .....	67
III.1.8 -Mesure de la matière totale dissoute MTD.....	70
III.1.9-Mesure de la matière en état stationnaire MES : .....	70
III.1.10-Mesure de la Chlorine .....	70

III.1.11-Le PH-mètre .....	71
III.1.12-Mesure de sulfate et TSS.....	72
III.2- La conductivité électrique .....	74
III.2.1 - Mesure de la conductivité :.....	74
III.2.1.2-La mesure nécessite :.....	74
III.2.2-Les différentes problématiques de conductivité et les solutions proposées .....	75
III.2.2.1- Problématiques de conductivité.....	75
III.2.2.2- Les principaux raisons de l'augmentation de la conductivité des eaux .....	75
III.2.2.3- Solution proposé .....	75
III.3-Interprétation des resultats .....	78
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATION .....	79
Bibliographie: .....	

## *Listes des figures*

<b>Figure I.1 :</b> Osmose et osmose inverse .....	
<b>Figure I.2 :</b> Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.....	
<b>Figure I.3 :</b> procédé d'électrodialyse .....	
<b>Figure I.4 :</b> Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) à 3 étages.....	
<b>Figure I.5 :</b> Principe du procédé à compression mécanique de vapeur (MVC).....	
<b>Figure I.6 :</b> Schéma d'un thermocompresseur de vapeur .....	
<b>Figure I.7 :</b> <i>Illustration décrivant le principe de la membrane fabriquée par électro-filage coaxial, qui affiche de meilleures performances que les membranes</i> .....	
<b>Figure II.1 :</b> Les entreprises qui gèrent la station de dessalement (Ténès). .....	
<b>Figure II.2 :</b> vue générale sur Station de dessalement de l'eau de mer Unité de TENES .....	
<b>Figure II.3:</b> Pompe de captation de l'eau de mer .....	
<b>Figure II.4:</b> Les deux beaudrey de la station .....	
<b>Figure II.5:</b> filtres à sable .....	
<b>Figure II-6 :</b> Filtres à cartouches .....	
<b>Figure II-7:</b> Bâtiment d'osmose inverse.....	
<b>Figure II-8:</b> le schéma de membrane.....	
<b>Figure II-9</b> Pompe à Haut Pression.....	
<b>Figure II-10:</b> schéma général d'une unité d'osmose inverse.....	
<b>Figure II-11 :</b> système de ERI .....	
<b>Figure II-12:</b> principe de fonctionnement des ERI.....	
<b>Figure II-13 :</b> Un rack dans le système d'OI.....	
<b>Figure II-14:</b> silos de stockage de $\text{CaCO}_3$ .....	
<b>Figure II-15:</b> Saturateur de $\text{Ca}(\text{OH}+\text{H}_2\text{O})$ .....	
<b>Figure II-15:</b> injection de la chaux .....	
<b>Figure II.16 :</b> Analyseur automatique au niveau de sortie de Réservoir .....	
<b>Figure III.1:</b> Appareil multi-paramètre . .....	
<b>Figure III.2 :</b> Turbidimètre de la station de Ténès. ....	
<b>Figure.III.4 :</b> A) avant le dosage de la dureté.....	
<b>Figure.III.5 :</b> B) après le dosage de la dureté .....	
<b>Figure.III. 6 :</b> Après le titrage <b>Figure.III. 7 :</b> avant le titrage .....	
<b>Figure III.8:</b> Avant le dosage de Calcium et de Magnésium.....	
<b>Figure III. 9:</b> Après le dosage de Calcium et de Magnésium.....	
<b>Figure III.10 :</b> Appareil de mesure de chlore libre (2023) .....	
<b>Figure III. 11 :</b> pH mètre .....	
<b>Figure III.12 :</b> Spectrophotomètre pour la mesure de sulfate (a) et TSS (b).....	



## *Listes des tableaux*

**Tableau .II.1** : les stations de dessalement en Algérie et leur capacité .....

**Tableau .II.2** : La quantité distribuée par la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès.

**Tableau .III. 1:** Les normes de potabilité de l'OMS .....

**Tableau. III.2:** Fourchette d'équilibre de l'indice de Langelier. ....

**Tableau . III.3:** Les résultats d'analyses de l'eau produite. ....

## *Liste des Abréviations :*

**ED:** Electrodialyse

**EDTA:** Ethyle Diamine Tétra Acétique

**MSF:** Multi Stage Flash

**OI:** Osmoses Inverse

**OMS:** Organisation Mondiale de la Santé

**ONM :** Office National de Météorologique

**PH :** Potentiel d'Hydrogène

**T :** Température

**TDS:** Solides Totaux Dissous

**TSS :** Total des matières solides en suspension

**WWF :** Fond mondial pour la nature

**MRE :** Ministère des Ressources en Eau

**O&M :** Opération et Mainteniens

## ملخص :

في مواجهة التوزيع غير العادل لمياه الشرب على كوكب الأرض وآثار الاحتباس الحراري المتمثلة في الجفاف و نقص المياه. تم تحديد الطلب المتزايد على تحلية مياه البحر في السنوات الأخيرة. إن التطور الديموغرافي ، والتركيز العالي لسكان العالم في نفس المنطقة التي يتزايد فيها النشاط البشري ، والتقدم التقني الذي أدى إلى خفض تكاليف الاستثمار ، كلها عوامل ساهمت في هذه الزيادة. شهدت الجزائر ، على مدى السنوات العشرين الماضية ، جفافاً حاداً ومستمرًا. أثر هذا الجفاف، الذي اتسم بنقص كبير في هطول الأمطار، على الجزائر بأكملها وبشكل خاص الجزء الشمالي الغربي منها. تحقيقاً لهذه الغاية ، رأينا أنه من المفيد إجراء دراسة حول تحليه مياه البحر مع الأخذ كدراسة حالة محطة تحلية مياه البحر في تنس . تركز هذه الدراسة على عملية التحلية هذه من خلال دراسة التقطير و التناضح العكسي ، ولكن أيضاً من خلال جوانب النظافة والسلامة والبيئة.

**الكلمات المفتاحية :** مياه ، تحليه المياه ، التناضح العكسي ، الجودة الفيزيائية و الكيميائية ، قابلية الشرب .

## Abstract

Faces with an unequal distribution of drinking water on the planet and the effects of global warming, namely drought and lack of water. A growing demand for seawater desalination has been identified in recent years. Demographic development, the high concentration of the world's population in the same area where human activity is increasing, and technical progress that has led to a reduction in investment costs, are all factors that have contributed to this increase. Demand, Algeria has experienced, over the past twenty years, an intense and persistent drought. This drought, characterized by a significant rainfall deficit, affected the whole of Algeria and more particularly its north-western part. To this end, we have seen it useful to carry out a study on the desalination of seawater taking as a case study the seawater desalination station of Ténès. This study focuses on this desalination process by studying distillation and reverse osmosis, but also through the aspects of hygiene, safety and the environment.

**Keywords:** waters, desalination, reverse osmosis, physic-chemical quality, portability

## **Résumé**

Face à une répartition inégale de l'eau potable sur la planète et aux effets du réchauffement climatique à savoir la sécheresse et le manque d'eau Une demande de plus en plus forte pour le dessalement de l'eau de mer a été recensée ces dernières années. Le développement démographique, la haute concentration de la population mondiale dans une même zone où l'activité humaine s'accroît, et les progrès techniques qui ont menés à une réduction des coûts d'investissement, sont autant de facteurs qui ont contribué à cette hausse de la demande. L'Algérie a connu, au cours de ces vingt dernières années, une sécheresse intense et persistante. Cette sécheresse, caractérisée par un important déficit pluviométrique, a touché l'ensemble de l'Algérie et plus particulièrement sa partie nord-occidentale. A cet effet, nous avons vu utile de faire une étude sur le dessalement des eaux de mer en prenant comme cas d'étude la station de dessalement des eaux de mer de Ténès. Cette étude s'intéresse à ce procédé de dessalement par l'étude de la distillation et de l'osmose inverse, mais également à travers les aspects de l'hygiène, de la sécurité et de l'environnement.

**Mots clés :** eaux, dessalement, osmose inverse, qualité physico-chimique, potabilisation

***INTRODUCTION  
GÉNÉRALE***

Une quantité équivalant à 97,5% du stock d'eau de la planète est salée et seule une fraction correspondant à 2,5 % se compose d'eau douce. Environ 70% de cette eau douce de la planète est fixée dans les calottes glaciaires des pôles et une partie importante des 30% restants est constituée par des nappes aquifères souterraines de régions reculées. En effet, seule une fraction minuscule de l'eau douce (moins de 1% de l'eau douce totale) est disponible dans les cours d'eau, les lacs et les réservoirs et est facilement accessible à l'homme pour son utilisation directe. En outre, la répartition spatiale et temporelle du stock et du débit d'eau douce est très inégale (**UNEP, 2001**).

Par suite de l'extension des régions arides et aussi de l'utilisation intensive d'eau dans les zones urbaines du monde entier, il est fréquent que l'eau douce ne soit pas disponible dans les quantités souhaitées. Selon une estimation de l'organisation mondiale de la santé (OMS), 1000 m<sup>3</sup> par personne et par an sont le niveau repère au-dessous duquel on considère que la pénurie chronique d'eau entrave le développement et est préjudiciable à la santé humaine. Les ressources en eau de la région méditerranéenne sont limitées, fragiles et menacées. Elles font déjà l'objet d'une exploitation intensive, notamment dans le Sud et à l'Est où la saison sèche se caractérise par sa longueur, avec une pluviométrie annuelle faible. Des sécheresses temporaires qui peuvent être définies comme une pluviométrie inférieure à la moyenne d'une gravité variable par sa durée et son ampleur, ont occasionné un préjudice particulièrement important pour les ressources en eau. Au cours des dernières décennies, la plupart des pays méditerranéens ont connu des périodes de sécheresse prolongées notoires.

L'eau est un élément de la vie quotidienne, et elle est si familière qu'on oublie souvent son rôle, son importance et sa nécessité absolue. Sans l'eau, la terre ne serait qu'un astre mort, et aucune vie humaine, biologique, végétale ou animale n'existerait. Devant les besoins croissants eau douce et l'impossibilité de se contenter des ressources naturelles, l'humanité est conduite à étudier et à développer divers procédés permettant d'obtenir une eau douce à partir des eaux de mer et des eaux saumâtres dans des conditions admissibles techniquement et économiquement. Si l'expérience algérienne dans le domaine du dessalement remonte aux années soixante, c'est à partir de l'an 2000 et suite aux nombreux cycles de sécheresses sévères, que l'Algérie intégrée dans sa nouvelle politique de l'eau le dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres, comme moyen de mobilisation d'eau complémentaire, pour faire face aux différents plans de développement (**UNEP, 2001**).

Une étude du procédé de dessalement et les caractéristiques chimiques et physico-chimiques de l'eau potable traitée et dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de la ville de Ténès a fait l'objet de ce travail. Cet objectif principal se décline en deux sous-objectifs qui définissent ces axes d'études.

- Une étude du procédé de dessalement dans la station de dessalement de Ténès.
- Une exploration des caractéristiques physico-chimiques selon les normes de

L'OMS.

# ***CHAPITRE I***

## ***GENERALITE SUR LE DESSALEMENT DES EAUX DE MER***



## **I.1- Introduction**

L'eau, en tant que bien commun, est indispensable à la vie. C'est l'élément primordial à fixer en un lieu où vit toute une population.

La croissance démographique dans le monde s'accompagne d'une augmentation de la demande d'eau potable tandis que l'industrialisation, l'irrigation des sols et l'élévation des niveaux de vie se traduisent par un accroissement supplémentaire de la consommation d'eau douce par habitant.

Cependant, les populations ont un accès très inégal à ces ressources. En effet, seule une faible quantité de l'eau totale mondiale est de l'eau douce disponible ce qui implique que 2/3 de la population sera en situation de stress hydrique d'ici 2025. On estime en outre que 2,5 milliards de personnes pourraient souffrir du manque d'eau en 2050 compte-tenu de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations d'eau.

Pour faire face à cette pénurie d'eau, le dessalement d'eau de mer est présenté comme une alternative quand les ressources conventionnelles (cours d'eau, nappes phréatiques) viennent à être insuffisantes.

L'Algérie a lancé ces dernières années un programme ambitieux d'installations de stations de dessalement pour faire face à des problèmes d'alimentation en eau qui s'accroissent par l'explosion démographique.

Le dessalement d'eau de mer est un processus qui permet de retirer le sel de l'eau salée ou saumâtre pour la rendre potable ou l'utiliser dans l'irrigation. Mais cette solution, selon WWF (Fond mondial pour la nature), peut avoir un impact négatif sur l'environnement à cause de la composition des rejets engendrés par ce processus, qui peut modifier les paramètres de la mer et influencer négativement sur la faune et la flore sous-marines.

Le rejet généré par l'usine de dessalement se présente généralement sous la forme d'une saumure contenant divers sels, et composés organiques. Cette saumure est deux à trois fois plus salée (entre 50 et 80 g/L) que l'eau de mer habituelle.

## I.2- Caractéristiques des eaux marines et saumâtres

### I.2.1- Les eaux marines

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g. L<sup>-1</sup> (27,2 g. L<sup>-1</sup> de Na Cl, 3,8 g. L<sup>-1</sup> de Mg Cl<sub>2</sub>, 1,7 g. L<sup>-1</sup> Mg SO<sub>4</sub>, 1,26 g. L<sup>-1</sup> Ca SO<sub>4</sub>, 0,86 g. L<sup>-1</sup> K<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>)

Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées :

- mer Méditerranée : 36 à 39 g. L<sup>-1</sup>
- mer Rouge : environ 40 g. L<sup>-1</sup>
- mer Caspienne : 13 g. L<sup>-1</sup>
- mer Morte : 270 g. L<sup>-1</sup>
- Golfe Arabo-persique : 36 à 39 g. L<sup>-1</sup>

Le pH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 et 8,4 : l'eau de mer est un milieu légèrement basique.

### I.2.2- Les eaux saumâtres

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre.

Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le Ca CO<sub>3</sub>, le Ca SO<sub>4</sub>, le Mg CO<sub>3</sub> et le Na Cl.

### I.3- Les principales technologies de dessalement des eaux

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

- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases : la congélation et la distillation.
- Les procédés utilisant des membranes : l'osmose inverse et l'électrodialyse.

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et/ou à l'importance des investissements qu'ils requièrent.

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

- une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière,
- un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte,
- le procédé de dessalement lui-même,
- le post-traitement avec une éventuelle reminéralisations de l'eau produite.

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre. (A. Maurel. 2001)

#### I.3.1- L'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. 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.

L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes haute pression.

La teneur en sels de l'eau osmoses est de l'ordre de  $0,5 \text{ g. L}^{-1}$ .

### **I.3.1.1- Principe de l'osmose inverse**

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration.

Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes (figure I.1). Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer.

Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique. (**A. Maurel.2001**)

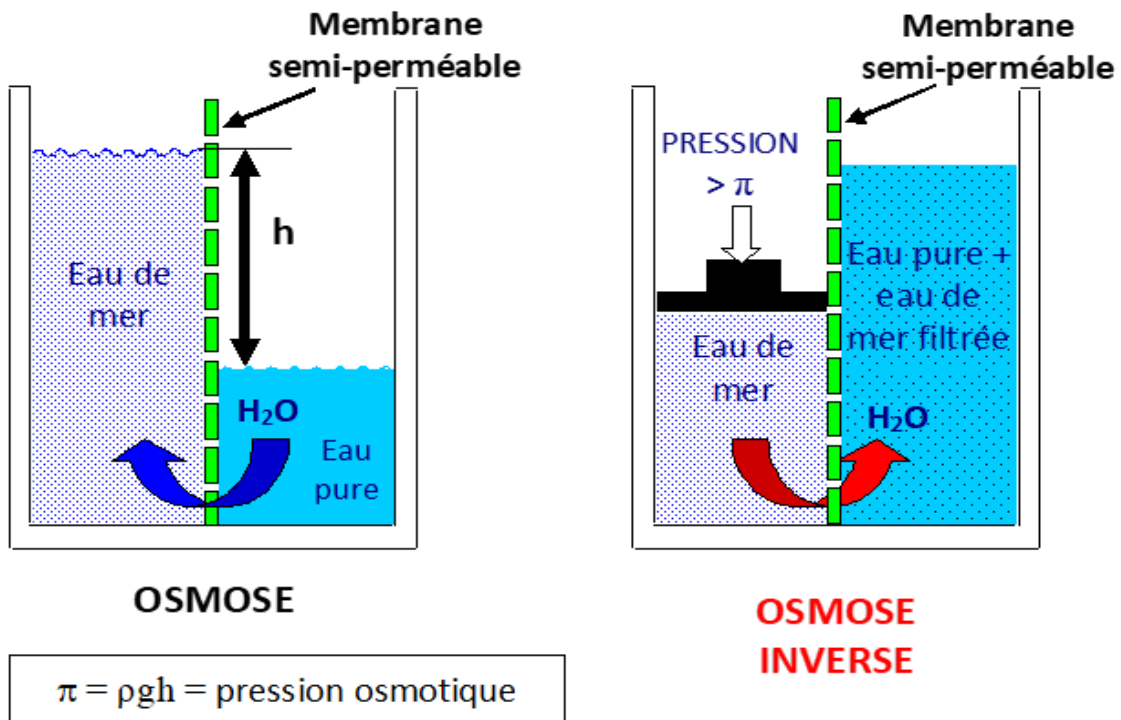


Figure I.1 : Osmose et osmose inverse ([www.culturesciences.chimie.ens.fr](http://www.culturesciences.chimie.ens.fr))

Une augmentation de la pression au delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique (voir figure I.1), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse.

Pour les solutions suffisamment diluées, la pression osmotique notée  $\pi$  peut être calculée d'après la loi de Van't Hoff :

$$\pi = i \times C \times R \times T$$

Où :

$i$  : est le nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte,

$C$  : est la concentration en sels en mol .m<sup>-3</sup>

$R$  : est la constante des gaz parfaits  $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1} .\text{K}^{-1}$

$T$  : est la température absolue de la solution en Kelvin.

Application :

La pression osmotique d'une eau à 20°C contenant 35 g de chlorure de sodium par litre vaut :  $\pi = 2 * (35 * 103 / 58,5) * 8,314 * 293 = 29,14 * 105 \text{ Pa} = 29,14 \text{ bar}$ .

Le débit spécifique  $J_1$  (débit massique par m<sup>2</sup> de membrane) d'eau osmoses produite est proportionnel à la différence entre la pression appliquée  $P$  et la pression osmotique  $\pi$  de la solution concentrée.

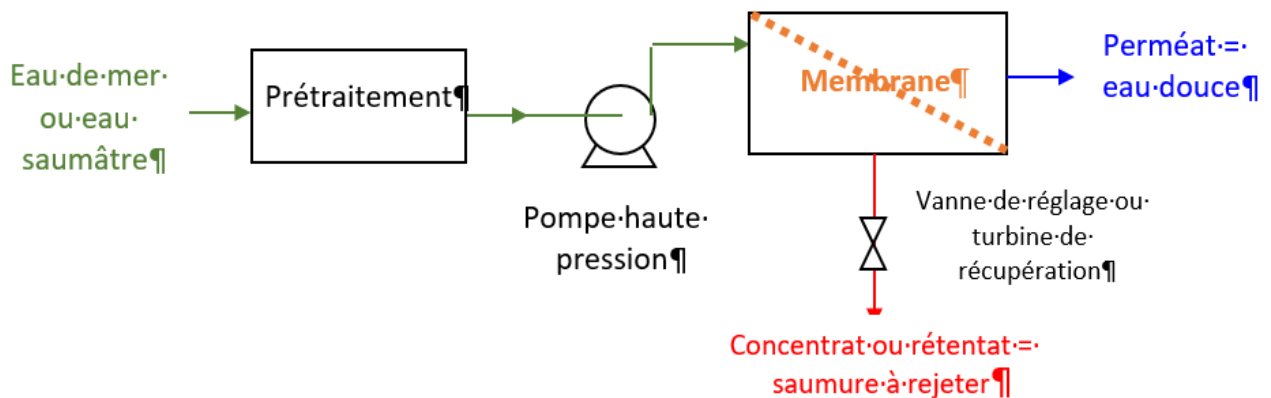
$J_1 = A * (P - \pi)$ , où  $A$  est le coefficient de perméabilité vis-à-vis de l'eau pure.

Le flux spécifique de sel traversant la membrane est quant à lui proportionnel à la différence de concentration de part et d'autre de la membrane.

$J_2 = B * \pi C$ , où  $B$  est le coefficient de perméabilité vis-à-vis du sel.

**I.3.1.2. Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse**

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la (figure I.2).



**Figure I.2 :** *Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse*  
([www.culturesciences.chimie.ens.fr](http://www.culturesciences.chimie.ens.fr))

Le dessalement par osmose inverse nécessite d'abord un prétraitement très poussé de l'eau de mer pour éviter le dépôt de matières en suspension sur les membranes qui conduirait très rapidement à une diminution des débits produits.

Il est nécessaire de retenir toutes les particules de dimension supérieure à 10 à 50  $\mu\text{m}$  selon le type de module d'osmose inverse. Ceci est réalisé à l'aide d'une pré filtration grossière puis d'une filtration sur sable pour éliminer les matières en suspension les plus grosses.

Puis un traitement biocide et une acidification sont nécessaires pour éviter le développement de microorganismes sur la membrane et éviter la précipitation de carbonates.

Enfin une filtration sur cartouches permet de retenir les particules de taille de l'ordre de quelques dizaines de  $\mu\text{m}$  qui n'ont pas été retenues par le filtre à sable.

La pompe haute pression permet ensuite d'injecter l'eau de mer dans le module d'osmose inverse dans lequel se trouvent les membranes (**Viviane Renaudin2003**).

De plus, un deuxième phénomène intervient lors de l'osmose inverse, il s'agit de la polarisation déconcentration de la membrane.

En effet, au cours du temps, la concentration de la solution salée augmente puisque la majorité des molécules sont retenues d'un seul côté de la membrane. De ce fait, la pression osmotique augmente également près de la couche limite, avec des risques de précipitation des composés à faible produit de solubilité. Pour un même rendement, la pression à appliquer est donc plus élevée.

Pour éviter ce phénomène on balaye la membrane du côté de la solution salée par un flux d'eau continu. Toute l'eau n'est pas filtrée, une partie sert à nettoyer la membrane. Ce procédé est donc semblable à une filtration tangentielle.

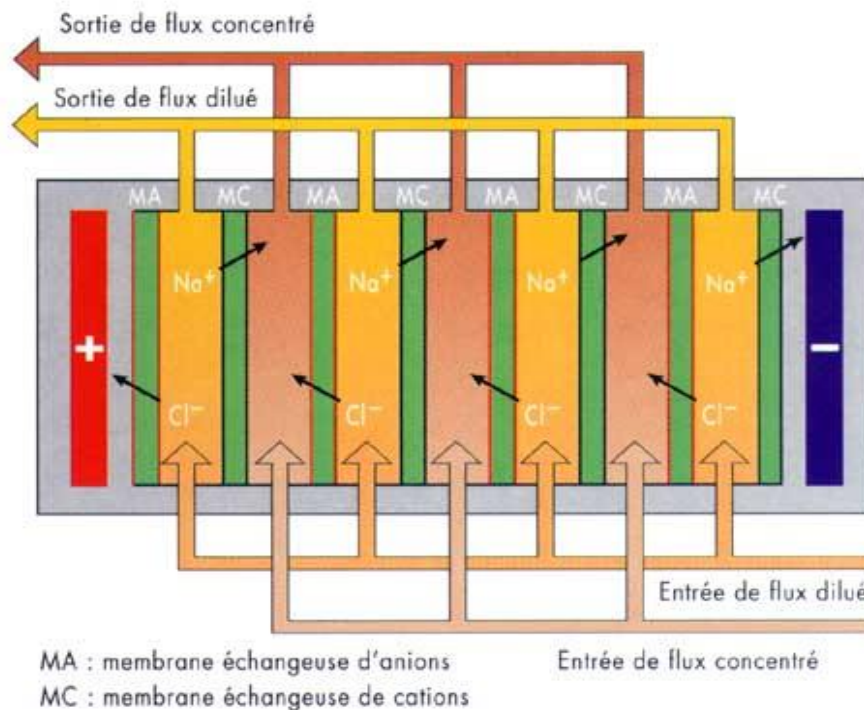
L'eau non filtrée est appelée retentât tandis que l'eau qui a traversé la membrane est appelée perméat.

Afin de limiter la consommation d'énergie du procédé, on peut placer sur le circuit du retentât une turbine qui permet de récupérer une partie de l'énergie contenue dans ce fluide sous haute pression.

### I.3.2. l'électrodialyse

L'autre processus de membrane est l'électrodialyse (ED) avec des applications industrielles très limitées. Dans ce processus les ions électriquement chargés de sel sont

séparés par les membranes d'échange ionique sélectives laissant la basse eau de produit de salinité. En conséquence, un courant fortement concentré de saumure est formé de l'autre côté de la membrane. On applique un courant électrique qui fait migrer les ions vers les électrodes. Système très rentable pour les faibles concentrations, l'énergie à mettre en jeu dépend de la concentration en sel. Condensation sur une surface ayant une température inférieure au point de rosée. Fournit une eau pure ; coût énergétique zéro avec un système passif ou faible avec un système actif. IL ET utilisé pour de petite unités (**Jean Dunglas 2014**).



**Figure I.3 :** procédé d'électrodialyse ([www.culturesciences.chimie.ens.fr](http://www.culturesciences.chimie.ens.fr))

Les ions d'un sel dissous dans l'eau, comme le chlorure de sodium par exemple, déplacent sous l'action d'un champ électrique créé par deux électrodes trempant dans le liquide. Les ions positifs ou cations (par  $\text{Na}^+$ ) sont attirés par l'électrode négative (ou cathode) tandis que les ions négatifs ( $\text{Cl}^-$ ) sont attirés par l'électrode positive. Dans l'électrodialyse, on intercale alternativement des membranes filtrantes soit imperméables aux anions et perméables aux cations, soit imperméables aux cations et perméables aux anions. On obtient ainsi une série de compartiments à forte concentration de sels et d'autres à faible concentration (**PNUE-UNEP 2001**).



## I.4- Les procédés de distillation

Il s'agit de la première technique historiquement utilisée dans le dessalement de l'eau, du fait, probablement, de sa simplicité. Elle consiste à faire évaporer l'eau, contenant le sel, grâce à la chaleur produite par une chaudière ou plus simplement par le soleil. Par ce processus, les sels ainsi que les autres composés dissous se déposent tandis que de la vapeur d'eau s'élève. Cette dernière est ensuite décondensée afin d'obtenir de l'eau douce.

Cette technique a l'avantage de produire une eau très pure mais l'inconvénient de consommer énormément d'énergie (15kWh/m<sup>3</sup> d'eau traitée) et donc de coûter très cher. Elle n'a aujourd'hui d'intérêt que si elle est associée à une production d'électricité (cogénération) Aussi, bien qu'encore très largement répandue dans le golfe persique, elle est aujourd'hui progressivement délaissée au profit de l'osmose inverse. (*Vivien Lecomte 2014*)

### I.4.1- Le procédé de distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF)

Ce procédé dit Flash consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage. Lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120 °C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore (voir figure I.4.1) puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes.

C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation, l'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 d'étages successifs dans une unité MSF industrielle.

Pour chauffer l'eau de mer jusqu'à 120 °C, l'eau de mer circule d'abord dans les tubes des condenseurs des différents étages en commençant d'abord par le dernier étage où la température est la plus faible, elle est alors préchauffée en récupérant la chaleur de condensation de la vapeur d'eau. Elle est finalement portée à 120°C grâce à de la vapeur à

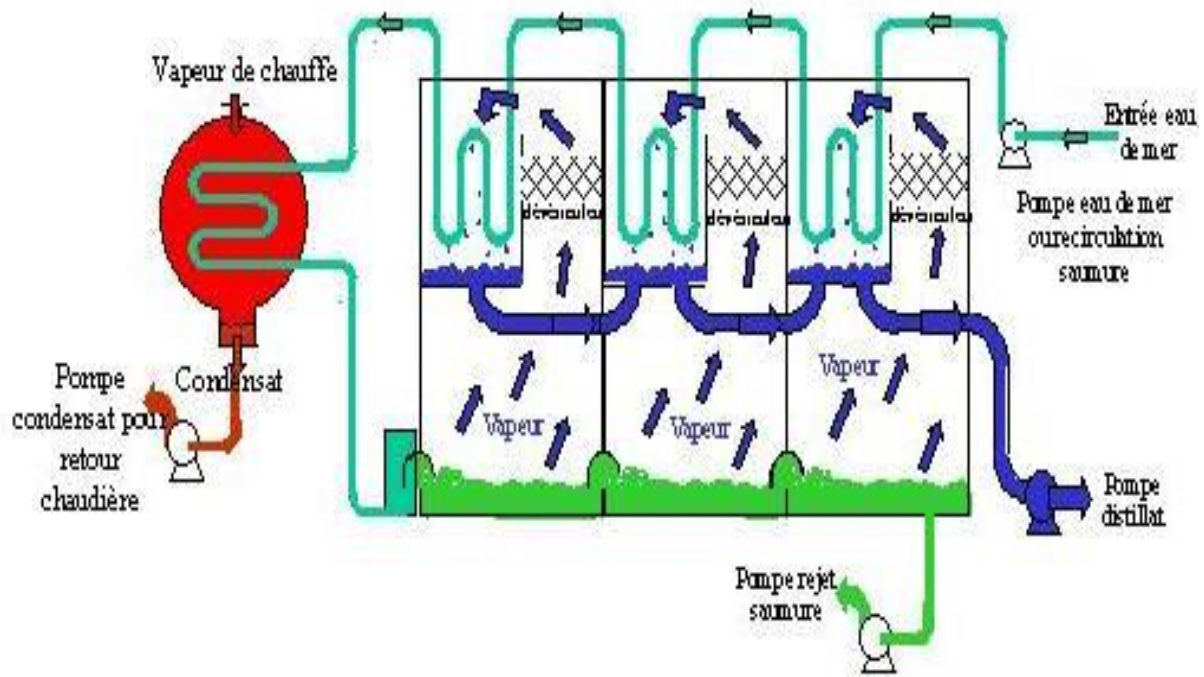
une température supérieure à 120 °C produite par une chaudière ou provenant d'une centrale de production d'électricité. On remarque lors du phénomène de flash que des gouttelettes d'eau salée peuvent être entraînées avec la vapeur, elles sont séparées grâce à un dévésiculateur constitué par une sorte de grillage qui limite le passage des gouttelettes qui retombent alors au fond de l'enceinte.

L'avantage principal du procédé MSF est que l'évaporation de l'eau de mer ne se produit pas autour des tubes de chauffe puisque le liquide « flashe » ceci limite les risques d'entartrage.

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière, cette énergie peut être peu coûteuse si on récupère de la vapeur basse pression à la sortie d'une turbine de centrale électrique.

Il faut également fournir de l'énergie électrique pour les pompes de circulation de l'eau de mer.

Le procédé MSF ne permet pas une flexibilité d'exploitation. Aucune variation de production n'est tolérée, c'est pourquoi ce procédé est surtout utilisé pour les très grandes capacités de plusieurs centaines de milliers de m<sup>3</sup> d'eau dessalée par jour. (**Viviane Renaudin2003**).



*Figure I.4 : Principe de fonctionnement d'un système par détente successive (MSF) à 3 étages (www.culturesciences.chimie.ens.fr)*

#### I.4.2- Le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effet distillation MED)

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80°C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, contrairement au cas du procédé précédent, où elle est assurée par détente au sein des étages successifs. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le 1er effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2ème effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2ème effet et ainsi de suite (voir figure I.4). Ainsi seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m<sup>3</sup> d'eau douce produite). (Viviane Renaudin2003).

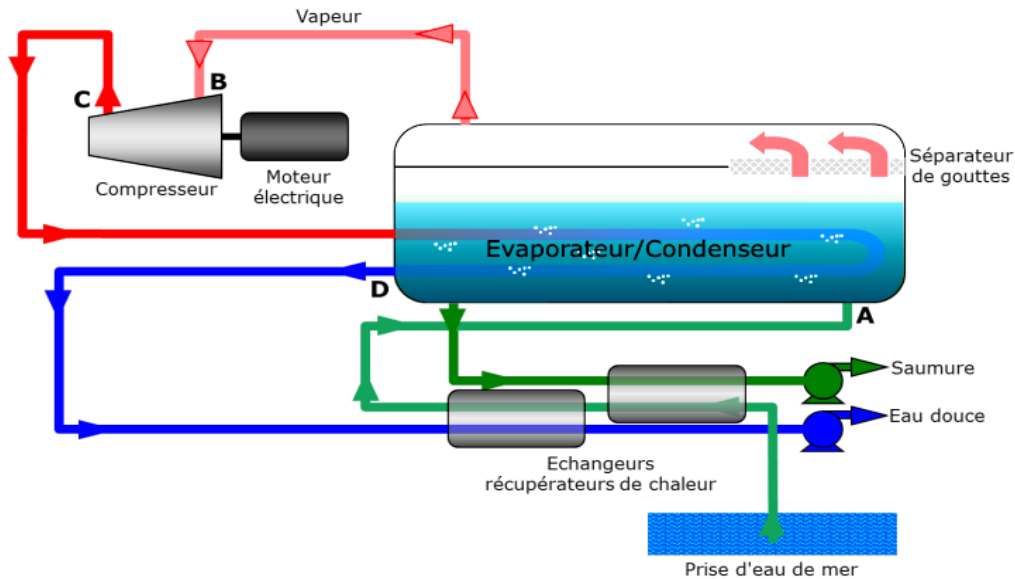
**I.4.2.1- Plusieurs technologies d'évaporateurs multiples effets existent :****I.4.2.2- La compression de vapeur (MVC, TVC) :**

La distillation par compression de vapeur est aussi un procédé permettant de produire de l'eau en minimisant la consommation d'énergie. Elle est toujours associée au procédé multiple-effet, le nombre d'effets pouvant être réduit à un seul. Le principe est le même que celui des pompes à chaleur, le fluide de travail subissant le cycle thermodynamique étant cette fois l'eau. Contrairement à une pompe à chaleur, le circuit de la fluide thermodynamique est ouvert au lieu d'être fermé. La compression peut être réalisée avec un compresseur mécanique (Mechanical Vapor Compression, MVC) ou avec un thermo compresseur (Thermal Vapor Compression, TVC).

**I.4.2.3- Compression mécanique de vapeur (MVC) :**

L'eau de mer liquide et préchauffée (point A. Figure I.4.2.1) est évaporée à 55 degrés sous une pression réduite à 160 millibars (mbar) (A→B). La vapeur obtenue est très légèrement comprimée à 200 mbar (B→C). La température de saturation est alors de 60 degrés. Cette vapeur est ensuite condensée (C→D) mais la chaleur latente de condensation à 60 degrés est utilisée dans l'évaporateur/condenseur pour évaporer l'eau de mer à 55 degrés.

L'eau pure, liquide (D), peut alors être extraite ainsi que la saumure correspondant à la fraction d'eau de mer non évaporée. Comme ces deux fluides sont extraits à 55 et à 60 degrés, ils sont utilisés pour préchauffer l'eau de mer introduite dans le système. En dehors du réchauffage initial nécessaire pour démarrer l'installation, la principale consommation d'énergie est l'énergie électrique du compresseur. Celle-ci est minimisée du fait que l'écart de température est faible. Le taux de compression correspondant est donc aussi très faible. Là encore, la limite est économique car plus l'écart de température est petit (mais toujours limité par les irréversibilités) plus la surface d'échange nécessaire pour évaporer et condenser sera grande. (BANDELIER Philippe 2016)



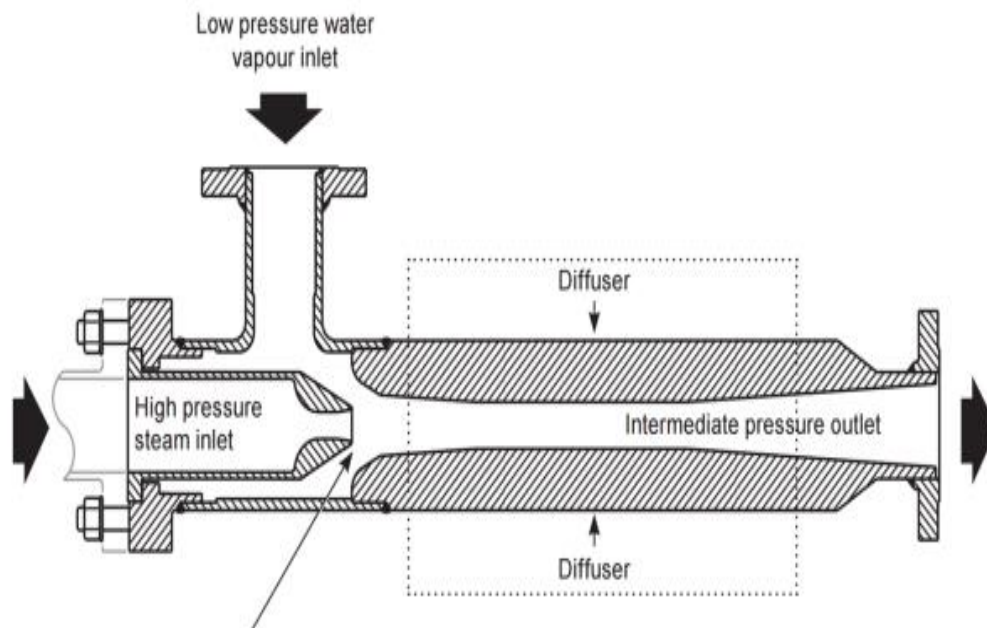
*Figure I.5 : Principe du procédé à compression mécanique de vapeur (MVC)*  
([www.culturesciences.chimie.ens.fr](http://www.culturesciences.chimie.ens.fr))

#### I.4.2.4-Thermo -compression de vapeur :

La taille des usines de dessalement n'ayant jamais cessé de croître, la compression mécanique a rapidement été inadaptée aux grosses installations, à cause des limites à la fois techniques et économiques pour le compresseur. Même si le rendement diminue très vite quand le taux de compression augmente, la thermo-compression s'est rapidement imposée car l'investissement et le coût de maintenance sont extrêmement bas.

Le principe est d'utiliser une tuyère dans laquelle, par accélération dans un injecteur et un col, de la vapeur haute pression aspire de la vapeur basse pression pour obtenir de la vapeur à pression moyenne. La compression s'opère entre la vapeur à basse pression aspirée et le mélange à pression moyenne qui est restitué. La seule source d'énergie étant la vapeur haute pression, c'est bien un procédé « thermique » de compression.

Les performances sont caractérisées par le débit de vapeur motrice à haute pression nécessaire pour entrainer la vapeur à basse pression (consommation de vapeur par unité de vapeur aspirée) ou bien par le taux d'entraînement (débit entraîné par unité de vapeur motrice). (BANDELIER Philippe 2016)



*Figure I.6 : Schéma d'un thermo-compresseur de vapeur - Source: Spirax. Sarco*

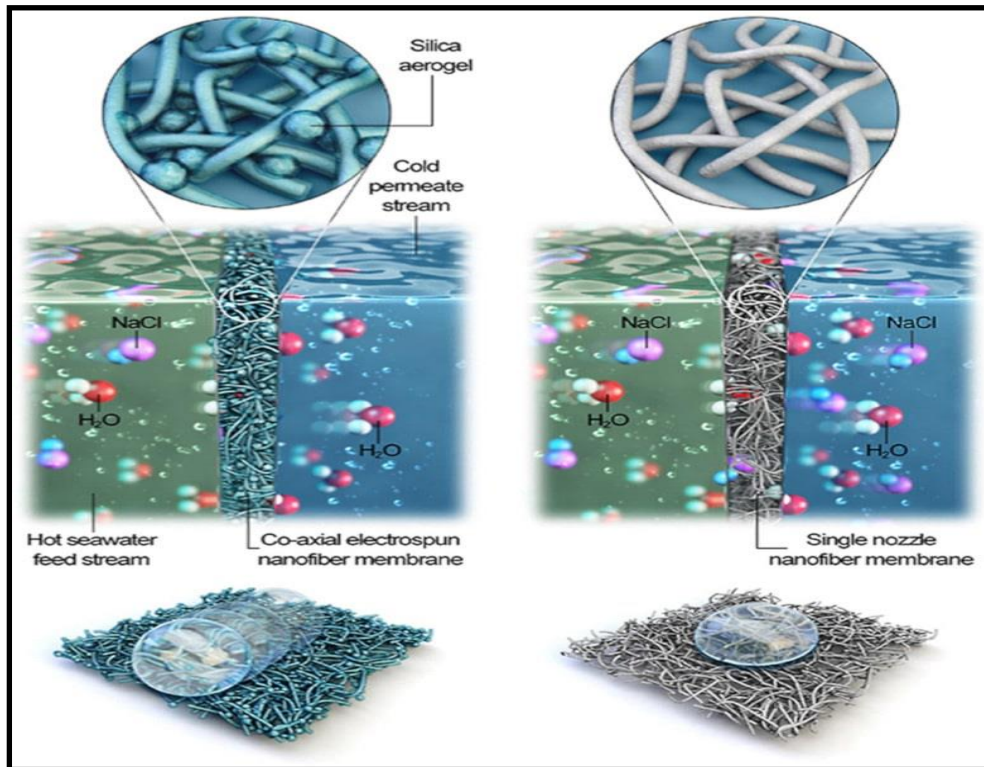
La thermo-compression est toujours combinée avec le procédé à multiple-effet. La Ré-compression de la vapeur peut s'effectuer entre le dernier et le premier effet ; dans ce cas le taux de compression est maximum et le rendement de compression peu élevé, ce qui se traduit par une consommation de vapeur haute pression élevée. Mais elle peut aussi se faire entre un étage intermédiaire et le premier effet, le rendement est alors bien meilleur et la consommation de vapeur plus basse. (BANDELIER Philippe 2016)

### **I.5-Les nouvelles techniques de dessalement des eaux de mer :**

Une équipe de l'Institut coréen de génie civil et de technologie bâtiment, dirigée par le Dr Yun Chul Woo, a donc mis au point un nouveau type de membrane, plus résistant au mouillage.

Cette membrane on été fabriquée par électro filage coaxial, une nanotechnologie qui permet d'obtenir des membranes en nano fibres non tissées en une seule étape. Les nano fibres adoptent une structure hiérarchique en 3D, qui augmente la rugosité de surface, offrant

ainsi une meilleure hydrophobie. En limitant le mouillage, la distillation membranaire se fait plus stable sur le long terme.



**Figure I.7 :** Illustration décrivant le principe de la membrane fabriquée par électro-filage coaxial, qui affiche de meilleures performances que les membranes traditionnelles

(2021 *Journal of Membrane Science*, Y. C. Woo et al.)

Les chercheurs ont utilisé du poly (fluorure de vinylidène-co- hexafluoropropylène) comme noyau et un aérogel de silice comme gaine de ces nano fibres, afin de produire une membrane composite coaxiale dotée d'une surface super-hydrophobe. Il se trouve que l'aérogel de silice présente une conductivité thermique beaucoup plus faible que celle des polymères conventionnels, ce qui a entraîné une augmentation du flux de vapeur d'eau pendant le processus de distillation (due à une réduction des pertes de chaleur conductrices).



La plupart des études antérieures visant à tester des membranes en nano fibres électro-filées dans le cadre de distillations membranaires rapportent des durées de vie de moins de 50 heures. La membrane coaxiale développée par Woo et son équipe s'est montrée efficace pendant un mois ! Pendant tout ce laps de temps, elle a permis d'extraire 99,99% du sel présent dans une solution de chlorure de sodium à 3,5%.

Ces performances exceptionnelles sont dues d'une part à son faible angle de glissement et d'autre part, à sa faible conductivité thermique, qui permet de s'affranchir des problèmes de polarisation de température (les pertes de chaleur par conduction diminuent les performances du flux de vapeur d'eau pendant la distillation membranaire). Grâce à ses propriétés uniques, elle est restée efficace sur le long terme, sans présenter de problème de mouillage ou d'encrassement ; cette technologie pourrait ainsi bel et bien contribuer à résoudre la pénurie d'eau douce dans le monde. », **(Fleur Brosseau .2021)**

Pour le Dr Woo, si l'on souhaite qu'un dispositif de distillation membranaire soit développé à l'échelle industrielle puis commercialisé, il est plus important de disposer d'un processus stable que d'une performance de flux de vapeur d'eau élevée. Sa membrane présente ces deux avantages.

*« La membrane coaxiale en nano fibres électro-filées a un fort potentiel pour le traitement des solutions d'eau de mer sans souffrir de problèmes de mouillage et peut être la membrane appropriée pour les applications de distillation membranaire à l'échelle réelle », (Fleur Brosseau .2021)*

### Conclusion

Le dessalement est l'une des solutions efficaces et maîtrisées techniquement, pour la mobilisation des ressources en eaux supplémentaires.

L'osmose inverse a connu un développement technologique avec l'apparition des membranes en polyamides sur le marché dont la durée de vie est plus importante.

Il s'agit d'une technique performante qui peut être utilisée sur une grande plage de concentration ; comparé à l'électrodialyse et à la distillation qui sont réservés à des domaines plus spécifiques.





***CHAPITRE II***

***UNITE DE DESSALEMENT***

***DE TENES***

## II. Introduction

Les installations de dessalement par osmose inverse se sont développées à partir de la fin des années 90, avec des capacités de production de plusieurs dizaines de m<sup>3</sup> /j, aboutissant à des débits pouvant atteindre 500 000 m<sup>3</sup> /j.

Durant ces dernières années les techniques ont évolué, ainsi que les types de contrat. Dans cette partie nous présentons une application du procédé Osmose inverse dans la station de dessalement au niveau de la Wilaya de chlef (Ténès).

Des données générales et des fiches techniques nous ont été procurées par les responsables de la station, et des photos numériques ont été prises pour mieux illustrer les composants de cette usine.

### II.1- Stations de dessalement en Algérie

Les ressources hydriques de l'Algérie restent limitées. Tout d'abord, pour des raisons climatiques : la pluviométrie, irrégulière, oscille entre 100 et 600 mm/an seulement. L'Algérie se trouve parmi les pays du monde qui sont sous le seuil de pénurie adopté par la banque mondiale, il faut mobiliser toutes les ressources d'eau disponible pour sécuriser l'alimentation en eau potable .De ce fait, le dessalement des eaux de mer est la solution adéquate de cette problématique. (UNEP/MAP.2003)

Le littoral de l'Algérie compte 21 stations de dessalement d'eau de mer réparties sur les 14 wilayas côtières et 2 autres en construction, qui relèvent du Ministère des Ressources en Eau (MRE). Elles fournissent 17% de l'eau consommée dans le pays et alimente 6 millions de personnes avec un volume de 2,6 million m<sup>3</sup>/jour.

« D'ici 2030, et avec la mise en service de six (06) autres stations de dessalement dont les travaux de réalisation seront lancés en 2025, le taux d'eau potable issu du dessalement atteindra 60% des besoins nationaux »,

Pour les ressources en eau non conventionnelles, elles constituent une « solution de base » pour assurer l'eau potable, alors que l'objectif principal de la stratégie nationale en la matière consiste à « garantir de manière définitive l'eau potable pour les habitants vivant dans la bande nord nationale, à une profondeur moyenne de 150 km, où vivent 80% de la population ».

Tableau II. 1 : les stations de dessalement en Algérie et leur capacité(MRE.2019)

La wilaya		Capacité
<b>Chlef</b>	-Ténès -Béni Haoua (en cours de réalisation)	-200 000 m <sup>3</sup> /jour -5 000 m <sup>3</sup> /jour
<b>Bejaia</b>	La station de dessalement	300 000 m <sup>3</sup> /jour
<b>Tlemcen</b>	- Souk Tléta - Honaine	-200 000 m <sup>3</sup> /jour -200 000 m <sup>3</sup> /jour
<b>Tizi Ouzou</b>	Tigzirt	2 500 m <sup>3</sup> /jour
<b>Alger</b>	-Hamma - Staoueli (Palm Beach) - Aïn Benian - Zeralda - Bordj El Kiffan -El-Marsa en projet	-200 000 m <sup>3</sup> /jour -7 500 m <sup>3</sup> /jour -10 000 m <sup>3</sup> /jour - 10 000 m <sup>3</sup> /jour - 10 150 m <sup>3</sup> /jour
<b>Jijel</b>	Jijel	200 000 m <sup>3</sup> /jour
<b>Skikda</b>	Skikda	100 000 m <sup>3</sup> /jour
<b>Mostaganem</b>	Mostaganem	200 000 m <sup>3</sup> /jour
<b>Oran</b>	-Arzew - Bousfer -Aïn Turck - Mactaâ - Cap Blanc (commune d'Aïn El Kerma) (en construction)	-90 000 m <sup>3</sup> /jour -5 500 m <sup>3</sup> /jour -5 000 m <sup>3</sup> /jour -500 000 m <sup>3</sup> /jour - 300 000 m <sup>3</sup> /jour
<b>Boumerdès</b>	-Djinet - Corso (en projet) -Cap Djinet (en construction)	-100 000 m <sup>3</sup> /jour  -300 000 m <sup>3</sup> /jour
<b>El Tarf</b>	-El Tarf -Koudiet Eddraouche, commune de Berrihane (en construction)	-50 000 m <sup>3</sup> /jour -300 000 m <sup>3</sup> /jour
<b>Tipaza</b>	-Oued Sebt -Douaouda dite "Fouka 1" - Bousmail -Fouka 2 (en construction)	-100 000 m <sup>3</sup> /jour -120 000 m <sup>3</sup> /jour -10 000 m <sup>3</sup> /jour
<b>Ain Témouchent</b>	-Béni Saf -Chatt El Hilal	-200 000 m <sup>3</sup> /jour -200 000 m <sup>3</sup> /jour
<b>Annaba</b>	-Annaba -Echât (en construction)	-50 000 m <sup>3</sup> /jour

## II.2- Description de la station de Ténès

### II.2.1-Présentation de la commune de Ténès

#### II.2.1.2-Situation géographique de Ténès

La commune de Ténès s'étend sur une superficie de 92,28 km<sup>2</sup> dont 5,70 km<sup>2</sup> en zones urbaines et 86,58 Km<sup>2</sup> en zones rurales. Elle est limitée par :

- Au Nord : la mer Méditerranée
- Au Sud : Sidi Akkacha et Abou El-Hassan
- A l'Est : Oued Goussine
- A l'Ouest : Sidi Abderahmane.

#### II.2.1.3-Cadre climatique

L'aspect climatique est un facteur important à considérer pour un projet de dessalement des eaux de mer, car il intervient dans le fonctionnement du procédé de dessalement d'une part et d'autre part sur le choix du site.

La commune de Ténès bénéficie d'un climat méditerranéen semi-aride chaud, l'influence de la méditerranée, combinée à celles des vents de terres et de mer ; se traduit par de grandes variations du taux d'humidité de l'air qui reste en moyenne assez élevée. (ONM.1995/2005)

- **La précipitation** : la pluviométrie moyenne annuelle est de 414,7 mm/an ;
- **La température** : la température est un facteur très influent sur le milieu naturel, elle favorise notamment les phénomènes évapotranspiration et l'érosion éolienne. La moyenne annuelle est de 18,98°C
- **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
- **L'humidité (%)** : le taux d'humidité relative de l'air dans la région varie entre 69% et 79%. (ONM.1995/2005)

### **II.3.1-Situation géographique et la topographie de la station de dessalement :**

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

A 52 Km à l'Est du chef-lieu de wilaya et à environ 110 Km à l'Ouest de la wilaya de Tipaza, le site est sillonné par la route nationale RN°11 en provenance de Mostaganem et en direction de Tipaza. (SPA Alger.2009)

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

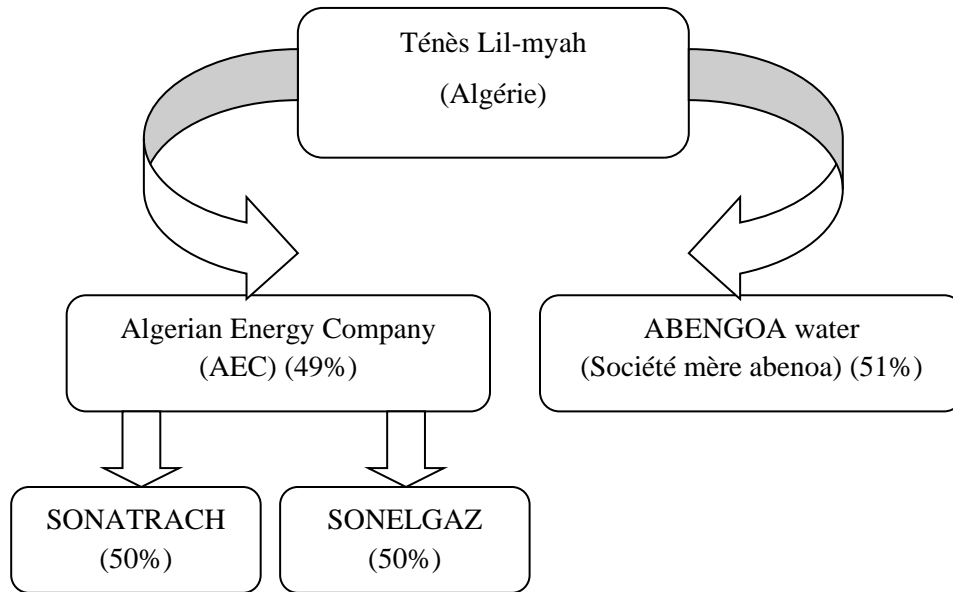
- Au Nord : par la mer Méditerranée
- Au Sud : par la route nationale N°11
- A l'Ouest: par une petite unité de dessalement 5000 m<sup>3</sup> Espagnole (anciennes stations)
- A l'Est : par les habitations de Mainis.

### **II.3.2-Topographie du site**

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

### **II.3.3-Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer (Ténès)**

La mise en service finale de la station de dessalement Ténès était en juin 2015 dont la capacité de production est de 200 000m<sup>3</sup> /j par la technique d'osmose inverse, assurant l'approvisionnement en eau potable de plusieurs communes. L'investissement a été réalisé par l'entreprise « SONATRACH et SONELGAZ » avec 49% et l'entreprise espagnole « ABENGOA » avec 51% de cet investissement.



*Figure II.1 : Les entreprises qui gèrent la station de dessalement (Ténès).*

- **Les services de la station**

La station de dessalement UTE Desaladora Ténès O& M est composée des services suivant :

- L'administration
- Département HSE
- 01 laboratoire
- 01 sale de control
- Département mécanique
- Département instrumentation et control
- Département d'électricité



*Figure II.2 : vue générale sur Station de dessalement de l'eau de mer Unité de TENES*

*(AEC - Algerian Energy Company [www.aec.dz](http://www.aec.dz))*



Tableau II.2 : La quantité distribuée par la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès. ,

(ADE. 2017)

N° point de Piquage/adduction	Lieu	Commune à desservir	Pop / (Ha)	Pop total (Ha)	Quotas alloués m 3 /J	Dot l/Hab
<b>1</b>	Ténès (station de pompage)	-Ténès -Sidi Abderahmane -El Marsa	39730 4873 12108	56711	17000	<b>300</b>
<b>2</b>	El kharba (Bouz ghaya)	-Sidi Akacha -Abou El Hacén -Talassa	29797 25495 12891	68183	<b>13000</b>	<b>191</b>
<b>3</b>	Bouzghaya (station de pompage N°5)	-Tadjna -Moussadek -Hernfa -Bouzghaya	27354 7151 19944 25312	75487	<b>9000</b>	<b>119</b>
<b>4</b>	Heumis	-Zebouja -Benairia	29734 17486	51594	<b>8000</b>	<b>480</b>
<b>5</b>	Chattia	-Chettia -Ouledfares	80007 39096	119103	30000	<b>252</b>
<b>6</b>	ArdBeidha (Chettia)	-Sobha -Ain Merane -Taougrit -Dahra	38606 57510 30895 26671	153682	25000	<b>163</b>
<b>7</b>	103 longements (Chettia)	-Medjadja -Ouled Abbes - Benirached -OuedFouda -Harchoune -Karimia -OumDrou	16507 9613 26271 46732 20029 32295 23895	175343	32000	<b>182</b>
<b>8</b>	Sortie Chlef Ouest	-Oued Sly -Boukadir -Ouled AEK - El Hadjadj -Sendjas	52936 57520 22358 9503 32542	174859	29000	<b>166</b>
<b>9</b>	Pont Boutaiba	-Chlef centre	200104	200104	37000	<b>185</b>
<b>Total population concernées</b>	/	/	/	1075066	20000	/

#### II.4.1- Tours et tuyauterie de captage

La capture de l'eau de mer se fait directement de la mer par gravité, à l'aide de 2 tuyauteries fabriqués en PRFV (Pipe en Résine et Fibre du Verre), ils sont installés à une profondeur de la mer de 10 m, ils ont une longueur de 600 m et d'un diamètre de 1600 mm, avec un débit max de capture de 540.000 m<sup>3</sup>/j.

Aux extrémités des tuyauteries de capture, sera installé un tour de captage dans le but d'aspirer de l'eau à une profondeur moyenne tout en limitant la rentrée des sables et de produits flottants, jusqu'aux réservoirs de collecte. L'eau salée est passée par des grilleurs (Beaudry) afin d'éliminer les gros déchets.



*Figure II.3: Pompe de captation de l'eau de mer*

*(Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès2023)*



*Figure II.4: Les deux Beaudry de la station*

*(Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès2023)*

#### **II.4.2- Description et fonctionnement normal des installations des procès**

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

- La captation de l'eau de mer
- Le prétraitement
- L'osmose inverse
- Le post-traitement

Le Système de prétraitement comprend 3 sous-systèmes à savoir :

- un sous-système de conditionnement chimique,
- un sous-système de filtration,
- un sous-système de microfiltration.

### II.4.2.1- Conditionnement chimique

#### a. 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'hypochlorite de sodium est fabriqué sur place électrolyse. Dans le processus d'électrolyse, l'eau de mer est traversée par une courante électrique grâce à laquelle des bulles d'hydrogène et de chlore vont être formés. 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. **(Document de la station. «UTE, desalodra Ténès Opéracion et Maitenimients O&M»)**

#### b. Coagulation – Flocculation

Pour cette étape, les pompes d'eau de mer sont utilisés comme dispositif de mélange pour le coagulant (chlorure ferrique)  $FeCl_3$  qu'il possède une fourchette plus large comprise entre 5.5 et 8.3. La coagulation et la flocculation est appliquée dans le cas où l'eau de mer a une turbidité élevée.

La croissance des microparticules se réalisera dans le trajet d'impulsion compris entre les pompes et les filtres à sable. Préalablement à l'entrée de l'eau dans la chambre de partition des filtres de sable, on fera le dosage de flocculant (poly-électrolyte). L'addition de flocculant a pour l'objet de faciliter la croissance des particules formées et de cette façon aider à la postérieur décantation. **(Document de la station. «UTE, desalodra Ténès Opéracion et Maitenimients O &M »)**

Les microparticules générées dans le processus de coagulation-flocculation seront retenues dans les filtres à sables. Ces microparticules seront éliminées dans ultérieurement dans le processus de nettoyage des filtres et conformément ce qui s'indique dans la section de filtration.

#### c. Dosage de méta-bisulfite

L'utilisation du méta-bisulfite de sodium permet d'éliminer le chlore résiduel contenu dans l'eau de mer avant son arrivée aux membranes d'osmose inverse, évitant leur détérioration

par oxydation. L'injection de la solution de  $\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2\text{se}$  se fait par un équipement qui est composé de deux réservoirs d'accumulation-dissolution et d'une pompe doseuse par ligne, plus une réserve.

#### D. Dosage d'inhibiteur anti-scalant

Afin d'éviter la précipitation des sels dans les membranes, on dosera un inhibiteur dont l'action est destinée à empêcher la formation des réseaux cristallines, en maintenant les ions dispersés et en permettant de dépasser limite du produit de solubilité de ces sels.

### II.4.2.2- Sous système de filtration

#### II.4.2.3 Filtration à sable

Ce système élimine la plupart des particules en suspension, huile et graisses qui restent dans l'eau de mer. Ce système contient 36 filtres qui sont distribués d'une surface unitaire de  $92\text{m}^2$  avec une longueur de  $11,9\text{m}$  et un largeur de  $7,9\text{m}$ . L'épaisseur de la couche de sable est  $1,2\text{m}$  et elle est supportée sur de faux fonds dotés de buses filtrantes. La vitesse de filtration sera de  $5,19\text{m/h}$ .



*Figure II.5: filtres à sable*

*(Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès2023)*

## II.4.2.4- Système de microfiltration

### II.4.2.5-Filtre à cartouche (micro-filtres)

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

Ils existent 22 filtres, chaque filtre est composé de 290 cartouches de formes cylindrique en polypropylène Après colmatage, les cartouches seront remplacées.



*Figure II-6 : Filtres à cartouches*

*[Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023].*

Deux produits chimiques sont injectés à l'entrée des micro-filtres :



**.un anti tartre AWC (American Water Company) :** pour éviter la précipitation de sels incrustants qui produisent un colmatage rapide des membranes et par conséquent une diminution du débit d'eau traitée.

**.Réducteur de chlore (bisulfite de sodium) :** afin de ne pas endommager les membranes qui sont trop sensibles au chlore.

A la sortie des micro-filtres, ils existent des instruments de mesure de ph, de la température, de la pression et du potentiel redox (indication sur la présence du chlore) pour contrôler la qualité de l'eau d'alimentation des membranes.

#### **II.4.2.6- Système l'osmose inverse**

L'osmose inverse est un procédé industriel efficace de désalinisation avec une pression de 50 à 80 bars.

Le but est essentiellement la diminution de la dureté de l'eau ce qui en rend l'utilisation plus agréable des équipements mais aussi de supprimer les polluants et d'en améliorer le gout par l'élimination des composés Chlorés.

Le débit de production est de 8.695 m<sup>3</sup>/h, avec une pression moyenne de 63 bars et taux de conversion 45%.

Système de membranes d'osmose inverse il est constitué de 12 racks, chaque rack est composé de 196 tubes disposés en parallèles et chaque tube se compose de 7 membranes en polyamide.

La capacité dessalée par Rack est 17 391 m<sup>3</sup> /j. La capacité totale de production des 4 unités est de 208 696 m<sup>3</sup> nominale de la production de l'eau par jour.



*Figure II-7-Bâtiment d'osmose inverse*

*[Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023]*

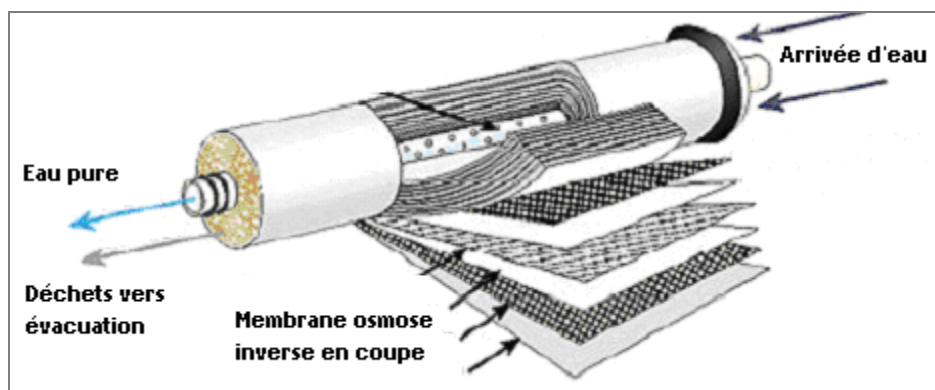
#### **II.4.2.7-La membrane**

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

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

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





*Figure II-8: le schéma de membrane. (www.pureprofrance.fr)*

#### **II.4.2.8- Système de Pompage Haut Pression, Pompe Booster et Récupérateur d'Énergie**

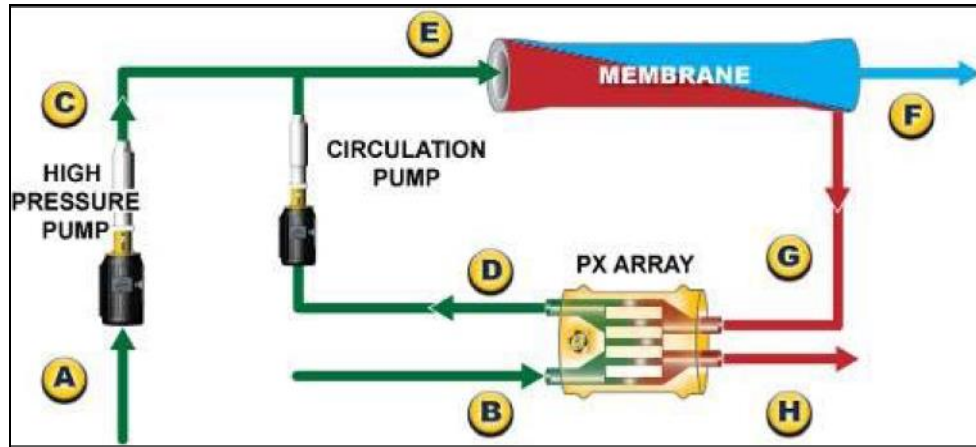
Avant de l'entrée dans les membranes d'Osmose Inverse, l'eau prétraitée arrive au système de pompage de haute pression généralement entre 55 à 85 bar. Le nombre des pompes est de 5 dont 4 sont fonctionnelle et une de secours, en fournissant une pression totale de l'ordre de 60 bar. Un total de 12 rack d'OI, avec une capacité nominale de production nette d'eau dessalée de 17 391m<sup>3</sup> /j chacune.



*Figure II-9 Pompe à Haut Pression*

*[Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023]*

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



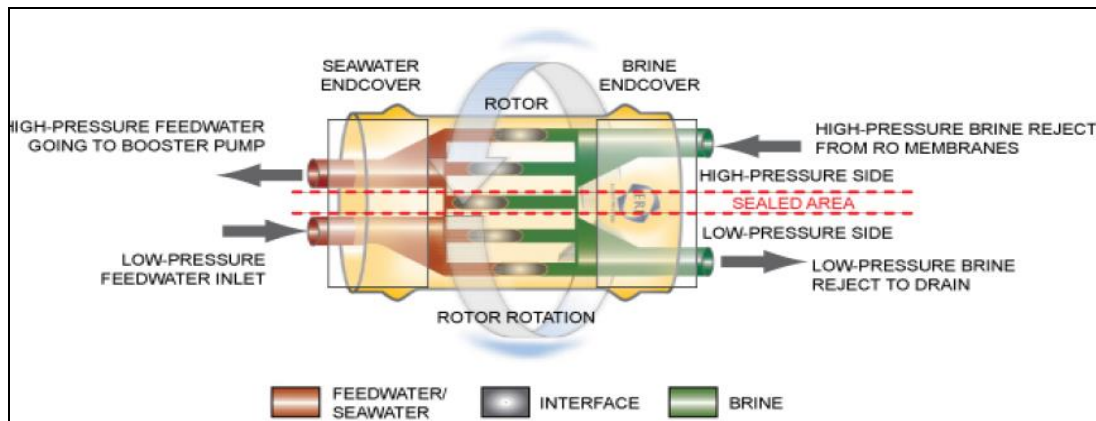
*Figure II-10: schéma général d'une unité d'osmose inverse (WWW.BENISAFWATER.COM).*



*Figure II-11 : système d'ERI*

*[Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023]*

Le système le plus élaboré est l'échangeur de pression développé par la société ERI car il est rotatif et ne comporte ni clapet ni piston. C'est la pression de la saumure qui assure la rotation du dispositif à une vitesse de 1200 tours par minute. Le rendement de récupération est supérieur à 95%. A cause de l'absence de piston, les fluides se mélangent partiellement mais seulement de quelques pour cent.



*Figure II-12: principe de fonctionnement des ERI (www.lenntech.fr)*

#### II.4.2.9-Châssis d'osmose inverse

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

L'eau prétraitée est pompée grâce aux pompes HP, rentre dans les racks avec une pression de 65 bars.

La capacité nominale de la production de l'eau dessalée par Rack est 17 391 m<sup>3</sup>/j. Donc la capacité totale de production des 4 unités est 208 696 m<sup>3</sup>/j.



*Figure II-13 : Un rack dans le système d'OI*

*[Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023].*

## **II.4.2.10-Nettoyage chimique**

### **II.4.2.10.1-Lavage chimique :**

Ce lavage s'effectue presque une fois par ans si la différence de pression est supérieur à 2 bar et la production diminue de (720m<sup>3</sup>/h à 620m<sup>3</sup>/h) ; on prépare la solution de lavage chimique qui est un mélange De trois solution : Na OH, SLS, Na-EDTA.

Cette opération s'effectuée dans l'agitateur de l'unité de lavage puis cette solution basique de PH (11.80-12) Reste 12 heures dans cette unité par un système de fraction : une heure et 30 min de circulations et 2 heures De maturation dans la membrane après cette opération on ajoute le permeat puis on passe à un lavage acide Par l'ajoute de l'acide tartrique du PH ((2.20 – 2.40) pendant 12 heures de maturation après ça on ajoute le permeate pour la régularisation du PH puis on fait un autre lavage basique pendant 12 heures puis l'ajoute de permeat après ça on ajoute la solution de biocide pour éliminer les micro-organisme pendant 2 heures et on ajoute aussi le permeat et enfin la solution est prête pour résoudre le problème de colmatage du système.

**II.4.2.10.2-Les procédures de nettoyage chimique et de désinfection des membranes :**

On doit procéder à un nettoyage chimique dans les cas ou :

- Le débit normalisé a baissé de 10%
- Les Seles dissous totaux normalisés 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.

La solution est r-circulée pendant 30 minutes, puis on procède à un trempage pendant deux heures environ.

La température de l'eau doit être limitée à 25°C. Après désinfection les corps de pression sont rincés à l'aide de perméat, jusqu'à disparition de toute trace de stérilisant.

**II.4.2.10.3-Procédures de protection des membranes en cas d'arrêt de la production :****A. Procédure pour des arrêts de moins de 7 jours :**

- Arrêt de la production.
- Rinçage du système avec du perméat sans oxydant, pendant 30 minutes.
- L'opération doit être répétée tous les deux jours si la température de l'eau est supérieure à 20°C.

**B. Procédure pour des arrêts prolonges :**

- Arrêt de la production
- Rinçage du système avec du perméat sans oxydant, la durée de rinçage est de l'ordre de 30 minutes.
- L'eau de rinçage est rejetée à l'égout.
- Le système étant rempli de solution, toutes les vannes l'isolant doivent être fermées.
- Répéter la procédure tous les mois.
- Pour le redémarrage du système, le perméat produit doit être rejeté à l'égout pendant au moins une heure.

**II.4.2.10.4-Les solutions de nettoyage :**

1. **Solution acide :** par m<sup>3</sup> d'eau de dilution contenu dans le bac, ajoute 10kg d'acide citrique (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>).

Contrôler régulièrement le pH. si celui-ci descend en dessous de 2,5 relever sa valeur en rajoutant de l'hydroxyde d'ammonium (NH<sub>4</sub>OH).

2. **Solution alcaline :** par m<sup>3</sup> d'eau de dilution contenu dans le bac ajouter :
  - 10kg de tri-poly-phosphate de sodium (Na<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub>).
  - 10kg d'EDTA de sodium en poudre.
  - 10kg de phosphate tri sodique (NaPO<sub>4</sub> 12 H<sub>2</sub>O).
  - Le ph de la solution doit être contrôlé pour le maintenir entre 10 et 11 en ajoutant de l'acide chlorhydrique.

**II.4.2.10.5- Procédures de désinfections :**

Cette procédure doit être appliquée en cas d'un colmatage important par des matières biologiques qui ont pu se développer à la surface de la membrane coté perméat.

Pour que la désinfection soit efficace on doit augmentée la pression de recirculation en laminant le débit du concentrât de qu'il à apparaisse un certain débit de perméat.

La solution stérilisante peut être préparée avec du formaldéhyde (CH<sub>2</sub>O, formol).

Des précautions d'hygiène et de sécurité doivent être respectées, car ce produit est dangereux.

**II.4.2.10.6-Les différentes étapes d'un nettoyage chimique :**

**Étape 1 :** rinçage des corps de pression avec du perméat jusqu'à ce que la conductivité sortie du concentrât.

**Étape 2 :** choisie préparation de la solution de nettoyage.



**Étape 3 :** évacuation à l'égout du fluide de rinçage.

**Étape 4 :** recirculer la solution pendant une heure.

**Étape 5 :** laisser tremper les membranes dans la solution pendant deux heures en respectant le programme suivant :

- Trempage pendant 30 minutes.
- Recirculation pendant 15 à 30 minutes et en renouvelant quatre fois le cycle remplage/recirculation.
- Vérification périodique de valeur du pH, les variations sont de l'ordre de 0.5 unité de pH.

**Étape 6 :** recirculation de la solution au débit maximum toléré.

**Étape 7 :** vidange des solutions usées et remplissage du bac avec perméat. Rinçage des membranes en rejetant le fluide à l'égout jusqu'à obtention d'une conductivité de celle du perméat.

**Étape 8 :** remise en service de l'osmoseur après que tous les tubes de pression du linge aient été nettoyés.

**Étape 9 :** mise à l'égout du perméat jusqu'à obtention de la qualité désirée.

### **II.4.2.11- Système de ré minéralisation et conditionnement de l'eau osmotique**

#### **II.4.2.11.1-Reminéralisations :**

Le perméat sort des membranes avec une conductivité très faible (environ 190uS/cm), ce qui traduit une faible teneur en sels minéraux qui sont nécessaires pour la consommation humaine selon les normes OMS des eaux potables. Sa composition chimique est corrigée par l'ajout de deux produits chimiques : le CO<sub>2</sub> et la chaux liquide qui sont produits dans l'unité et qui sont injectés continuellement dans le perméat.

**II.4.2.11.2-Préparation de la chaux liquide :**

Tout d'abords, la chaux solide est mélangée avec de l'eau industrielle (perméat) dans une cuve pour avoir le lait de chaux qui est transféré par la suite dans un bac plus grand (saturateur) et est dilué avec de l'eau industrielle. la PH et la conductivité de la chaux liquide préparée sont contrôlés continuellement.



*Figure II-14: silos de stockage de  $\text{CaCO}_3$  [Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023].*



*Figure II-15: Saturateur de  $\text{Ca}(\text{OH} + \text{H}_2\text{O})$  [Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023].*

L'injection de la chaux se fait dans le bassin de mélangeage qui se trouve dans le réservoir de l'eau.





*Figure II-15: injection de la chaux [Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023].*

#### **II.4.2.11.3- Production de CO<sub>2</sub> :**

Il est produit en utilisant le procédé de captage sur un solvant organique :

La Mono-Éthanol-Amine (MEA) après combustion d'un combustible. Le CO<sub>2</sub> produit est stocké dans deux réservoirs de 80 tonnes.

L'injection du CO<sub>2</sub> se fait dans le perméat à la sortie des membranes.

Pour assurer le suivi de l'opération de la reminéralisations, des instruments de mesure indiquant le ph et La conductivité sont placés à la sortie du réservoir de l'eau. En outre, un prélèvement d'un échantillon d'eau est effectué chaque une heure par les agents du laboratoire de contrôle pour l'analyser.

#### **II.4.2.11.4-Chloration :**

De l'eau de javel est injectée dans l'eau après sa reminéralisations via des pompes doseuses pour assurer une bonne désinfection.

La qualité de l'eau produite est contrôlée par des instruments de mesure de PH , de la température, de la conductivité , de la turbidité et de la teneur en chlore qui sont placés à la sortie finale de l'eau , elle est aussi contrôlée par le laboratoire de contrôle chaque trois heures.



*Figure II.16 : Analyser automatique au niveau de sortie de Réservoir  
[Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023].*

#### **II.4.2.11.5-Stockage et pompage d'eau dessalée :**

L'eau minéralisés est transféré vers le réservoir de stockage ; puis est pompé vers les points de distribution grâce à 4 pompes HP avec une pression de 30 bar pour que l'eau arrive au loin point de distribution ( 3 bar pour 300 mètres).

#### **II.4.2.12 - Système de recirculation du ré minéralisation**

Lors de la charge en calcite de la cuve supérieure de la couche se produit une période naturelle et transitoire de déséquilibre stœchiométrique et de dilution du dosage calcite et le CO2 contenu dans l'eau à l'entrée de la chambre. Cela a entraîné la mise en place d'un système de recirculation de l'effluent des cellules de calcite vers l'entrée du collecteur de l'eau osmotique avant la ré minéralisation pour reprendre l'eau et la calcite en suspension. Le système est

composé par des pompes submersibles et par des collecteurs des cellules et de distribution à la tête de la r é minéralisation. Ce système est commandé par un débitmètre électromagnétique.

( **M. Chartier, 2002**)

### **Conclusion**

Lors du dessalement en osmose inverse, est composée d'un pré filtration, la filtration procédée par pression à travers la membrane OI, composée d'un film fin en polyamide composite enroulé. Cette filtration permet de supprimer 99% des sels minéraux et organiques. Une eau de mer concentrée à 35.000 ppm peut ainsi ressortir selon l'effort de pression réalisé sur la membrane OI, à moins de 200 ppm. Le seuil de potabilité des eaux distribuées en réseau est généralement admis à 500 ppm. L'eau peut ensuite être reminéralisée, ajustée en PH ou subir des post-traitements UV, osmose, ou une légère chloration.

***CHAPITRE III***  
***CONTROLE DE QUALITE***

**Introduction**

Lors de la production de l'eau dessalée, il est nécessaire de faire des prélèvements des échantillons de l'eau dans chaque unité de traitement pour vérifier et analysée son état et pour avoir une eau agréable au goût et à la vue.

L'eau potable doit conformes aux normes de l'OMS.

*Tableau III- 1: Les normes de potabilité de l'OMS*

<b>Paramètres physico-chimique</b>	<b>Unites</b>	<b>Normes OMS</b>
<b>Température</b>	°C	< 25
<b>pH</b>	/	6,5 – 8,5
<b>CE</b>	µS /cm	180 – 1000
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	mg/l	0,5
<b>NO<sub>2</sub></b>	mg/l	0,2
<b>NO<sub>3</sub></b>	mg/l	≤ 50
<b>Ca</b>	mg/l	200
<b>Mg</b>	mg/l	150
<b>Na</b>	mg/l	≤ 200
<b>K</b>	mg/l	≤ 12
<b>Fe</b>	mg/l	≤ 0,3
<b>Al<sup>+</sup></b>	mg/l	≤ 0,3
<b>HCO<sub>3</sub></b>	mg/l	450

Cl	mg/l	$\leq 250$
SO <sub>4</sub>	mg/l	$\leq 250$

### III.1-Analyse physico-chimiques

#### III.1.1-Mesure de la température :

Pour des raisons de qualité organoleptique, l'objectif à poursuivre consiste à maintenir l'eau potable à une température égale ou inférieure à 15°C- 20°C.

ET mesurés par un appareil multi-paramètre de la marque MAYRON L CAMPANY 6 PFC<sup>E</sup>.

#### III.1.2-Mesure du pH :

Le pH permet de mesurer l'acidité d'une solution. Il est mesuré avec un pH-mètre. Ces paramètres ont été mesurés par un appareil multi-paramètre de la marque MAYRON L CAMPANY 6 PFC<sup>E</sup> au niveau de laboratoire de qualité de la station de dessalement de Ténès.



*Figure III.1: Appareil multi-paramètre.*

*[Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023].*

### III.1.3-Mesure la turbidité :

La turbidité est due à la présence dans l'eau de particules en suspension minérales ou organiques, vivantes ou détritiques. Ainsi, plus une eau est chargée en biomasse phytoplancton que ou en particules sédimentaires, plus elle est turbide.

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



*Figure III.2 : Turbidimètre de la station de Ténès.*

*([Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023].)*

### III.1.4- Indice de Langelier

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

*Tableau III.2: Fourchette d'équilibre de l'indice de Langelier.*

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

**III.1.5- Mesure de la conductivité :**

La conductivité est définie comme l'habilité d'une substance à conduire le courant (présence d'ions).

Conductivité typique des eaux

Eau ultra-pure  $5.5 \cdot 10^{-6}$  S/m

Eau potable 0.005 – 0.05 S/m Eau de mer 5 S/m

**III.1.6- Détermination de la dureté de l'eau :**

C'est en fait la détermination de la concentration des ions Ca + de l'eau.

**❖ 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'eriochromeT ,1%.



## ❖ Mode d'opérateur

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



*Figure.III.4 :A) avant le dosage de la dureté*



*Figure.III.5 :B) après le dosage de la dureté*

**III.1.7- Détermination du titre d'alcalinité TA**

L'alcalinité permettant de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenues dans l'eau. Cette analyse a pour but de la détermination titrimétrie de l'alcalinité.

**Principe :** c'est un titrage à l'aide d'une solution acide, le point final (le volume équivalent) est justifié par un changement de couleur en utilisant un indicateur coloré.

**❖ Appareillage et réactifs**

- Erlenmeyer de 250 ml
- Burette
- Echantillon d'eau produite
- Solution de H Cl à 0,2 N
- Méthyle orange à 0,04%.

**❖ Mode opératoire**

- Dans un erlenmeyer de 250 ml, prélever 100 ml d'eau à analyser;
- Ajouter 2 gouttes de méthyle orange et mélanger jusqu'à l'apparition de la couleur jaune-orange ;
- Titrer avec H Cl (0,2 N) jusqu'à obtenir le début d'une coloration orange ;
- Noter le volume de la burette «V».



*Figure.III. 6 : Avant le titrage*

*Figure.III.7: Après le titrage*

### III.1.8-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 Na OH 2 N
- Murexide.

#### ❖ Mode opératoire

- 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 Na OH 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 :

**Concentration en Calcium en mg/l = 8,016.V**

**En cas de dilution :**

En multipliant la relation par 100, on obtient :

**Concentration en Calcium en mg/l = 100.8, 016.V**

**Concentration en Magnésium :**

Magnésium (mg/l en  $\text{CaCO}_3$ ) : c'est la concentration totale des ions (calcium + magnésium) en mg/l en  $\text{CaCO}_3$  – Concentration en calcium en mg/l en  $\text{CaCO}_3$ .

**Mg (mg/l en  $\text{CaCO}_3$ ) = [(Dureté totale /50,044) – ( $\text{Ca}_2$ /20,04)].12, 156**



*Figure III.8: avant le dosage de Calcium et de Magnésium*



*Figure III. 9: Après le dosage de Calcium et de Magnésium*

### III.1.8-Mesure de la matière totale dissoute MTD

#### ❖ Mode opératoire :

La détermination du MTD permet d'estimer le taux de salinité d'une eau. Elle consiste à prélever dans un bécher 100ml d'eau à analyser. Cette dernière est placée dans une étuve à 180°C pendant 24 heures.

Le bécher est ensuite mis dans un dessiccateur qui permet de protéger l'eau contre l'humidité, peser le contenu immédiatement. Remarque Il faut peser le bécher vide avant l'expérience.

La masse obtenue est alors la différence entre la masse du bécher rempli d'eau  $m_1$  et le bécher vide  $m_0$ .

### III.1.9-Mesure de la matière en état stationnaire MES :

La MES permet d'estimer la teneur des matières en suspension d'une eau en utilisant des membranes.

❖ **Mode opératoire :**

- Poser la membrane sur un verre de montre en utilisant une pince puis la mettre dans une étuve pendant 30min
- Placer la membrane dans un dessiccateur
- Peser la masse  $m_0$  de la membrane
- Filtration
- La remettre dans l'étuve à  $105^{\circ}\text{C}$  pendant 1 heure
- La remettre dans un dessiccateur
- Peser la masse  $m_1$

### III.1.10-Mesure de la Chlorine :

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 III.10 : Appareil de mesure de chlore libre (2023)*

**III.1.11-Le PH-mètre :**

Ce prélèvement se fait une fois par jour au niveau d'analyseur automatique de chaque Rack, il faut vérifier le pH et la Conductivité grâce à une appareil très facile à utiliser et à portée qui permet d'analyser plusieurs choses à la fois s'appelle le pH mètre (III.11), puis il est nécessaire de noter les résultats obtenus pour compléter le rapport journalier.

Cette appareil est utilisé aussi pour vérifier le pH et la conductivité de l'eau de réservoir chaque 1h.



*Figure III. 11 : pH mètre*

*[Photo prise au niveau de la station de dessalement de Ténès 2023].*

**III.1.12-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 opératoire**

- 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. Éviter 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  $\text{SO}_4^{2-}$  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 III.12 : Spectrophotomètre pour la mesure de sulfate (a) et TSS (b) (Mai 2023)

### III.2.1- La conductivité électrique :

La conductivité électrique de l'eau représente la propriété d'une solution de conduire le courant électrique, en fonction de la quantité des ions présents dans l'eau. La conductivité de l'eau est un test facile à réaliser, qui informe sur la qualité de l'eau; ce test est utilisé comme une manière de suivre les changements de la composition d'ions, en utilisant un capteur. La valeur standard de la conductivité de l'eau potable se trouve entre les extrêmes acceptées de 0.0005 à 0.05  $\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$  ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), il y a aussi des études qui affirment que s'il y a des fluctuations des valeurs de la conductivité l'eau pourrait être contaminée.

### III.2.2- Mesure de la conductivité :

A l'aide d'un conductimètre multi-paramètres (HANNA, Hi 991300) à électrode constitué de deux lames carrées de platine de 1cm<sup>2</sup> de côté.

#### III.2.2.1-La mesure nécessite :

##### ❖ Matériels et réactifs

- Un Becher.
- conductimètre
- solution d'étalonnage

**❖ Mode opératoire**

Après avoir étalonné le conductimètre ; mettre ensuite environ 100mL d'eau à analyser dans un bécher, dans lequel on plonge l'électrode du conductimètre pour mesurer la conductivité exprimée en  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

**III.2.3-Les différentes problématiques de conductivité et les solutions proposées****III.2.3.1 - Problématiques de conductivité**

La conductivité peu engendré plusieurs problèmes grave qui peuvent nuire au bon fonctionnement du site, une d'eux est la saturation du filtre dans l'osmose inverse et l'augmentation de la température de l'eau ce qui conduit a l'augmentation de la conductivité de l'eau le danger de la conductivité peut-être très grave du fait qu'il cause le dysfonctionnement de tous l'usine et du réseau de distribution de l'eau

L'augmentation même minime de la conductivité peu engendré une augmentation exponentielle de la corrosion dans les tuyaux et les pompes de l'usine et du réseau de distribution

**III.2.3.2 - Les principaux raisons de l'augmentation de la conductivité des eaux**

Les Equipment de dessalement de eau (dessaleur) (les membranes, les filtres sature, les fuites | les injections des produits chimiques : antitartres, anti mouse l'augmentation de la température des eaux de mer, ce qui conduit a l'augmentation de la conductivité a cause de la quantité de chaleur que reçoive les ions de chlore, sodium, oxygène.

**III.2.3.3- Solution proposé**

-la stabilisation de la température et la pression, spécialement dans les pompes

-utilisé la technique de thermo-compression

-une des solutions qu'on utilise la plupart de temps et la diminution des produits chimique -anti mouse- vu que résoudre le problème de moussage est plus facile que de résoudre celui de l'augmentation de la conductivité la raison est que le moussage peu affecté les niveaux de l'eau

seulement et en sachant que l'eau n'es pas un produit explosif ou bien inflammatoire, on peut sans danger diminuer la quantité insufflé d'anti mouse

-ne pas attendre que le filtre soit complètement usé avant de le changer et sa en comparant entre la pression entrante et sortant.

*Tableau. III.3: Les résultats d'analyses de l'eau produite.*

Date Eléments	Unité	14/05/20 23	22/05/20 23	24/05/202 3	28/05/2023	Limite maximale
<b>pH</b>	/	7,82	7,80	7,79	7,79	6,5-8,5
<b>Température</b>	(C°)	17,35	18,70	17,25	17,26	<25
<b>Conductivité</b>	(µS/cm)	539,54	556,83	522,19	522,08	<2500
<b>TDS</b>	P pm	336,68	347,13	326,18	323,00	150<TDS<500
<b>Turbidité</b>	NTU	0	0	0	0	5
<b>Salinité</b>	%	0	0	0	0	/
<b>Dureté totale</b>	mg/l CaCO <sub>3</sub>	80,75	80,50	80	80,25	500
<b>Calcium</b>	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	70,89	70,64	70,14	70,39	200
<b>Magnésium</b>	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	9,86	9,86	9,86	9,86	<150
<b>Alcalinité</b>	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	87,50	87,50	87,25	87	>65
<b>Chlore libre</b>	mg/l	0,28	0,19	0,19	0,26	1
<b>Bore</b>	mg/l	0,60	0,60	0,60	0,60	1
<b>Indice de langelier</b>	/	0,12	0,13	0,09	0,09	/

### III.4. Interprétation des résultats:

- **Le potentiel d'hydrogène :** les valeurs du pH des eaux traitées sont comprises entre 7,79 et 7,82 avec une valeur moyenne de 7,80. Se référant aux normes de qualité de l'eau potable, les valeurs de pH des eaux traitées sont conformes aux normes Algériennes dont les valeurs sont fixées de 6,5 à 8,5.
- **La température :** les échantillons ont une température varie entre 17,25 et 18,70. La norme algérienne indique la température est  $<25^{\circ}\text{C}$ , donc ces valeurs sont dans les normes de potabilité.
- **La conductivité électrique :** les valeurs enregistrées sont entre 522,08 et 556,83  $\mu\text{s}/\text{cm}$  avec une valeur moyenne 535,16 $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

La valeur de conductivité électrique est conforme à la norme Algérienne, dont les concentrations maximales admissibles sont respectivement inférieurs à 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$ .
- **Total des solides dissous (TDS) :** les résultats obtenus ont montrés que le taux de TDS varie entre 323 et 347,13ppm, soit une valeur moyenne de 333,25ppm. Les valeurs de TDS se révèlent conformes aux normes préconisées par les normes algériennes qui sont de 150 à 500ppm dans les eaux traitées par dessalement.
- **La turbidité :** la norme algérienne fixe une valeur de 5 NTU de la potabilité de l'eau, les échantillons analysés ont une valeur plus proche de zéro ; ce qui est dans la norme.
- **La dureté totale :** les mesures de la dureté totale de l'eau traitées comprises entre 80 et 80,75 mg/l en  $\text{CaCO}_3$  avec une valeur moyenne de 80,37mg/l. les valeurs enregistrées s'avèrent inférieurs à la valeur maximale admissible recommandée par les normes algériennes qui est 500mg/l.
- **Le calcium et le magnésium :** l'analyse des concentrations en calcium sont comprises entre 70,14 et 70,89 mg/l en  $\text{CaCO}_3$ . Ces valeurs sont très inférieures par rapport à la norme algérienne qui indique 200mg/l en  $\text{CaCO}_3$ .
- **L'alcalinité :** Les résultats montrent des valeurs comprises entre 87 – 87,5mg/L en  $\text{CaCO}_3$  avec une valeur moyenne de 87,31mg/l en  $\text{CaCO}_3$ .

Ces valeurs sont également conformes aux normes algériennes qui limitent le taux d'alcalinité des eaux de consommation  $>65$  mg/L en  $\text{CaCO}_3$ .

- **Le chlore libre ( $\text{Cl}_2$ ) :** Le chlore est l'un des réactifs le plus utilisé lors de la désinfection. Il ne devrait pas dans les conditions normales d'exploitation, d'avoir plus de 0,6mg/l à 1mg/l de chlore libre ( $\text{HOCl}$ ,  $\text{OCl}^-$ ) dans l'eau de consommation. Cependant, les résultats donnent une valeur maximale égale à 0,28mg/l ( $<1$  mg/l) se qui dans les normes de potabilité.
- **L'indice de langelier :** les résultats de calcul de cet indice comprise entre 0.09 et 0.13se qui signifier que l'eau produite conforme à la potabilité.

# **CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATION**

## CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS

---

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

Le procédé de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse a connu un grand développement et présente beaucoup d'avantages. Sur le plan environnemental, il fonctionne à basse température, ce qui prévient une pollution thermique. Sur le plan énergétique, Ce procédé utilise principalement de l'énergie électrique; il est relativement simple et plus performant, Avec une récupération d'énergie du concentrât de 95 %.

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

La saumure comparativement à l'eau de mer présente une salinité beaucoup plus élevée, ce qui est l'inconvénient majeur du dessalement.

A l'heure actuelle, le dessalement d'eau de mer à travers notre pays se fait par les mêmes Procédures que celles de la station de Ténès. Il serait alors intéressant de souligner les

Recommandations suivantes :

Restituer à l'eau de façon équilibrée les minéraux en phase de reminéralisation. Sachant qu'une eau faiblement minéralisée est plus corrosive pour la tuyauterie.

Aussi, recourir à une eau de dessalement pour alimenter une région devra être pris avec la plus grande prudence et après une étude approfondie de l'apport total de minéraux dont bénéficie la population cible. L'idéal serait d'entreprendre des études épidémiologiques occasionnelles, en vue de mesurer les effets que peut avoir sur la s

Les saumures doivent impérativement passer un contrôle exhaustif de toxicité qui tient compte des caractéristiques du système récepteur et prêter une attention particulière à la dilution du concentrât.



## BIBLIOGRAPHIE

---

### Bibliographie:

**Viviane Renaudin ,2003** ARTICLE (Le dessalement de l'eau de mer et des eaux Saumâtres) Publié le 18.11.2003 ([WWW.Culturesciences.chimie.ens.fr](http://WWW.Culturesciences.chimie.ens.fr))

**A. MAUREL, 2006** « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », 2ème édition, TEC & doc. 286p

**M. Chartier, 2002** Les prix du dessalement, Marée d'eau douce, Hydroplus, 121, Mars 2002, p.24 à 39.

**KUNTZ Delphine & Juliette ,2012** Eau potable : enjeux géopolitiques. Le dessalement est-il une solution d'avenir ? Publié par Delphine KUNTZ (1ère ES) et Juliette KUNTZ (1ère S). Février 2012 ( [www.tpeorbleu.wordpress.com](http://www.tpeorbleu.wordpress.com))

**Jean Dunglas ,2014** Le dessalement de l'eau de mer Une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau .Membre de l'Académie d'agriculture de France Manuscrit publié en février 2014

**PNUE-UNEP, 2001** Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens; impacts sur l'environnement, Athènes, septembre 2001

**BANDELIER Philippe, 2016** le 29 novembre 2016 LE DESSALEMENT D'EAU DE MER ET DES EAUX SAUMÂTRES ([www.encyclopedie-energie.org](http://www.encyclopedie-energie.org))

**Bessenasse Mohamed, 2006** Dessalement d'Eau de Mer : Etude de Trois Stations du Littoral Algérois; Université SAAD Dahleb (Blida), B.P 26 D Hadjout – W.Tipaza – 42200 – Algérie le 19 mai 2006

**Bureau d'étude National Eau et Environnement ,2009** SPA Alger, janvier 2009.

**ONM** (Office National de la Météorologie) de Dar El-Beida période (1995-2005)

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

**Algérienne des eaux, ADE Ténès,** mars 2017.

**S.KEHAL, 2001** « Rétrospective et perspective du dessalement en Algérie. Désalinisation»

**Ministère des ressources en eaux** et de l'environnement Algérienne des eaux.

**UNEP/MAP, 2003** « Dessalement de l'eau de mer en méditerranée évaluation et lignes directrices », MAP Technical Reports Series No. 139, Athens,

## BIBLIOGRAPHIE

---

### *Web graphie ou Sitographie*

1. [www.tpeorbleu.wordpress.com](http://www.tpeorbleu.wordpress.com)
2. [WWW.Culturesciences.chimie.ens.fr](http://WWW.Culturesciences.chimie.ens.fr)
3. ([www.encyclopedie-energie.org](http://www.encyclopedie-energie.org))
- 4.