

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abdelhamid Ben
Badais – Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد ابن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département d'Agronomie

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Aménagement Hydro-Agricole

Présenté par :

M. BOUZIANE Abdelkader
&
M. BOURROUBEY Allaâ Eddine

Thème

**Caractérisation physico-chimique et bactériologique de
l'eau potable produite par la station de dessalement de
l'eau de mer de Sonacter - Mostaganem**

Soutenu le : 01 Juillet 2026

Devant un jury composé de :

Qualité	Nom et prénom	Grade	Structure de rattachement
Président	HAMMOU Abdelillah	M.C.A.	Université - Mostaganem
Directeur de mémoire	BAKHTI Abdallah	Pr.	Université - Mostaganem
Examinatrice	BELHANAFI Hamida	M.A.A.	Université - Mostaganem

Année universitaire 2025/2026

« L'eau douce peut manquer, mais les océans offrent une ressource presque inépuisable grâce au dessalement »



Remerciements

*Au nom d'**Allah** le tout miséricordieux, le très miséricordieux et que les éloges et le salut soient sur notre prophète **Mohamed**.*

*Tout d'abord, nous remercions **Allah**, notre créateur de nous avoir accordé vie, santé, sagesse et paix de l'esprit sans quoi nous n'aurions pu achever ce modeste travail.*

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre encadrant, le Professeur BAKHTI A. pour avoir assuré la direction de ce travail, pour sa disponibilité et ses encouragements et ses conseils.

Nous remercions l'ensemble de membres de jury qui ont accepté d'examiner et d'évaluer notre travail, on est honorés par leur présence.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à toute l'équipe de la station de dessalement de l'eau de mer Sonacter de Mostaganem pour leur accueil chaleureux, leur disponibilité tout au long de la réalisation de notre stage. Nous exprimons également notre profonde gratitude à l'ensemble du personnel pour leurs conseils, leur accompagnement et les informations fournies, qui ont grandement contribué à
L'enrichissement de ce travail.

On remercie notre famille qui nous a toujours soutenue, nous a toujours montré amour et respect et nous a permis d'arriver où nous sommes aujourd'hui. En fin, on remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents pour leur soutien, leur patience,

Leur encouragement durant mon parcours scolaire.

A mes frères et mes sœurs ainsi à toute ma famille,

A tous mes amis,

Et à l'ensemble des étudiants de la promotion 2026.

BOUZIANE A.

Dédicaces

*Je dédie ce mémoire de fin d'études,
À mes chers parents, Aucun mot
ne pourra exprimer toute ma gratitude,
pour votre amour, votre soutien et vos sacrifices.*

*Votre présence, vos encouragements et
votre confiance en moi m'ont toujours donné la force de
poursuivre mes études et de surmonter les difficultés.*

*À toute ma famille maternelle et paternelle,
À tous ce qui aiment le bon travail et ne recule pas devant les
obstacles de la vie.*

BOURROUBEY A.

Résumé

L'objectif de l'étude était d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau dessalée, produite par la station de dessalement de l'eau de mer de Sonactar (Mostaganem), et la comparée avec celle de certaines eaux minérales plates embouteillées (Ifri, Lalla Khedidja, Bouglez et Guedila) et aux normes algériennes en vigueur afin de s'assurer de sa conformité. Aussi, au cours de notre stage à la station, nous avons suivi les différentes étapes du procédé de traitement de dessalement de l'eau de mer afin de comprendre le processus utilisé pour rendre l'eau potable et suivre les différentes analyses effectuées pour le contrôle de l'eau produite.

Mots clés : Eau de dessalement, qualité physico-chimique et microbiologique, Mostaganem.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the physicochemical and microbiological quality of desalinated water produced by the Sonactar seawater desalination plant (Mostaganem) and to compare it with that of certain bottled still mineral waters (Ifri, Lalla Khedidja, Bouglez, and Guedila) and with current Algerian standards to ensure its compliance. Furthermore, during our internship at the plant, we observed the various stages of the seawater desalination process to understand the process used to make the water potable and to monitor the different analyses performed to control the produced water.

Keywords : Desalinated water, physicochemical and microbiological quality, Mostaganem.

المخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية للمياه المحلاة المنتجة في محطة سوناختر لتحلية مياه البحر في مستغانم، ومقارنتها بجودة بعض المياه المعدنية المتوفرة تجاريًا (إفري، لا خديجة، بوقلاز و قديلة)، بالإضافة إلى مقارنتها بالمعايير الجزائرية الحالية لضمان مطابقتها لها. خلال فترة تدريبنا في المحطة، تابعنا المراحل المختلفة لعملية تحلية مياه البحر لفهم العملية المستخدمة لجعل المياه صالحة للشرب، ولمراقبة التحليلات المختلفة التي تُجرى للتحكم في جودة المياه المنتجة.

الكلمات المفتاحية: المياه المحلاة، الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية، مستغانم

Table des matières

Remerciments

Dedicaces

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale	1
------------------------------------	---

Chapitre 1 : Généralités sur l'eau potable

1. 1. Introduction	2
1. 2. Définition de l'eau	2
1. 3. Les particules existantes dans l'eau	2
1. 4. Les sources d'eau salée	4
a. Les eaux saumâtres	4
b. Les eaux marines	4
1. 5. Le cycle de l'eau.....	4
1. 6. Les paramètres de qualité des eaux	4
1. 6. 1. Les paramètres organoleptiques.....	4
1. 6. 2. Les paramètres physiques	6
1. 6. 3. Les paramètres chimiques	7
1. 6. 4. Paramètres biologiques	8
1. 6. 5. Paramètres bactériologiques.....	9
1. 7. Les critères de potabilité	9
1. 8. Différents types d'eau potable	10
a. Les eaux de source.....	10
b. Les eaux minérales	10
c. Eaux souterraines (captage par puits).....	10
d. Eaux de dessalement.....	11

Chapitre 2 : Les procédés de traitement de l'eau de mer

2. 1. Le dessalement de l'eau en Algérie	12
2. 2. Stations de dessalement en Algérie	12
2. 3. Avantages et inconvénients du dessalement de l'eau de mer.....	12
2. 4. Schéma général d'une installation de dessalement.....	14
a. Alimentation en eau de mer	14
b. Prétraitement.....	14

2.5. Les technologies de dessalement des eaux de mer	15
a. Osmose inverse	15
b. Electrodialyse.....	16
2. 6. Autres procédés de dessalement	18
2. 7. Problèmes techniques rencontrés en dessalement	18
a. Entartrage	19
b. Corrosion.....	19
c. Colmatage	19
d. Rejets de saumure.....	19
2. 7. Impacts du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement.....	19

Chapitre 3 : Matérielsetméthodes

3. 1. Introduction	21
3. 2. Présentation de la station de dessalement de Sonacter.....	21
3. 3. Description du processus de dessalement de l'eau de mer.....	21
3. 4. Normes réglementaires de la qualité de l'eau potable.....	26
3. 5. Méthodologie de travail.....	29
3. 6. Méthodes d'analyse	30
3. 6. 1. Analyses physico-chimiques	30
3. 6. 2. Analyses microbiologiques.....	33
3. 7. Comparaison des résultats obtenus.....	34

Chapitre 4 : Résultatset discussion

4. 1. Résultats obtenus.....	35
4. 1. 1. Analyses physico-chimiques	35
4. 1. 2. Analyses bactériologiques	39
4. 2. Etude comparative.....	40
Conclusion	43
Références bibliographiques	44

Liste des tableaux

Tableau 1 : Concentrations des éléments principaux et des éléments mineurs dans l'eau de mer	3
Tableau 2 : Classification d'une eau selon le pH.....	6
Tableau 3 : Quelques paramètres chimiques.....	7
Tableau 4 : Les prétraitements physico-chimiques.....	15
Tableau 5 : Paramètres de qualité de l'eau potable selon les normes Algériennes.	27
Tableau 6 : Paramètres microbiologiques	28
Tableau 7 : Les résultats d'analyse de l'eau produite	35
Tableau 8 : Paramètres chimiques des eaux analysées.....	37
Tableau 9 : Paramètres microbiologiques	39
Tableau 10 : Résultats de l'étude comparative	40

Liste des figures

Figure 1 : Structure de la molécule d'eau.....	2
Figure 2 : Schéma du cycle de l'eau.	5
Figure 3 : Schéma général d'une installation de dessalement	14
Figure 4 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.	16
Figure 5 : Principe de l'électrodialyseur.	17
Figure 6 : Station de dessalement de Sonactar.....	22
Figure 7 : Localisation de la station	22
Figure 8 : Diagramme de processus de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse.	26
Figure 9 : Laboratoire de la station de dessalement.....	30
Figure 10 : Colorimètre Hach DR 890.....	31
Figure 11 : Appareil de mesure de la turbidité	31
Figure 12 : Appareil multi paramètre WTW Multi 340 i.....	32
Figure 13 : Mesure du pH d'un échantillon d'eau	32
Figure 14 : Mesure de la conductivité.	33
Figure 15 : Résultats de l'analyse microbiologique.....	40

Introduction Générale

Introduction générale

Patrimoine naturel le plus précieux de l'humanité, l'eau est très inégalement répartie dans le monde. Pour des raisons climatiques les zones arides et semi-arides ne disposent que de 2% des eaux qui circulent sur l'ensemble des terres [1]. La disponibilité en eau est l'une des clés de la distribution des êtres vivants à la surface de la terre. Ils l'utilisent pour les besoins de leur vie quotidienne, pour leur agriculture et leurs industries. La multiplication des conflits géopolitiques liés à l'eau ainsi que la montée rapide des coûts de production de l'eau potable dans la plupart des pays sont les indices d'une crise majeure de cette ressource [1, 2]. La valeur de l'eau sera sûrement dans les prochaines à venir plus importante que la valeur de l'énergie. Devant les besoins croissants en eau douce et à la difficulté d'approvisionnement en eau douce, l'Algérie a mis beaucoup de moyens pour développer le procédé permettant de l'obtenir à partir des eaux de mers, en mettant en place ces dernières années un programme ambitieux de construction de stations de dessalement. Le dessalement de l'eau de mer est un procédé permettant d'éliminer les sels présents dans les eaux salées ou saumâtres afin de les rendre potables [2]. L'Algérie met en œuvre un programme d'avenir d'une ampleur exceptionnelle, qui prévoit de porter, à l'horizon 2030, à 27 le nombre de stations de dessalement du pays, pour une capacité totale de 5,7 millions de m³/jour. L'objectif stratégique est d'assurer 60 % de l'approvisionnement en eau potable grâce au dessalement. Pour la réalisation de ce mémoire, nous avons suivi le procédé de l'osmose inverse, utilisé par la station de dessalement Sonacter de Mostaganem, qui permet de transformer l'eau de mer en eau potable et aussi nous avons aussi suivi les différentes analyses physico-chimiques de l'eau dessalée produite. Enfin, nous avons comparé les différents résultats d'analyse obtenus concernant cette eau avec ceux de certaines eaux minérales commercialisées et aux normes algériennes en vigueur.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres ;

Le premier chapitre présente des généralités sur l'eau et les principaux paramètres de qualité des eaux ;

Le deuxième chapitre traite les procédés de traitement de l'eau, notamment le dessalement ;

Le troisième chapitre est consacré aux matériels et méthodes utilisés dans cette étude ;

Le quatrième chapitre présente les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques effectuées sur l'eau produite par la station de Sonacter et une étude comparative des résultats obtenus avec ceux de quelques eaux minérales embouteillées ;

Enfin, ce travail s'achève par une conclusion générale.

Chapitre 1

Généralités sur l'eau potable

1. Généralités sur l'eau potable

1. 1. Introduction

L'eau est indispensable aux activités humaines. Au-delà des besoins physiologiques quotidiens et quasi incompressibles, environ 3 litres par jour pour une personne, on distingue les usages domestiques, agricoles et industriels. L'eau de mer constitue une solution aqueuse naturellement salée qui couvre la majeure partie de la surface terrestre. Elle est formée essentiellement d'eau et de sels minéraux dissous, dont le principal est le chlorure de sodium, accompagné d'autres éléments en plus faibles proportions tels que le magnésium et le calcium. Sa salinité moyenne avoisine 3,5 %, ce qui la rend impropre à la consommation directe pour la majorité des organismes terrestres [3]. En moyenne, la salinité est d'environ 35 g/L, mais elle peut présenter des variations importantes : elle est plus faible dans la mer Baltique (environ 7 g/L), plus élevée en Méditerranée (36 à 39 g/L), encore plus concentrée dans le golfe Persique (40 à 70 g/L) et atteint des valeurs extrêmes dans la mer Morte (environ 270 g/L) [4].

1. 2. Définition de l'eau

L'eau, de formule chimique H_2O , est une molécule constituée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène (Figure 1). Elle possède une structure polaire, où l'oxygène porte une charge partiellement négative et les hydrogènes des charges partiellement positives, ce qui lui confère des propriétés physico-chimiques particulières [5]. L'eau est un élément unique capable d'exister naturellement sous trois états : solide, liquide et gazeux [6].

À l'état liquide, l'eau est un excellent solvant, capable de dissoudre de nombreux gaz, sels minéraux et matières organiques, ce qui explique la variabilité de sa composition selon les régions et les milieux traversés [7, 8].

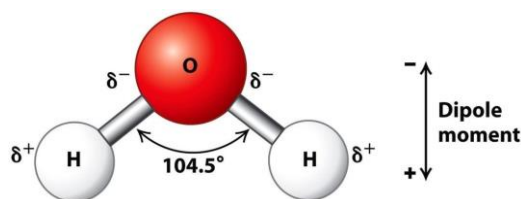


Figure 1: Structure de la molécule d'eau [9].

1. 3. Les particules existantes dans l'eau

On regroupe généralement les composés présents dans l'eau en trois catégories :

- Les substances en suspension
- Les substances colloïdales
- Les substances dissoutes.

Les particules en suspension proviennent de sources minérales ou organiques. La durée nécessaire pour le temps de décantation d'un mètre peut varier de quelques dixièmes de secondes à plusieurs jours, en fonction de leur diamètre et densité [10]. En théorie, les substances colloïdales de provenance minérale possèdent une densité réduite et pourraient nécessiter beaucoup de temps pour se décantent d'un mètre. Quant aux substances dissoutes, elles sont habituellement des cations ou anions de quelques nanomètres de diamètre, et par conséquent, leur décantation est encore plus lente. L'eau de mer contient de nombreux autres éléments à des concentrations beaucoup plus faibles (Tableau 1). Malgré leur faible concentration ces éléments ont une certaine importance dans les processus biologiques et organiques [8].

Tableau 1: Concentrations des éléments principaux et mineurs dans l'eau de mer [8].

Élément principaux	Concentration (mg/kg)
Chlorure (Cl^-)	19353
Sulfate (SO_4^{2-})	2712
Bicarbonate (HCO_3^-)	142
Bromure (Br^-)	67
Fluorure (F^-)	1
Bore (B^{3+})	4
Sodium (Na^+)	10160
Magnésium (Mg^{2+})	1249
Calcium (Ca^{2+})	413
Potassium (K^+)	387
Strontium (Sr^{2+})	8
Autres éléments Minéraux	Concentration ($\mu\text{g/L}$)
Lithium (Li)	170
Aluminium (Al)	10
Silicium (Si)	3000
Phosphate (P)	70
Titane (Ti)	1
Vanadium (V)	2
Manganèse (Mn)	2
Fer (Fe)	10
Cuivre (Cu)	3
Zinc (Zn)	10
Arsenic (As)	3
Rubidium (Rb)	120
Molybdène (Mo)	10
Iode (I)	60
Baryum (Ba)	30
Uranium (U)	30

1. 4. Les sources d'eau salée

Selon les types d'eau, les scientifiques les ont divisés selon leur nature et leurs composants en deux types principaux :

a. Les eaux saumâtres

Les eaux saumâtres sont des eaux qui contiennent une concentration intermédiaire de sel, entre l'eau douce et l'eau salée [11]. L'eau saumâtre est une catégorie d'eau salée qui n'est pas potable et dont la salinité est moins élevée que celle de l'eau marine. Habituellement, les eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 grammes de sels par litre. Cela concerne parfois l'eau de surface, mais le plus souvent, il s'agit d'eaux souterraines qui ont concentré des sels en dissolvant certains minéraux présents dans les sols qu'elles ont parcourus. Les sels dissous majeurs comprennent le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl .

b. Les eaux marines

La caractéristique la plus importante de l'eau de mer est sa salinité, c'est-à-dire la quantité totale de sels (chlorure de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux marines et océaniques est de 35 g/L [12].

1. 5. Le cycle de l'eau

L'eau circule sur terre sous différentes formes : nuages, pluie, rivières et océans. Elle va passer de la mer à l'atmosphère, de l'atmosphère à la terre puis de la terre à la mer, en suivant un cycle qui se répète indéfiniment. Au sein d'un même bassin, tous les milieux aquatiques (lacs, rivières, mer, nappes souterraines...) sont interdépendants durant ce cycle. Ce dernier se décompose en plusieurs étapes [13] (Figure 2) : L'évaporation, la transpiration (évapotranspiration), la condensation, les précipitations, le ruissellement et l'infiltration

1. 6. Les paramètres de qualité des eaux

1. 6. 1. Paramètres organoleptiques

• La couleur

La couleur de l'eau peut être attribuée à des composés minéraux tels que le fer ou le manganèse, ainsi qu'à des substances organiques. Les matières organiques englobent généralement les algues, les protozoaires et les produits naturels issus de la décomposition de la végétation (substances humiques, lignine) [14]. On ne doit pas faire d'amalgame entre couleur et turbidité. La couleur nuit considérablement à l'esthétique. En ce qui concerne l'eau potable, la couleur maximale admissible ne doit pas dépasser 15 mg/L de platine-cobalt [12]. Elle peut être attribuée à certaines impuretés minérales comme le fer, mais aussi à certains composés organiques tels que les acides humiques et fulviques. Il faut les éliminer pour rendre l'eau agréable à la consommation [15].

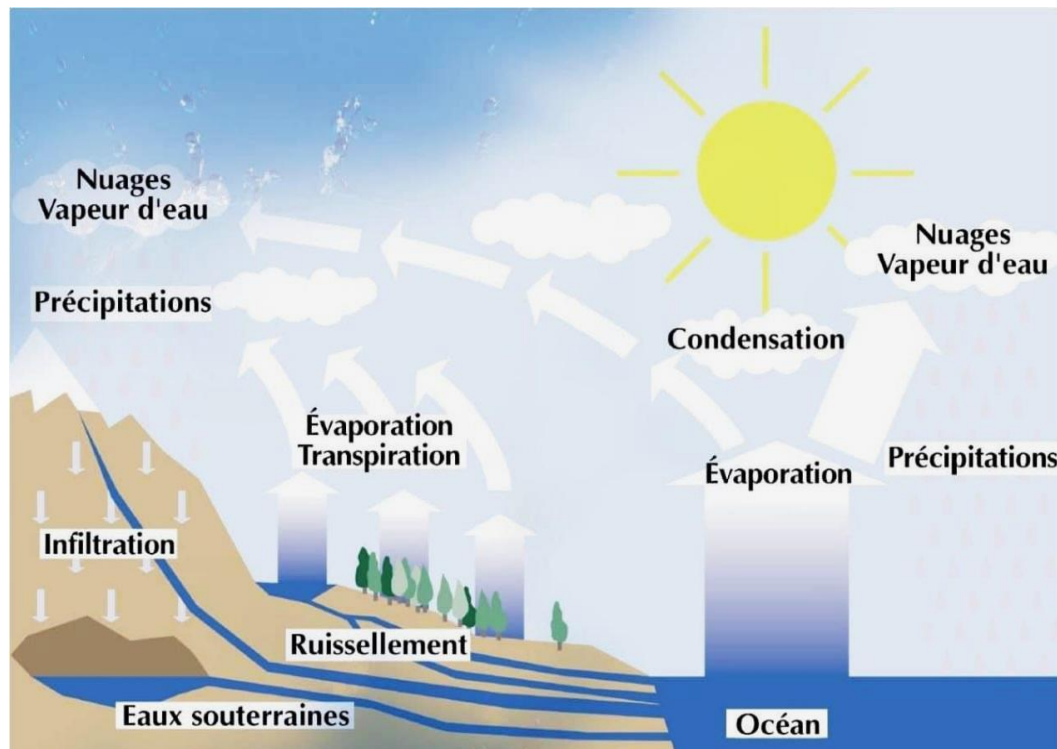


Figure 2: Schéma du cycle de l'eau [13].

- **Goûts et odeurs**

Le goût de l'eau peut être influencé par la présence de contaminants chimiques, qu'ils soient d'origine organique ou inorganique. Il peut également résulter de processus biologiques, tels que l'activité de micro-organismes aquatiques, ou encore de la présence de composés chimiques synthétiques [14]. L'odeur constitue, quant à elle, un indicateur de contamination ou de la présence de matières organiques en décomposition. Elle correspond à l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif lors de l'inhalation de substances volatiles. La nature de cette perception dépend directement des caractéristiques propres à chaque composé présent dans l'eau [12]. Pour être conforme à la consommation, l'eau doit présenter un goût et une odeur agréables. Toutefois, la majorité des eaux, qu'elles soient traitées ou non, possèdent une odeur plus ou moins perceptible ainsi qu'une certaine saveur. Ces caractéristiques, dites organoleptiques, restent fortement subjectives et ne peuvent pas être mesurées avec précision par des instruments. D'après les physiologistes, il existe quatre saveurs fondamentales : le salé, le sucré, l'acide et l'amer [16, 17].

- a. Saveur**

La saveur peut être définie comme la totalité des impressions ressenties après la stimulation par des substances solubles des papilles gustatives [12, 17].

- b. La turbidité**

La turbidité d'une eau est causée par la présence de particules en suspension, notamment les particules colloïdales telles que l'argile, le limon, les grains de silice et la matière

organique. Le pluviomètre a une importance significative pour ce paramètre dans l'eau superficielle et souterraine, en fonction de leur origine [12, 17, 18].

1. 6. 2. Les paramètres physiques

a. Température

Les facteurs environnementaux tels que l'emplacement géographique de la zone, l'hydrologie de l'écosystème et principalement les conditions climatiques dominantes ont une influence considérable sur la température de l'eau [19, 20].

b. pH

L'eau de mer est légèrement alcaline, avec un pH moyen d'environ 8,2, variant généralement entre 7 et 8,4. Les fluctuations du pH sont étroitement liées à la teneur en oxygène dissous et aux activités biologiques. En effet, la photosynthèse des organismes aquatiques entraîne une production d'oxygène et une diminution du CO₂, ce qui provoque une élévation du pH. À l'inverse, la dégradation de la matière organique consomme l'oxygène et libère du CO₂, entraînant une baisse du pH [21]. Dans certaines conditions particulières, notamment dans des milieux confinés, la production de composés comme le sulfure d'hydrogène (H₂S) peut entraîner une diminution importante du pH, pouvant atteindre des valeurs proches de 7, voire plus acides. Par ailleurs, le pH diminue légèrement avec l'augmentation de la température et de la pression. Il constitue aussi un paramètre essentiel de l'équilibre physico-chimique. Dans les eaux naturelles, il varie généralement entre 6 et 8,5 [22]. Bien qu'il n'ait pas d'effet direct sur la santé des consommateurs, le pH reste un indicateur fondamental pour l'évaluation de la qualité de l'eau [14].

Tableau 2 : Classification d'une eau selon le pH [12].

pH < 5	Acidité forte, présence d'acides minéraux ou organiques
pH = 7	Neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

c. Conductivité électrique

La conductivité offre un aperçu de la minéralisation d'une eau et, en ce sens, elle constitue un indicateur fiable de l'origine de cette eau. La conductivité électrique (CE) fait référence à

la faculté de l'eau à transmettre un courant électrique, et elle est directement liée à la salinité de l'eau. Donc, plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, meilleure est sa conductivité. De plus, la conductivité de l'eau est aussi influencée par sa température [19].

L'unité de mesure de la conductivité est le siemens par mètre (S/m), mais dans le cas de l'eau, on utilise couramment le micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) [23].

d. Salinité

La présence des sels dans l'eau modifie certaines propriétés comme la densité, compressibilité, point de congélation, température du maximum de densité. Cependant la viscosité et l'absorption de la lumière ne sont pas influencées de manière significative [24].

e. Dureté totale de l'eau

La dureté, aussi appelée le titre hydrotimétrique (TH) est liée à la concentration de sels de métaux alcalino-terreux présents dans l'eau, tels que le calcium, le magnésium et le baryum présents dans l'eau, de ce fait on peut distinguer différents types de dureté :

La dureté totale, la dureté calcique, la dureté magnésienne, la dureté permanente ou non carbonatée et la dureté temporaire.

La mesure de la dureté totale est essentiellement effectuée sur la base de la concentration en ions calcium et magnésium et sont exprimées en millimoles ou en milligrammes par litre ou encore en degrés Français ($^{\circ}\text{F}$) [12, 25].

f. Densité

Rapport de la masse volumique de l'eau à celle de l'eau distillée à une température de 4°C . La densité des océans est en moyenne de l'ordre de 1,035 à 1,036. Elle varie avec la salinité, la température et la pression. La densité est mesurée par : Le densimètre ou hydromètre à flotteur.

g. L'oxygène dissous

Désigne la quantité d'oxygène (O_2) présente dans l'eau sous forme dissoute. Il joue un rôle fondamental dans le maintien de la vie aquatique, car il est indispensable à la respiration des organismes vivants tels que les poissons et les micro-organismes, Normalement, la concentration moyenne d'oxygène dissous dans l'eau non polluée est de 8 mg/l et rarement dépasse les 10 mg/l [25, 26].

1. 6. 3. Les paramètres chimiques.

Tableau 3 : Quelques paramètres chimiques.

Paramètres chimiques	
Sodium (Na^+) : Le sodium, un élément alcalin, se retrouve sous forme d'ion Na^+ , il constitue un composant principal de l'eau [27-29].	Fer (Fe^{2+}) : Pour l'eau potable, la concentration maximale de fer autorisée est de 0,3 mg/l [12].
Magnésium (Mg^{2+}) : Les sources d'eau naturelles contiennent généralement du magnésium en concentrations faibles, qui varient en fonction des formations géologiques présentes [12, 28].	Manganèse (Mn^{2+}) : est la forme soluble de ce métal naturellement présent dans les eaux souterraines et de surface [19].
Calcium (Ca^{2+}) : Le calcium prédomine dans les eaux potables et sa concentration fluctue principalement selon la nature des sols traversés (sous-sols calcaires ou gypseux) [27].	Aluminium (Al^{3+}) : L'aluminium atteint les environnements aquatiques principalement par les émissions industrielles, l'érosion, le lessivage des minéraux et des sols ainsi que par la précipitation [31].
Nitrate et nitrite : La présence de nitrates et nitrites dans les sources d'eau potable provient principalement des activités humaines et à leur stabilité environnementale, devient de plus en plus courante [12].	Cuivre (Cu^{2+}) : Le cuivre dans l'eau provient surtout de la corrosion des canalisations et des rejets industriels. Il est soluble et sa concentration augmente en milieu acide [19].
Les bicarbonates : Leur présence dans l'eau est fonction du pH de cette dernière. Ce paramètre est essentiel pour évaluer les caractéristiques corrosives de l'eau [33].	Chlorure (Cl^-) : Le chlorure se retrouve en différentes concentrations dans les eaux naturelles, habituellement sous forme de sels de sodium et de potassium [32].
Les ions de sulfate : Leur présence dans l'eau potable peut conférer à celle-ci une saveur particulière. Les modifications de préférence sont liées à la nature du cation associé [14].	L'ammonium NH_4^+ : est une forme ionisée de l'azote issue de la décomposition de la matière organique en milieu anaérobie. Sa présence dans l'eau indique une pollution, même s'il est peu toxique à faibles concentrations (0,1–0,2 mg/L) [12].
Les ions phosphates : Leur présence est liée aux sols et à la décomposition organique. Ils favorisent la croissance excessive des algues, entraînant l'eutrophisation et la dégradation des milieux aquatiques [5].	

1. 6. 4. Les paramètres biologiques

a. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement la matière contenue dans l'eau, elle s'exprime en mg d'O₂/ litre [12].

b. Demande biochimique en oxygène (DBO)

La demande biochimique en oxygène représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique biodégradable contenue dans l'eau [5, 12]. C'est en fait l'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour dégrader la matière organique. L'expérience a montré qu'au bout de cinq (05) jours, une grande fraction de la matière est déjà oxydée (surtout la matière carbonée), c'est pour cette raison, que les mesures sont arrêtées au bout de cinq jours d'incubation et on parle alors de DBO₅. C'est le paramètre qui est le plus utilisé dans la caractérisation d'une eau usée.

1. 6. 5. Paramètres bactériologiques

L'eau ne doit renfermer ni bactéries ni virus susceptibles de provoquer une contamination microbiologique et d'entraîner une épidémie. Le comptage des bactéries implique l'identification de micro-organismes aérobies, c'est-à-dire ceux qui se développent en présence d'oxygène [34, 35-38]. La présence de coliformes fécaux ou de streptocoques fécaux souligne une pollution de l'eau par des excréments. L'existence d'autres coliformes et staphylocoques suggère une contamination fécale. Dans les deux situations, il est nécessaire de mettre en place des actions pour prohiber la consommation d'eau ou garantir son traitement.

Les coliformes totaux sont des bactéries présentes dans l'environnement (sol, eau, végétation) et parfois dans les intestins des humains et des animaux. Leur présence dans l'eau n'est pas forcément dangereuse, mais elle indique une possible contamination par des micro-organismes pathogènes [36].

Les coliformes thermo-tolérants : proviennent surtout des matières fécales des humains et des animaux à sang chaud, et leur présence signale une contamination fécale de l'eau. Ils peuvent être dangereux pour la santé, notamment à cause de bactéries comme *E. coli*, pouvant provoquer des maladies graves [37, 39].

Escherichia-coli : Coliforme thermotolérant, aérobie et facultativement anaérobie, qui se trouve généralement dans le gros intestin de l'homme et des animaux à sang chaud. Sa présence dans l'eau témoigne non seulement d'une récente contamination par des matières fécales, mais il est également possible de déceler la présence de bactéries, virus et protozoaires pathogènes [39, 40].

Clostridium est composé de micro-organismes anaérobies capables de produire des spores, dont le représentant le plus caractéristique [40], Clostridium perfringens, se trouve généralement dans les excréments, bien en dessous du volume d'E. coli. Les spores de Clostridium ont une longévité plus longue dans l'eau que les coliformes et résistante aux procédés de désinfection.

1. 7. Les critères de potabilité

L'eau destinée à la consommation doit respecter les exigences de qualité rigoureuses établies par le ministère de la santé. Les critères pour définir une eau « propre à la consommation » se réfèrent à [10, 12, 35-40] :

La qualité microbiologique : L'eau doit être exempte de parasites, de virus et de bactéries pathogènes.

La qualité chimique : Les normes rigoureuses s'appliquent aux substances chimiques qui ne sont pas des sels minéraux. On qualifie ces substances de « indésirables » ou de « toxiques ».

La qualité physique et gustative : L'eau doit être transparente, nette, aérée et ne doit avoir ni goût ni odeurs désagréables.

Les substances qualifiées de « non souhaitables » : On tolère leur présence tant qu'elle ne dépasse pas un certain seuil.

1. 8. Différents types d'eau potable

Les eaux potables destinées à la consommation humaine répondent à diverses appellations [41] :

a. Les eaux du robinet

L'eau du robinet, également connue sous le nom d'eau de distribution, est une eau potable qui peut être bue sans danger pour la santé. La composition minérale et le goût de l'eau du robinet fluctuent selon la région [42].

b. Les eaux de source

La source d'eau, provenant directement des nappes souterraines non contaminées, profondes ou sécurisées contre les rejets liés aux activités humaines, peut être consommée telle quelle. Elle est régulièrement soumise à des analyses pour garantir sa qualité [43]. Les méthodes autorisées pour traiter les eaux de source afin d'éliminer les composants volatils tels que les gaz, comprennent l'aération, la décantation et la filtration.

c. Les eaux minérales

Les eaux minérales sont des eaux qui possèdent des caractéristiques spéciales ; leur pureté

initiale, leur source unique protégée de toute contamination et leur composition minérale stable. À la différence de l'eau du robinet, leurs concentrations en minéraux et oligo-éléments ne sont pas restreintes, ce qui peut leur attribuer des propriétés curatives, et leur composition est stable dans le temps. Les eaux minérales bénéficient d'un nom de marque précis et d'une composition stable. De cette manière, le consommateur a la garantie de la constance et de la composition de l'eau de la marque sélectionnée [44].

d. Eaux souterraines

Les eaux qui ne sont pas évaporées ni restituées à la mer par le biais du ruissellement pénètrent dans le sol et le sous-sol, où elles s'accumulent pour former les eaux souterraines. La porosité et la composition géologique des sols déterminent la variation de ces infiltrations. L'infiltration et la conservation de l'eau dans le sol sont influencées par les propriétés des sols concernés, particulièrement leur structure qui peut favoriser la création de réservoirs d'eau appelés nappes aquifères [45].

e. Eaux de dessalement

Les eaux de dessalement également appelé dessalage ou désalinisation sont des eaux obtenues à partir de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre, auxquelles on a retiré une grande partie des sels minéraux pour les rendre potables ou utilisables [1]. Le dessalement de l'eau est une méthode qui facilite l'obtention d'eau douce.

Chapitre 2

Les procédés de traitement de l'eau de mer

2. Les procédés de traitement de l'eau de mer

La crise de l'eau potable annoncée pour les années 2000-2020 relance fortement l'intérêt de développer rapidement des techniques de dessalements moins chers, plus simples, plus robustes, plus fiables, si possible moins consommatrices d'énergie et respectant l'environnement [42, 46].

2. 1. Le dessalement en Algérie

On désigne également le dessalement sous les termes de désalinisation, ou plus occasionnellement, dessalage. Cela implique la séparation de l'eau et des sels à partir d'une eau non traitée, que ce soit de l'eau de mer ou une eau saumâtre. En moyenne, l'eau de mer contient 35 g/L de sels [47]. On y retrouve principalement des chlorures de sodium (76%) et de magnésium (11%), ainsi que des sulfates de magnésium (5%), de calcium (3,5%) et de potassium (2,4%). Dans l'eau, les sels se présentent sous forme d'ions tels que les chlorures et sulfates, le sodium, le magnésium, le calcium et le potassium. La salinité de l'eau de mer n'est pas constante. Dans les zones maritimes chaudes et partiellement fermées elle est plus élevée : en méditerranée elle varie de 36 à 39 g/L, dans Le golfe persique elle peut monter au-delà de 60 g/L. C'est l'inverse dans les mers froides recevant de forts apports fluviaux : 7g/L dans la Baltique [46, 47].

2. 2. Stations de dessalement en Algérie

L'Algérie avait mis en service, début 2025, cinq grandes stations à El Tarf, Boumerdès, Tipasa, Oran et Béjaïa, chacune d'une capacité de production de 300 000 m³/jour, portant ainsi à 25 le nombre total de stations de dessalement en activité dans le pays. Ces grandes stations fonctionnent à pleine capacité opérationnelle, en attendant que celles d'Oran et de Béjaïa atteignent leur capacité de production complète [48]. A propos du deuxième programme national complémentaire de dessalement d'eau de mer, l'Algérie prévoit la construction de six grandes stations d'une capacité de 300 000 m³ par jour chacune, dans les wilayas de Skikda, Jijel, Tizi Ouzou, Chlef, Mostaganem et Tlemcen, visant à garantir l'approvisionnement des citoyens en eau potable. L'Algérie met en œuvre un programme d'avenir d'une ampleur exceptionnelle, qui prévoit de porter, à l'horizon 2030, à 27 le nombre de stations de dessalement du pays, pour une capacité totale de 5,7 millions de m³/jour, plus de 2 148 km de réseaux, et une desserte de plus de 28 millions de personnes. L'objectif stratégique est d'assurer 60 % de l'approvisionnement en eau potable grâce au dessalement [48]. Il contribuera aussi, de manière significative à limiter le stress hydrique que connaît le

pays, notamment en raison des changements climatiques et de la faible pluviosité. L'eau produite sera acheminée vers les régions de l'intérieur sur des distances allant de 150 à 200 km, afin d'assurer une distribution équilibrée entre les différentes zones du pays.

La wilaya de Mostaganem comprend la station de dessalement d'eau de mer suivante :

- Station de dessalement de Mostaganem : 200 000 m³/jour d'eau potable.
- En projet : station de dessalement de capacité de production de 300 000 m³ par jour de Sidi Laadjel dans la commune de Khadra.

Enfin, l'Algérie compte renforcer ses capacités de dessalement d'eau afin d'assurer sa sécurité hydrique et faire face aux effets du réchauffement climatique. Après les wilayas du Nord, les pouvoirs publics comptent lancer des projets de dessalement des eaux souterraines dans le Sud pour la réalisation de deux stations de dessalement à Tamanrasset et Tindouf.

Par ailleurs, en association avec le groupe des banques africaines de développement, l'Algérie développe en parallèle des solutions pour valoriser les rejets issus du dessalement :

- Transformation des saumures en sel de table,
- Production de matériaux destinés à l'industrie des batteries électriques,
- Traitement des remontées salines qui menacent les Oasis du Sud et leurs dattiers.

Ces initiatives s'inscrivent dans une approche intégrée alliant efficacité hydrique, économie circulaire et protection des écosystèmes

2. 3. Les avantages et les inconvénients du dessalement de l'eau de mer

Le dessalement de l'eau de mer constitue une solution intéressante pour la production d'eau, permettant de pallier le manque des ressources en eau conventionnelles. Il s'impose aujourd'hui comme une technique largement utilisée pour assurer l'approvisionnement en eau potable et industrielle [1, 3, 49].

c. Les avantages

Le dessalement présente plusieurs atouts, notamment dans les pays côtiers comme l'Algérie, qui dispose d'un littoral d'environ 1200 km. L'eau de mer représente une ressource abondante, quasi inépuisable et généralement moins exposée à certaines formes de pollution. De plus, la majorité de la population et des industries à forte consommation d'eau étant localisées près des zones côtières, cela facilite l'exploitation de cette ressource et réduit les coûts de transport. Les progrès technologiques récents, en particulier le développement de procédés comme l'osmose inverse, ont permis d'améliorer considérablement les performances du dessalement. Par ailleurs, cette technique garantit une production continue et stable d'eau, indépendante des conditions climatiques et elle contribue à sécuriser l'alimentation en eau des différents utilisateurs [3, 48, 49].

d. Les inconvénients

Malgré ses avantages, le dessalement présente également certaines limites. Les installations sont coûteuses et nécessitent une forte consommation énergétique. Elles peuvent aussi générer des émissions de gaz à effet de serre, contribuant au réchauffement climatique. Sur le plan environnemental, les rejets de saumure, fortement concentrés en sels et en produits chimiques, peuvent perturber les écosystèmes marins, notamment les espèces sensibles à la salinité. De plus, les rejets issus du nettoyage des installations (filtres, membranes) peuvent contenir des substances polluantes. Enfin, la présence éventuelle de traces de métaux lourds et l'impact sur les zones côtières constituent des préoccupations supplémentaires [1, 3, 48, 49].

2. 4. Schéma général d'une installation de dessalement

La transformation de l'eau de mer en eau douce est divisée en plusieurs étapes techniques pour éliminer le sel et d'autres minéraux de l'eau de mer afin de la rendre potable ou utilisable pour l'irrigation. Voici les étapes clés du processus de dessalement (Figure 3) :

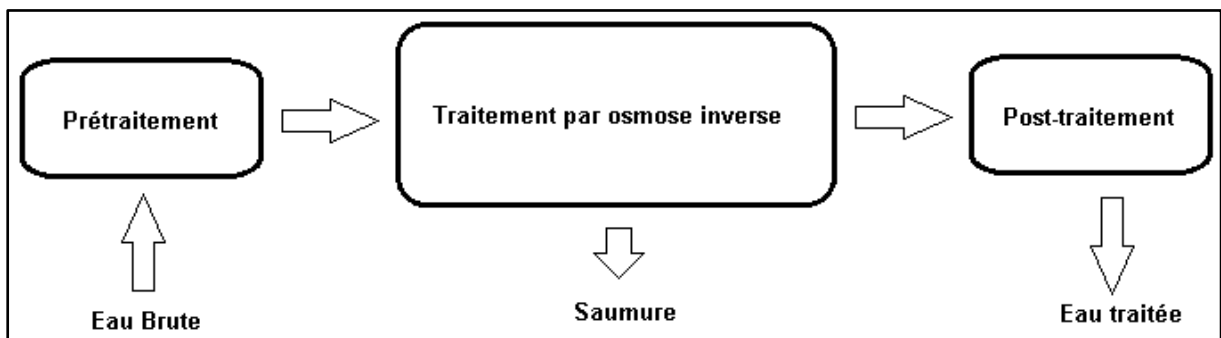


Figure 3 : Schéma général d'une installation de dessalement [1].

a. Alimentation en eau de mer

L'eau de mer peut être captée de deux façons : soit directement en mer (prise d'eau à ciel ouvert), soit à partir de puits côtiers. Les puits côtiers permettent d'obtenir une eau plus claire et moins chargée en impuretés, ce qui facilite le prétraitement.

Dans le cas d'une prise directe, le système comprend plusieurs éléments : les points de captage en mer, les conduites qui transportent l'eau vers un puits, une station de pompage, puis les canalisations qui acheminent l'eau jusqu'à l'unité de prétraitement. Les prises d'eau doivent être bien positionnées pour éviter l'aspiration de déchets ou de sédiments et assurer un bon débit d'eau [1].

b. Prétraitement

Les opérations de prétraitement sont réalisées en deux étapes : les prétraitements physiques et les prétraitements chimiques [50].

L'eau de mer est d'abord filtrée pour éliminer les solides en suspension, les sédiments et

d'autres particules puis, son pH est ajusté à une valeur comprise entre 5,5 et 6. On ajoute ensuite d'agents coagulants et d'antitartre pour prévenir la formation de tartre et de dépôts sur les membranes de dessalement. Cette opération est cruciale du prétraitement dans le dessalement de l'eau (notamment pour l'osmose inverse). L'opération suivante est la chloration qui inhibe la prolifération des organismes vivants et évite l'obstruction des conduites suivie d'une filtration qui protège les pompes et assure le bon fonctionnement des pulvérisateurs. Enfin, un antitartre qui empêche la précipitation du carbonate de calcium sur la paroi des échangeurs et préserve les rendements des échangeurs thermiques.

Tableau 4 : Les prétraitements physico-chimiques.

Prétraitements physico-chimiques	Prétraitements chimiques
Filtration mécanique	Acidification
Coagulation- floculation	Injection d'agents coagulants et d'antitartre
Filtration	Désinfection
Microfiltration	Injection d'agents d'antitartre

2. 5. Les technologies de dessalement des eaux de mer

Le principal procédé membranaire utilisé pour le dessalement de l'eau de mer en Algérie est l'osmose inverse. Aussi, la majorité des usines de dessalement fonctionnent grâce à un procédé appelé osmose inverse. Cette technique permet de filtrer l'eau de mer à travers une membrane semi-perméable, retenant ainsi le sel et les impuretés pour ne laisser passer que l'eau douce. De ce fait, nous décrirons ce procédé membranaire.

Les procédés membranaires plutôt que de retirer l'eau douce de l'eau de mer par évaporation, on pourrait considérer une séparation des sels dissous et de l'eau via l'utilisation de membranes sélectives. Actuellement, deux méthodes sont utilisées. Il s'agit de l'osmose inverse et de l'électrodialyse [43, 51, 52].

a. L'osmose inverse

Est un processus visant à égaliser la concentration en soluté de chaque côté d'une membrane semi-perméable. Il s'agit d'un processus naturel, en particulier via les membranes cellulaires [53]. L'osmose se manifestera par un mouvement d'eau de la solution moins concentrée vers la solution plus concentrée (Figure 4). Si l'on tente d'entraver ce courant d'eau en exerçant une pression sur la solution concentrée, le volume d'eau déplacé par diffusion va

réduire. Il viendra un moment où la pression exercée sera si intense que le courant d'eau se verra neutralisé. Si l'on simplifie en considérant que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est désignée sous le nom de pression osmotique. Un accroissement de la pression au-delà de la pression osmotique engendrera un mouvement d'eau s'écoulant à l'opposé du courant osmotique, soit de la solution concentrée vers la solution diluée ; c'est ce qu'on appelle le phénomène d'osmose inverse [52]. En résumé Le processus de dessalement se déroule en plusieurs phases ; l'eau est aspirée à l'extérieur grâce à une pompe de gavage. Cette eau brute contient du sel, des micro-organismes et diverses impuretés. Avant d'être envoyée sous pression, l'eau est filtrée (filtre à cartouche) afin d'éliminer les particules en suspension (sable, algues, débris). Cette étape est importante pour éviter d'endommager les membranes du système. Une pompe haute pression est utilisée pour comprimer l'eau. Cette pression est nécessaire pour forcer l'eau à travers les membranes et séparer l'eau douce du sel. L'eau sous pression traverse une membrane semi-perméable qui retient les sels, bactéries et autres impuretés. Seule l'eau pure passe au travers, tandis que l'eau plus salée est rejetée. L'eau obtenue est ensuite envoyée vers un réservoir d'eau douce.

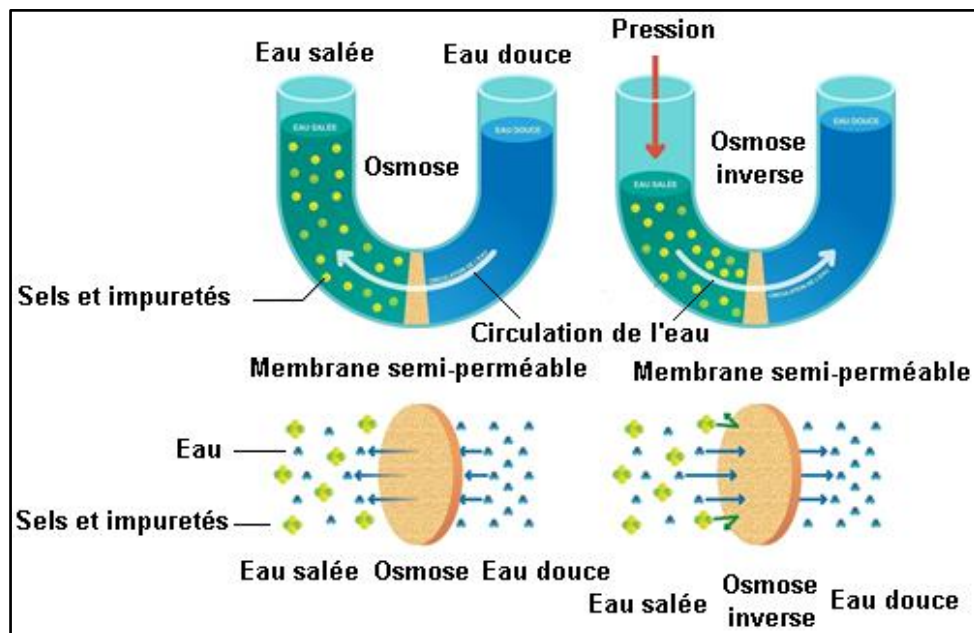


Figure 4 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse [54].

b. L'électrodialyse

Est une méthode de séparation par membranes qui remonte à plusieurs décennies, la première mise en place ayant eu lieu dans les années 1960. Cette méthode implique l'élimination de sels dissous présents dans l'eau saumâtre par leur migration à travers des membranes sélectives sous l'effet d'un champ électrique [54].

Le processus de diffusion d'un soluté à travers une membrane perméable est connu sous le nom de dialyse, L'électrodialyse est le processus par lequel les ions sont transportés à travers une membrane perméable sous l'action d'un champ électrique, Généralement, un électrodialyseur est composé de compartiments alternés, séparés par des membranes cationiques et anioniques, une direction de champ électrique est appliquée orthogonalement au plan des membranes [51-54].

Les ions ne peuvent se déplacer que dans une seule direction dictée par le champ électrique :

Les anions (ayant une charge négative) se dirigent vers l'anode (pôle positif)

Les cations (possédant une charge positive) se déplacent vers la cathode (pôle négatif). Les types d'électrodialyse peuvent être présentés comme suit :

L'électrodialyse conventionnelle est la technique la plus ancienne et demeure la plus couramment utilisée. Elle repose sur l'emploi de membranes échangeuses d'ions de type homopolaire. Différentes configurations peuvent être adoptées pour former le motif élémentaire, permettant ainsi de réaliser diverses opérations de séparation et de transformation. L'électrodialyse à membranes bipolaires est une technique plus récente. Elle utilise des empilements combinant des membranes bipolaires et des membranes échangeuses d'ions homopolaire, selon différentes configurations, afin d'optimiser les performances du procédé [52].

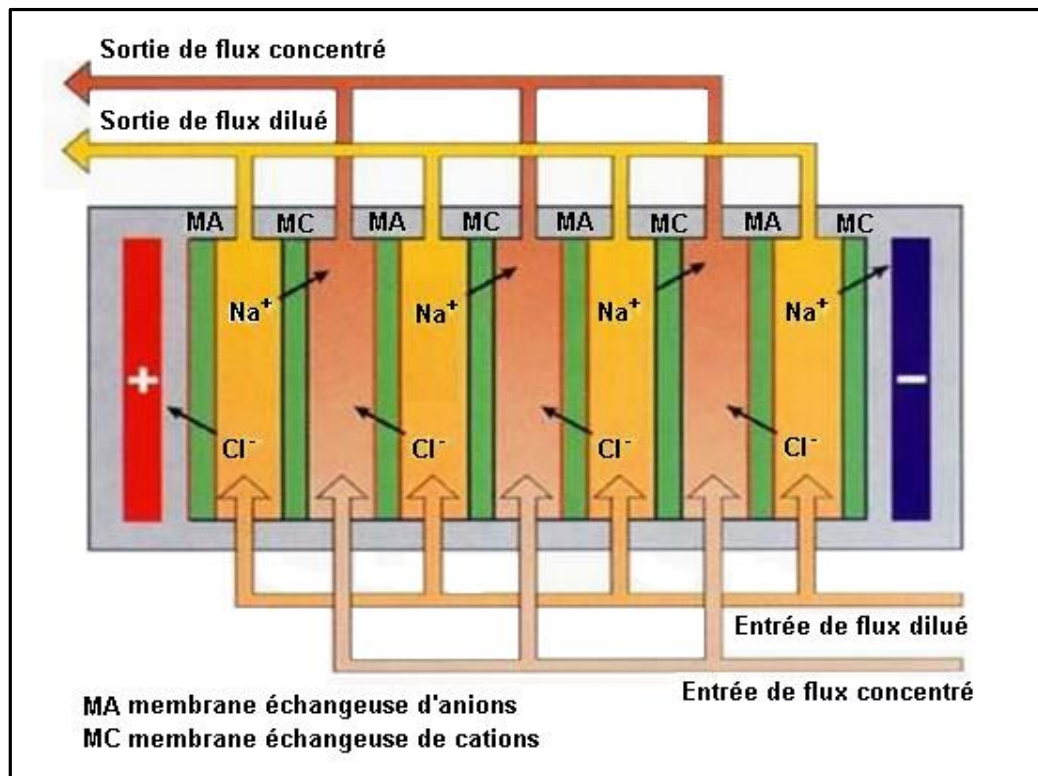


Figure 5 : Principe de l'électrodialyseur [52].

2. 6. Autres procédés de dessalement**Echangeurs d'ions**

La technologie privilégiée pour supprimer certains contaminants de l'eau potable est l'échange d'ions. Par rapport à d'autres méthodes, l'échange d'ions est extrêmement sélectif et est largement utilisé dans diverses applications à grande échelle pour

La suppression spécifique de la dureté, des nitrates, du Bore, des substances organiques naturelles, des perchlorates, des chromates, de l'uranium ainsi que d'autres métaux divers.

La déminéralisation de l'eau par échange d'ions est obtenue en faisant circuler de l'eau dans des réservoirs contenant des résines cationiques et ou anioniques [55, 56].

Extraction par solvants

L'opération fondamentale d'extraction par solvant consiste à retirer un composé (soluté) d'un liquide en utilisant un autre liquide (solvant). Cette technique se base sur la capacité de certains solvants à se mélanger à l'eau, sans être un solvant pour les sels [57].

Distillation solaire

Le distillateur solaire constitue l'un des systèmes les plus simples pour le dessalement de l'eau de mer. Il se présente sous la forme d'un bassin recouvert d'une vitre transparente, généralement inclinée en forme de V inversé, et contenant de l'eau salée. Le fond du bassin est revêtu d'un matériau sombre afin d'optimiser l'absorption du rayonnement solaire.

Ce dispositif fonctionne selon le principe de l'effet de serre : la vitre laisse passer les rayons solaires tout en retenant les radiations infrarouges, ce qui permet d'accumuler la chaleur à l'intérieur. L'élévation de la température entraîne alors l'évaporation de l'eau salée. La vapeur produite s'élève, se condense sur la surface interne de la vitre, puis s'écoule le long des parois vers un canal de récupération sous forme d'eau distillée [58]. Le rendement moyen d'un distillateur solaire performant est de l'ordre de 3 à 4 litres par mètre carré et par jour.

Nano filtration

La nano filtration est aussi un procédé de séparation faisant intervenir la pression comme force motrice. Les membranes utilisées ont un seuil de coupure, variant de 1 à 5 nm, laissant passer les ions monovalents et molécules de diamètres équivalents. Ceux-ci contribuent à la valeur élevée de la pression osmotique de la solution [60, 61].

2. 7. Problèmes techniques rencontrés en dessalement

Le dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres est confronté à plusieurs problèmes techniques majeurs, notamment l'entartrage, la corrosion, le colmatage et la gestion des rejets

de saumure.

a. Entartrage

L'entartrage correspond à la formation de dépôts de sels minéraux sur les surfaces d'échange, due à la présence d'ions tels que le calcium, le magnésium, les bicarbonates et les sulfates. Ces dépôts sont principalement constitués de carbonate de calcium (CaCO_3), d'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et de sulfate de calcium (CaSO_4). Ils entraînent une réduction des sections de passage, une augmentation des pertes de charge, une obstruction des conduites ainsi qu'une dégradation des performances hydrauliques [62].

b. Corrosion

La corrosion désigne la dégradation progressive des matériaux, notamment des métaux, sous l'action de l'eau salée ou de substances chimiques. Elle provoque des dommages importants tels que la rupture des conduites, l'augmentation de la rugosité, les fuites et la contamination éventuelle de l'eau produite [61].

c. Colmatage

Le colmatage est dû à l'accumulation de matières en suspension et de substances organiques sur les surfaces, ce qui réduit l'efficacité des installations. Le développement de micro-organismes peut aggraver ce phénomène par la formation de biofilms. Ses principales conséquences sont l'augmentation des pertes de charge, la diminution du flux de production et une altération de la qualité de séparation des sels [62].

d. Rejets de saumure

Les rejets de saumure constituent un problème environnemental important. Ces rejets, riches en sels et en produits chimiques (antitartres, coagulants, métaux...), peuvent perturber les écosystèmes marins s'ils ne sont pas correctement dilués ou évacués. L'impact devient plus important avec l'augmentation du nombre et de la taille des stations de dessalement [61].

2. 8. Impacts du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement

Le dessalement de l'eau de mer engendre plusieurs impacts environnementaux, principalement sur le milieu marin, liés au prélèvement d'eau, à la consommation d'énergie, à l'utilisation de produits chimiques et aux rejets de saumure.

• Prélèvement d'eau de mer

Le captage de grandes quantités d'eau peut perturber les écosystèmes marins en entraînant des organismes (poissons, plancton) dans les installations. Cela peut provoquer des blessures, une mortalité accrue et une diminution de la biodiversité [63].

- **Impact énergétique et qualité de l'air**

Le dessalement est très énergivore, reposant souvent sur des combustibles fossiles, ce qui entraîne des émissions de gaz à effet de serre (CO₂) et contribue au réchauffement climatique. De plus, les rejets peuvent être accompagnés d'une élévation de la température de l'eau [49].

- **Effets des produits chimiques**

Les produits utilisés (antitartres, chlore, anticorrosion) ainsi que les traces de métaux lourds peuvent contaminer le milieu marin. Certains éléments, comme le cuivre ou les phosphates, peuvent être toxiques ou favoriser des phénomènes d'eutrophisation [61].

- **Rejets de saumure**

La saumure, très concentrée en sels, est le principal rejet du dessalement. Elle augmente la salinité locale, ce qui perturbe les organismes marins, réduit la biodiversité et modifie l'équilibre des écosystèmes, notamment près des points de rejet [62, 64, 65].

- **Pollution sonore**

Les installations de dessalement, notamment par osmose inverse, génèrent un bruit important (pompes, turbines), pouvant dépasser les normes, ce qui constitue une nuisance pour les zones environnantes [12].

Chapitre 3

Matériels et méthodes

3. Matériels et méthodes

3. 1. Introduction

Cette étude a été réalisée au niveau du laboratoire de contrôle de la qualité de la station de dessalement Sonactar de Mostaganem. Cette station fait partie du programme national de dessalement visant à renforcer l'alimentation en eau potable des régions côtières face à la pression démographique et au stress hydrique. Dans ce cadre, nous avons effectué plusieurs analyses physico-chimiques sur des échantillons d'eau produite afin d'évaluer sa qualité et de vérifier sa conformité aux normes en vigueur. La station Sonactar est une infrastructure de production d'eau potable à partir de l'eau de mer, basée principalement sur le procédé d'osmose inverse. Elle comprend plusieurs étapes de traitement allant du captage de l'eau de mer jusqu'au post-traitement (remise à niveau de la qualité de l'eau), en passant par les étapes de prétraitement et de dessalement proprement dit. L'eau produite est ensuite stockée puis distribuée vers le réseau public d'alimentation en eau potable.

3. 2. Présentation de la station de dessalement d'eau de mer Sonactar (Mostaganem)

La station de dessalement d'eau de mer est une unité de production d'eau potable, qui se situe près de la plage de Chlef, Mostaganem. Elle a commencé son activité en 2011 dans le but de fournir un maximum de 200.000 m³/jour. Elle se divise en deux pôles côté nord et côté sud, et chaque pôle fonctionne indépendamment de l'autre. Le but de cette séparation est la continuité de production ; s'il y a une panne dans un pôle l'autre ne sera pas affecté. Cette stratégie industrielle vise à maintenir un flux de production ininterrompu (Figures 6 et 7).

3. 3. Description du processus de dessalement de l'eau de mer

L'usine de dessalement est schématiquement subdivisée en 6 postes :

- La prise d'eau qui s'effectuera en mer ;
- Prétraitement ;
- Déminéralisation de l'eau prétraitée par osmose inverse ;
- Un post-traitement ;
- Pompage de l'eau potable produite vers le réseau de distribution ;
- Evacuation de saumure et sous-produits.

3. 3. 1. Prise d'eau de mer

La prise d'eau de mer doit permettre d'obtenir à l'entrée de l'usine de dessalement une eau de la meilleure qualité possible, en particulier du point de vue matières en suspension.



Figure 6 : Station de dessalement de Sonactar [66].



Figure 7 : Localisation de la station.

Le captage de l'eau de mer se fait par le biais de deux tours de prise connectées au réservoir de pompage d'eau de mer par deux tubes en polyéthylène haute densité d'épaisseur 1,8 mm dans lesquels l'eau doit circuler à une vitesse d'environ 1 m/s.

Les tours de prise d'eau sont submergées à une distance de la côte d'environ 2500m et 16,5m de profondeur. L'eau de mer passe à l'intérieur de chaque tour de prise à travers quatre grilles en polyester renforcé de verre rectangulaires de 3,89 x 1,42 m et trous de 3,54 x 1,3 cm installées pour éviter le passage des poissons, méduses, cailloux et d'autres éléments de taille supérieure pouvant nuire au procès de traitement. Ces grilles peuvent être extraites par les plongeurs pour éliminer les éventuelles incrustations. Les plongeurs peuvent aussi accéder aux tubes de prise pour des activités d'entretien. Enfin, un système anti-méduses est conçu par le fabricant pour éviter l'obturation des grilles des tours de captage occasionnée par des méduses, algues et les poissons en générant un rideau d'air au tour de ces grilles qui fait flotter les poissons et les algues.

3. 3. 2. Prétraitement

Les principales étapes d'un prétraitement sont les suivants : chloration, clarification, prévention de l'entartrage, déchloration et filtration sur cartouches. L'eau passe d'abord par une étape de filtration grossière permettant d'éliminer les gros matériaux susceptibles d'endommager les installations. La chloration a pour objectif l'inactivation des micro-organismes mais aussi micro-algues, champignons, qui, outre le fait que certains peuvent être pathogènes, sont à l'origine d'un colmatage important des membranes. La prolifération des organismes vivants est bloquée par un procédé de désinfection. Sinon, cela peut conduire à l'obstruction des canalisations ou au colmatage des membranes. Le procédé le plus répandu consiste à injecter l'hypochlorite de sodium (eau de Javel), qui est l'agent actif de la stérilisation. Cette opération est suivie par une étape de coagulation, floculation et sédimentation est nécessaire afin d'éliminer les matières en suspension et une partie du carbone organique total. La coagulation a pour objectif de neutraliser les colloïdes, en général chargés négativement, par des composés tel que FeCl_3 . La floculation consiste à agglomérer sous forme de floccs les particules colloïdales neutralisées auparavant par coagulation. Ensuite, l'ajout éventuel d'acide sulfurique a pour but de ramener le pH à une valeur comprise entre 7 et 7,7, cette opération assure la décomposition des bicarbonates, est aussi un moyen efficace de prévenir les dépôts qui proviennent de la précipitation de sels, notamment le CaCO_3 . Compte tenu de la sensibilité des membranes d'osmose inverse en polyamide (membranes les plus utilisés actuellement) par oxydation, il est indispensable d'assurer une déchloration de l'eau de mer en amont de l'osmose proprement dite (Figure 8). Du métabisulfite de sodium est ajouté afin de réduire le chlore. Les produits chimiques qui sont utilisés peuvent aussi provoquer l'encrassement des membranes. Un des signes de ce phénomène est l'augmentation du gradient de pression. Afin de préserver les membranes contre le colmatage un traitement

physique complète le traitement chimique décrit précédemment et qui consiste à éliminer les éléments solides, les algues et la matière organique, par le passage de l'eau de mer à travers des filtres mixtes à sable et anthracite (charbon) en première étape, à travers des filtres à sable et enfin, à travers des filtres à cartouches (micro filtres). L'usine est équipée avec deux lignes de filtration de première étape avec douze filtres horizontaux. Ils sont horizontaux fermés avec un fond semi-elliptique. Pour le deuxième type de filtration, ils existent deux batteries munies de huit filtres de pression horizontale chacune. Les deux premiers types de filtres sont soumis à un système de lavage. La microfiltration protège le système d'osmose inverse empêchant le passage des particules suspendues dans l'eau filtrée non retenues par les filtres au système de pompage d'haute pression. La microfiltration ne permet que le passage des particules de taille inférieure à 5 μm . Elle est assurée par l'utilisation d'un filtre à cartouche type bobiné. Le système de microfiltration consiste à 2 lignes équipées avec 9 filtres chacune. Entre le collecteur d'entrée et de sortie, il y'a un manomètre différentiel muni de contact électrique pour alarme, qui indiquera quand il sera nécessaire de remplacer les cartouches filtrantes. L'eau filtrée produite est stockée dans un réservoir fermé. Elle est utilisée pour alimenter les unités d'osmose inverse ; une autre partie est utilisée pour le rinçage et le nettoyage des filtres à sable. Ces derniers subissent l'accumulation des matières solides qui provoquent une augmentation de la résistance à l'écoulement ainsi que la diminution de la production d'eau filtrée. Un barbotage avec l'air est introduit afin d'améliorer l'efficacité du lavage par inversion du flux de bas en haut.

3. 3. 3. Déminéralisation de l'eau prétraitée par osmose inverse

Le système d'osmose inverse est l'étape clé du processus de dessalement. Sa fonction est de réduire la teneur en sels de l'eau micro-filtrée. Il est composé d'un système de pompage haute pression et récupération d'énergie, d'un châssis à membrane d'osmose inverse et d'autres systèmes de nettoyage de membranes et de déplacement d'eau de mer et saumure. Les membranes d'osmose inverse sont des membranes artificielles poreuses et généralement organiques. Généralement, elles sont constituées d'une couche mince, ou couche active, de faible épaisseur comprise entre 0,1 et 1,5 μm comportant des micropores : c'est la partie sélective de la membrane (Figure 8). Cette couche active est supportée par une ou plusieurs couches, à la fois plus poreuses et mécaniquement plus résistantes. Les membranes utilisées dans l'usine sont de type spiral composé de trois couches :

Une couche de polyamide à 0,15 μm , une deuxième de poly-sulfone à 40 μm pour supporter la première et une troisième de polyester qui donne une résistance mécanique de la membrane à 100 μm . Avant l'entrée dans les membranes l'eau prétraitée arrive au système de pompage

de haute pression généralement entre 55 et 85 bars, en fonction de la température et de la salinité. Le pompage permet d'impulser vers les châssis d'osmose inverse l'eau micro filtrée avec la pression nécessaire pour vaincre la pression osmotique en assurant la production du débit d'eau déminéralisée désirée. Grâce à un rotor, un système d'échange de pression s'effectue entre la saumure provenant des membranes à haute pression et l'eau de mer à basse pression, une récupération importante d'énergie permet la réduction de coût de dessalement de l'eau de mer.

3. 3. 4. Post-traitement

L'eau issue du traitement de l'osmose inverse est presque dépourvue de minéraux, une reminéralisations est nécessaire pour rendre cette eau potable. L'injection automatique de CO₂ pour réduire le pH proche de 5 permet de rendre plus efficace le processus de reminéralisations. Ce dernier est réalisé dans des tours à l'intérieur desquelles est situé le lit de calcite, équipées par des tubes de distribution. A travers ce lit de calcite l'eau traitée passe et atteindra le fond par un canal à l'intérieur de la tour (Figure 8). Le post-traitement est conditionné aussi par une correction de pH jusqu'à un pH d'équilibre non nuisible aux ouvrage de béton et à la tuyauterie. Enfin, et à l'aide d'un doseur automatique, on injecte l'hypochlorite de sodium pour limiter les risques de *contamination* et d'infection de l'eau. A l'aide d'une dizaine de pompes l'eau traitée est pompée vers le réservoir de stockage afin de la distribuer par l'Algérienne des Eaux (A.D.E), tandis que le rejet de saumure sera évacué par un émissaire marin pénétrant jusqu'à 1000 m dans la mer dans le but d'assurer une meilleure dilution et d'éviter des conséquences indésirables pour l'environnement.

3. 3. 5. Pompage de l'eau potable produite vers le réseau de distribution

Le système de stockage et impulsion de l'eau commercialisable permet le pompage de l'eau produite vers le réseau de distribution à travers le réseau de transport d'eau potable externe géré, par l'A.D.E. Ce système est composé de :

- Un réservoir d'eau potable en béton armé, de capacité de 4000 m³ ;
- Un système de pompage d'eau potable ;
- Et un regard de livraison.

3. 3. 5. Evacuation de saumure

Les saumures sont les effluents issus des procédés de dessalements de l'eau de mer. Ces effluents contiennent tous les sels contenus initialement dans l'eau de mer et produits chimiques utilisés pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que le post-traitement de

l'eau produite. Les concentrations en sels peuvent être deux fois plus importantes que celles présentes initialement dans l'eau de mer (Figure 8).

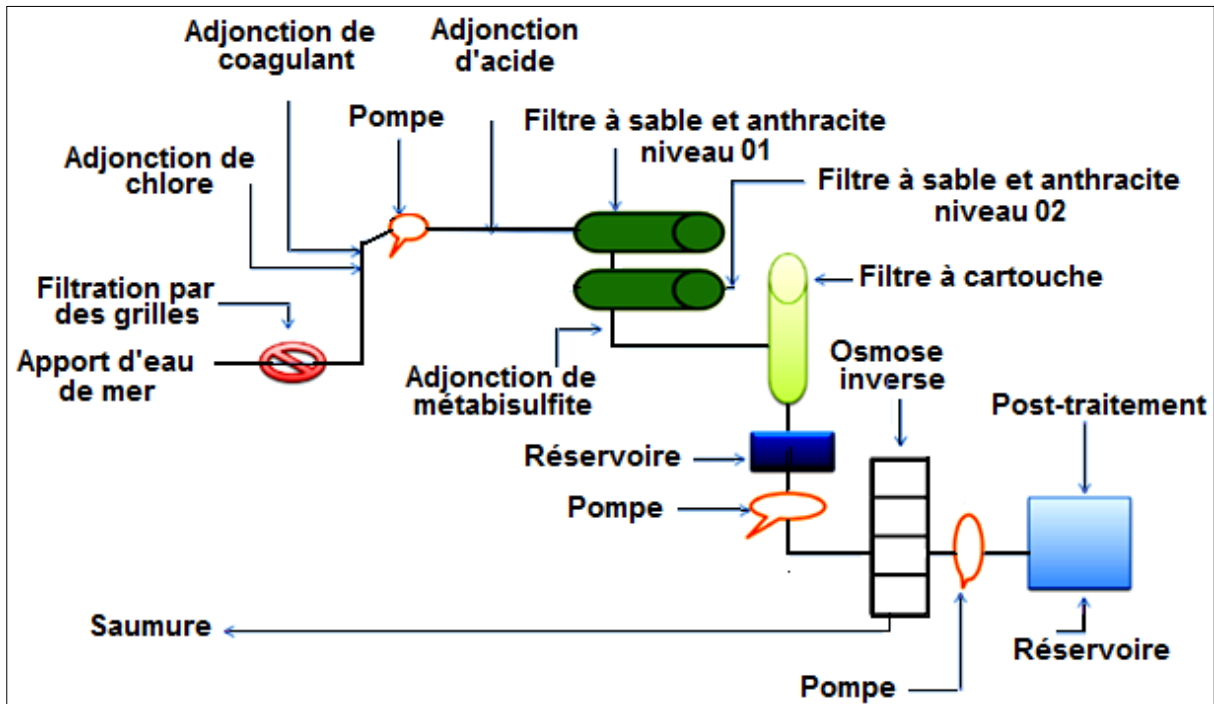


Figure 8 : Diagramme de processus de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse [66].

3. 4. Normes réglementaires de la qualité de l'eau potable

Une eau potable est une eau qui ne doit pas porter atteinte à la santé de celui qui la consomme. Les législations sur les denrées alimentaires définissent de manière très précise les exigences auxquelles la qualité de l'eau potable doit satisfaire. Elle doit répondre à une série de critères définis par décret. Les paramètres retenus sont les paramètres organoleptiques, physico-chimiques, microbiologiques et les micropolluants.

- Une eau potable de qualité est inodore, incolore, sans faux goût et propre à la consommation du point de vue physico-chimique ;
- Elle doit satisfaire aux exigences microbiologiques fixées par la législation ;
- L'eau potable doit respecter rigoureusement les valeurs de tolérance et les valeurs-limites fixées pour les substances étrangères, les composants et les organismes parasites car les risques sanitaires liés à ces microorganismes sont grands.

3. 4. 1. Paramètres de qualité de l'eau potable selon les normes Algériennes

En Algérie, le législateur a établi les caractéristiques d'une eau potable (Normes Algériennes). Les paramètres retenus sont (Tableaux 1, 2 et 3) [65] :

Tableau 5 : Paramètres de qualité de l'eau potable selon les normes Algériennes [65].

Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
pH	Unité pH	$\geq 6,5$ et $\leq 9,0$
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C	2800
Température	$^\circ\text{C}$	25
Dureté	mg/l en CaCO_3	500
Alcalinité	mg/l en CaCO_3	65
Calcium	mg/l en CaCO_3	200
Chlorures	mg/l	500
Potassium	mg/l	12
Résidu sec	mg/l	1500
Sodium	mg/l	200
Sulfates	mg/l	400
Couleur	mg/l Platine	15
Turbidité	NTU	5
Odeur 12°C	Taux dilution	4
Saveur 25°C	Taux dilution	4

Paramètres	Unités	Valeurs limites
Aluminium	mg/l	0,2
Ammonium	mg/l	0,5
Baryum	mg/l	0,7
Bore	mg/l	1
Fer total	mg/l	0,3
Fluorures	mg/l	1,5
Manganèse	$\mu\text{g}/\text{l}$	50
Nitrates	mg/l	50
Nitrites	mg/l	0,2
Oxydabilité	mg/l O_2	5
Phosphore	mg/l	5
Acrylamide	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,5
Antimoine	$\mu\text{g}/\text{l}$	20

Argent	µg/l	100
Arsenic	µg/l	10
Cadmium	µg/l	3
Chrome total	µg/l	50
Cuivre	mg/l	2
Cyanure	µg/l	70
Mercure	µg/l	6
Nickel	µg/l	70
Plomb	µg/l	10
Sélénium	µg/l	10
Zinc	mg/l	5
Hydrocarbures polycycliques aromatiques	µg/l	0,2
Phénols	µg/l	0,5
Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5
Bromates	µg/l	10
Chlore	mg/l	5
Chlorite	mg/l	0,07
Tri halo-méthanés	µg/l	100
Particules alpha	Picocurie/l	15
Particules bêta	Millirems/an	4
Tritium	Bequerel/l	100
Uranium	µg/l	15
Dose totale indicative	(mSv/an)	0,1

Tableau 6 : Paramètres microbiologiques [65].

Paramètres	Limites de qualité	Unités	Notes
Escherichia coli	0	Nombre par 250 ml	A l'émergence et au cours de la commercialisation.
Entérocoques	0	Nombre par 250 ml	A l'émergence et au cours de la commercialisation.
Bactéries sulfito-réductrices, y compris les spores	0	Nombre par 50 ml	A l'émergence et au cours de la commercialisation.

Pseudomonas aeruginosa	0	Nombre par 250 ml	A l'émergence et au cours de la commercialisation. Les analyses sont commencées au moins 3 jours après le prélèvement au captage, le conditionnement et les échantillons conservés à T° ambiante.
Coliformes totaux	0	Nombre par 250 ml	A l'émergence et au cours de la commercialisation.
Numération de germes aérobies revivifiabiles mesurés à 22 °C	100	Nombre par ml	Au cours de la commercialisation, la teneur doit être mesurée dans les 12 heures suivant le conditionnement, l'eau étant maintenue à 4 degrés Celsius (+/- 1°C) pendant cette période de 12 h.
Numération de germes aérobies revivifiabiles mesurés à 37 °C	20	Nombre par ml	Au cours de la commercialisation, la teneur doit être mesurée dans les 12 h suivant le conditionnement, l'eau étant maintenue à 4 degrés Celsius (+/- 1 °C) pendant cette période de 12 h.

3. 5. Méthodologie de travail

La méthodologie que nous avons employée consiste à prélever des échantillons d'eau potable produite. Ces prélèvements ont fait l'objet d'analyse au laboratoire de la station par des méthodes directes de caractérisation physico-chimiques tels que (Figure 8) : le pH, la température, le taux des matières solides dissoutes (TDS), la conductivité, la turbidité, teneur en matières solides en suspension, la teneur en chlorures, calcium, sodium, sulfates, ... et des analyses microbiologiques. Ces analyses ont été répétées plusieurs fois durant 4 mois (Février – Mai). Enfin, une étude comparative a été effectuée entre l'eau de la station et quelques eaux minérales commercialisées.



Figure 9 : Laboratoire de la station de dessalement.

3. 6. Méthodes d'analyse

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'usine par dosages volumétriques et spectrophotométriques. Pour cette dernière nous avons utilisé un spectrophotomètre de marque Hach associé à des réactifs et kits prêts à l'emploi pour chaque substance à doser. Pour l'analyse bactériologique, nous avons effectué les analyses à l'école supérieure d'agronomie en utilisant le matériel couramment employé pour ce type d'analyse, l'autoclave, l'incubateur, le réfrigérateur, le bain marie, les tubes à essai stériles, les boîtes de pétri, les anses, les pipettes pasteur et les becs bunsens. Les résultats de l'analyse bactériologique sont exprimés par le nombre de bactéries recherchées dans un volume donné de l'eau à étudier. Ces résultats ont été obtenus par un dénombrement direct des colonies après ensemencement, de façon aseptique, dans des boîtes de pétri pour un volume donné d'eau à analyser dans un milieu solide, nutritif et stérile et incubation de ces boîtes à la température correspondante pendant un temps déterminé.

3. 6. 1. Analyses physico-chimiques

Nous citons quelques analyses que nous avons effectué lors de notre stage de fin d'études.

- **Test de la couleur**

Le test de la couleur consiste à évaluer la coloration de l'eau en utilisant un colorimètre Hach DR890. On commence par rincer la cuve d'étalonnage par l'eau ultra pure puis la remplir avec 25 ml de l'eau ultra pure (Figure 9). On place la cuve dans le colorimètre et on ajuste à zéro. Enfin, on remplit la cuve avec 25 ml de l'eau produite et on lit la valeur affichée sur l'écran du colorimètre.



Figure 10 : Colorimètre Hach DR 890.

- **Mesure de la turbidité**

La turbidité de l'eau est directement liée à sa transparence et permet d'estimer la quantité de matières en suspension qu'elle contient. Une eau présentant une turbidité inférieure à 5 NTU est généralement considérée comme acceptable pour la consommation. Ce paramètre a été mesuré à l'aide d'un turbidimètre, modèle Hach 2100Q (Figure 10).

Après étalonner du turbidimètre à l'aide des solutions étalons de 0,1, 20, 100, 800 NTU. On introduit la cuvette dans le turbidimètre puis on appuie sur le bouton Read pour lancer la lecture. La valeur de la turbidité s'affiche directement sur l'écran de l'appareil.

Après la mesure, rincer la cuvette.



Figure 11 : Appareil de mesure de la turbidité.

- **Mesure de la Température**

En général, une température inférieure ou égale à 15 °C est recommandée afin de garantir une eau rafraîchissante. Lorsque la température des eaux dépasse cette valeur, il existe un risque de prolifération des micro-organismes et des algues, pouvant entraîner l'apparition de goûts et d'odeurs désagréables, ainsi qu'une augmentation de la couleur et de la turbidité. Les variations saisonnières influencent également ce paramètre, notamment dans les eaux superficielles [61]. L'évaluation de la température a été réalisée sur les échantillons en utilisant un dispositif multi-paramètres WTW Multi 340 i (Figure 11). La température de l'eau potable constitue un paramètre important de sa qualité organoleptique.



Figure 4 : Appareil multi paramètre WTW Multi 340 i.

- **Mesure du pH**

Nous avons utilisé la méthode électrométrique avec électrode en verre. Après étalonnage du pH-mètre par des solutions tampons de pH égal à 4 et 7, nous avons effectué la lecture du pH de nos échantillons d'eau à la température de 25°C.

Nous avons utilisé pour cela un pH mètre de marque sension+.



Figure 5 : Mesure du pH d'un échantillon d'eau.

- **Mesure de la conductivité**

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique et s'exprime généralement par (mS/cm) ou $\mu\text{S/cm}$).

Nous avons utilisé un conductimètre à électrode de verre de marque Hach 2100Q. Ce dernier a été étalonné par une solution standard de conductivité 1413 $\mu\text{S/cm}$.

Après rinçage plusieurs fois la cellule à conductivité avec de l'eau distillée, on la plonge dans un bêcher contenant de l'eau à examiner en prenant soin que les électrodes de platine soient complètement immergées.



Figure 6 : Mesure de la conductivité.

- **Analyse par spectrophotométrie**

On choisit le numéro de programme mémorisé pour le paramètre à mesurer, puis on appui sur le bouton « 750 Read/Enter ». L'affichage indique « régler la longueur d'onde à 500 nm » pour le dosage des nitrates par exemple. On règle la longueur d'onde jusqu'à ce que l'affichage indique 500 nm. On presse de nouveau sur le bouton « Read/Enter », l'affichage indique : Nitrate. On remplit le flacon colorimétrique avec 25ml d'eau ultra pure, puis on ajoute le contenu de la gélule « Nitraver 5 ». On ferme le capot et on presse sur le bouton « Zéro », l'affichage indique : 0 Nitrate. Après étalonnage de l'appareil, on procède à la mesure de la teneur en nitrate de l'eau à tester, en opérant de la même façon que précédemment.

3. 6. 2. Analyses microbiologiques

La prise d'échantillon a été effectuée avec beaucoup d'attention et de précaution de façon à éviter toute contamination de l'échantillon à analyser. Nos échantillons ont été prélevés en

présence d'une flamme, les flacons qui doivent les recevoir ont été soigneusement lavés, rincés, séchés et stérilisés préalablement. Nous avons utilisé le matériel couramment employé pour les analyses microbiologiques, l'autoclave, l'incubateur, le réfrigérateur, le bain marie, les tubes à essai stériles, les anses, les pipettes pasteur et les becs bunsens. Nous avons aussi utilisé l'eau physiologique stérile comme diluant. A partir de l'échantillon d'eau (considéré comme solution mère), on a procédé à des séries de dilutions formant une progression géométrique de 10^{-1} (c'est à dire 10^{-1} , 10^{-2} ...et 10^{-5}), en prenant le soin d'agiter énergiquement et longtemps chaque échantillon avant de le diluer, et chaque dilution avant le préparer, à partir d'elle, la dilution suivante. Enfin, Les résultats de l'analyse bactériologique sont exprimés par le nombre de bactéries recherchées dans un volume donné de l'eau à étudier. Ces résultats ont été obtenus par un dénombrement direct des colonies après ensemencement, de façon aseptique, dans des boîtes de pétri contenant un volume donné d'eau à analyser dans un milieu solide, nutritif et stérile et incubation de ces boîtes à la température correspondante pendant un temps déterminé.

3. 7. Comparaison des résultats obtenus avec ceux de quelques eaux minérales commercialisées

Une étude comparative a été effectuée entre l'eau produite par l'usine de dessalement Sonacter et la composition chimique affichée sur l'étiquette de certaines eaux minérales plates commercialisées et d'autres paramètres physico-chimiques disponibles dans la littérature concernant ses eaux.

Chapitre 4

Résultats et discussions

4. Résultats et discussions

Comme nous avons précisé précédemment, les analyses physico-chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'usine et pour l'analyse bactériologique, nous l'avons réalisé à l'école supérieure d'agronomie de Mostaganem. La méthodologie employée consiste à prélever des échantillons représentatifs d'eau potable produite dans des flacons préalablement rincés plusieurs fois et stérilisés. Ces derniers ont été remplis jusqu'à débordement afin d'éviter la pénétration de bulles d'air. Ils sont ensuite fermés au moyen d'un bouchon hermétique et amovible et étiquetés précisément avec la date du prélèvement et acheminés le plus rapidement possible au laboratoire. Ces prélèvements ont fait l'objet d'analyse au laboratoire de l'usine par des méthodes directes de paramètres physico-chimiques. Enfin, nous avons comparé les différents résultats d'analyse obtenus concernant l'eau étudiée avec ceux de quelques eaux minérales plates commercialisées et confrontés aux normes algériennes en vigueur.

4. 1. Résultats obtenus

4. 1. 1. Analyses physico-chimiques

Tableau 7 : Les résultats d'analyse de l'eau produite.

Mois	Paramètre	Unité	01/02/2026	15/02/2026	26/02/2026	Moyenne	Normes
Février	Conductivité électrique	µS/cm	410	448	428	428.6	2800
	Température	°C	16.7	16.5	16.6	16.6	25
	pH	—	8.35	8.36	8.40	8.37	≥ 6.5 et ≤ 9
	Turbidité	NTU	0.59	0.44	0.84	0.62	≤ 5
	Matières dissoutes	mg/L	415	407	405	409	< 500*
	Matières en suspension	mg/L	0	0	0	0	**

	Paramètre	Unité	01/03/2026	15/03/2026	29/03/2026	Moyenne	Normes
Mars	Conductivité électrique	µS/cm	483	409	418	436.6	2800
	Température	°C	16.6	16.4	16.7	16.5	25
	pH	—	8.37	8.36	8.38	8.37	≥ 6.5 et

							≤ 9
	Turbidité	NTU	0.63	0.81	0.93	0.79	≤ 5
	Matières dissoutes	mg/L	409	411	408	409	< 500*
	Matières en suspension	mg/L	0	0	0	0	**

Avril	Paramètre	Unité	01/04/2026	15/04/2026	29/04/2026	Moyenne	Normes
	Conductivité électrique	μS/cm	440	430	439	436.3	2800
	Température	°C	17.0	17.3	17.5	17.2	25
	pH	—	8.35	8.40	8.35	8.36	≥ 6.5 et ≤ 9
	Turbidité	NTU	0.93	0.91	0.88	0.90	≤ 5
	Matières dissoutes	mg/L	411	403	403	406	< 500*
	Matières en suspension	mg/L	0	0	0	0	**

Mai	Paramètre	Unité	03/05/2026	14/05/2026	25/05/2026	Moyenne	Normes
	Conductivité électrique	μS/cm	434	495	452	460.3	2800
	Température	°C	17.7	19.7	18.4	18.6	25
	pH	—	8.34	8.36	8.37	8.35	≥ 6.5 et ≤ 9
	Turbidité	NTU	0.73	0.66	0.29	0.77	≤ 5
	Matières dissoutes	mg/L	400	411	394	402	< 500*
	Matières en suspension	mg/L	0	0	0	0	**

*Selon l'OMS

**Il n'y a pas de norme de limite stricte exprimée en masse par volume pour les matières en suspension (MES). La réglementation selon l'OMS exige que l'eau soit limpide et sans dépôt [67].

Les résultats montrent que la variation de la conductivité enregistrée, durant la période d'étude, oscille entre 409 et 495 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indiquant un changement notable de ce paramètre. Cette fluctuation ponctuelle, nous pensons qu'elle est liée aux variations des conditions saisonnières. Globalement, toutes les valeurs restent de loin inférieures à la valeur exigée selon la norme de potabilité recommandées (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$) [65]. Cependant, les autres paramètres restant la température, le pH, la turbidité, matières dissoutes et matières en suspension, leur variation était insignifiante. Les valeurs moyennes de ces derniers sont aussi conformes aux normes algériennes.

Tableau 8 : Les paramètres chimiques des eaux analysées.

Mois	Paramètre	Unité	01/02/2026	15/02/2026	26/02/2026	Moyenne	Normes
Février	Chlorure	mg/L	205	208	202	205	500
	Calcium	" "	21	24	25	23.3	200
	Sodium	" "	108	107.5	110,3	108.6	200
	Sulfate	" "	20.1	18,9	16,2	18.4	400
	Baryum	" "	0	0	0	0	0.7
	Magnésium	" "	2.4	2.1	2.1	2.2	-
	Fer	" "	0	0	0	0	0.3
	Manganèse	" "	0	0	0	0	50
	Aluminium	" "	0	0	0	0	0.2
	Potassium	" "	4.0	4.2	4.1	4.1	12
	Bicarbonate	" "	66.7	65	67.3	66.3	-
	Fluor	" "	0.7	0.7	0.6	0.7	1.5

	Paramètre	Unité	01/03/2026	15/03/2026	29/03/2026	Moyenne	Normes
Mars	Chlorure	mg/L	205	209	204	206	500
	Calcium	" "	23,2	21,2	26	23.5	200
	Sodium	" "	104	109.5	109.3	107.6	200
	Sulfate	" "	18.4	16.1	17.3	17.3	400
	Baryum	" "	0	0	0	0	0.7
	Magnésium	" "	2.7	2.2	3.1	2.7	-
	Fer	" "	0	0	0	0	0.3

	Manganèse	" "	0	0	0	0	50
	Aluminium	" "	0	0	0	0	0.2
	Potassium	" "	3.8	4.2	3.9	4.0	12
	Bicarbonate	" "	65.3	66.8	64.2	65.4	-
	Fluor	" "	0.5	0.5	0.6	0.5	1.5

	Paramètre	Unité	01/04/2026	15/04/2026	29/04/2026	Moyenne	Normes
	Chlorure	mg/L	209	205.6	204	206.2	500
	Calcium	" "	23	22.5	21.5	22.3	200
	Sodium	" "	108.5	107.6	105.2	107.1	200
	Sulfate	" "	19.4	18.7	16.1	18.1	400
	Baryum	" "	0	0	0	0	0.7
	Magnésium	" "	3.4	2.9	3.1	3.1	-
	Fer	" "	0	0	0	0	0.3
	Manganèse	" "	0	0	0	0	50
	Aluminium	" "	0	0	0	0	0.2
	Potassium	" "	3.7	3.2	3.5	3.5	12
	Bicarbonate	" "	65.5	66.1	67.3	66.3	-
	Fluor	" "	0.8	0.6	0.7	0.7	1.5

	Paramètre	Unité	03/05/2026	14/05/2026	25/05/2026	Moyenne	Normes
	Chlorure	mg/L	207.1	206.8	205.3	206.4	500
	Calcium	" "	21.2	24.3	22.6	22.7	200
	Sodium	" "	106.6	105.3	106.3	106.1	200
	Sulfate	" "	16.4	16.8	17.3	16.8	400
	Baryum	" "	0	0	0	0	0.7
	Magnésium	" "	2.9	2.7	2.1	2.6	-
	Fer	" "	0	0	0	0	0.3
	Manganèse	" "	0	0	0	0	50
	Aluminium	" "	0	0	0	0	0.2

	Potassium	" "	3.3	3.8	4.1	3.7	12
	Bicarbonate	" "	65.1	66	67.8	66.3	-
	Fluor	" "	0.8	0.7	0.8	0.8	1.5

Nous constatons que les paramètres chimiques de l'eau de consommation produite par la station de dessalement sont maintenus presque constants durant toute la période d'étude grâce à des étapes strictes de post-traitement et de reminéralisations en usine. Ces données traduisent aussi l'efficacité globale du procédé mis en œuvre, mais aussi le suivi rigoureux et régulier des installations par l'équipe technique concerné. D'une manière générale, toutes les valeurs enregistrées restent dans les limites recommandées par les normes de l'OMS et les normes algériennes pour les eaux potables [65, 67].

4. 1. 2. Analyses bactériologiques

Les résultats d'analyses microbiologiques sont représentés dans le tableau 9 et la figure 15.

Tableau 9 : Paramètres microbiologiques.

Mois	Paramètres	Unités	Valeurs trouvées
Février	Coliformes fécaux	nb /100ml	Absences
	Coliformes totaux	nb /100ml	Absences
	Escherichia Coli	nb /100ml	Absences
	Streptocoques fécaux	nb /100ml	Absences
	Bactéries sulfitoréductices	nb/20ml	Absences
Mars	Coliformes fécaux	nb /100ml	Absences
	Coliformes totaux	nb /100ml	Absences
	Escherichia Coli	nb /100ml	Absences
	Streptocoques fécaux	nb /100ml	Absences
	Bactéries sulfitoréductices	nb/20ml	Absences
Avril	Coliformes fécaux	nb /100ml	Absences
	Coliformes totaux	nb /100ml	Absences
	Escherichia Coli	nb /100ml	Absences
	Streptocoques fécaux	nb /100ml	Absences
	Bactéries sulfitoréductices	nb/20ml	Absences

Mai	Coliformes fécaux	nb /100ml	Absences
	Coliformes totaux	nb /100ml	Absences
	Escherichia Coli	nb /100ml	Absences
	Streptocoques fécaux	nb /100ml	Absences
	Bactéries sulfitoréductrices	nb/20ml	Absences

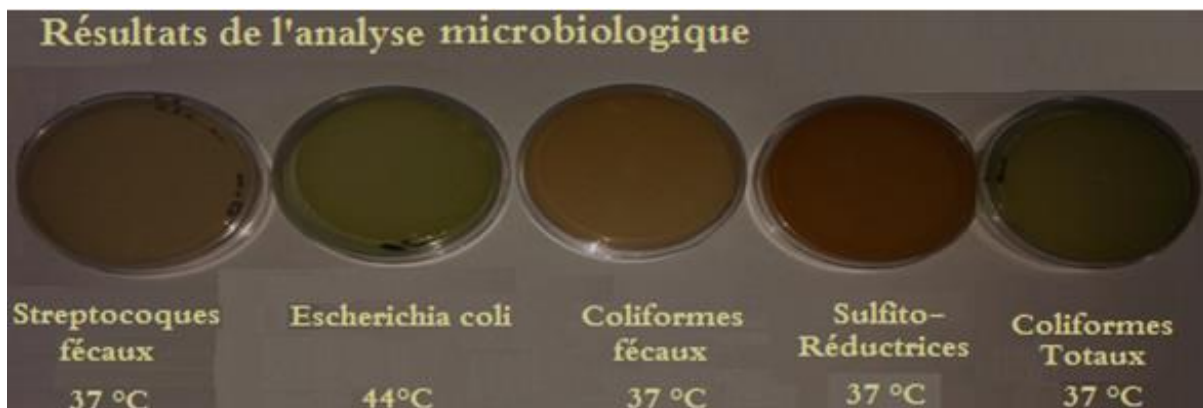


Figure 15 : Résultats de l'analyse microbiologique.

L'analyse bactériologique de l'échantillon d'eau prélevé de la station de dessalement a donné des résultats négatifs pour tous les germes recherchés. Par conséquent, de point de vue bactériologique, l'eau de dessalement de la station est conforme aux normes algériennes (Tableau 9).

4. 2. Etude comparative de la qualité de l'eau de dessalement avec quelques eaux minérales plates embouteillées

Les résultats obtenus concernant les paramètres chimiques et microbiologiques de l'eau de consommation produite par la station de dessalement ont été comparés avec la composition chimique affichée sur l'étiquette de chaque bouteille d'eau minérale commercialisée et aussi aux données de la littérature concernant d'autres paramètres caractérisant ces eaux embouteillées [68].

Tableau 10 : Résultats de l'étude comparative.

Paramètre	Unité	Eau étudiée	Eau d'Ifri	Eau de Bouglez	Eau de Guedila	Eau de lalla khedidja	Normes
Chlorure	mg/L	205.9	72	30	40	11	500
Calcium	" "	23	81	4.6	78	53	200
Sodium	" "	107.4	16	29	29	5.5	200

Sulfate	""	18.4	53	10	16,2	7	400
Baryum	""	0	-	-	-	-	0.7
Magnésium	""	2.2	24	3.8	37	7	-
Fer	""	0	-	-	-	-	0.3
Manganèse	""	0	-	-	-	-	50
Aluminium	""	0	-	-	-	-	0.2
Potassium	""	4.1	2.1	1	2	0.5	12
Bicarbonate	""	66.3	265	-	-	160	-
Fluor	""	0.7	-	-	-	-	1.5
Paramètre	Unité	Eau étudiée	Eau d'Ifri	Eau de Bouglez	Eau de Guedila	Eau de lalla khedidja	Normes
Conductivité électrique	μS/cm	450	778	120	737	737	2800
pH	—	8.4	7.2	6.9	7.4	7.2	≥ 6.5 et ≤ 9
Turbidité	NTU	0.7	0.2	0.3	0.3	0.3	≤ 5
Matières dissoutes	mg/L	405	380	140	564	187	< 500
Matières en suspension	mg/L	0	0	0	0	0	-
Analyse bactériologique							
Paramètre	Unité	Eau étudiée	Eau d'Ifri	Eau de Bouglez	Eau de Guedila	Eau de lalla khedidja	Normes
Coliformes fécaux	nb /100ml	0	0	0	0	0	Absences
Coliformes totaux	nb /100ml	0	0	0	0	0	Absences
Escherichia Coli	nb /100ml	0	0	0	0	0	Absences
Streptocoques fécaux	nb /100ml	0	0	0	0	0	Absences
Bactéries sulfitoréductrices	nb/20ml	0	0	0	0	0	Absences

Nous notons tout d'abord que les résultats d'analyses bactériologiques des échantillons d'eau révèlent des charges bactériennes qui sont toutes nulles. Donc ces eaux sont conformes aux normes. Les teneurs en sodium et en chlorure de l'eau de dessalement étaient très supérieures à celles des eaux embouteillées. La consommation d'eau riche en sodium est généralement déconseillée aux personnes souffrant d'hypertension artérielle. Cependant la concentration enregistrée en ions de calcium était inférieure comparativement à celle des eaux commercialisées (à l'exception de l'eau de Bouglez). Cette eau s'avère donc être particulièrement bénéfique pour les sujets lithiasiques. Pour les personnes souffrant de lithiases (calculs rénaux), les urologues recommandent de boire une eau pauvre en calcium. Globalement, toutes les valeurs enregistrées des eaux étudiées restent dans les limites recommandées par les normes de l'OMS et les normes algériennes pour les eaux potables [65, 67].

Conclusion

Conclusion

À l'issue de cette étude, nous pouvons conclure que l'eau constitue un élément indispensable à la vie quotidienne et à la survie de l'être humain, ainsi qu'au bon déroulement de ses différentes activités. La disponibilité d'une eau de bonne qualité représente donc un enjeu majeur pour la santé publique. Le dessalement de l'eau de mer est en très forte croissance dans le monde. L'Algérie a clairement opté pour cette option pour augmenter ses ressources en eau douce disponible. En effet, ses besoins en eau potable domestique, industriel et touristiques connaissent un accroissement considérable.

Le stage de fin d'études que nous avons effectué nous a permis de nous familiariser avec les techniques expérimentales utilisées dans un laboratoire spécialisé dans le contrôle de la qualité de l'eau de consommation et de concilier les théories apprises sur les connaissances générales de la spécialité aux pratiques sur le terrain, d'une part et d'autre part, de faire un suivi, pendant quatre mois de l'évolution de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de consommation produite par la station de dessalement de l'eau de mer de Sonacter-Mostaganem. Nous avons terminé notre étude par une comparaison de ces résultats obtenus à la station avec la composition chimique affichée sur l'étiquette de quatre marques d'eaux minérales embouteillées Ifri, Lalla Khedidja, Bouglez et Guedila et aussi aux données de la littérature concernant d'autres paramètres caractérisant ces eaux commerciales.

Nous avons constaté que la majorité des paramètres chimiques de l'eau de consommation produite par la station de dessalement était maintenue presque constante durant toute la période d'étude. Ceci est due à l'efficacité du procédé mis en œuvre, mais aussi le suivi rigoureux et régulier des installations par l'équipe technique concerné. D'une manière générale, toutes les valeurs enregistrées restent dans les limites recommandées par les normes de l'OMS et les normes algériennes pour les eaux potables. Aussi, de point de vue bactériologique, l'eau de dessalement de la station Sonacter était aussi conforme aux normes de l'OMS et aux normes algériennes. L'étude comparative des propriétés physico-chimiques et microbiologique de l'eau de consommation fabriquée par la station avec celles de quatre marques d'eaux minérales embouteillées Ifri, Lalla Khedidja, Bouglez et Guedila a révélé que les teneurs en sodium et en chlorure de l'eau de dessalement étaient très supérieures à celles des eaux embouteillées. En revanche la concentration enregistrée en ions de calcium était inférieure. Globalement, toutes les valeurs enregistrées des eaux étudiées répondaient aux exigences physico-chimiques et microbiologiques fixées par les normes algériennes.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] A. Maurel (2006). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, 2e édition TEC & DOC ,286p.
- [2] E.R. Jones, M.T.H. van Vliet, M. Qadir, M.F.P. Bierkens (2021). Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. ESSD, 13, 237–254.
- [3] World ocean atlas (2001). Volume 2, Salinity National Oceanographic Data Center (U.S.). Ocean Climate Laboratory.
- [4] P. Danis (2003) Dessalement de l'eau de mer, Techniques de l'Ingénieur, J 2700.
- [5] L. Touchart (2003). L'eau : ressources et gestion. Paris: Armand Colin, Coll. U, 309 p.
- [6] L. Zella (2015). Irrigation eau, sol et plante, 1^{ère} édition, Office des Publication Universitaire, Alger, 96 p.
- [7] M. Mozas, G. Alexis (2013). État des lieux du secteur de l'eau en Algérie, PEMED, France, p27.
- [8] L. Henri, F. Kamel (2008). Dessalement de l'eau de mer et des saumâtres par osmose inverse, Middle east désaliénation research center en collaboration avec L'université Saad Dahlab de Blida, Algérie.
- [9] A-Level Biology (2015–2026). <https://alevelbiology.co.uk/notes/water/>, consulté le 15/06/2026.
- [10] A.G. Aoualmia (2015). Modélisation du système de coagulation-floculation : cas de la station de traitement de l'eau potable Ain Dalia-Souk Ahras. Mémoire de Master, Université de Guelma.
- [11] N. Mekaoussi (2014). Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface de Hammam Debagh (Est Algérien). Mémoire de Magister, Université de Batna.
- [12] J. Rodier (1984). L'analyse de l'eau. 7^{ème} Edition, Dunod, Paris.
- [13] G.H. Hargreaves, R.G. Allen (2003). History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 129, 53–63.
- [14] O.M.S. (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4eme édition, Genève, p564.
- [15] S.M. Alpha (2005). Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDMSA dans la ville de Bamako, Thèse de doctorat en pharmacie, université de Bamako.
- [16] H. Monique (1991). Les eaux naturelles et les eaux de consommation saint Laurent.

Références bibliographiques

- [17] A.A. Benbadji, I. Saidi (2016). Etude sur le Dessalement de l'Eau Saumâtre préparée à partir des Eaux de Mer issues du prétraitement de la station de Souk-Tlata. Mémoire de Master, Université de Tlemcen.
- [18] P. Savary (2010). Guide des analyses de la qualité de l'eau. Dossiers d'experts. Territorial édition, 266 p.
- [19] N. Bekhouche, S. Khel, A. Ouldjaoui, L. Ababsa, F. Marniche (2022). Qualité physicochimique des eaux de l'oued sigues (nord-est de l'Algérie) : Caractérisation et analyse en composantes principales. *Revue des Bio Ressources*, 2, 2-11.
- [20] M. Kahoul, M. Touhami (2014). Evaluation de la qualité physico- chimique des eaux de consommation de la ville d'annaba (algerie). *Larhyss Journal*, 19, 129–138.
- [21] L. Habet (2012). Contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement. Mémoire de Magister, Université de Boumerdès.
- [22] A. Abboudi, H. Tabyaoui, F. El Hamichi (2014). Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de guigou, Maroc. *European Scientific Journal*, 23, p 84–94.
- [23] S. Derradji, N. Mechehoud (2021). Evaluation de la qualité physico- chimique et organique des eaux souterraines de la commune de Hamma Bouziane approvisionnées à la consommation humaine. Mémoire de Master, Université de Constantine.
- [24] A. Hamani (2013). Etude des performances du pilote d'électrodialyse dans la déminéralisation des eaux saumâtres, Mémoire de fin d'études, Ecole nationale supérieure de l'hydraulique.
- [25] E. Derwich, L. Benaabidate, A. Zian, O. Sadki, Y.D. Belghit (2010). Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut sebou en aval de sa confluence avec oued Fes, *Larhyss Journal*, 8, 101-112.
- [26] W. Gasmi, M. Refice (2019). Caractéristiques physico-chimiques de l'eau potable de la région de M'sila (Dréat, Souamaa, Newara). Mémoire de Master, Université de M'sila.
- [27] N. Nouayti, D. Khattach, M. Hilali. (2015). Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz, Morocco. *J. Mater. Environ. Sci*, 6, 1068-1081.
- [28] s. Abdelhakim (2018). Etude de la pollution de Oued K'sob (région de Bordj Bou Arreridj) et de l'effet phyto-accumulateur de *Phragmites australis* (roseau), thèse de doctorat en sciences, Université de Sétif.
- [29] M. Boutheyna (2023). Caractérisation et évaluation des eaux de quelques hydrosystèmes dans le Nord-Est algérien. Mémoire de Master, Université de Constantine.
- [30] M. Benameur, F. Bentoumi (2020). Evaluation de quelques paramètres de qualité des

Références bibliographiques

- eaux des barrages de l'Est algérien. Mémoire de master, Université de Bordj Bou Arréridj.
- [31] Z. Bidi, C. Djidja (2020). Analyse de quelques paramètres physico-chimiques d'une source d'eau au niveau de la commune de Mizrana (Tizi-Ouzou). Mémoire de Master, Université de Tizi-Ouzou.
- [32] S. Biran, N. Merabet (2018). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de barrages Ghrib et Bouroumi. Mémoire de master. Université de, Blida.
- [33] I. Ghibeche (2011). Contribution à la régionalisation stochastique des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines dans le cadre d'un SIG. Thèse de magister, École nationale supérieure agronomique d'El Harrach, Alger.
- [34] A. Atallah (2014). Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station Honaine. Mémoire de Master, Université de Tlemcen.
- [35] A. Naib, H.A. Meliani (2000) Analyses microbiologiques et physico-chimiques des eaux de rejets du complexe laitier de Relizane et de l'unité électrolyse de Mostaganem. Mémoire d'ingénieur, Université de Mostaganem.
- [36] M. Debabza (2005). Analyse microbiologique des eaux des plages de la ville de Annaba Evaluation de la résistance aux antibiotiques des microorganismes pathogènes. Mémoire de Master, Université de Annaba.
- [37] C. Delarras (2014). Pratique en microbiologie de laboratoire Recherche de bactéries et de levures-moisissures. Tec & Doc/Lavoisier.
- [38] C. Dellarras (2003). Microbiologie de l'environnement avec législation. Travaux pratiques commentés. Gaétan Morin éditeur, 223–230 p.
- [39] M. Alioua (2015). Les Staphylocoques : sensibilité aux antibiotiques et profil moléculaire de Staphylococcus aureus Résistant à l'amicilline. Thèse de doctorat. Université de Annaba.
- [40] F. Allouane, H. Limane (2013). Contribution à l'étude de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux du barrage Ain Dalia à Souk Ahras (Nord-Est Algérien). Mémoire de Master. Université de Guelma.
- [41] FAO, HLPE (2015). L'eau, enjeu pour la sécurité alimentaire mondiale. Rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition du Comité de la sécurité alimentaire mondiale, Rome 2015.
- <https://www.fao.org/cfs/cfs-hlpe/publications/hlpe-9/fr>, consulté le 17/05/2026.
- [42] Y. Olivaux (2007). La nature de l'eau. Eds, Marco Pietteur, Embourg (Belgique) 570 p.
- [43] A. Kettab (2001). Les ressources en eau en Algérie : Stratégies, enjeux et vision. Desalination, 136, 25-33
- [44] OMS (1994). Directives de qualité pour l'eau de boisson. Volume 1, 2^{ème} édition, 38p.

Références bibliographiques

- [45] J. Hubert (2010). Quelles eaux de boisson faut-il consommer ? Progrès en urologie, 20, 806-809.
- [46] S. Kehal (2001). Rétrospective et perspectives du dessalement en Algérie. Desalination, 136, 35–42.
- [47] W. Guezlane, M. Aggoun (2017). Etude et simulation par modèle mathématique d'une unité d'osmose inverse pour le dessalement de l'eau de mer, Mémoire de Master, Université d'Oum El Bouaghi.
- [48] El Watan du 12 février 2026. <https://elwatan.dz/dessalement-deau-lalgerie-realiseradeux-stations-dans-le-sud/>, consulté le 18/06/2026.
- [49] E. Drioli, A. Criscuoli, F. Macedonio (2011). Membrane based desalination: An integrated approach (Medina). IWA publishing, London.
- [50] C. Tansakul (2009). Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse, Thèse de doctorat, Université de Toulouse.
- [51] Algérienne des Eaux (ADE) (2012). Rapport sur le dessalement en Algérie.
- [52] A. Lassouani, H. Benlebna (2001). Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse, station de Bousfer-Oran. Mémoire de Master, Université des sciences et la technologie Mohamed Boudiaf d'Oran.
- [53] J. Berland, J.M.C. Jury (2002). Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau, Document technique n°14 du Direction de l'Espace Rural et de la Forêt.
- [54] M. Amitouche (2016). Impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu récepteur, Thèse de doctorat en Hydraulique, Université de Biskra.
- [55] I. Boukellal, A. Hanane (2015). Etude du procédés de dessalement de l'eau de mer et de la qualité physico- chimique de l'eau dessalée de la station de Cap Djenet de la wilaya de Boumerdes. (2015). Mémoire de Master, Université de Boumerdes.
- [56] C. Cardot (1999) Génie de l'environnement, Les traitements de l'eau. Edition Ellipses, 247p.
- [57] S. Nisan, N. Benzarti (2008). A Comprehensive economic evaluation of desalination systems, using renewable, fossil fuelled based and nuclear energies, including external environmental costs. Desalination, 229, 125–146.
- [58] L. Tian, Y. Tang, Y. Wang (2004). Economic evaluation of seawater desalination for nuclear heating reactor with multi-effects distillation. Desalination, 180, 53–61
- [59] M. Fricke, L. Grunhut, W. Van Der (2003). Classification of mineral water types and comparison with drinking water standards. Environmental Geology. 17, 554–563.
- [60] B.M. Misra (2010). Sustainable desalination technologies for future. International Journal of Nuclear Desalination, 1, 37–48.

Références bibliographiques

- [61] V. Renaudin (2003). Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. Revue EDUSCOL. <https://eduscol.education.gouv.fr/>, consulté le 19/06/2026.
- [62] N. Ghaffour, T.M. Missimer, G.L. Amy (2013). Technical Review and Evaluation of the Economics of Water Desalination: Current and Future Challenges for Better Water Supply Sustainability. *Desalination*, 309, 197–207.
- [63] R. Einav, F. Lokiec (2003). Environmental aspects of a desalination plant in Ashkelon. *Desalination*, 156, 1–3.
- [64] J.D. Birkett (1984). A brief illustrated history of desalination. *Desalination* 50, 17-52.
- [65] Normes algérienne de qualité de l'eau de consommation humaine. <https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2014/F2014013.pdf>, Consulté le 20/06/2026.
- [66] A. Atallah (2014). Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau Dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de Honaine (Tlemcen). Mémoire de Master, Université de Tlemcen.
- [67] OMS (2017). Directives sur la qualité de l'eau de boisson : 4e éd. Intégrant le premier additif. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/b78fe338-e148-4e4a-90dc-c632f8e38ba1/content>, Consulté le 20/06/2026.