

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE
ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du

Diplôme de Master

Option

Alimentation et Nutrition

Présenté par

Boubekeur HACHEMAOUI

THEME

**QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DESSALEE ET
TRAITEE PAR LA STATION DE DESSALEMENT
DE L'EAU DE MER DE SOUK TLATA**

- TENEURS EN BORE, NITRITES, NITRATES ET METAUX LOURDS -

Soutenu le 26 Juin 2014, devant la commission d'examen composée de :

TABET H.

Président (Université de Tlemcen)

BADID N.

Encadreur (Université de Tlemcen)

HADJI F.

Examinateur (Université de Tlemcen)

MADJDOUB A

Examinateur (Université de Tlemcen)

Année universitaire 2013-2014

DEDICACES

A mes parents,

A ma famille

ET a mes amis

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH le Tout Puissant, c'est grâce à lui ce travail a été réalisé. Et aussi à vous, prophète Mohammed (Que la paix soit sur vous), j'adresse mes sincères salutations pour tout ce que vous avez donné à l'humanité.

Je remercie mes enseignants et toute l'équipe de formation de Master 2 Alimentation et Nutrition.

Je remercie particulièrement M^{elle} BADID N, pour avoir accepté d'encadrer ce travail et pour ses compétences qui m'ont permis de mener à bien cette étude.

Mes sincères remerciements vont également à Mr TABET H, pour l'honneur qu'il m'a fait et d'avoir accepté d'être Président du jury de ce mémoire.

Je tiens à remercier également M^{me} HADJI F et M^{elle} MADJDOUB A, d'avoir accepté de participer à la commission d'examen de ce travail.

Je tiens aussi à remercier très vivement la société ALMIAH ATILIMCENIA, la société HYFLUX TJSB ALGERIA APS, la société d'ALZINC pour ces collaborations actives au cours de la réalisation de ce travail.

A tous ceux qui ont contribué à l'avancement et la réalisation de ce mémoire, j'exprime mes profonds remerciements.

Tables des Matières

REMERCIEMENTS	i
LISTE DES FIGURES	ii
LISTE DES TABLEAUX	iii
LISTE DES TABLEAUX EN ANNEXES	iv
RESUME	v
ABSTRACT	vi
ملخص	vii
INTRODUCTION	1
<i>Chapitre I : Synthèse bibliographique</i>	
I. Généralités	2
I.1. Définition de l'eau	2
I.2. La molécule de l'eau	2
I.3. Propriétés de l'eau	2
I.3.1. Propriétés physiques	3
I.3.1.1. Masse volumique	3
I.3.1.2. Propriétés thermiques	3
I.3.1.3. Viscosité	3
I.3.1.4. Tension superficielle	3
I.3.1.5. Propriétés électriques	3
I.3.1.6. Propriétés optiques	4
I.3.1.7. Impuretés dans l'eau	4
I.3.2. Propriétés chimiques	4
I.3.2.1. L'eau solvant	4

I.3.2.2. Ionisation	4
I.3.2.3. Oxydoréduction	4
I.3.3. L'eau et métabolisme cellulaire	4
I.4. Ressources hydriques	5
I.5. Répartition de l'eau dans le monde	5
I.6. L'eau en Algérie	6
I.7. Eau potable	6
I.8. La pollution des eaux	7
I.9. Santé et maladies à transmission hydriques	8
II. Qualité de l'eau	8
II.1. Paramètres chimiques de l'eau	8
II.1.1. Le chrome	8
II.1.2. Le plomb	9
II.1.3. Le cuivre	9
II.1.4. Le cadmium	10
II.1.5. Le zinc	10
II.1.6. Le fer	10
II.1.7. Le bore	10
II.1.8. L'argent	11
II.1.9. Les nitrites	11
II.1.10. Les nitrates	11
II.1.11. Le bromate	11
II.2. Paramètres physico-chimiques de l'eau	12
II.2.1. Le pH	12
II.2.2. La température	12
II.2.3. L'alcalinité	12

II.2.4. Conductivité électrique	12
II.2.5. Titre hydrométrique	12
II.2.6. La matière solide dissoute totale (TDS).....	13
II.2.7. Ion Calcium	13
II.2.8. Ion Potassium	13
II.2.9. Ion Sodium	13
II.2.10. Ion Magnésium	13
II.2.11. Ion Chlorures	14
II.2.12. Ion Sulfate	14
II.2.13. Indice de Langelier de saturation (LSI).....	14
II.3. Paramètres organoleptiques de l'eau.....	14
II.3.1. La couleur	14
II.3.2. Le goût	14
II.3.3. L'odeur	15
II.3.4. La turbidité	15
II.4. Paramètres bactériologiques de l'eau.....	15
II.4.1. Les coliformes totaux.....	15
II.4.2. Les coliformes fécaux.....	15
II.4.3. Les streptocoques fécaux.....	16
III. Dessalement de l'eau de mer	16
III.1. Historique	16
III.2. Définition du dessalement	16
III.3. Importance du dessalement de l'eau de mer.....	16
III.4. Dessalement en Algérie.....	17
III.5. Le processus de dessalement de l'eau de mer.....	17
III.5.1. La prise de l'eau de mer	17

III.5.2. Le prétraitement	18
III.5.3. Les Procédés de dessalement	18
III.5.3.1. Les procédés thermiques	18
• Les procédés de la distillation	18
a. Distillation à simple effet	18
b. Distillation à multiples effets.....	19
c. Procédés de distillation par détente successive.....	20
III.5.3.2. Les procédés membranaires	20
III.5.3.2.1. Electrolyse	20
III.5.3.2.2. Osmose Inverse	21
III.5.3.3. Autre procédés de dessalement	21
• La congélation	21
III.5.4. Le post-traitement	22
III.5.4.1. Correction de l'agressivité de l'eau.....	22
III.5.4.2. La désinfection	22

Chapitre II : Matériels & méthodes

I. Etude du milieu	23
I.1. Caractéristiques de la mer méditerranée.....	23
I.2. Situation géographique de la station.....	24
I.2.1. Relief	25
I.2.2. Cadre climatique	25
I.3. Le contrat d'achat de l'eau commercialisé.....	26
I.4. Présentation de la station du dessalement.....	26
I.5. Processus du dessalement appliqué dans la station du dessalement de Souk Tlata.....	26
I.5.1. Réservoir de réception de l'eau de mer et de filtration mécanique.....	26

I.5.2. La chloration	28
I.5.3. Station de pompage de l'eau de mer	28
I.5.4. Etape d'ultrafiltration	28
I.5.5. Réservoir d'eau filtrée	28
I.5.6. Rinçage inverse des modules d'ultrafiltration	29
I.5.7. Nettoyage chimique du système d'ultrafiltration	29
I.5.8. L'étape d'osmose inverse	29
I.5.8.1. Dosage d'antitartre.....	30
I.5.8.2. Les pompes d'alimentation d'osmose inverse	30
I.5.8.3. Le système de récupération d'énergie.....	30
I.5.8.4. Les pompe à haute pression	30
I.5.8.5. Unités d'osmose inverse	31
I.5.8.6. Réservoir de l'eau dessalée	31
I.5.8.7. Le système de nettoyage des membranes d'osmose inverse	31
I.6. Post Traitement	31
I.7. La désinfection final	31
I.8. Reminéralisations	32
I.9. Réservoir d'eau traitée	33
I.10. Station de pompage de l'eau traitée	33
I.11. Décharge de la saumure	33
II. Echantillonnage	34
II.1. Détermination du point d'échantillonnage	34
II.2. Mode de prélèvements	34
III. Méthodes analytiques	35
III.1. Dosage des Métaux lourd (<i>Chrome, plomb, Cuivre, Cadmium, Zinc, Fer, Argent</i>)	35
III.2. Dosage des ions majeurs et du Bore	36

III.2.1. Cations majeurs (<i>Sodium, Potassium, Calcium, Magnésium</i>)	38
III.2.2. Anions majeurs (<i>Bromate, Chlorure, Nitrates, Nitrites, Sulfates</i>).....	39
III.2.3. Bore	41
III.3. Paramètres physico-chimiques de l'eau	43
III.3.1. pH et température	43
III.3.2. Conductivité électrique	44
III.3.3. Alcalinité	44
III.3.4. Titre hydrométrique.....	45
III.3.5. La matière solide dissoute totale (TDS).....	46
III.3.6. Indice de Langelier de saturation (LSI).....	47
III.3.7. Le chlore libre.....	48
III.4. Paramètres organoleptiques de l'eau	49
III.4.1. La couleur	49
III.4.2. La turbidité	49

Chapitre III : Résultats & interprétations

I. Métaux lourds	51
I.1. Cadmium	51
I.2. Fer	51
I.3. Cuivre	51
I.4. Plomb	51
I.5. Argent	53
I.6. Zinc	53
I.7. Chrome	53
II. Les ions majeurs et le Bore	53
II.1. Les ions majeurs	53
II.1.1. Les Cations majeurs	53

II.1.2. Chlorure	55
II.1.3. Bromate	55
II.1.4. Nitrite et Nitrate	55
II.1.5. Sulfate	55
II.2. Bore	55
III. Les paramètres physico-chimiques	55
III.1. pH et température	57
III.2. Conductivité électrique (CE)	57
III.3. Alcalinité	57
III.4. Titre hydrométrique (TH)	57
III.5. La matière solide dissoute totale (TDS)	57
III.6. Le chlore libre	57
III.7. Indice de saturation de Langelier (LSI)	57
IV. Les paramètres organoleptiques	58
IV.1. La couleur	58
IV.2. La turbidité	58
<i>Chapitre IV : Conclusion et recommandations</i>	
Conclusion	60
Recommandations	60
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	62
ANNEXES.	64

LISTE DES FIGURES

	P.
Figure 1 : Molécule d'eau (SPELLMAN et FRANK, 2008).....	2
Figure 2 : Distillation a simple effet (DANIS, 2003).....	19
Figure 3 : Distillation à multiple effets (SELLAMI, 2014).....	19
Figure 4 : Distillation à détentés successive (SELLAMI, 2014).....	20
Figure 5 : Principe de fonctionnement de l'électrodialyse (VIOLLEAU, 1999).	20
Figure 6 : Mise en évidence de l'osmose inverse (SELLAMI, 2014).....	21
Figure 7 : Principe de dessalement par congélation (MANDRI, 2011).....	22
Figure 8 : La mer Méditerranée (ROUANE-HACENE, 2013).....	23
Figure 9 : Processus du dessalement appliqué dans la station du dessalement de Souk Tlata	27
Figure 10 : Le gros dégrilleur.....	28
Figure 11 : Les Tamis fin rotatifs.....	28
Figure 12 : Les modules d'ultrafiltration.....	29
Figure 13 : Pompe à haute pression.....	30
Figure 14 : Unités D'osmose inverse.....	31
Figure 15 : Réservoir d'hypochlorite de sodium utilisé pour la désinfection finale.....	32
Figure 16 : Système de dosage du CO ₂	33
Figure 17 : Système de dosage de la Chaux.....	33
Figure 18 : Station de pompage de l'eau traitée.....	33
Figure 19 : Le point d'échantillonnage.....	34
Figure 20 : Spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme de type AURORA AI 1200 (Usine ALZINC, 2010).....	35
Figure 21 : Chromatographie ionique (881 Compact IC pro).....	37
Figure 22 : pH mètre (HACH sonsION tm pH 31).....	43

Figure 23 :	Conductivimètre (HACH sonsION tm EC7).....	44
Figure 24 :	Colorimètre.....	50
Figure 25 :	Turbidimètre	50

LISTE DES TABLEAUX

	P.
Tableau 1 : Réserves d'eau de la planète.....	6
Tableau 2 : Caractéristiques de l'eau de mer (conditions de base du site).....	24
Tableau 3 : Les concentrations des solutions d'étalonnage du chromatographie ionique (cations)	39
Tableau 4 : Les concentrations des solutions d'étalonnage du chromatographie ionique (anions).	41
Tableau 5 : Les concentrations des solutions d'étalonnage du chromatographie ionique (Bore).	42
Tableau 6 : Les concentrations des métaux lourds des échantillons analysées.....	52
Tableau 7 : Les concentrations des ions majeurs et du bore des échantillons analysés.	54
Tableau 8 : Résultats des paramètres physico-chimiques des échantillons analysés.....	56
Tableau 9 : Résultats des analyses organoleptiques des échantillons d'eau traitée.....	59

LISTE DES TABLEAUX EN ANNEXES

	P.
Tableau A1 : Description des échantillons prélevés.....	64
Tableau A2 : Lignes directrices de l'OMS 2003 et l'OMS 2006 en ce qui concerne la qualité de l'eau potable.....	65
Tableau A3 : Les paramètres organoleptiques (Normes Algérienne mars 2011).....	66
Tableau A4 : Paramètres physico-chimiques (Normes Algérienne mars 2011).....	66
Tableau A5 : Paramètres indésirable ou toxiques (Normes Algérienne mars 2011).	67

RESUME

L'eau, molécule simple, est indispensable pour la continuité de toute sorte de vie ainsi qu'au développement des populations. L'augmentation des besoins en eau et la disponibilité de l'eau de bonne qualité demeure un challenge d'actualité, particulièrement pour l'Algérie.

Une étude des caractéristiques chimiques et physico-chimiques de l'eau potable traitée et dessalée a été menée au niveau de la « Station de Dessalement de l'eau de mer de Souk Tlata » (wilaya de Tlemcen).

Un échantillon de vingt (20) prélèvements d'eau traitée, réalisés à la sortie de la station de dessalement de l'eau de mer, a été investigué. Ces prélèvements ont fait l'objet d'un dosage des paramètres chimiques, physico-chimiques et métaux lourds qui constituent les critères déterminants de la salubrité, potabilité et sécurité des eaux. Les différentes analyses ont été effectuées grâce à une collaboration active entre le "Laboratoire de la Station de Dessalement" et le "laboratoire d'ALZINC à Ghazaouet". Les résultats obtenus montrent des teneurs inquiétantes en Plomb, en Cadmium et en Bore.

Mots clés : Qualité eau potable- Dessalement de l'eau de mer- Métaux lourds- Bore.

ABSTRACT

Water, simple molecule, essential for the continuity of any kind of life and it is important for the development of populations. The increase of water demand and the availability of a good water quality present a current challenge for governments including Algeria.

Twenty (20) samples of treated water were collected at the outlet of 200 000 (m³/day) seawater desalination plant, located in Souk Tlata community (Tlemcen). Chemical, physico-chemical parameters and heavy metals were investigated in treated water. These are the determinants of safety criteria, and water potability.

Different analyses were carried out through an active cooperation between the "laboratory of this desalination plant" and the "ALZINC laboratory located in Ghazaouet". The results show alarming levels of Lead, Cadmium and Boron.

Keywords: Drinking water quality- Sea water desalination- Heavy metals- Boron.

ملخص

يعتبر الماء أحد العناصر البسيطة التي لها دور أساسي في المحافظة على مختلف أشكال الحياة و التي تساهم كذلك و بشكل فعال في تطور الشعوب و حتى الحضارات. زيادة الطلب على المياه الصالحة للشرب و توفيرها بصفة مستدامة يشكلان أحد أكبر التحديات التي تواجه الكثير من الدول و الحكومات و التي من بينها الجزائر.

عشرون (20) عينة من الماء المعالج تم أخذها من محطة تحلية مياه البحر 200000 (م³/يوم) الواقعة ببلدية سوق الثلاثاء (تلمسان)، و من ثم تحليل الخصائص الكيميائية، الفيزيوكيميائية و تحديد نسب المعادن الثقيلة للعينات السابقة الذكر التي من شأنها إثبات جودة و سلامة المياه. أجريت التحاليل المخبرية في المخبر الخاص بمحطة تحلية مياه البحر السالفة الذكر و كذلك في مخبر مصنع الزنك بالجزوات.

كشفت نتائج التحاليل عن تراكيز و نسب مقلقة لكل من الرصاص، الكاديوم و عنصر البور.

الكلمات المفتاح : جودة الماء الصالح للشرب، تحلية مياه البحر، المعادن الثقيلة، البور.

INTRODUCTION

L'eau, H₂O, molécule inodore, incolore et sans saveur, présente dans la nature sous différentes formes et elle est indispensable pour la vie des différents êtres vivants.

Pour l'homme l'eau présente environ 92% du plasma, 80% du tissu musculaire, 60% des globules rouges et aussi, c'est le composant majeur de la plus part des autres tissus, elle est le milieu de dispersion pour plusieurs réactions chimiques et biochimiques, et avec une valeur nutritionnelle nulle, elle est classée comme un corps chimique complexe dans ces constantes physiques et physico-chimiques.

Longtemps considérée comme une ressource inépuisable, pure et gratuite, l'eau potable est aujourd'hui de plus en plus rare, polluée et chère. Comment peut-on gérer au mieux les ressources disponibles sans gaspillage? Celle que l'on nomme " l'or bleu " est en passe de devenir un enjeu stratégique dans certaines parties du monde.

Les besoins en eau de bonne qualité et en quantité abondante ont augmenté avec la croissance démographique et le développement industriel, particulièrement en Algérie, ce qui pousse les gouvernements à trouver des solutions durables.

Dans cette quête de l'eau et la recherche de la satisfaction des besoins en eau potable, la construction des stations de dessalement de l'eau de mer est l'une des solutions les plus efficaces et audacieuses qui ait été réalisée.

L'eau potable produite n'est jamais pure, elle contient des minéraux et des micro-organismes, les activités humaines peuvent aussi affecter et changer la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.

Une étude des caractéristiques chimiques et physico-chimiques de l'eau potable traitée et dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de Souk Tlata a fait l'objet de notre travail. Cet objectif principal se décline en deux sous-objectifs qui définissent nos axes d'études

- Une exploration des caractéristiques physico-chimiques selon les normes de la station
- Une évaluation du profil en certains métaux lourds.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Généralités

I.1. Définition de l'eau

L'eau c'est la vie (THIELBORGER, 2014). Présente dans toutes les traditions et religions du monde, l'eau est un élément primordial du patrimoine culturel de l'humanité à travers les mythes et les symboles. Ceux liés à l'eau entourent la création des formes terrestres, la naissance, la vie, le renouveau et la mort. Les sciences, l'art et les civilisations même ne sont pas pensables sans la présence de l'eau (OLIVAUX, 2007).

L'eau à accompagné la vie des êtres humains. Elle est au cœur de nos pratiques sociales, économiques et sanitaires ; l'eau s'inscrit au cœur même du vivant et conditionne la civilisation humaine (OLIVAUX, 2007).

« H₂O » est la formule chimique de cette molécule, elle est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène.

I.2. La molécule de l'eau

L'analyse structurale a permis de connaître la forme de la molécule d'eau, c'est une sorte de compas dont l'axe est occupé par l'atome d'oxygène et dont les bras sont formés par deux atomes d'hydrogène. L'angle H—O—H a une valeur de 104,30 °.

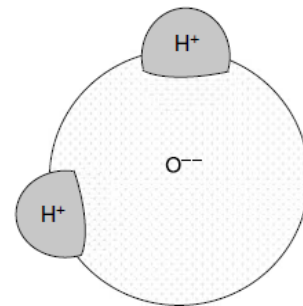


Figure 1: Molécule d'eau (SPELLMAN et FRANK, 2008).

Chaque atome d'hydrogène et celui d'oxygène mettent en commun chacun un électron pour former deux liaisons chimiques de forte énergie : « les liaisons de covalence ». Cet arrangement électronique confère à la molécule d'eau une grande stabilité chimique. La longueur de la liaison O—H est de 0,96 Å.

La molécule d'eau se comporte comme un dipôle électrique, cette répartition des charges permet de comprendre certaines propriétés physico-chimiques (solvant-soluté), car cette propriété électrique est responsable du grand pouvoir dissolvant de l'eau vis-à-vis des composés ioniques comme certains sels, acides et bases (OLIVAUX, 2007).

I.3. Propriétés de l'eau

L'eau est complexe, anormale, mystérieuse, inexplicquée, exotique, exceptionnelle, particulière, et aussi c'est un élément rebelle, souple, labile et versatile au regard des autres

liquides ; il se contracte quand on le chauffe, devient moins visqueux quand on le comprime et sa densité augmente en passant de l'état liquide à l'état solide (OLIVAUX, 2007).

I.3.1. Propriétés physiques

I.3.1.1. Masse volumique

La masse volumique varie avec la température et la pression, elle passe par un maximum à environ 4 °C. Cette propriété entraîne diverses conséquences, aussi bien dans la nature que dans les stations de traitement. L'eau est considérée comme un fluide incompressible. Mais, en fait, c'est un fluide légèrement élastique (ROVEL et *al.*, 2005).

I.3.1.2. Propriétés thermiques

L'importance des propriétés thermiques comme la chaleur massique et les enthalpies fait que les grandes étendues d'eau à la surface de la terre constituent de véritables volants thermiques. C'est également la raison de l'utilisation de l'eau comme fluide caloporteur (ROVEL et *al.*, 2005).

I.3.1.3. Viscosité

C'est la propriété que présente un fluide (liquide ou gaz) d'opposer une résistance aux divers mouvements soit internes (exemple : turbulence), soit globaux (exemple: écoulement) (ROVEL et *al.*, 2005).

I.3.1.4. Tension superficielle

Elle caractérise une propriété des interfaces (surfaces limitant deux phases). Elle est définie comme une force de traction qui exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface. La tension superficielle diminue avec l'augmentation de la température, et aussi l'addition de sels dissous augmente généralement la tension superficielle. Il existe d'autres corps qui la diminuent, ils sont appelés tensioactifs (exemple : détergents) (ROVEL et *al.*, 2005).

I.3.1.5. Propriétés électriques

L'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est de 4,2 microsiemens par mètre à 20 °C (correspond à une résistivité de 23,8 mégohms-centimètres). Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et elle varie en fonction de la température (ROVEL et *al.*, 2005).

I.3.1.6. Propriétés optiques

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. Cette transparence est utilisée pour apprécier certaines formes de pollution et, en conséquence l'efficacité des traitements d'épuration (ROVEL *et al.*, 2005).

I.3.1.7. Impuretés dans l'eau

Les impuretés présentes dans l'eau constituent deux catégories :

☞ Matières en suspension : matières minérales ou organiques qui restent en suspension du fait de la turbulence de l'eau ou de leur densité trop voisine de celle de l'eau, elles sont sans interférence importante avec l'eau qui les entoure.

☞ Matières dissoutes : elles concernent des composés minéraux ou organiques, macromoléculaires, ainsi que des gaz souvent très solubles dans l'eau (ROVEL *et al.*, 2005).

I.3.2. Propriétés chimiques

I.3.2.1. L'eau solvant

Le pouvoir solvatant de l'eau provoque l'altération partielle ou complète de divers liens entre les atomes (dissociation) et dans les molécules (ionisation) et du corps à dissoudre pour les remplacer par de nouveaux liens avec ses molécules propres (hydratation). Une solvation complète est une dissociation (ROVEL *et al.*, 2005).

I.3.2.2. Ionisation

Un composé minéral dissous dans l'eau se dissocie plus ou moins avec apparition d'ions chargés négativement (anions) et positivement (cations). Le corps dissous est appelé électrolyte ; il transporte le courant électrique (ROVEL *et al.*, 2005).

I.3.2.3. Oxydoréduction

Les phénomènes d'oxydoréduction présentent une grande importance dans toutes les technologies de l'eau. L'eau elle-même peut participer, suivant des conditions expérimentales et selon certaines réactions chimiques comme un donneur d'électrons (elle est réductrice) ou un accepteur d'électrons (elle est oxydante) (ROVEL *et al.*, 2005).

I.3.3. L'eau et métabolisme cellulaire

C'est dans le milieu extérieur où ils vivent que les organismes vont chercher les substances indispensables, appelées encore métabolites essentiels, nécessaires au maintien de leurs activités et de leur croissance voire de leur reproduction.

L'eau est non seulement indispensable à tous les êtres vivants, dont elle est le constituant majoritaire, mais elle représente en outre un milieu particulièrement propice à la dissémination des aliments et au fonctionnement des chaînes alimentaires. Ce qui concernera essentiellement la vie aquatique (ROVEL *et al.*, 2005).

I.4. Ressources hydriques

Les ressources en eaux renouvelables offertes par la nature peuvent être estimées à partir des flux du cycle de l'eau et plus particulièrement des flux de circulation des eaux continentales aux environs de 40000 km³/an.

Compte tenu de la population actuelle de la planète qui est d'environ 6 milliards d'habitants, la quantité moyenne d'eau renouvelable disponible est de l'ordre de 7000 m³/habitant soit 20 m³/jour/habitant, ce qui est très largement supérieur aux besoins.

En fait, les problèmes actuels et futurs sont multiples :

☞ La population ne cesse d'augmenter alors que les ressources restent constantes. Dans certains cas, même ces ressources diminuent par suite des problèmes de pollution.

☞ les ressources en eau sont très inégalement réparties sur la planète. Il y a les déserts et zones sub-arides (30 % des terres émergées) qui n'ont que peu ou pas d'eau. Il y a aussi certaines zones équatoriales ou tropicales sur lesquelles tombent chaque année plusieurs mètres de pluie (MAUREL, 2006).

I.5. Répartition de l'eau dans le monde

Dans l'optique de son utilisation par l'homme, les aspects quantitatifs et qualitatifs de l'eau sont étroitement liés :

- 97 % de l'eau se trouve dans l'océan, mais elle est salée ;
- L'atmosphère, qui retient seulement un cent millième de l'eau douce, joue cependant un rôle clé dans le cycle hydrologique par le recyclage rapide qu'elle assure (Tableau1).
- Les calottes polaires, notamment celles de l'antarctique, stockent les trois quarts de l'eau douce de la planète, cette réserve étant malheureusement inaccessible ;
- L'eau que nous utilisons provient essentiellement des lacs, des cours d'eau et des nappes d'eau souterraines. Si pour l'essentiel, ces ressources sont renouvelables, il existe des gisements d'eaux souterraines dites « fossiles » peu impliqués dans le cycle de l'eau compte tenu de leur profondeur (jusqu'à 1000m), qui constituent des stocks quasi non renouvelables à l'échelle humaine : le renouvellement n'est jamais nul mais il est très lent, de l'ordre de plusieurs millénaires ou dizaines de millénaires.

Tableau 1 : Réserves d'eau de la planète.

Réservoirs	Volume (10 ¹⁵ m) ^a	% total	Temps de résidence
Océans	1350	97	2500 ans
Glaciers (calotte glacière)	33	2,4	1000 à 10000 ans
Eaux souterraines	8	0,6	1500 ans
Lacs	0,1	<0,01	17 ans
Eau dans le sol	0,07	<0,01	1 an
Eau dans l'atmosphère	0,013	<0,001	8 jours
Rivières	0,0017	0,0001	16 jours
Eau dans la matière vivante	0,0011	0,0001	Quelques heures
Total	1391	100	

a : Ou 10⁶ Km³ (océans : 1 350 000 000). (MAUREL, 2006).

I.6. L'eau en Algérie

L'Algérie est un pays semi-aride et aride, dans lequel les ressources en eau sont généralement faibles et surtout extrêmement irrégulières et localisées :

- Dans le Sahara, les lits d'oueds recèlent quelques nappes phréatiques souvent saumâtres : Ghir, M'zab, Saoura, etc. sinon, ce sont des nappes profondes, semi-fossiles ou fossiles, et qui sont très peu utilisées.

- Dans le nord d'Algérie l'apport principale vient du ruissellement, après précipitation. Le régime d'un oued est caractérisé par le fait que durant des mois, voire des années, le lit mal délimité est parcouru par un filet d'eau trompeur et que, tout-à-coup, et pendant un temps bref, il roule jusqu'à 5000 m³/second provoquant une crue dévastatrice. En effet, elles sont croissantes d'Ouest en Est et affectent successivement les Monts de Tlemcen, le versant nord de l'Oursenis, le massif de la Kabylie, le nord Constantinois et enfin le massif des Aurès (ARRUS, 1985).

I.7. Eau potable

La définition d'une eau potable repose sur des normes établies par une réglementation. Cette dernière varie d'une communauté économique ou d'un pays à l'autre et est évolutive. (OLIVAUX, 2007).

Selon certaines normes, une eau potable est une eau qui ne porte pas atteinte à la santé. En fait, il faut avoir à l'esprit qu'il existe deux définitions de l'eau potable, l'une est une définition réglementaire et l'autre est une définition médicale.

*Définition réglementaire : une eau potable et une eau conforme aux normes réglementaires. Dans cette optique, l'eau du robinet et les eaux minérales embouteillées sont généralement potables, sauf accident.

*définition médicale : une eau potable et une eau qui ne rend pas malade, même à long terme. Dans cette optique médicale, ni l'eau du robinet ni les eaux minérales embouteillées ne sont pas potable, sauf exception (OLIVAUX, 2007).

I.8. La pollution des eaux

L'impact écologique d'une substance polluante dépend de sa toxicité aigüe et/ou chronique, de son temps de dégradation dans un milieu et de sa capacité à se diffuser dans l'espace et le temps (OLIVAUX, 2007).

Concernant la pollution de l'eau, il convient de distinguer deux types de polluants :

* ceux qui proviennent d'un excès d'éléments qui sont normalement présents à l'état naturel dans le milieu (exemple des nitrates et phosphates),

* ceux qui sont issus de molécules de synthèse, introduits par l'homme dans le milieu naturel (exemple des pesticides). Pour la plus part de ces derniers, leurs impacts et leur devenir (accumulation, dispersion, transformation) sur l'environnement et les organismes vivants sont largement méconnus ;

Deux catégories de pollutions ; *les pollutions ponctuelles* (la source de pollution est facilement localisable, c'est un point précis. Ainsi, les pollutions industrielles sont qualifiées de ponctuelles) et *les pollutions diffuses* (la source de la pollution est difficilement localisable, par exemple, les pollutions agricoles par les nitrates sont qualifiées de diffuses) (OLIVAUX, 2007).

Il existe 3 localisations des polluants :

- Les polluants des eaux brutes: Matières organiques, pesticides, métaux lourds, médicaments, cosmétiques, micro-organismes.
- Les polluants des méthodes de traitement de l'eau : Le chlore, ozone, sels toxiques.
- Les polluants des conduites d'eau : Métaux lourds, micro-organismes (OLIVAUX, 2007).

I.9. Santé et maladies à transmission hydriques

Pour l'OMS, « *La bonne qualité de l'eau de boisson fait davantage pour la santé publique que n'importe quel vaccin ou médicament !* ». Toutes les huit secondes, un enfant meurt d'une maladie liée à l'eau ! Chaque année, plus d'un milliard d'enfants de moins de cinq ans présentent une diarrhée aiguë, et on dénombre près de cinq millions de décès dus à ces diarrhées principalement dans les régions défavorisées (KOLTZ, 2010).

L'eau insalubre constitue la première cause de mortalité sur la planète devant la malnutrition à cause des agents pathogènes (virus, bactéries, parasites) et polluants divers qu'elle véhicule (pesticides, arsenic, fluor,..). 80 % des maladies dans les pays pauvres du sud se propagent par la consommation de l'eau contaminée.

Cette terrible réalité est méconnue de la plupart des gens car l'eau tue en silence et en continu. De plus, les pathologies infectieuses, parasitaires ou « toxicologiques » empêchent des millions de personnes de mener une vie saine, sapent les efforts de développement et accentuent le cercle vicieux de la pauvreté (OLIVAUX, 2007).

Des spécialistes classifient les maladies bactériologiques, virales ou parasitaires liées à l'eau en quatre catégories :

- Les maladies véhiculées par l'eau : elles sont causées par l'ingestion d'eau souillée par de l'urine ou des excréments animaux ou humains contenant des bactéries ou des virus pathogènes. Elles incluent le choléra, la typhoïde, et autres maladies diarrhéiques.
- Les maladies de l'hygiène : elles sont causées par une mauvaise hygiène personnelle et le contact des yeux ou de la peau avec de l'eau souillée. Elles incluent les gales, le trachome, le typhus et les maladies transmises par les puces, poux et tiques.
- Les maladies liées à l'eau : elles sont causées par des parasites trouvés dans les organismes hôtes vivant dans l'eau. Elles incluent des maladies causées par des helminthes (vers).
- Les maladies transmises par des insectes qui se multiplient dans l'eau : elles incluent la dengue, la filariose, le paludisme ou malaria, la fièvre jaune (OLIVAUX, 2007).

II. Qualité de l'eau

II.1. Paramètres chimiques de l'eau

II.1.1.Chrome

La plupart des roches et des terrains renferment de faibles quantités de chrome. Sa

présence dans l'eau (sous forme de sels solubles, particules insolubles ou complexes chimiques) n'est pas fréquente et est le plus souvent, liée à des rejets d'eau usées ou à des infiltrations par des champs d'épandage de boues de station d'épuration.

Le chrome trivalent est un oligo-élément essentiel du métabolisme humain. Des études ont montré qu'il améliorerait la croissance et favoriserait un bon métabolisme du glucose, des lipides, et des protéines. Son absorption n'aurait que peu d'effet sur l'appareil digestif.

En revanche, le chrome hexavalent, est plus hydrosoluble et est, fortement toxique. Il provoquerait, à faible dose, une irritation de la muqueuse gastro-intestinale et à forte dose, une nécrose du foie et une néphrite (SAVARY, 2010).

II.1.2. Plomb

Le plomb est un métal grisâtre que l'on retrouve dans la croûte terrestre, il existe sous forme métallique, inorganique et organique, et aussi très malléable et résistant à la corrosion, il a longtemps été utilisé dans la fabrication de conduites d'eau, de même que dans les alliages utilisés pour la soudure de la tuyauterie.

Bien qu'on le retrouve de façon naturelle dans l'environnement, des concentrations très faibles de plomb sont mesurées dans les eaux de surface et souterraines qui servent à alimenter la population en eau potable. La présence du plomb dans l'eau de consommation est habituellement attribuable au phénomène de corrosion qui survient dans les composantes structurales des réseaux de distribution et dans la tuyauterie domestique qui contiennent du plomb. La corrosion du plomb survient en milieu acide lorsque le plomb métallique de la tuyauterie ou des soudures entre en contact avec un agent oxydant (ex. : oxygène dissous ou chlore). Le plomb métallique est alors converti en une forme oxydée (habituellement Pb^{2+}) qui se dissout dans l'eau.

(CHAUSSE et *al.*, 2003).

II.1.3. Cuivre

Le cuivre est un métal stable et conducteur pouvant être présent sous diverses formes minérales dans l'environnement, telles que la cuprite, la malachite, les sels de chlorure ou de sulfate. Depuis longtemps, le cuivre métallique est utilisé dans la fabrication de matériaux d'armement, de monnaies, de fils électriques, et de tuyauterie. De par leurs propriétés fongicides, algicides, herbicides et insecticides, les sels de cuivre (surtout le sulfate de cuivre et l'hydroxyde de cuivre) sont utilisés intensivement en agriculture comme pesticides.

Le cuivre est présent naturellement dans l'environnement, mais il est aussi abondamment utilisé dans les domaines industriels et domestiques. Il peut être détecté dans les eaux de surface, les eaux souterraines ou l'eau de mer. Sa présence fait suite à l'érosion du sol ou des rochers, de la dislocation du sol, ou encore à des activités anthropogéniques, telle que l'activité minière ou agricole, et les effluents provenant des usines de traitement des eaux usées. (CAMPAGNA *et al.*, 2012).

II.1.4. Cadmium

Le cadmium métallique est utilisé dans l'industrie de l'acier et de plastique. Les composés du cadmium sont largement utilisés dans la fabrication des piles. La contamination des eaux de boisson peut être provoquée par des impuretés présentes dans les conduites de zinc ou des conduites galvanisées et de quelques garnitures métalliques. La nourriture est la principale source d'exposition quotidienne au cadmium. Il faut noter aussi que le tabagisme est une source importante d'exposition au cadmium (OMS, 2003).

II.1.5. Zinc

Le zinc est un oligo-élément essentiel qui se trouve dans presque tous les aliments et dans l'eau potable sous forme de sels ou de complexes organiques. Le régime alimentaire est normalement la principale source de zinc. Bien que les niveaux de zinc dans les eaux de surface et les eaux souterraines ne dépassent pas 0,01 et 0,05 mg /litre, respectivement, les concentrations dans l'eau du robinet peut être beaucoup plus élevée à cause de la dissolution de zinc à partir de tuyaux (OMS, 2003).

II.1.6. Fer

Le fer est l'un des métaux les plus abondants dans la croûte terrestre. Il se trouve dans l'eau douce naturelle à des niveaux allant de 0,5 à 50 mg /litre. Le fer peut également être présent dans l'eau de boisson à la suite de l'utilisation de coagulants de fer ou de la corrosion de l'acier et des tuyaux en fonte pendant la distribution de l'eau. Le fer présent dans l'eau potable est un élément essentiel dans la nutrition humaine (OMS, 2003).

II.1.7. Bore

Des composés du bore sont utilisés pour la fabrication de verre, des savons et des détergents. Généralement, une population obtient la plus grande quantité de bore par la prise alimentaire, car il est naturellement présent dans de nombreuses plantes comestibles. Le bore est trouvé naturellement dans les eaux souterraines, mais sa présence dans l'eau de surface est

souvent une conséquence de la décharge des effluents traités des eaux usées, d'où ils proviennent la contamination des eaux de surface par certains détergents (OMS, 2003).

II.1.8. Argent

L'argent se présente à l'état natif sous forme de minerai, ou associé à des minerais de plomb, d'or, de cuivre et de zinc. Il est pratiquement inexistant dans l'eau, et il arrive que la teneur soit élevée dans l'eau de robinet du fait de sa présence à l'état de traces dans certains accessoires de plomberie (SAVARY, 2010).

II.1.9. Nitrites

L'azote, élément essentiel de la vie, est présent en abondance dans la nature sous formes gazeuse, organique ou minérale. Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrites sous l'influence d'une action dénitrifiante (SAVARY, 2010).

Les nitrites sont répons dans le sol, dans les eaux et dans les plantes, mais en quantité relativement faibles. Les nitrites non liées à une pollution, se retrouvent parfois dans les eaux pauvres en oxygène. Leur présence a également été signalée dans les eaux de pluie et dans celles provenant de la fonte des neiges. En effet la pollution atmosphérique favorise l'augmentation de la teneur en nitrites. Toutefois, une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de qualité microbiologique (SAVARY, 2010).

II.1.10. Nitrates

Les nitrates constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique. Les nitrates sont très répons dans la plupart des eaux et dans les plantes où ils sont nécessaires à la synthèse des végétaux. Soluble dans l'eau, ils se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines et superficielles. Les nitrates sont employés dans la fabrication des explosifs, dans l'industrie chimique comme oxydant, et comme conservateur dans les denrées alimentaires (SAVARY, 2010).

II.1.11. Bromate

Depuis la fin des années 90, les bromates sont dosés dans les eaux destinées à la consommation humaine (eau potable) et dans les ressources en eau destinées à la production d'eau potable. La teneur de 10 µg/L tolérée dans les eaux potables, depuis décembre 2008, pourrait se durcir dans les années à venir. Dans la plupart des cas, la présence des bromates dans l'eau potable est due aux étapes de désinfection, notamment l'ozonation (l'ion bromure

est relativement facilement oxydé en ion hypobromite par l'ozone, puis, dans certaines conditions, en ion bromate) mais aussi la désinfection à l'hypochlorite de sodium (certaines solutions d'hypochlorite de sodium ou eau de Javel peuvent contenir des teneurs élevées en bromates). La seule méthode disponible pour doser l'ion bromate à quelques $\mu\text{g/l}$ est la méthode par chromatographie ionique avec de nombreuses adaptations. D'autres méthodes ont été développées dans la littérature mais aucune n'est utilisée en routine avec une aussi bonne sensibilité que la méthode par chromatographie ionique (RODIER et *al.*, 2009).

II.2. Paramètres physico-chimiques de l'eau

II.2.1. pH

Le pH correspond à la concentration d'ions hydrogène. Il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau. Le pH interfère avec d'autres paramètres de la qualité dans les complexes réactions chimiques : dureté, alcalinité, turbidité, conductivité (SAVARY, 2010).

II.2.2. Température

La température des eaux souterraines est relativement constante toute l'année, par contre celle des eaux superficielles est très variable selon les saisons et peut passer de $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La diminution de la température entraîne la diminution de l'efficacité des traitements dont la désinfection et entraîne aussi l'augmentation de la viscosité de l'eau.

L'augmentation de la température a diverses conséquences comme : la croissance bactérienne, les problèmes de saveur, de couleur, corrosion (SAVARY, 2010).

II.2.3. Alcalinité

A l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes (RODIER et *al.*, 2009).

II.2.4. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm . Elle est l'inverse de la résistivité électrique (RODIER et *al.*, 2009).

II.2.5. Titre hydrotimétrique

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion

hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium. La dureté est encore appelée dureté calcique et magnésienne ou consommation de savon. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en CaCO_3 . Elle est aussi très souvent donnée en degrés français (RODIER *et al.*, 2009).

II.2.6. La matière solide dissoute totale (TDS)

Les solides dans l'eau se trouvent soit en solution ou en suspension, et se distinguent par le passage de l'échantillon de l'eau à travers un filtre de fibres de verre. Par définition, les matières en suspension sont retenues sur le dessus du filtre, et les solides dissous passent à travers le filtre avec de l'eau. Lorsque la partie filtrée de l'échantillon d'eau est placée dans une coupelle, puis évaporé, les solides dissous dans l'eau restent comme résidu dans la capsule d'évaporation. Cette matière est appelée matières totales dissoutes ou TDS (SPELLMAN et FRANK, 2008).

II.2.7. Ion Calcium

Le calcium est un élément principal dans le squelette (99%). Le calcium, élément essentiel de la dureté de l'eau, est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Ses sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles (SAVARY, 2010).

II.2.8. Ion Potassium

Le potassium est le cation le plus abondant du liquide intracellulaire et joue un rôle important dans un grand nombre de fonctions cellulaires pour lesquelles les besoins de l'organisme par jour sont importants (HOULLIER *et al.*, 2004).

Cette substance peut provenir des industries extractives (mines de sels de potasse), des usines d'engrais et des industries du verre et matériaux connexes (SAVARY, 2010).

II.2.9. Ion Sodium

Ce métal, très abondant ne se rencontre pas naturellement à l'état natif mais toujours associé à d'autres éléments chimiques (comme le chlorure de sodium NaCl). Le sodium est ingéré quotidiennement par l'eau et les aliments qui en représentent la principale source (SAVARY, 2010).

II.2.10. Ion Magnésium

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature et il est présent dans la plupart des eaux naturelles. Le magnésium contribue à la dureté de l'eau sans être l'élément

essentiel et aussi il est indispensable pour la croissance et pour la production de certaines hormones (SAVARY, 2010).

II.2.11. Ion Chlorure

Les chlorures présents dans l'eau potable proviennent des eaux usées et des effluents industriels. La principale source d'exposition humaine au chlorure est l'ajout de sels aux aliments. L'apport de cette source est généralement supérieur à celui de l'eau de boisson. Les concentrations excessives de chlorure augmentent les taux de corrosion des métaux dans le système de distribution, cela peut conduire à une augmentation des concentrations de métaux dans les systèmes d'alimentation en eau potable (OMS, 2003).

II.2.12. Ion Sulfate

Les ions sulfates sont utilisés principalement dans l'industrie chimique. Ils sont rejetés dans l'eau à travers les déchets industriels. Cependant, les niveaux les plus élevés se produisent habituellement dans les eaux souterraines et proviennent de sources naturelles. En général, l'apport quotidien moyen de sulfate de l'eau potable, de l'air et de la nourriture est d'environ 500 mg, la nourriture étant la principale source. Toutefois, dans les zones où l'approvisionnement en eau potable contenant des niveaux élevés de sulfate, l'eau potable peut constituer la principale source de consommation (OMS, 2003).

II.2.13. Indice de Langelier de saturation (LSI)

La méthode la plus simple pour le calcul de l'agressivité de l'eau est la « méthode de Langelier ». Il a établi un indice, appelé « **indice de saturation** ou **indice de Langelier** ». L'eau est agressive si cet indice est négatif, elle est calcifiante si l'indice est positif et elle est à l'équilibre calcocarbonique si l'indice de saturation est nul (RODIER *et al.*, 2009).

II.3. Paramètres organoleptiques de l'eau

II.3.1. La couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes, c'est-à-dire passant à travers un filtre de porosité égale à 0,45 µm. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelle et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (RODIER *et al.*, 2009).

II.3.2. Le goût

Le goût peut être défini comme :

- l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche ;
- la propriété des produits provoquant ces sensations (RODIER et al., 2009).

II.3.3. L'odeur

L'odeur peut être définie comme :

- a) l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles ;
- b) la qualité de cette sensation particulière provoquée par chacune de ces substances (RODIER et al., 2009).

II.3.4. La turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace (RODIER et al., 2009).

II.4. Paramètres bactériologiques de l'eau

II.4.1. Les coliformes totaux

Les coliformes totaux sont des bactéries en forme de bacilles, non sporulantes, Gram négative, aérobies facultatives et qui fermentent le lactose en 48 heures à 35 °C avec production de gaz. Les coliformes totaux ne sont pas nécessairement des bactéries originaires du système intestinal. Plusieurs bactéries qui font partie du groupe des coliformes totaux se retrouvent en fait sur les feuilles des arbres et sur toute autre forme de végétation. Donc, la présence de coliformes totaux ne veut pas dire à coup sûr que l'on se retrouve devant une contamination d'origine fécale (BOUCHARD, 2008).

II.4.2. Les coliformes fécaux

Les coliformes fécaux, ou thermotolérants, est considéré. Les coliformes fécaux sont en fait des coliformes qui poussent à des températures plus élevées, soit à partir de 44,5°C. Ces coliformes fécaux sont des bactéries que l'on retrouve dans la flore intestinale des animaux à sang chaud. La bactérie *Escherichia coli* (*E. coli*) fait partie des coliformes fécaux. Comme la présence de ces bactéries dans une source d'eau ne peut pas être considérée comme normale, elle peut donc représenter une menace ou l'indication d'une éventuelle dégradation de la qualité microbiologique de l'eau, due à la présence d'une contamination fécale. Le mécanisme de transport de ces bactéries dans l'eau serait surtout le ruissellement des eaux de

pluies sur le bassin versant, entraînant avec lui les microorganismes contenus dans la terre (BOUCHARD, 2008).

II.4.3. Les streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux sont en grande partie d'origine humaine. Cependant, certaines bactéries classées dans ce groupe peuvent être trouvées également dans les fèces animales, ou se rencontrent sur les végétaux. Ils sont néanmoins considérés comme indicateurs d'une pollution fécale. et leur principal intérêt réside dans le fait qu'ils sont résistants à la dessiccation. Ils apportent donc une information supplémentaire sur une pollution. L'identification de *streptocoques fécaux* donnera une confirmation importante du caractère fécal de pollution (MEHANNED et *al.*, 2014).

III. Dessalement de l'eau de mer

III.1. Historique

Dés le IV^{ème} siècle avant JC, **Aristote** observe le principe de la distillation. Au XII^{ème} siècle, **Abélard de Bath** décrit deux expériences dans les questions naturelles « au soleil, après l'évaporation sur une roche, l'eau de mer se transforme en sel ; lorsque le soleil fait défaut, on chauffe l'eau de mer et sous l'effet de la cuisson, on la voit également se transformé en sel. Cette métamorphose explique que la mer soit plus salée l'été que l'hiver ». Depuis les temps les plus anciens, les marins ont dessalé l'eau de mer à partir de simples bouilleurs sur leurs bateaux, mais l'utilisation à des fins industrielles est récente. Dans les années 60, les procédés thermiques sont mis au point et utilisés pour dessaler l'eau de mer. Par ailleurs, des recherches sont développées sur les procédés de dessalement (HALLOUFI, 2010).

III.2. Définition de dessalement

Le dessalement (désalinisation ou dessalage) consiste à produire de l'eau douce à partir d'une eau salée ou saumâtre, généralement par extraction de l'eau douce et plus rarement par extraction du sel (BOUGIS, 2013).

III.3. Importance du dessalement de l'eau de mer

Devant une crise d'eau certaine qui commence à se faire sentir à travers le monde, en plus des contraintes économiques pour un développement durable, des solutions appropriées nécessitent d'être élaborées afin de se préparer à faire face à ce défi qui menace l'existence même de l'homme.

Plusieurs pays qui disposent de ressources hydriques salines considérables, doivent utiliser les techniques de dessalement, dont la fiabilité n'est plus à démontrer. Cette solution constitue un moyen assez fiable pour produire de l'eau potable (SADI, 2000).

III.4. Dessalement en Algérie

L'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie et tout particulièrement de l'industrie pétrolière et sidérurgique.

En 1964, trois petits blocs de 8 m³/h chacun ont été installés au complexe gaz liquéfié d'Arzew (ville côtière à l'Ouest du pays), et en 1969, une autre station a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de 4560 m³/J.

Dés lors de nombreuses installations de dessalement et de déminéralisation ont été mises en place en parallèle avec les nouveaux complexes. D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté nécessaires au processus des complexes de production d'électricité et l'industrie de liquéfaction. Il y a également quelques installations même dans le sud dans les bases pétrolières qui sont destinées principalement à fournir de l'eau de qualité pour la consommation humaine (KEHAL, 2000).

L'une des stations à grande capacité est celle d'El-Hamma (fonctionnelle en 2007) à Alger produit 200 000 m³ par jour (plus grande usine de dessalement d'Afrique). Elle permettra de couvrir le tiers des besoins en eau de la capitale Alger. L'autre grand projet de dessalement en réalisation celui d'Oran (ouest du pays), le projet de Mactaa près de Mers El Hadjadj, d'une capacité estimée à 500 000 m³ par jour est considéré comme l'un des plus grands projets dans le monde.

A Tlemcen, deux projets d'une capacité respective de 200.000 m³ par jour qui sont prévus à la commune de Souk Tlata et à Honein, alors que Beni Saf abritera une station de 200.000 m³ et Mostaganem deux projets de dessalement de l'eau de mer de 200 000 m³ chacun (ZOUINI, 2009).

III.5. Le processus de dessalement de l'eau de mer

III.5.1. La prise de l'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. Cette prise en compte de la qualité de l'eau est d'autant plus importante que le procédé de dessalement choisi sera l'osmose inverse (MAUREL, 2006).

III.5.2. Le prétraitement

Le prétraitement de L'eau de mer est une étape clé pour chaque usine de dessalement. Le but principal du système de prétraitement est d'éliminer les particules colloïdales, organiques, minérales et les contaminants microbiologiques contenus dans l'eau brute (eau de mer) et d'empêcher leur accumulation en aval des membranes d'osmose inverse. La teneur et la nature des salissures contenues dans l'eau de mer dépendent du type et de l'emplacement de l'entrée d'une usine de dessalement (VOUTCHKOV, 2010).

III.5.3. Les procédés de dessalement

Il existe plusieurs procédés de dessalement qui peuvent être classés en deux grandes familles : les procédés avec changement de phase dits « procédés thermiques » qui ont une forte consommation énergétique et les procédés sans changement de phase dits « procédés membranaires » (BELHOUT et *al.*, 2013).

III.5.3.1. Les procédés thermiques

- **Les procédés de la distillation**

Les procédés thermiques sont principalement des procédés de distillation. Le procédé de distillation consiste simplement à évaporer l'eau de mer sous forme de vapeur d'eau qui est ensuite condensée. Ce procédé est utilisé depuis l'Antiquité. De nos jours, la distillation peut être réalisée suivant différentes techniques : la distillation « simple ou multiples effets », la distillation par « détentes successive » appelée aussi « multi-flash ou flash ». Tous ces procédés suivent le principe qui comporte trois étapes : production de la vapeur, transfert à un condenseur puis condensation. Cependant les techniques utilisées ainsi que les mécanismes de récupération d'énergie sont nombreux, on cite les types suivants de la distillation :

a. Distillation à simple effet : Une circulation de vapeur permet de chauffer dans un évaporateur l'eau salée, qui s'évapore sous une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique, on peut alors condenser directement la vapeur sortant de l'évaporateur, sans récupération de la chaleur de condensation, ou bien, au contraire, on peut envoyer la vapeur dans un condenseur en vue du préchauffage de l'eau salée qui arrive dans l'installation (**Figure 2**).

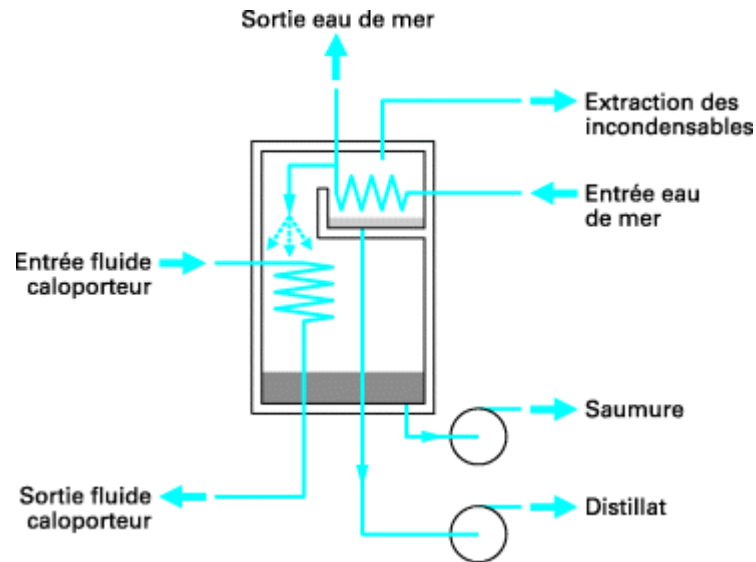


Figure 2 : Distillation a simple effet (DANIS, 2003).

b. Distillation à multiples effets : La distillation à multiple effets résulte de l'amélioration de la consommation spécifique de l'évaporateur simple effet. Donc utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation pour faire fonctionner le faisceau de chauffe d'une seconde chambre à pression et température plus faibles, et ainsi de suite. Ce concept est relativement ancien puisque des appareils industriels à six effets ont été construits il y a près de 200 ans (**Figure 3**), (MAUREL, 2006).

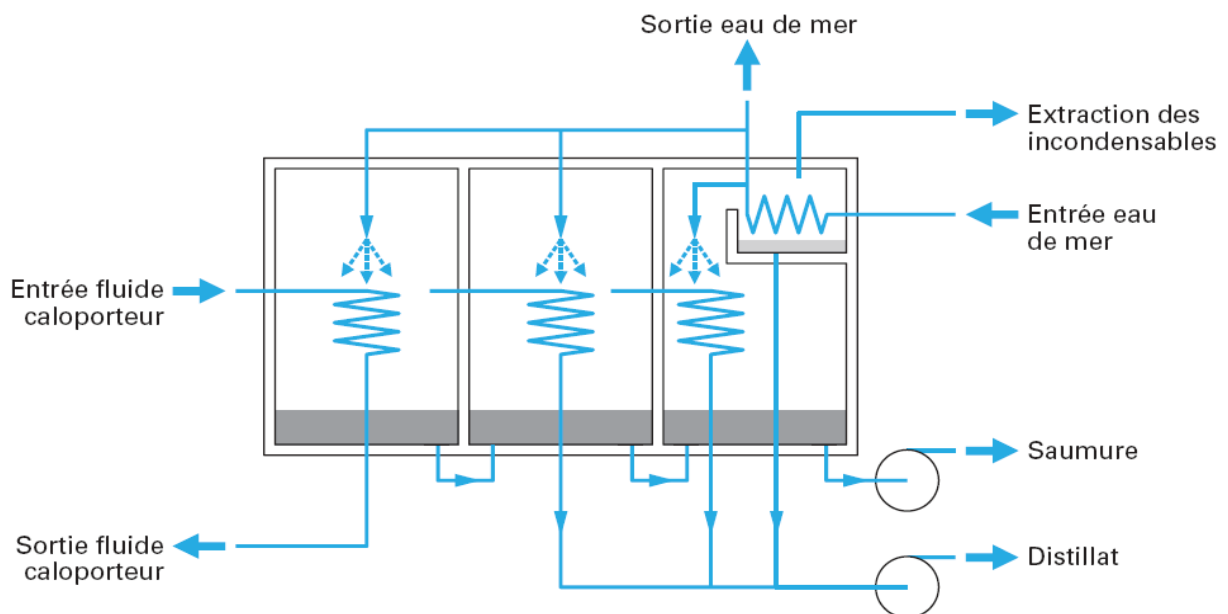


Figure 3: Distillation à multiple effets (SELLAMI, 2014).

c. **Procédés de distillation par détentes successives** : L'installation comprend un certain nombre d'enceintes ou cellules, thermiquement isolées disposées en série dans lesquelles se produit la vaporisation instantanée par détente. L'eau saline à traiter est chauffée sous pression, sans évaporation, puis introduit dans les cellules sous vide partiel ou elle circule successivement, à chaque étage, la vapeur produite par détente et va se condenser à la partie supérieure au contact d'un faisceau tubulaire dans lequel l'eau d'alimentation circule (Figure 4), (SELLAMI, 2014).

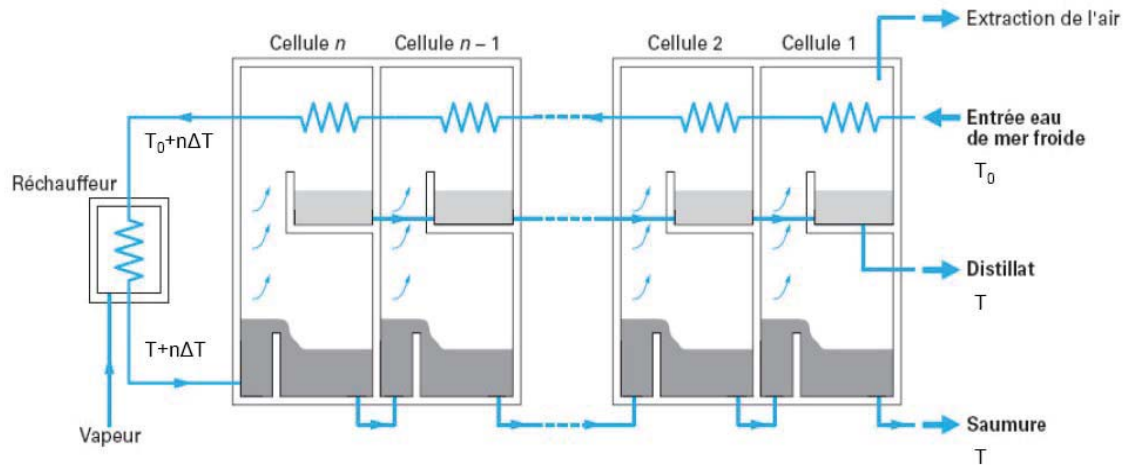


Figure 4 : Distillation à détentes successive (SELLAMI, 2014).

III.5.3.2. Les procédés membranaires

III.5.3.2.1. Electrodialyse

L'électrodialyse est un procédé de dessalement électro-membranaire qui permet d'éliminer des sels dissous d'une eau saline par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique (Figure 5), (OUSSEDIK, 2001).

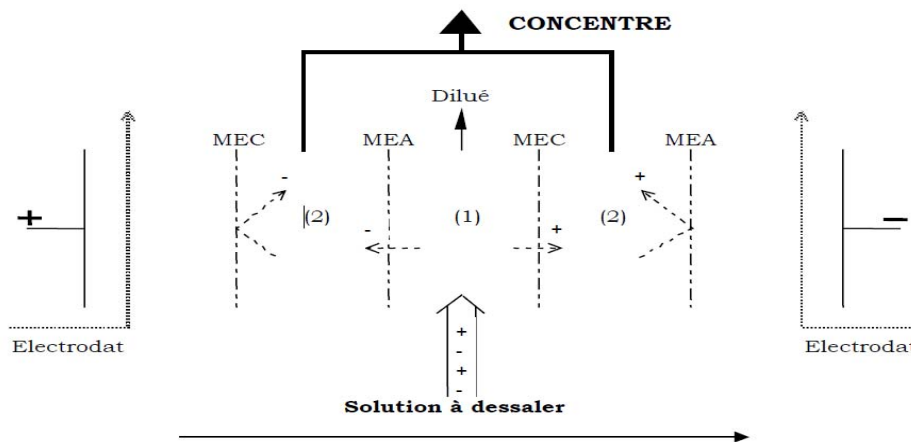


Figure 5: Principe de fonctionnement de l'électrodialyse (VIOLEAU, 1999).
 MEC : Les membranes sélectives aux cations. MEA : Les membranes sélectives aux anions. Electrodat : Electrodes.

III.5.3.2.2. Osmose inverse

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration. Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes. Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique (**Figure 6**), (JARIRI, 2009).

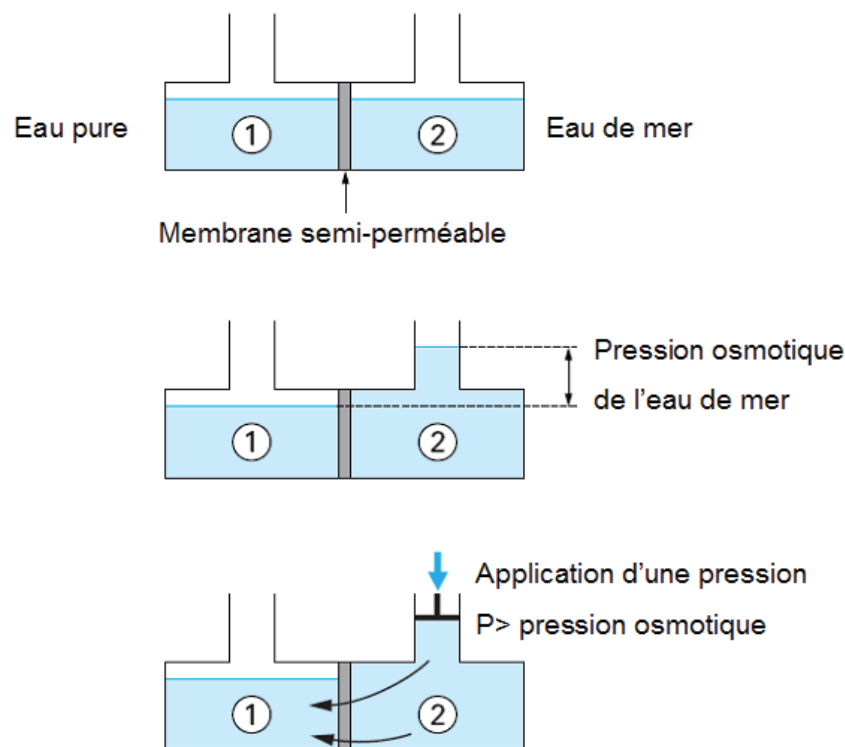


Figure 6: Mise en évidence de l'osmose inverse

(SELLAMI, 2014).

III.5.3.3. Autres procédés de dessalement

- **La congélation**

La congélation de l'eau de mer fournit des cristaux de glace exempte de sel, et depuis des temps immémoriaux, les riverains des mers arctiques se sont ainsi procuré de l'eau douce.

Le dessalement par congélation nécessite trois étapes :

- Congélation partielle de l'eau de mer.
- Séparation des cristaux de glace pure d'avec la saumure.
- Fusion des cristaux de glace.

(Figure 7), (Maurel, 2006).

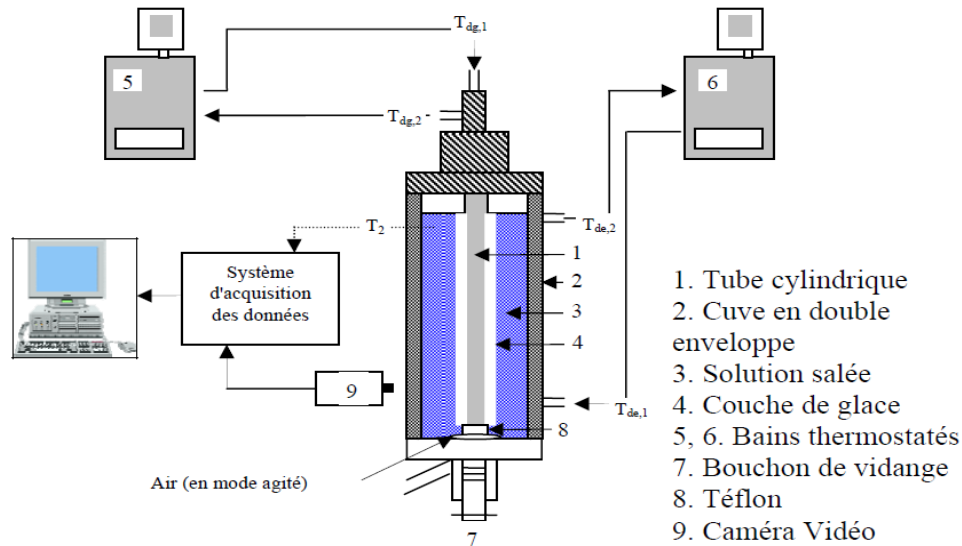


Figure 7: Principe de dessalement par congélation (MANDRI, 2011).

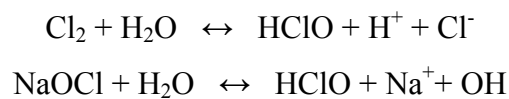
III.5.4. Le post-traitement

III.5.4.1. La correction de l'agressivité de l'eau

L'eau produite par osmose inverse est agressive, c'est-à-dire que son pH est inférieur au pH de saturation ou que son indice de Langelier est négatif : l'eau sous-saturée en CaCO_3 dissout le calcaire sous l'action du CO_2 agressif. Le CO_2 peut être éliminé soit par dégazage, soit par neutralisation avec NaOH ou Ca(OH)_2 .

III.5.4.2. La désinfection

Bien que les membranes d'osmose inverse retiennent tous les micro-organismes (bactérie, virus) il est nécessaire d'assurer un résiduel de désinfectant pour éviter toute contamination et développement biologique. Dans la plupart des cas, on utilise soit le chlore gazeux, soit l'hypochlorite de Sodium :



(MAUREL, 2006).

Chapitre II : Matériels et méthodes

MATERIELS & METHODES

I. Études de milieu

I.1. Caractéristiques de la mer méditerranéenne

La mer méditerranéenne est un bassin fermé relié à l'Océan atlantique par le seuil étroit du détroit de Gibraltar. Elle couvre une superficie d'environ 2,5 millions de Km², s'étend d'est en ouest sur approximativement 3800 Km et la distance nord-sud maximale entre la France et l'Algérie est d'environ 900 Km. La mer méditerranéenne est aussi reliée à la mer noire par le détroit des Dardanelles, et elle est aussi reliée avec la mer rouge par le canal de Suez. La méditerranéenne est divisée en deux bassins principaux, occidental et oriental, séparés par le canal de Sicile (**Figure 8**).

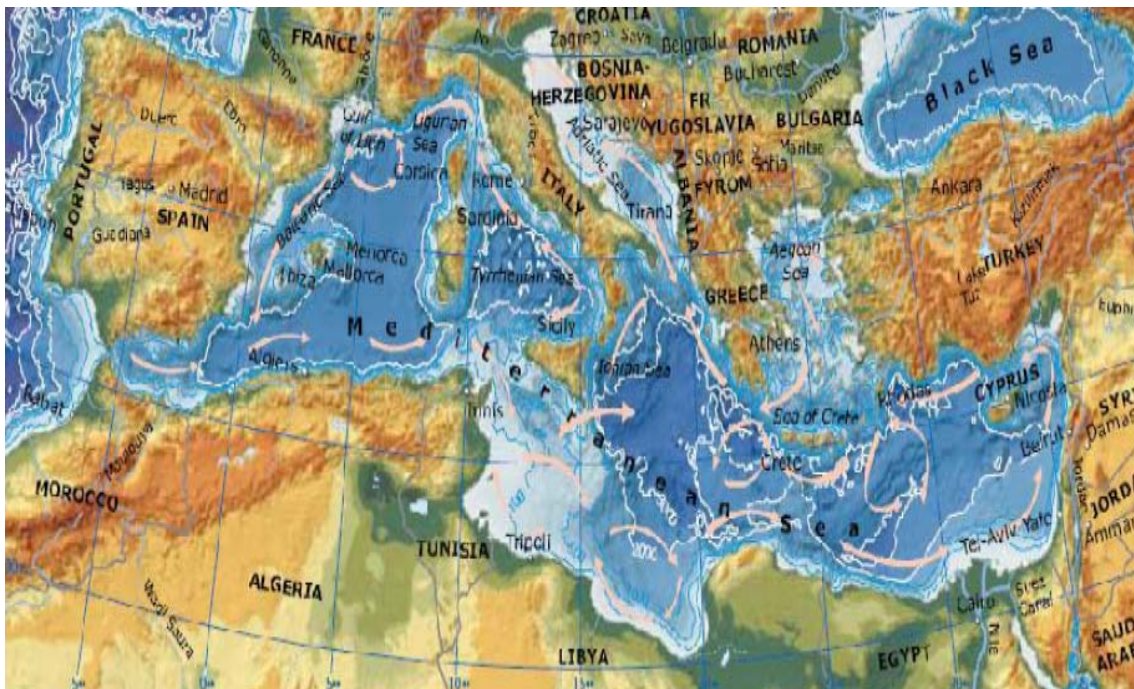


Figure 8 : La mer Méditerranéenne (ROUANE-HACENE, 2013).

L'Algérie dispose d'un littoral d'environ de 1550 Km. Ce littoral est caractérisé par un plateau continental réduit à l'exception dans la région de Ghazaouet (wilaya de Tlemcen) à l'extrême Ouest et la région d'El Kala (wilaya d'El Taref) à l'extrême Est.

Le flux d'origine atlantique venant du détroit de Gibraltar vient rejoindre les côtes Algérienne aux environ d'Oran d'où la grande influence du courant atlantique sur la côte

oranaise. Ce courant turbulent prend la dénomination de courant algérien à cause de son caractère spécifique d'écoulement le long des côtes algériennes.

En surface, l'eau du courant algérien est présente tout le long de la côte algérienne et se caractérise par une température moyenne de 20,5°C. Les températures maximales aux niveaux de 50 et 100 mètres varient entre 15,5°C et 16,2°C.

Dans le sud du bassin algérien, les eaux de surface du courant algérien sont généralement chaudes ; leur température est de l'ordre de 22,2°C dans le littoral Ouest algérien, mais tout en se déplaçant vers l'est algérien, la salinité maximale de l'eau superficielle se maintient à 38,5 pour mille (**Tableau 2**), (ROUANE-HACENE, 2013).

Tableau 2 : Caractéristiques de l'eau de mer (conditions de base du site).

Paramètres	Unité	Conditions de base du site de la station de dessalement de Souk Tleta
Température	° C	24
Les solides dissous total	mg/l	37500
Les matières en suspension	mg/l	4
Chlorure	mg/l	20300
Calcium	mg/l	420
Sulfate	mg/l	3400
Strontium	mg/l	10
Magnésium	mg/l	1330
Sodium	mg/l	11650
Bicarbonate	mg/l	135
Bore	mg/l	5
pH		8
TOC	mg/l	0,5

I.2. Situation géographique de la station

Le site de l'usine de dessalement d'eau de mer de Souk Tleta est localisé dans la wilaya de TLEMEN, Daira de Bab El Assa, commune de Souk Tleta au niveau de la ZET de Ouled ben Aid.

A 90 Km du chef lieu de wilaya, la commune de Souk Tleta, s'étend sur une superficie de 8,500 hectares et se situe au Nord Ouest de la ville de Tlemcen, elle est frontalière de par sa proximité par rapport à la limite Algéro-Maroc. Elle est limitée :

- Au Nord : par la mer méditerranée
- A l'Est : par la commune de Souahlia
- A l'Ouest : par la commune de M'sirda
- Au Sud : par la commune de Bab El Assa

I.2.1. Relief

Le relief de la commune de Souk Tlata est très accidenté, il est marqué par des monts, Djorfs, Djebel, crêtes, ravins, et oueds.

Au milieu de ce relief s'intercale une vallée étroite de direction Sud-Nord. Cet ensemble montagneux s'inscrit dans la grande partie Nord-Ouest des monts de Traras de la région des M'sirda Fouaga et Thata.

Au nord, le long de la côte d'Est en Ouest, s'étend une petite plaine, où s'étale la zone éparse de Ouled béni Aid. L'altitude moyenne est d'environ 120 mètres.

Au Sud, de cette plaine, on trouve une chaîne de montagne étendue d'Est en Ouest composée de Djbel Zandal (618 mètres), Djbel Trasmout (599 mètres), Djbel Hacem (476 mètres), Djbel Ali Ben Salah (520 mètres) et le Djbel de Mahdi (304 mètres).

Au Sud Est en Ouest, s'étale une plaine en forme d'une vallée (Bled Bou-Metire et Bled Argoub et Hafia. L'altitude moyenne avoisine les 260 mètres.

Au centre de la commune, où s'étend l'agglomération chef lieu, l'altitude moyenne est de 150 mètres.

I.2.2. Cadre climatique

Le climat de la commune de Souk Tlata est de type semi-aride, caractérisé par un hiver assez froid et pluvieux et un été sec et chaud. C'est le climat caractéristique des monts des Traras occidentaux.

Le climat de zone côtière se caractérise par une saison relativement pluvieuse s'étalant du mois d'octobre à mai, la saison sèche s'étale sur une période de cinq mois (juin à septembre). La température moyenne mensuelle oscille entre 13,3 °C et 26,1°C au mois d'août.

La pluviométrie moyenne annuelle est de 363 mm avec 78 mm au mois de novembre et 0,3 mm au mois le plus sec juillet.

L'humidité est assez importante au cours de l'année : elle varie entre 70,5 % et 74,7 % avec une moyenne de 72,5 %.

I.3. Le contrat d'achat de l'eau commercialisé

L'objet du contrat d'achat est d'établir les termes et les conditions suivant lesquels la société de projet et l'investisseur mettront à la disposition exclusive de l'acheteur la capacité disponible et livreront à l'acheteur l'eau commercialisable à partir de l'usine qu'ils réaliseront.

I.4. Présentation de la station du dessalement

La station de dessalement d'eau de mer 200 000 m³/jour, est un projet pour la wilaya de Tlemcen qui comprend la réalisation et l'exploitation d'une usine de dessalement de (12 x 16,667 m³/jour). Le site est situé sur la côte méditerranéenne d'Algérie à la commune de Souk Tlata. La station de dessalement a été étudiée sur la base des objectifs généraux suivants :

- Durée technique de 25 ans ;
- Fiabilité des installations ;
- Sécurité du personnel et des équipements ;
- Equipements, matériaux et procédés sûrs et testés ;
- Maintenance des installations ;
- Facilité de l'exploitation des installations ;
- Architecture se fondant dans le milieu environnant ;
- Protection de l'environnement,

Le processus du dessalement appliqué dans cette station est basé sur l'élimination des matières en suspensions ou un prétraitement avec le système d'ultrafiltration et l'élimination des matières solides dissoutes avec le système d'osmose inverse, et en fin l'étape de post-traitement.

I.5. Processus du dessalement appliqué dans la station du dessalement de Souk Tlata

Le processus général du dessalement appliqué dans la station du dessalement de Souk Tlata est représenté dans le schéma ci-après (**Figure 9**).

I.5.1. Réservoir de réception de l'eau de mer et de filtration mécanique

Une tour de prise d'eau de mer assure l'alimentation en eau de mer, ce dernier s'écoule par gravité dans un réservoir de réception, ensuite il traverse deux gros dégrilleurs (**Figure 10**) et des tamis fin rotatifs (**Figure 11**). Ce système de filtration de l'eau de mer empêchera le

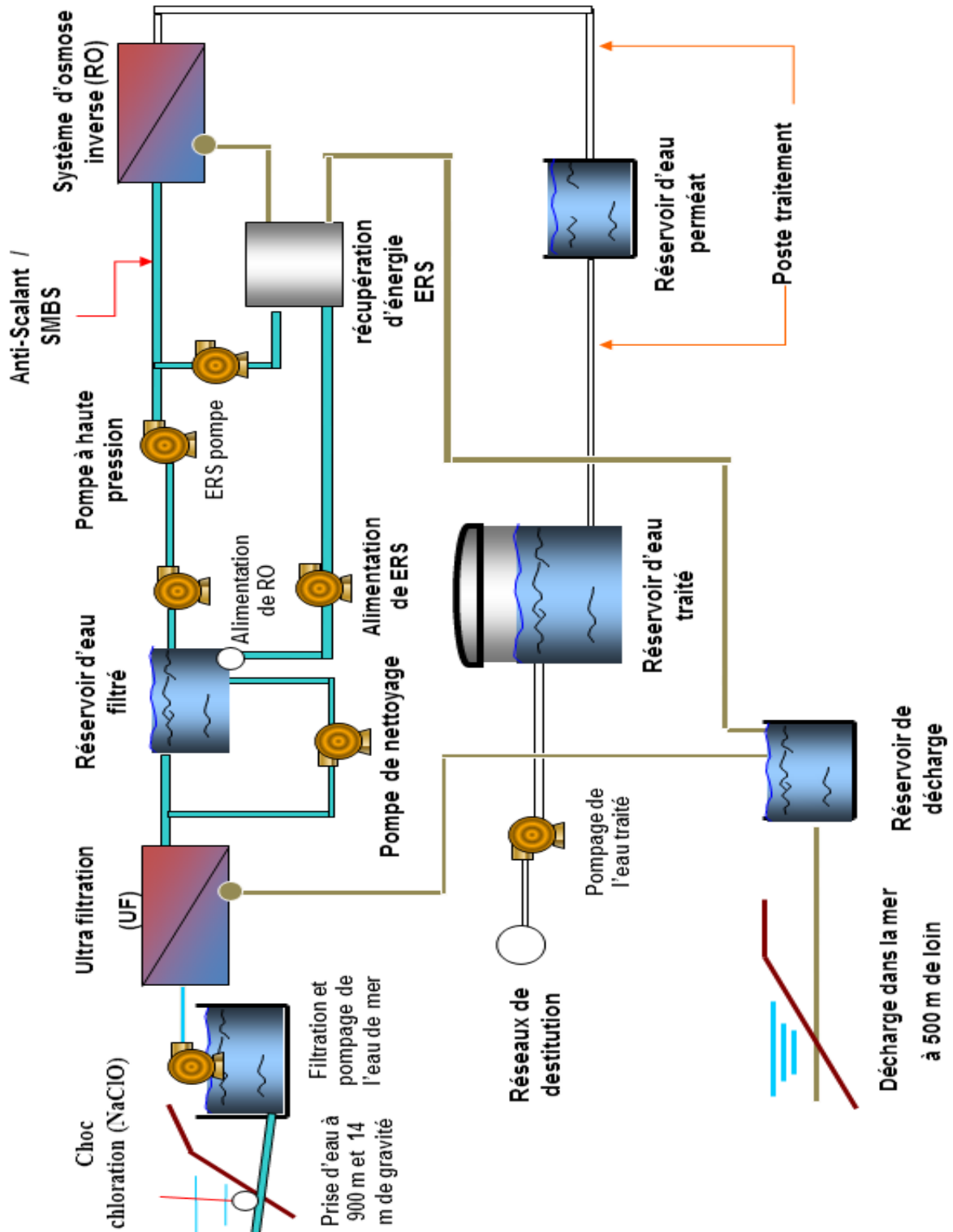


Figure 9 : Processus du dessalement appliqué dans la station du dessalement de Souk Tlata

passage de débris, des algues, des poissons et d'autres éléments de la vie marine à l'intérieur de la station et prépare l'eau de mer à l'étape suivante.



Figure 10: Le gros dégrilleur.



Figure 11 : Les Tamis fin rotatifs.

I.5.2. La chloration

L'hypochlorite de sodium est dosé périodiquement dans le réservoir de réception de l'eau de mer, afin de désinfecter ce dernier et réduire la croissance biologique à l'étape de prétraitement. En raison de sa forte nature oxydante, le chlore ne doit pas atteindre l'étape d'osmose inverse, car il détruit les membranes. L'élimination du chlore de l'eau de mer est effectuée par le dosage d'un agent réducteur qui est dans le sodium méta-bisulfate.

I.5.3. Station de pompage de l'eau de mer

Cette station de pompage comprend un total de cinq (5) pompes en service et une (1) en veille (5+1) pendant le fonctionnement normal. Chaque pompe d'eau de mer offre 5300 m³/heure d'eau de mer.

I.5.4. Etape d'ultrafiltration

Le système d'ultrafiltration est formé de 5 rangées, et chaque rangée est composée de 9 unités, et chaque unité renferme 144 modules d'ultrafiltration (**Figure 12**). Ce système élimine la plupart des particules en suspension qui restent dans l'eau de mer et produit une eau filtrée à basse turbidité prête à l'étape suivante, osmose inverse.

I.5.5. Réservoir d'eau filtrée

L'eau filtrée produite par les modules d'ultrafiltration est stockée dans un réservoir fermé. L'eau filtrée et à partir de ce réservoir est utilisée pour alimenter les unités d'osmose inverse. Une partie de l'eau filtrée est utilisée pour le rinçage inverse des modules d'ultrafiltration.



Figure 12 : Les modules d'ultrafiltration.

I.5.6. Rinçage inverse des modules d'ultrafiltration

L'accumulation des matières solides dans les filtres provoque une augmentation de la résistance à l'écoulement ainsi la diminution de la production d'eau filtrée. Un rinçage inversé des filtres avec un écoulement en sens inverse de l'eau de mer filtrée est l'une des solutions les plus efficaces. Un barbotage avec l'air est introduit afin d'améliorer l'efficacité du lavage.

Cette opération de rétro-lavage est effectuée périodiquement, elle peut être prédéterminé soit par le débit total du système d'ultrafiltration ou le temps de service des modules d'ultrafiltration, en général toutes les 30 - 45 minutes.

Le lavage global de toutes les membranes d'ultrafiltration est contrôlé de telle sorte qu'une seule unité par rangée subira un rinçage inverse à tout le temps.

I.5.7. Nettoyage chimique du système d'ultrafiltration

Le système d'ultrafiltration est nettoyé avec des produits chimiques. Cela est utilisé pour effectuer un nettoyage soit d'entretien ou de récupération des membranes d'ultrafiltration pour maintenir ses performances de filtration.

I.5.8. L'étape d'osmose inverse

▲ Le dessalement de l'eau de mer est réalisé par un seul passage à travers le système osmose inverse. La section de l'osmose inverse comporte les équipements suivants:

- Système de dosage d'antitartre
- Les pompes d'alimentation d'osmose inverse.
- Le système de récupération d'énergie.
- Les pompes à haute pression.

- Unités d'osmose inverse.
- Réservoir de l'eau dessalée.
- Le système de nettoyage des membranes d'osmose inverse.

I.5.8.1. Dosage d'antitartre

Dans les membranes d'osmose inverse, il existe une possibilité de colmatage à cause de précipitation de carbonate de calcium. Afin de minimiser le colmatage un antitartre est utilisé. La station de dessalement de Souk Tlata est équipée avec un système de dosage d'antitartre. Cela permet d'ajuster le pH de l'eau de mer entre 7.8 à 8.2 à la rentrée d'osmose inverse pour avoir une meilleure qualité du bore dans l'eau dessalée.

I.5.8.2. Les pompes d'alimentation d'osmose inverse

Les pompes d'alimentation d'osmose inverse fournissent l'eau filtrée aux pompes de haute pression à partir du réservoir de l'eau filtrée.

I.5.8.3. Le système de récupération d'énergie

Ce système est basé sur l'utilisation d'échangeurs isobares. La saumure, conservant une haute pression (près de 63 bars) qui sera récupérée et transférée au courant d'eau de mer prétraitée avant les pompes à haute pression. D'où un gain d'énergie.

I.5.8.4. Les pompes à haute pression

Ces pompes augmentent la pression de l'eau filtrée à la pression requise pour le fonctionnement des membranes du système de l'osmose inverse. La haute pression de l'eau filtrée est mélangée avec de l'eau filtrée mise sous pression par le système de récupération d'énergie. Il y a 13 unités d'osmose inverse et chaque unité d'osmose inverse est muni par une pompe à haute pression, donc treize (13) pompes à haute pression sont fournis (**Figure 13**).



Figure 13 : Pompe à haute pression.

I.5.8.5. Unités d'osmose inverse

Dans la station de dessalement de Souk Tlata, treize (13) unités d'osmose inverse sont installées (**Figure 14**). Le dessalement de l'eau de mer se produit dans cette seule étape. Chaque unité est constituée de 192 cuves sous pression et chaque cuve contient 7 membranes de 8 pouces diamètre. Ce système d'osmose inverse est conçu pour récupérer 45% de l'eau dessalée, tandis que le reste (saumure) est rejeté à la mer.



Figure 14: Unités D'osmose inverse.

I.5.8.6. Réservoir de l'eau dessalée

Ce réservoir est utilisé pour le stockage tampon de l'eau dessalée après l'osmose inverse. Cette eau dessalée est utilisée aussi pour rincer tout le système d'osmose inverse.

I.5.8.7. Le système de nettoyage des membranes d'osmose inverse

Un système de nettoyage est mis en place pour nettoyer les membranes l'osmose inverse. En cas de colmatage des membranes en utilisant des produits chimiques. Le nettoyage chimique est une opération contrôlée et déclenché manuellement.

I.6. Post Traitement

Après l'étape d'osmose inverse, l'eau dessalée doit passer par une autre étape importante, nommée l'étape post-traitement pour répondre à certaines exigences finales de l'eau traitée. L'eau dessalée est « agressive ». La valeur de LSI (indice de saturation de Langelier) doit être augmentée afin de protéger le Système de stockage et de distribution à l'aide CO₂ et de la chaux.

I.7. La désinfection finale

Cette étape est nécessaire pour le système d'approvisionnement en eau potable.

La teneur en chlore libre après la désinfection est contrôlée de 0,5 à 1 ppm. Il y a un analyseur de chlore libre installé juste après le réservoir de désinfection pour surveiller et contrôler la chloration (**Figure 15**). Deux pompes de dosage sont prévues pour la désinfection de post-traitement. Le débit de dose de chlore est réglé manuellement.

L'eau s'écoule du réservoir d'eau dessalée vers le réservoir de chloration et le réservoir de l'eau traitée par gravité.



Figure 15 : Réservoir d'hypochlorite de sodium utilisé pour la désinfection finale.

I.8. Reminéralisation (dosage du dioxyde de carbone et de la chaux)

La reminéralisation de l'eau dessalée et désinfectée est réalisée par le dosage du CO₂ et de la chaux avant que l'eau entre dans le réservoir de stockage d'eau traitée. Le dioxyde de carbone et la chaux (hydroxyde de calcium) réagissent ensemble pour former du bicarbonate de calcium (**Figures 16-17**). Comme conséquences on a une augmentation du pH et LSI de l'eau à la gamme désirée, et la formation d'une eau stable "non-agressive" pour la distribution et la consommation humaine, selon la réaction :

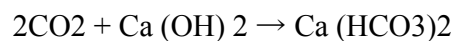




Figure 16: Système de dosage du CO₂



Figure 17: Système de dosage de la Chaux

I.9. Réservoir d'eau traitée

L'eau traitée après la désinfection et la stabilisation est stockée dans le réservoir d'eau traitée. Il est divisé en deux compartiments, et chacun d'eux peut fonctionner séparément, un est en service alors que l'autre compartiment est maintenu ou nettoyé.

I.10. Station de pompage de l'eau traitée

Il y a un total de quatorze (14) pompes d'eau traitée, dont douze (12) pompes sont en service et deux (2) pompes sont en veille (**Figure 18**).



Figure 18: Station de pompage de l'eau traitée.

I.11. Décharge de la saumure

La saumure sera déversée dans la mer via un canal de décharge incorporant des diffuseurs. Le lieu de déversement a été déterminé par les résultats de l'étude marine afin d'atténuer les impacts.

Le contenu de la fosse de neutralisation est également dirigé vers l'exutoire. Cette eau usée, déchets du nettoyage des modules d'ultrafiltration et les membranes d'osmose inverse

vont être neutralisés dans la fosse de neutralisation pour s'assurer que la valeur du pH se situe entre 6 à 9 avant d'être pompé à l'exutoire.

II. Echantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (RODIER *et al.*, 2009).

II.1. Détermination du point d'échantillonnage

Le point de prélèvement a été déterminé dans le contrat d'achat d'eau, il est situé à la sortie du réservoir de l'eau traitée dans la station de dessalement de l'eau de mer de Souk Tlata, des analyseurs sur site sont placés à côté du point de prélèvement pour assurer un suivi continu de la qualité de l'eau potable destinée à la consommation humaine (**Figure 19**).



Figure 19 : Le point d'échantillonnage.

II.2. Mode de prélèvement

Le prélèvement a été effectué selon les étapes suivantes :

- * Préparation de trois flacons propres en plastique d'un litre pour l'échantillonnage.
- * Ouvrir la vanne d'échantillonnage et permettre à l'eau de s'écouler pendant au moins 2 minutes avant la collection.
- * Rinçage du flacon d'échantillonnage au moins deux fois avec de l'eau traitée.
- * Remplir chaque flacon lentement avec un faible débit pour éviter les turbulences et la formation des bulles d'air.
- * Fermer le flacon et s'assurer qu'il n'y a pas de vide au-dessus de l'échantillon.

* Étiquetages des flacons d'échantillonnage en déterminant le point de prélèvement, la date et l'heure.

* Il est recommandé d'effectuer l'analyse immédiatement après la collecte. Si non, conserver l'échantillon avec la méthode de stockage appropriée en conséquence.

Dans une période de quatre mois, de Janvier à Avril, vingt (20) échantillons ont été prélevées pendant la distribution de l'eau traitée, et au cours des différentes périodes de la journée (**Tableau A1 en annexes**).

III. Méthodes analytiques

III.1. Dosage des Métaux lourds (*Chrome, plomb, Cuivre, Cadmium, Zinc, Fer, Argent*)

Les métaux lourds ont été dosés au niveau du laboratoire de contrôle de qualité à l'usine d'ALZINC à Ghazaouet à l'aide d'une spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (SAAF) de type AURORA AI 1200 (**Figure 20**).



Figure 20: Spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme de type AURORA AI 1200 (Usine ALZINC, 2010).

© Principe

La SAAF est basée sur le principe qu'une population d'atomes peut absorber des photons d'énergie et qu'une estimation du nombre de photons absorbés peut être reliée à la concentration de l'élément dans la solution à analyser. En SAAF, le phénomène d'absorption se visualise lorsque la radiation caractéristique d'un élément traverse un nuage de vapeur atomique du même élément. Le spectromètre se compose d'une source lumineuse qui émet un rayonnement à une longueur d'onde spécifique de l'élément à analyser. La solution à analyser

est aspirée par effet venturi via un nébuliseur qui projette en fines gouttelettes la solution dans le brûleur, dont la flamme très chaude sert d'atomiseur. Les atomes excités par la source absorbent son énergie. La disparition du signal est répercutée via des systèmes optiques puis détectée et amplifiée. On en mesure une absorbance (MUN, 2007).

- **Matériel utilisé**

- SAAF AURORA AI 1200.
- Une lampe à cathode creuse spécifique pour chacun des métaux lourds.
- Un ensemble de nébuliseur-brûleur et air-acétylène.
- Une solution mère étalon de 1000 mg/L pour chacun des métaux lourds.
- Fiole jaugée.
- Micropipette.
- Eau ultra pure.

- **Mode opératoire**

- Placer les 5 lampes à cathode creuse spécifiques des 5 métaux lourds qui correspond (le maximum c'est 5 lampes).
- Allumer l'appareil (SAAF).
- Ajuster la longueur d'onde pour chacun des métaux lourds.
- Préparer deux solutions étalons pour le chrome à partir de la solution mère de 1000 mg/l.
- Etalonner l'appareil avec le blanc (eau ultra pure) et les deux solutions étalons qui ont été préparé.
- Nébuliser de l'eau ultra pure dans la flamme air-acétylène du SAAF après chaque analyse.
- Nébuliser l'échantillon dans la flamme air-acétylène du SAAF pour doser le chrome.
- Lire les résultats.
- Répéter les cinq étapes précédentes pour les autres métaux lourds.

III.2. Dosage des ions majeurs et du Bore

Le dosage des ions majeurs et du bore a été effectuée dans le laboratoire de la station de dessalement de Souk Tlata à l'aide de trois chromatographies ioniques, une pour le dosage des anions, une pour le dosage des cations et la troisième pour le dosage du bore (**Figure 21**).



Figure 21 : Chromatographie ionique (881 Compact IC pro).

© Principe

La chromatographie ionique ou chromatographie des ions en phase liquide est un procédé apparenté à la chromatographie liquide haute performance mais elle possède des particularités notables principalement au niveau de la séparation et des modes de détection.

La chromatographie est un procédé physicochimique qui permet la séparation des constituants d'un mélange. Le principe de séparation repose sur la distribution des solutés entre 2 phases non miscibles : une phase stationnaire contenue dans une colonne sous forme d'un solide finement divisé et une phase mobile qui traverse cette colonne et entraîne l'échantillon contenant le mélange à analyser.

La phase mobile (ou éluant) tend à entraîner les espèces à séparer alors que la phase stationnaire tend à les ralentir par la mise en jeu d'interactions diverses. Les solutés sont injectés à une extrémité de la colonne et détectés en sortie de colonne par un détecteur approprié. Ils sont identifiés par le temps mis pour parcourir la longueur de la colonne (temps de rétention).

Dans le cas de la chromatographie ionique (CI), le procédé physicochimique utilisé pour la séparation des ions est l'échange d'ions. Le mécanisme de cette séparation par échange d'ions repose sur une compétition entre des ions de même charge présents respectivement dans l'échantillon et dans la phase mobile vis-à-vis du groupement fonctionnel de la phase stationnaire de charge opposée.

La phase stationnaire comporte en surface des sites ionisables (échangeables, de type échangeurs d'ions) et la phase mobile est une solution aqueuse de sels contenant l'ion appelé « ion développeur », qui entre en compétition avec les ions de même charge de l'échantillon pour l'échange ionique sur les sites échangeables de la phase stationnaire. Ces échanges

assurent la séparation des ions présents dans l'échantillon, le composé étant d'autant mieux retenu par la phase stationnaire que la charge qu'il porte est élevée. Ce procédé est particulièrement adapté à la séparation des ions en solution (anions ou cations). (RODIER *et al.*, 2009).

III.2.1. Cations majeurs (*Sodium, Potassium, Calcium, Magnésium*)

- **Matériel utilisé :**

- Balance analytique.
- Chromatographie ionique pour cations (881 Compact IC pro, Metrohm).
- Plaque chauffante avec agitateur.
- Spatule.
- Micropipette (100 à 1000 μ L).
- Acide dipicolinique.
- Acide nitrique (60%).
- Eau ultra pure.
- Fiole jaugée en plastique (1000 mL).
- 4 fioles jaugées en verre (100 mL).
- Solution étalon de Calcium (1000 ppm).
- Solution étalon de Potassium (1000 ppm).
- Solution étalon de Magnésium (1000 ppm).
- Solution étalon de Sodium (1000 ppm).
- Seringue (10 mL).

- **Préparation d'éluant :**

- Rincez une fiole jaugée de 1000 mL avec de l'eau ultra pure.
- Pesez 0,117g d'acide dipicolinique.
- Dissoudre l'acide dipicolinique dans environ 250 mL d'eau ultra pure sous chauffage.
- Après la dissolution, laissez la solution refroidir puis la diluer dans 400 ml d'eau ultra pure dans la fiole jaugée.
- Pipeter 0,130 ml d'acide nitrique et les verser dans la même fiole.
- Remplir la fiole et Compléter au trait avec de l'eau ultra pure.
- Verser l'éluant préparé dans le flacon d'éluant en plastique de deux litres du chromatographie ionique.

- **Préparation des solutions étalons et étalonnage**

La préparation des solutions d'étalonnage pour les cations se fait à partir des solutions mères (1000 ppm).

Tableau 3 : Les concentrations des solutions d'étalonnage du chromatographie ionique (cations).

Solution Standard (100 ml)	Standard 1 (mg/l)	Standard 2 (mg/l)	Standard 3 (mg/l)	Standard 4 (mg/l)
Calcium (Ca^{2+})	1	5	10	20
Magnésium (Mg^{2+})	0,25	0,5	1	2
Sodium (K^+)	1	5	10	20
Potassium (Na^{2+})	1	2,5	5	10

- Démarrer l'appareil et s'assurez que la ligne de base du chromatogramme est comprise entre 712 et 716 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Étalonner l'appareil avec les quatre solutions standards.
- Vérifier la fiabilité d'étalonnage avec le dosage des concentrations de l'un des étalons préparés.

- **Dosage des cations :**

- Démarrer l'appareil et s'assurer que la ligne de base du chromatogramme est comprise entre 712 et 716 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Injecter avec une seringue de 10 mL de l'eau traitée à analyser dans l'appareil.
- Les concentrations sont obtenues en ppm à l'aide d'un chromatogramme sous forme de pics de conductivité électrique.
- Injecter de l'eau ultra pure pour nettoyer l'appareil.
- Arrêter l'appareil.

III.2.2. Anions majeurs (*Bromate, Chlorure, Nitrates, Nitrites, Sulfates*)

- **Matériel utilisé :**

- Balance analytique.
- Chromatographie ionique pour anions (881 Compact IC pro, Metrohm).
- Spatule.
- Éprouvette graduée.

- Carbonate de sodium.
- Bicarbonate de sodium.
- Eau ultra pure.
- Fiole jaugée en verre (2000 mL).
- 4 fioles jaugées en verre (100 mL).
- Solution étalon de Bromate (1000 ppm).
- Solution étalon de Chlorure (1000 ppm).
- Solution étalon de Nitrites (1000 ppm).
- Solution étalon de Nitrates (1000 ppm).
- Solution étalon de Sulfates (1000 ppm).
- Seringue (10 mL).
- Micropipette.
- Acétone.
- Acide sulfurique.
- **Préparation d'éluant:**
 - Rincer une fiole jaugée de 2000 mL en verre avec de l'eau ultra pure et la remplir avec 400 mL d'eau ultra pure.
 - Avec une grande précision peser 0,678 g de carbonate de sodium et 0,168 g de bicarbonate de sodium et les transfères dans la fiole jaugée de 2000 mL en verre.
 - Remplir la fiole et Compléter au trait avec de l'eau ultra pure.
 - Verser l'éluant préparé dans la bouteille d'éluant en verre de deux litres de la chromatographie ionique.
- **Préparation de la solution de rinçage (acétone 2 %) :**
 - Mesurer 20 mL d'acétone avec une éprouvette graduée.
 - Mesurer 980 mL de l'eau ultra pure frais avec une éprouvette graduée.
 - Transfert à la fois l'eau ultra pure et l'acétone dans le flacon désigné pour la solution de rinçage du chromatographie ionique.
- **Préparation de la solution de régénération (H₂SO₄ 0,05 M) du supprimeur.**
 - Rincer une fiole jaugée en verre de 1000 mL avec l'eau ultra pure et la remplir avec environ 400 mL d'eau ultra pure.
 - Pipeter 2,78 mL de 97% d'acide sulfurique dans la fiole jaugée avec micropipette.
 - Compléter à la marque et agiter pour homogénéiser la solution.

- Transférer la solution dans le flacon désignée pour la solution de régénération du chromatographie ionique.

- **Préparation des solutions étalons et étalonnage :**

La préparation des solutions d'étalonnage pour les anions est réalisée à partir des solutions mères (1000 ppm), (**Tableau 4**).

- Démarrer l'appareil et s'assurer que la ligne de base du chromatogramme est 0,95 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Étalonner l'appareil avec les quatre solutions standards.
- Vérifier la fiabilité d'étalonnage avec le dosage des concentrations de l'un des étalons préparés.

Tableau 4: Les concentrations des solutions d'étalonnage du chromatographie ionique (anions).

Solution Standard (100 ml)	Standard 1 (mg/l)	Standard 2 (mg/l)	Standard 3 (mg/l)	Standard 4 (mg/l)
Bromate	0,010	0,015	0,020	0,025
Chlorure (Cl)	1	5	10	20
Nitrite (NO₂⁻)	0,2	1	1,5	2
Nitrate (NO₃⁻)	0,5	1	1,5	2
Sulfate SO₄²⁻	0,5	1	1,5	2

- **Dosage des anions :**

- Démarrer l'appareil et s'assure que la ligne de base du chromatogramme est égale à 0,95 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Injecter avec une seringue de 10 mL de l'eau traitée à analyser dans l'appareil.
- Les concentrations sont obtenues en ppm à l'aide d'un chromatogramme sous forme de pics de conductivité électrique.
- Injecter de l'eau ultra pure pour nettoyer l'appareil.
- Arrêter l'appareil.

III.2.3. Bore

- **Matériel utilisé :**

- Balance analytique.
- Chromatographie ionique pour anions (881 Compact IC pro, Metrohm).

- Carbonate de sodium.
- Hydroxyde de sodium (NaOH 50 %).
- Eau ultra pure.
- Fiole jaugée en plastique (1000 mL).
- 4 fioles jaugées en plastique (100 mL).
- Solution étalon du Bore (1000 ppm).
- Seringue (10 mL).
- Micropipette.
- Spatule.
- **Préparation d'éluant :**
 - Rincer une fiole jaugée en plastique de 1000 mL avec de l'eau ultra pure.
 - Peser 0,0212 g du carbonate de sodium.
 - Faire dissoudre les carbonates de sodium dans 400 mL d'eau ultra pure dans la fiole jaugée en plastique.
 - Pipeter 0,217 mL d'hydroxyde de sodium (50%) et les verser dans la même fiole.
 - Remplir la fiole et Compléter au trait avec de l'eau ultra pure.
 - Verser l'éluant préparé dans le flacon d'éluant en plastique du chromatographie ionique.
- **Préparation des solutions étalons et étalonnage :**

La préparation des solutions d'étalonnage pour le Bore se fait à partir d'une solution mère (1000 ppm), (**Tableau 5**).

Tableau 5 : Les concentrations des solutions d'étalonnage du chromatographie ionique (Bore).

Solution Standard (100 ml)	Standard 1 (mg/l)	Standard 2 (mg/l)	Standard 3 (mg/l)	Standard 4 (mg/l)
Bore	0,5	1,0	1,5	2,0

- Démarrer l'appareil et s'assurer que la ligne de base du chromatogramme est 840 μ S/cm.
- Étalonner l'appareil avec les quatre solutions standards.
- Vérifier la fiabilité d'étalonnage avec le dosage des concentrations de l'un des étalons préparés.

- **Dosage du Bore :**

- Démarrer l'appareil et s'assurer que la ligne de base du chromatogramme est égale à 840 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Injecter avec une seringue de 10 mL de l'eau traitée à analyser dans l'appareil.
- La concentration est obtenue en ppm à l'aide d'un chromatogramme sous forme de pic de conductivité électrique.
- Injecter de l'eau ultra pure pour nettoyer l'appareil.
- Arrêter l'appareil.

III.3. Paramètres physico-chimiques de l'eau

III.3.1. pH et température

Dans le laboratoire de la station de dessalement de l'eau de mer de Souk Tlata, La mesure du pH est réalisée à l'aide d'un pH mètre de type (HACH sonsIONtm pH 31) après un étalonnage de cette dernière avec trois solutions (**Figure 22**), (pH4, pH7, pH10).



Figure 22: pH mètre (HACH sonsIONtm pH 31).

- **Mode opératoire :**

- Allumer le pH mètre.
- Agiter l'échantillon doucement et verser 100 mL de l'eau à analysée dans un bécher propre.
- Rincer la sonde avec de l'eau ultra pure puis avec de l'eau à analysée.
- Immerger la sonde dans l'échantillon et essayer d'éliminer les bulles d'air au cours de la stabilisation de la mesure avec une simple agitation de la sonde.
- Enregistrer la valeur du pH et la température qui sont affichées sur l'appareil après la stabilisation de la lecture.
- Rincer la sonde.
- Arrêter l'appareil.

- Immerger la sonde dans la solution de la conservation appropriée.

III.3.2. Conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique est réalisée à l'aide d'un conductivimètre de type (HACH sonsION™ EC7) après un étalonnage de cette dernière avec trois solutions (147 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 12,88 mS/cm), (**Figure 23**).

- **Mode opératoire :**

- Allumer le conductivimètre.
- Agiter l'échantillon doucement et verser 100 mL de l'eau à analysée dans un bécher propre.
- Rincer la sonde avec de l'eau ultra pure puis avec de l'eau à analysée.
- Immerger la sonde dans l'échantillon et essayer d'éliminer les bulles d'air au cours de la stabilisation de la mesure avec une simple agitation de la sonde.
- Enregistrer la valeur de la conductivité électrique et la température qui sont affichées sur l'appareil après la stabilisation de la lecture.
- Rincer la sonde.
- Arrêter l'appareil.

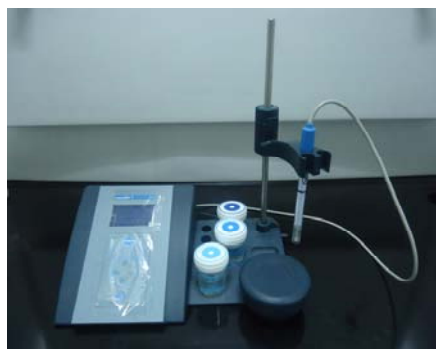


Figure 23 : Conductivimètre (HACH sonsION™ EC7).

III.3.3. Alcalinité

- **Matériel utilisé :**

- HCl 37%.
- Carbonate de sodium.
- Burette graduée de 10 mL.
- Pipette (100 mL).
- Pipette (25 mL).
- Micropipette (1 à 5 mL).

- Micropipette (100 à 1000 µL).
- Fiole jaugée en verre (1000 mL).
- 2 fioles jaugées en verre (500 mL).
- pH mètre.
- Agitateur magnétique.
- Eau ultra pure.
- Dessiccateur
- Étuve de laboratoire.
- **Mode opératoire :**
 - Préparation de la solution mère de HCl (0,1 M).
 - Préparation de la solution mère de carbonate de sodium (0,025 M).
 - Etalonnage du HCl (0,1 M) avec du carbonate de sodium (0,025 M) avec la méthode de détection potentiométrique.
 - Détermination du blanc.
 - Préparation du HCl (0,02 M).
 - Mesurer le pH initial de l'échantillon.
 - Noter le volume initial du HCl dans la burette.
 - Titrage de 100 mL de l'eau à analysée avec HCl (0,02 M) jusqu'au pH d'échantillon atteindre $4,5 \pm 0,5$.
 - Noter le pH final d'échantillon après titrage et aussi le volume final du HCl dans la burette.

- **Expression des résultats :**

$$\text{Alcalinité totale (mg/L comme CaCO}_3) = \frac{\text{Concentration HCl (0.02M)} \times V1 \times 50000}{V2}$$

- Concentration du HCl = 0.0193 M.
- V1= volume de HCl titré en mL.
- V2= 100 mL (volume d'échantillon).

III.3.4. Titre hydrométrique

- **Matériel utilisé :**

- Eau ultra pure
- HCl 37%
- Solution hydroxyde d'ammonium (25%).
- Solution de carbonate de calcium (10 mM).

- Fiole jaugée (1000 mL).
- Fiole jaugée (100 mL).
- Bécher (500 mL).
- Burette graduée (25 mL).
- Erlenmeyer.
- Compte-goutte.
- Micropipette.
- Mordant noir 11.
- **Mode opératoire :**
 - Préparation du HCl 4 M.
 - Préparation de la solution d'ammonium 3 M.
 - Préparation de la solution du carbonate de calcium (10 mM).
 - Préparation de la solution d'EDTA.
 - Etalonnage de la solution EDTA.
 - Verser 50 mL d'échantillon dans un erlenmeyer.
 - Ajouter 4 mL d'ammonium avec les 50 mL d'échantillon.
 - Ajouter 3 gouttes du mordant noir 11 dans le même erlenmeyer (apparition d'une couleur violet).
 - Titrer immédiatement avec une agitation continue le contenu de l'erlenmeyer (échantillon+4 mL d'ammonium+ 3 goutte du mordant noir 11) par l'EDTA jusqu'au virage du couleur vers le bleu.
 - Noter le volume final d'EDTA dans la burette.

- **Expression des résultats :**

La dureté totale est calculée avec l'équation suivante :

$$\text{Concentration (Ca+Mg)} = C_1 V_1 / V_2$$

C_1 : la concentration d'EDTA en mM.

V_1 : le volume d'EDTA utilisé dans le titrage.

V_2 : le volume d'échantillon à analysé.

III.3.5. La matière solide dissoute totale (TDS)

- **Matériel utilisé :**

- Balance analytique.
- Pipette (25 mL).

- Dessiccateur.
- Étuve de laboratoire.
- Capsule d'évaporation.
- Pompe de filtration.
- Entonnoir Buchner
- Bécher
- Pissette.
- Papier filtre 47 mm (filtre microfibre en verre).
- **Mode opératoire :**
 - Chauffer l'étuve à 180 °C.
 - Homogénéiser l'échantillon avec un agitateur magnétique
 - Mettre un filtre dans l'entonnoir de Bushner et l'humidifier avec un peu d'eau ultra pure.
 - Filtrer un volume d'échantillon déterminé V.
 - Peser et noter le poids d'une capsule d'évaporation vide W_2 .
 - Verser l'échantillon filtré dans la capsule d'évaporation.
 - Mettre la capsule et le filtrat dans l'étuve pendant deux heures.
 - Après deux heures, faire sortir la capsule et la laisser refroidir dans le dessiccateur.
 - Peser la capsule et noter le poids W_1 .
 - Calculer le TDS selon la formule suivante :

$$\text{TDS mg/L} = [(W_1 - W_2) / V] * 10^6$$

III.3.6. Indice de Langelier de saturation (LSI)

L'indice de saturation est défini comme suit : $LSI = pH - pH_s$. Pour déterminer le pH_s , il faut d'abord mesurer les paramètres suivants :

- Mesurer l'alcalinité totale.
- Mesure la conductivité électrique.
- Déterminer la concentration en calcium.
- Mesure le pH et la température lors du prélèvement de l'échantillon.

Après avoir mesuré les paramètres ci-dessus, il suffit juste d'utiliser l'équation suivante pour calculer le pH_s et l'indice de saturation.

$$\begin{aligned} \text{pHs} &= -5\text{Log}(f1) + \text{Log}(Kc/K2) - \text{Log}\{Ks \text{ (in mol/L)}\} - \text{Log}(\text{Ca}^{2+} \text{ in mol/L}) \\ &= L1 + L2 + L3 + L4 \end{aligned}$$

$$\text{L1} = -5 \text{Log}(f1)$$

$$\text{Log}(f1) = \frac{-0.5 \times [\text{Conductivity (in mS/m)} / 6200]^{0.5}}{1 + \{1.4 \times [\text{Conductivity (in mS/m)} / 6200]^{0.5}\}}$$

$$\text{L2} = \text{Log}(Kc) - \text{Log}(K2)$$

$$\begin{aligned} \text{Log}(Kc) &= (-8.481) - 522.3 \times \left\{ \frac{1}{298.15} - \frac{1}{\text{online temp.} + 273.15} \right\} \\ &\quad - 14.1 \times \left\{ \text{Ln} \left(\frac{\text{online temp.} + 273.15}{298.15} \right) + \left(\frac{298.15}{\text{online temp.} + 273.15} \right) - 1 \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Log}(K2) &= (-10.329) + 780.9 \times \left\{ \frac{1}{298.15} - \frac{1}{\text{online temp.} + 273.15} \right\} \\ &\quad - 15.1 \times \left\{ \text{Ln} \left(\frac{\text{online temp.} + 273.15}{298.15} \right) + \left(\frac{298.15}{\text{online temp.} + 273.15} \right) - 1 \right\} \end{aligned}$$

$$\text{L3} = -\text{Log}(Ks \text{ in mol/L})$$

$$\text{L4} = -\text{Log}(\text{Ca}^{2+} \text{ in mol/L})$$

III.3.7. Le chlore libre

- **Matériel utilisé :**

- L'eau ultra pure.
- Colorimètre HACH DR 890.
- Cuvette en verre (25 mL).
- Réactif pour dosage du chlore libre (DPD : Diéthyl-P-Phénylénediamine).

- **Dosage du chlore libre :**

- Il est recommandé de doser le chlore libre immédiatement après le prélèvement de l'échantillon.
- Rincer la cuvette avec l'eau ultra pure et la remplir avec 10 mL de l'eau à analyser (le blanc).
- Placer le blanc dans le colorimètre et appuyer sur le zéro.

- mélanger le réactif (un seul sachet du DPD) avec le blanc et agiter jusqu'à la dissolution complète du réactif dans le blanc.
- Placer le blanc contenant le réactif dans le colorimètre et appuyer sur READ.
- La concentration du chlore libre est affichée en mg/L sur l'écran de l'appareil.
- Rincer la cuvette.

III.4. Paramètres organoleptiques de l'eau

Les paramètres organoleptiques mesurés dans le laboratoire de la station de dessalement sont la turbidité et la couleur, ces derniers ont été évalués selon les procédures d'opération standards suivantes:

III.4.1. La couleur

- **Matériel utilisé :**

- L'eau ultra pure.
- Colorimètre HACH DR 890 (**Figure 24**).
- Cuvette en verre (25 mL).

- **Mode opératoire :**

- Rincer la cuvette avec l'eau ultra pure et la remplir avec 25 mL de l'eau ultra pure (le blanc).
- Placer le blanc dans le colorimètre et appuyer sur le zéro.
- Rincer la cuvette avec l'eau ultra pure et la remplir avec 25 mL de l'eau à analyser.
- Placer la cuvette qui contient l'échantillon dans le colorimètre et appuyer sur READ.
- La mesure de la couleur est affichée en (Pt Co) sur l'écran de l'appareil.
- Rincer les cuvettes.

III.4.2. La turbidité

- **Matériel utilisé :**

- Cuvette.
- Turbidimètre (**Figure 25**).
- Eau ultra pure.
- Solutions d'étalons (800NTU .100NTU. 20NTU. 0,02NTU).

- **Mode opératoire :**

A l'aide d'un turbidimètre la mesure de la turbidité est effectuée selon les étapes suivantes :

- Calibrer le turbidimètre avec les solutions d'étalons (800NTU. 100NTU. 20NTU. 0,02NTU).
- Vérifier la fiabilité d'étalonnage avec la mesure de la turbidité de l'un des solutions d'étalons.
- Agiter gentiment le flacon contient l'eau à analyser.
- Rincer la cuvette avec l'eau ultra pure et la remplir avec 10 mL de l'eau à analyser.



Figure 24: colorimètre



Figure 25 : Turbidimètre

- Nettoyer la cuvette et s'assurer que la surface de la cuvette est sèche et qu'elle ne contient aucunes tâches.
- Placer la cuvette dans le turbidimètre et appuyer sur READ.
- La mesure est affichée sur l'écran en NTU de l'instrument.
- Rincer la cuvette.

Chapitre III : Résultats et Interprétations

RESULTATS & INTERPRETATION

Les concentrations des différents paramètres sont représentées dans les tableaux ci-après. Ces résultats déterminent la qualité de l'eau dessalée et traitée par la station de dessalement de l'eau de mer de Souk Tlata.

L'interprétation de ces résultats est effectuée selon le guide de la qualité de l'eau commercialisée déterminée dans le contrat d'achat de l'eau. Ce guide a été établi selon les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé 2003 (OMS 2003) (**Tableau A2 en annexe**), à l'exception de quelques paramètres qui ont été établis par les partenaires propriétaires de la compagnie comme le pH, la température, l'alcalinité, les solides dissouts totaux, la dureté totale et le Bore.

I. Métaux lourds

Les résultats des métaux lourds obtenus sont représentés en $\mu\text{g/L}$ dans le **tableau 6**.

I.1. Cadmium

Les concentrations du cadmium dans les échantillons qui ont été prélevées et analysées varient entre $0 \mu\text{g/L}$ et $7 \mu\text{g/L}$, avec une absence totale de ce métal dans la majorité des échantillons. Selon les directives et les normes présentées au dessus on remarque que la variation de ces concentrations reste dans les limites, sauf quelques valeurs qui dépassent légèrement la valeur maximale.

I.2. Fer

Les résultats obtenus montrent que les concentrations varient entre une absence totale ($0 \mu\text{g/L}$) du Fer et une valeur maximale égale à $53 \mu\text{g/L}$. Ces concentrations avec cette variation répondent à la qualité de l'eau potable et aux normes prescrites.

I.3. Cuivre

D'après les analyses effectuées, les résultats montrent qu'il n'y a aucune trace de cuivre dans l'eau dessalée et traitée dans la station de dessalement de l'eau de mer de Souk Tlata.

I.4. Plomb

Selon les résultats obtenus, les teneurs en Plomb de l'eau traitée distribuée varient entre $0 \mu\text{g/L}$ et $98 \mu\text{g/L}$. Parmi vingt échantillons analysés, sept montrent une absence totale de plomb $0 \mu\text{g/L}$ et un échantillon renferme une teneur faible en Plomb, soit $1 \mu\text{g/L}$. Les

Tableau 6 : Les concentrations des métaux lourds des échantillons analysés.

<i>Paramètres</i> ($\mu\text{g/L}$) <i>Echantillons</i>	Cd	Fe	Cu	Pb	Ag	Zn	Cr
1	2	35	-	-	-	-	3
2	-	53	-	-	-	-	-
3	-	32	-	36	-	-	-
4	6	18	-	16	-	-	9
5	-	41	-	98	10	-	-
6	-	41	-	-	-	-	-
7	-	26	-	12	-	-	-
8	-	-	-	93	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	1
10	-	-	-	22	-	-	-
11	-	-	-	45	-	-	-
12	-	10	-	-	-	-	7
13	-	1	-	-	-	-	-
14	-	-	-	55	-	-	10
15	-	-	-	38	-	-	1
16	7	-	-	34	-	-	-
17	7	-	-	-	7	-	-
18	-	-	-	59	-	-	-
19	-	-	-	28	-	-	-
20	1	-	-	1	-	-	-

douze autres concentrations sont comprises entre 12 µg/L et 98 µg/L. Il faut noter que ces derniers dépassent les lignes directives déterminées dans les Normes.

I.5. Argent

Pour l'Argent, les concentrations 7 µg/L et 10 µg/L, sont les deux seules concentrations obtenues en ce métal de deux échantillons analysés, ces concentrations respectent les normes et restent inférieures à la valeur maximale. Les autres échantillons ne renferment aucune trace d'Argent.

I.6. Zinc

Pour le Zinc, les analyses de vingt échantillons prélevés pendant une période de quatre mois, montrent une absence totale de ce métal.

I.7. Chrome

Selon les résultats représentés dans le **tableau 6**, en remarque une absence du chrome dans la majorité des échantillons (quatorze échantillons), avec une variation de 1µg /L à 10 µg/L pour le reste des échantillons. Les teneurs en ce métal restent dans les normes et sont inférieures à la valeur maximale.

II. Les ions majeurs et le Bore

Les résultats des ions majeurs et du Bore obtenus sont représentés en mg/L dans le **tableau 7**.

II.1. Les ions majeurs

II.1.1. Les Cations majeurs

Selon les résultats obtenus, les concentrations du Sodium varis entre 127,46 mg/L et 158,13 mg/L. Ces teneurs en Sodium sont élevées mais respectent les valeurs limites déterminées par les normes.

Les concentrations en Potassium des échantillons analysés sont comprises entre 3,952 mg/L et 6,384 mg/L. la teneur en potassium est toujours dans les normes prescrites.

Les teneurs en Calcium varient de 28,63 mg/L jusqu'au 35,18 mg/L. Ces concentrations sont conformes aussi aux directives en vigueur.

La même chose pour ce qui concerne les concentrations du Magnésium, elles sont conformes aux normes prescrites. Leurs teneurs varient entre 1,17 mg/L et 3,292 mg/L.

**Tableau 7 : Les concentrations des ions majeurs et du bore
des échantillons analysés.**

<i>Paramètres (mg/L) échantillons</i>	Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	BrO_3^-	Cl^-	NO_2^-	NO_3^-	SO_4^{--}	<i>Bore</i>
1	138,98	5,224	31,31	2,810	<0,010	220,36	<0,5	<0,5	3,615	1,088
2	141,76	5,284	31,65	3,063	<0,010	222,88	<0,5	<0,5	3,976	1,105
3	128,67	5,394	30,89	2,642	<0,010	207,63	< 0,5	< 0,5	3,158	1,133
4	128,00	5,426	31,83	2,404	<0,010	208,44	< 0,5	< 0,5	2,997	1,075
5	129,55	4,767	29,88	1,988	<0,010	212,33	< 0,5	< 0,5	3,494	1,095
6	129,15	4,940	31,82	2,168	<0,010	213,25	< 0,5	< 0,5	3,136	1,152
7	130,80	4,821	30,60	1,898	<0,010	211,70	< 0,5	< 0,5	3,534	1,107
8	127,46	5,370	31,46	2,542	<0,010	207,16	< 0,5	< 0,5	3,612	1,112
9	141,02	5,827	32,66	2,799	<0,010	224,36	< 0,5	< 0,5	3,440	1,243
10	139,95	5,799	32,08	2,033	<0,010	228,46	< 0,5	< 0,5	2,653	1,321
11	142,29	5,831	33,90	2,071	<0,010	227,56	<0,5	<0,5	3,079	1,179
12	148,84	5,583	35,18	2,326	<0,010	239,76	< 0,5	< 0,5	3,740	1,181
13	150,56	5,56	28,83	1,17	<0,010	243,33	< 0,5	< 0,5	3,98	1,255
14	147,17	6,087	29,93	2,411	<0,010	245,31	< 0,5	< 0,5	3,548	1,146
15	146,93	4,137	29,63	1,937	<0,010	244,60	< 0,5	< 0,5	3,935	1,159
16	149,60	5,336	30,45	1,735	<0,010	231,11	< 0,5	< 0,5	4,389	1,144
17	158,13	6,384	30,12	3,292	<0,010	243,72	< 0,5	< 0,5	4,736	1,164
18	154,09	4,372	28,80	2,157	<0,010	224,43	< 0,5	< 0,5	4,128	1,117
19	157,63	3,952	28,63	1,709	<0,010	244,48	< 0,5	< 0,5	4,330	1,163
20	155,14	5,348	32,07	1,791	<0,010	234,76	< 0,5	< 0,5	4,562	1,040

II.1.2. Chlorure

D'après les résultats obtenus, les teneurs de l'eau traitée en chlorure varient entre 245,31 mg/L et 207,16 mg/L. Ces concentrations avec cette variation restent dans les valeurs souhaitées pour une eau destinée à la consommation humaine.

II.1.3. Bromate

Les analyses effectuées à l'aide de la chromatographie ionique ont montré que les concentrations de l'eau traitée en Bromate dans la station est inférieure à 0,010 mg/L, autrement dit elles sont dans les normes et ne dépassent pas la valeur limite maximale.

II.1.4. Nitrite et Nitrate

Comme le bromate, le dosage du nitrite et des nitrates et effectuées avec la même chromatographie ionique. Les résultats obtenues pour tous les échantillons analysés sont inférieurs à 0,5 mg/L, donc restent conformes aux normes de potabilité.

II.1.5. Sulfate

Les valeurs représentées dans le tableau 8 montrent une variation des concentrations des ions sulfates entre 2,653 mg/L et 4,736 mg/L. Ces résultats sont conformes aux normes et inférieurs aux directives en vigueur.

II.2. Bore

La concentration en Bore des échantillons analysés varie entre un minimum de 1,040 mg/L et un maximum égal à 1,321 mg/L.

Selon le contrat d'achat de l'eau, la teneur en Bore doit être inférieure à 1,3 mg/L. Cette teneur est obtenue après un calcul de la moyenne annuelle de toutes les concentrations journalières.

Les concentrations quotidiennes obtenues dépassent les lignes directrices fixées par L'OMS en 2003 en ce qui concerne la qualité de l'eau potable (0,5 mg/L), et dépassent aussi les valeurs limites fixées par la norme Algérienne du 23/03/2011 relative à la qualité de l'eau de consommation humaine (1 mg/L) (**Tableau A5 en annexe**).

III. Les paramètres physico-chimiques

Les résultats des paramètres physico-chimiques obtenus sont représentés dans le **tableau 8**.

**Tableau 8 : Résultats des paramètres physico-chimiques
des échantillons analysés**

Paramètres échantillons	pH	Tempér- atures (°C)	Alcalinité mg/L en CaCO ₃	TH mg/L en CaCO ₃	TDS (mg/L)	CE (μS/cm)	Chlore libre (mg/L)	LSI
1	8,48	17,1	62,50	90	436	855	0,36	0,25
2	8,31	17,2	61,34	92	437	857	0,58	0,08
3	8,26	18,4	65,40	88	414	811	0,40	0,07
4	8,28	18,3	65,21	89	418	819	0,32	0,10
5	8,27	17,2	62,89	83	414	812	0,38	0,03
6	8,32	17,5	68,50	88	424	832	0,26	0,15
7	8,30	17,2	64,34	84	402	789	0,38	0,08
8	8,32	17,4	66,27	89	406	796	0,37	0,15
9	8,25	18,3	67,92	93	429	841	0,42	0,10
10	8,29	18,9	71,79	88	437	856	0,42	0,16
11	8,30	17,9	71,98	93	442	866	0,20	0,18
12	8,28	17,6	75,46	97	469	919	0,37	0,18
13	8,35	18,3	62,40	77	479	939	0,37	0,09
14	8,32	18,2	63,27	85	469	920	0,44	0,09
15	8,34	19,6	66,56	82	482	945	0,37	0,14
16	8,26	18,6	65,98	83	476	934	0,36	0,06
17	8,36	18,7	65,02	89	513	1006	0,27	0,14
18	8,37	20,4	64,05	81	495	970	0,31	0,15
19	8,28	20	62,21	79	511	1002	0,26	0,02
20	8,26	19,7	67,92	87	473	928	0,31	0,11

III.1. pH et température

Pour la température de l'eau analysée, une augmentation légère et continue durant la période de prélèvement. Les résultats obtenues varient de 17,1 °C jusqu'à 20,4 °C.

Les mesures du pH qui ont été effectuées au sein de la station de dessalement montrent une variation entre 8,26 et 8,48. Le pH de l'eau traitée analysée est conforme aux directives fixées par le contrat d'achat de l'eau ($7,5 < \text{pH} < 8,5$), et aussi ces résultats répondent aux exigences de la norme algérienne relative à la qualité de l'eau potable ($6,5 < \text{pH} < 9$).

III.2. Conductivité électrique (CE)

Pour la conductivité électrique, les résultats des analyses montrent une variation entre 789 $\mu\text{S/cm}$ et 1006 $\mu\text{S/cm}$. Ces résultats sont conformes aux normes et inférieurs à la valeur limite fixée par la norme.

III.3. Alcalinité

L'alcalinité des échantillons analysés varie de 75,46 mg/L en CaCO_3 et 61,34 mg/L en CaCO_3 . Ces valeurs restent dans les limites fixées par le contrat d'achat de l'eau ainsi que les valeurs indicatives des normes algériennes.

III.4. Titre hydrométrique (TH)

La dureté totale de l'eau traitée analysée reste dans les normes fixées par le contrat d'achat de l'eau ($> 65 \text{ mg/l}$ en CaCO_3), elle varie entre 77 et 97 mg/L en CaCO_3 .

III.5. La matière solide dissoute totale (TDS)

Les concentrations représentées dans le **tableau 8**, montrent une variation entre 402 mg/L et 513 mg/L, ce qui signifie que la teneur en matière solide dissoute des échantillons analysés respecte les qualités de l'eau potable souhaitée.

III.6. Le chlore libre

La désinfection par l'hypochlorite de sodium est une étape indispensable dans le traitement de l'eau dessalée, ainsi la présence du chlore libre avec des concentrations inférieures à la valeur limite est largement souhaitée.

Les teneurs en chlore libre dans les échantillons analysés varient entre 0,2 mg/L et 0,58 mg/L.

III.7. Indice de saturation de Langelier (LSI)

Les valeurs obtenues après le calcul de l'indice de saturation des échantillons de l'eau traitée destinée à la consommation humaine varient entre 0,02 et 0,25. Nos résultats sont

conformes aux normes et restent dans l'intervalle de (0 à 0,4) déterminée dans le contrat d'achat de l'eau.

IV. Les paramètres organoleptiques

Les résultats des analyses organoleptiques effectuées dans le laboratoire de la station de dessalement sont représentés dans le **tableau 9**.

IV.1. La couleur

L'eau dessalée et traitée par la station de dessalement de l'eau de mer de Souk Tleta est transparente et très claire. Des tests de la couleur sont effectués à l'aide d'un colorimètre montre que la couleur est égale à 0 Pt-Co.

IV.2. La turbidité

Les résultats des analyses obtenues à l'aide d'un Turbidimètre déterminent une variation entre 0,13 NTU et 1,19 NTU. La valeur maximale de la turbidité est non souhaitée au cours du traitement de l'eau dans la station, mais elle reste inférieure (5 NTU) à la valeur indicative fixée par la norme Algérienne relative à la qualité de l'eau potable.

**Tableau 9 : Résultats des analyses organoleptiques
des échantillons d'eau traitée**

<i>Paramètres</i> <i>échantillons</i>	<i>Couleur</i>	<i>Turbidité</i>
1	0	0,53
2	0	0,87
3	0	0,13
4	0	0,24
5	0	0,44
6	0	0,54
7	0	0,32
8	0	1,19
9	0	0,39
10	0	0,22
11	0	0,58
12	0	0,98
13	0	0,57
14	0	0,78
15	0	0,33
16	0	0,46
17	0	0,81
18	0	1,06
19	0	0,25
20	0	1,05

*Chapitre IV : Conclusion et
recommandations*

CONCLUSION

L'alimentation avec une eau de bonne qualité et en quantité abondante des populations est l'un des projets les plus coûteux et les plus difficile à réaliser, car la non disponibilité d'une eau de bonne qualité d'une part et l'exposition à long terme à des traces des paramètres indésirables contenus dans l'eau d'autre part, peut empêcher le développement d'un pays et même d'une civilisation.

Des stations de dessalement de l'eau de mer ont été réalisées en Algérie pour assurer une disponibilité permanente en eau potable, saine et salubre.

Après avoir analysé vingt échantillons de l'eau dessalée et traitée par la station de dessalement de l'eau de mer de Souk Tlata on a conclu que :

↳ Le dosage des métaux lourds montre une présence du Plomb et du Cadmium en quantité indésirable dans l'eau traitée, dont certaines concentrations dépassent les lignes directives fixées par les normes Algériennes et celles du L'OMS. Pour les autres métaux dosés et qui sont présents dans quelques échantillons sous forme de traces, leurs concentrations restent dans les normes.

↳ Les concentrations du Bore obtenues sont supérieures à la valeur limite fixée par les normes Algériennes et celles de l'OMS, mais selon le contrat d'achat de l'eau ces valeurs respectent les limites souhaitées après le calcul de la moyenne annuelle des teneurs journalières en Bore.

↳ Les teneurs en ions majeurs restent conformes aux normes et respectent les valeurs limites de la qualité d'une eau potable destinée à la consommation humaine.

↳ Les résultats des analyses physico-chimiques sont aussi conformes aux normes.

↳ Selon les analyses de la turbidité et de la couleur, l'eau traitée a une bonne qualité organoleptique.

Recommandations

L'exposition à des doses importantes au Plomb et au Cadmium a un fort impact toxicologique sur la santé humaine. Le Plomb par exemple pourrait être la cause principale des troubles du système nerveux ainsi une affection du foie et des reins, le Cadmium provoque à son tour des affections respiratoires et des troubles rénaux. Pour cela, et selon les résultats obtenus il est recommandé de détecter la source de contamination de l'eau traitée par

ces deux métaux lourds dans les meilleurs délais, et essayer de ramener leurs teneurs inférieures aux valeurs maximales fixées par les normes.

La présence du Bore en teneurs inquiétantes dans cette eau traitée et destinée à la consommation humaine caractérise l'un des sujets les plus sérieux de point de vue nutritionnel. Une révision du contrat d'achat est fortement recommandée en ce qui concerne le calcul de la moyenne annuelle des concentrations journalières en Bore.

La maîtrise des techniques de la maintenance des différents équipements, et l'application des Procédures Standards d'exploitation est largement conseillée pour atteindre les objectifs pour lesquels cette station de dessalement est réalisée.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARRUS R.** (1985). L'eau en Algérie de l'impérialisme au développement (1830- 1962). *Ed. office des publications universitaires*. Presses universitaires de Grenoble.
- BELHOUT D., HOUT S., & TIGRINE Z.** (2013). Contribution à l'étude de dessalement de l'eau de mer par distillation membranaire fonctionnant par énergie solaire. *Ecole Nationale Polytechnique*. Alger.
- BOUCHARD M.** (2008). Évolution temporelle et modélisation des coliformes dans une source d'eau potable. Mémoire (M. Sc). *Université de Laval*. Québec. 98p.
- BOUGIS J.** (2013). Revue des aspects maritimes du dessalement d'eau de mer. *Revue Paralia*. P.p. 1.1–1.13.
- CAMPAGNA C., PHANEUF D., & LEVALLOIS P.** (2012). Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. *Ed. Institut national de santé publique*. Québec. 11 p.
- CHAUSSE K., NORMANDIN L., GAUVIN D., & LEVALLOIS P.** (2003). Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. *Ed. Institut national de santé publique*. Québec. 14 p.
- DANIS P.** (2003). Dessalement de l'eau de mer. *Technique de l'ingénieur*. J2700.
- HALLOUFI O.** (2010). Etude de la performance d'un distillateur solaire par un système de préchauffage solaire de l'eau saumâtre. *Mémoire de Magister*. Université Mentouri. Algérie. 82 p.
- HOULLIER P., BLANCHARD A., & PAILARD M.** (2004). Métabolisme du potassium. *Elsevier SAS*. 1 : 138–157.
- JARIRI S.** (2009). Expérience de l'onep en matière de dessalement d'eau. *Revue HTE*. N°142 :87-91.
- KEHAL S.** (2000). Rétrospective et perspectives du dessalement en Algérie. *Elsevier*. Desalination. 136 : 35-42.
- KOLTZ F.** (2010). L'eau, la vie et la mort. *Ed. Springer Verlag*. 4:77.
- MAUREL A.** (2006). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. 2^{ème} *Ed. Lavoisier*. France. 285 p.
- MEHANNED S., ZAID A., & CHAHLAOUI A.** (2014). Caractérisation bactériologique du lac réservoir du barrage Sidi Chahed. *Larhyss Journal*.17 : 215-225.
- MUN C.** (2007). Etude du comportement du produit de fission ruthénium dans l'enceinte de confinement d'un réacteur nucléaire, en cas d'accident grave. *Thèse de doctorat*. Université de PARIS-XI. France.
- OLIVAUX Y.** (2007). La nature de l'eau. *Ed. Marco Pietteur*. France. 563 p.
- OMS (W.H.O.): WORLD HEALTH ORGANISATION.** (2003). Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva. *World Health Organisation*.

- OMS (W.H.O.): WORLD HEALTH ORGANISATION.** (2006). Guidelines for Drinking-water Quality, first addendum to third edition, Volume 1 Recommendations. Geneva. *World Health Organisation*.
- OUSSEDIK S M.** (2001). Déminéralisation de l'eau saumâtre du forage Albien "Aïn Sahara" pour l'alimentation en eau potable de la ville de Touggourt. *Elsevier*. Désamination. 137:103-111.
- RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., BRUNET R., MIALOCQ J C., LEROY P., HOUSSIN M., LAVISON G., BECHEMIN C., VINCENT M., REBOUILLON P., MOULIN L., CHOMODÉ P.,DUJARDIN P.,GOSSELIN S., SEUX R., ALMARDINI F.** (2009). L'analyse de l'eau. 9^{ème} Ed. *Dunod*. France. 1511 p.
- ROUANE-HACENE O.** (2013). Biosurveillance de la qualité des eaux côtières du littoral occidental algérien, par le suivi des indices biologique, de la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux lourds (Zn, Cu, Pb et Cd) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* et l'oursin *Paracentrotus lividus*. *Thèse de doctorat*. Université d'Oran. Algérie. 208 p.
- DEGREMENT.** (2005).Mémento technique de l'eau. 2^{ème} Ed. *Degrémont*. France. 1717 p.
- SADI A. (2000).** Le Dessalement Solaire - Considérations Techniques. *Rev. Energ Ren. Chemss.* 91-97.
- SAVARY P.** (2010). Guide des analyses de la qualité de l'eau. *Ed. Territorial Voiron*. 261 p.
- SELLAMI M H.** (2014). Etude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud- est algérien (Ourgla). *Thèse de doctorat*. Université Kasdi Merbah Ourgla. Algérie. 111 p.
- SPELLMAN., & FRANK R.** (2008).The Science of water: concepts and applications. 2nd Ed. *CRC Press Taylor & Francis Group*. USA. 417 p.
- THIELBORGER P.** (2014). The right(s) to water. *Ed. Springer-Verlag*. Berlin. 231p.
- VIOLLEAU V J.** (1999). Déminéralisation par électrodialyse en présence d'un complexant application au lactosérum .*Thèse de doctorat*. Institut national polytechnique de Toulouse. France. 115 p.
- VOITCHKOV N.** (2010). Considerations for selection of seawater filtration pretreatment system. *Elsevier*. Desalination. 261 : 354–364.
- ZOUINI D.** (2009). Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse : une solution pour l'alimentation en eau des villes côtières. *Revue HTE*. N°142 :78-86.

ANNEXES

ANNEXES

TABLEAU A1 : Description des échantillons prélevés.

Numéros des échantillons	Descriptions des échantillons	Dates des prélèvements	Heurs des prélèvements
1	TWT Outlet	25/01/2014	11 :00
2	TWT Outlet	26/01/2014	22 :35
3	TWT Outlet	14/02/2014	10 :15
4	TWT Outlet	15/02/2014	21 :00
5	TWT Outlet	18/02/2014	13:00
6	TWT Outlet	20/02/2014	14 :00
7	TWT Outlet	26/02/2014	13 :45
8	TWT Outlet	28/02/2014	13 :30
9	TWT Outlet	02/03/2014	14 :00
10	TWT Outlet	03/03/2014	21 :30
11	TWT Outlet	05/03/2014	14 :00
12	TWT Outlet	06/03/2014	20 :30
13	TWT Outlet	28/03/2014	11 :00
14	TWT Outlet	01/04/2014	13 :45
15	TWT Outlet	04/04/2014	20 :30
16	TWT Outlet	06/04/2014	20 :45
17	TWT Outlet	09/04/2014	12 :30
18	TWT Outlet	12/04/2014	20 :30
19	TWT Outlet	13/04/2014	11 :00
20	TWT Outlet	16/04/2014	20 :40

*TWT Outlet: Treated water tank Outlet.

TABLEAU A2 : Lignes directrices de l'OMS 2003 et OMS 2006 en ce qui concerne la qualité de l'eau potable.

Elément/ substance	Symbole	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices OMS 2003	Lignes directrices OMS 2006
Aluminium	Al		0,2 mg/l	0,2 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l	0,01 mg/l
Baryum	Ba		0,7 mg/l	0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide	Pas de valeur guide
Bore	B	< 1 mg/l	0.5mg/l	0.5mg/l
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l	0,003 mg/l
Chlore	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l	Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	chrome total : 0,05 mg/l	chrome total : 0,05 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide	Pas de valeur guide
Cuivre	Cu ²⁺		2 mg/l	2 mg/l
oxygène dissous	O ₂		Pas de valeur guide	Pas de valeur guide
Fluorure	F ⁻	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l	1,5 mg/l
Dureté	mg/l en CaCO ₃		500 ppm	200 ppm
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S		0.05 à 1 mg/L	0.05 à 1 mg/L
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de valeur guide	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0,01 mg/l	0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,4 mg/l	0,4 mg/l
Mercure	Hg	< 0,5 µg/l	inorganique : 0,006 mg/l	inorganique : 0,006 mg/l
Nitrate et nitrite	NO ₃		50 et 3 mg/l (exposition à court terme)	50 et 3 mg/l (exposition à court terme)
	NO ₂		0.2 mg/l (exposition à long terme)	0.2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité			Non mentionnée	Non mentionnée
pH			Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5	Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
Argent	Ag	5 – 50 µg/l	< 0,1 mg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na	< 20 mg/l	< 200 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO ₄		250 mg/l	500 mg/l
TDS			Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1200 mg/l	Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l	3 mg/l

TABLEAU A3 : Les paramètres organoleptiques (Normes Algérienne mars 2011).

Paramètres	Unité	Niveau guide	Concentration max-admissible	Observation
Couleur	Mg/L échelle PT-Co	-	15	/
Turbidité	NTU	-	5	/

TABLEAU A4: Paramètres physico-chimiques (Normes Algérienne mars 2011).

Paramètre	Unité	Niveau guide	Concentration Max-admissible	Observation
pH		6.5 à8.5		
Conductivité	μS/cm à 20°C	-	2280	
Résidu Sec	mg/l après séchage à105°C	-	2000	En Correspondance avec la normalisation Des eaux
Dureté total	mg/l CaCO ₃	100	500	
Calcium	mg/l		200	
Magnésium	mg/l		150	
Sodium	mg/l		200	
Potassium	mg/l		12	
Sulfate	mg/l		400	
Chlorure	mg/l		500	
Nitrate	mg/l		50	
nitrite	mg/l		0.2	
Ammonium	mg/l		0.5	
phosphate	mg/l		0.5	
Oxydabilité (KmnO ₄)	mg/l		3	Mesure faire chaud et en milieu acide
O ₂ dissous	mg/l	5	8	/
Aluminium	mg/l	-	0.2	/

TABLEAU A5: Paramètres indésirable ou toxiques (Normes Algérienne mars 2011).

Paramètre	Unité	Niveau guide	Concentration Max-admissible	Observation
Argent	mg/l		0.05	/
Arsenic	mg/l		0.05	/
Bore	Mg/l		1	/
Baryum	mg/l		1	/
Cadmium	mg/l		0.01	/
Cyanures	mg/l		0.05	/
Chromes	mg/l		0.05	/
Cuivre	mg/l	0.05	1.5	/
Fer	mg/l	0.3	0.3	/
Fluore	mg/l		2	/
Manganèse	mg/l		0.05	/
Mercure	mg/l		0.001	/
Plomb	mg/l		0.05	/
Sulfate d'hydrogène	mg/l		0.02	Non décelable organoleptique
Sélénium	mg/l		0.01	/
Zinc	mg/l		5	/

RESUME

L'eau, molécule simple, est indispensable pour la continuité de toute sorte de vie ainsi qu'au développement des populations. L'augmentation des besoins en eau et la disponibilité de l'eau de bonne qualité demeure un challenge d'actualité, particulièrement pour l'Algérie.

Une étude des caractéristiques chimiques et physico-chimiques de l'eau potable traitée et dessalée a été menée au niveau de la « Station de Dessalement de l'eau de mer de Souk Tlata » (wilaya de Tlemcen).

Un échantillon de vingt (20) prélèvements d'eau traitée, réalisés à la sortie de la station de dessalement de l'eau de mer, a été investigué. Ces prélèvements ont fait l'objet d'un dosage des paramètres chimiques, physico-chimiques et métaux lourds qui constituent les critères déterminants de la salubrité, potabilité et sécurité des eaux. Les différentes analyses ont été effectuées grâce à une collaboration active entre le "Laboratoire de la Station de Dessalement" et le "laboratoire d'ALZINC à Ghazaouet". Les résultats obtenus montrent des teneurs inquiétantes en Plomb, en Cadmium et en Bore.

Mots clés : Qualité eau potable- Dessalement de l'eau de mer- Métaux lourds- Bore.

ABSTRACT

Water, simple molecule, essential for the continuity of any kind of life and it is important for the development of populations. The increase of water demand and the availability of a good water quality present a current challenge for governments including Algeria.

Twenty (20) samples of treated water were collected at the outlet of 200 000 (m³/day) seawater desalination plant, located in Souk Tlata community (Tlemcen). Chemical, physic-chemical parameters and heavy metals were investigated in treated water. These are the determinants of safety criteria, and water potability.

Different analyses were carried out through an active cooperation between the "laboratory of this desalination plant" and the "ALZINC laboratory located in Ghazaouet". The results show alarming levels of Lead, Cadmium and Boron.

Keywords: Drinking water quality- Sea water desalination- Heavy metals- Boron.

ملخص

يعتبر الماء أحد العناصر البسيطة التي لها دور أساسي في المحافظة على مختلف أشكال الحياة و التي تساهم كذلك و بشكل فعال في تطور الشعوب و حتى الحضارات. زيادة الطلب على المياه الصالحة للشرب و توفيرها بصفة مستدامة يشكلان أحد أكبر التحديات التي تواجه الكثير من الدول و الحكومات و التي من بينها الجزائر.

عشرون (20) عينة من الماء المعالج تم أخذها من محطة تحلية مياه البحر 200000 (م³/يوم) الواقعة ببلدية سوق الثلاثاء (تلمسان)، و من ثم تحليل الخصائص الكيميائية، الفيزيوكيميائية وتحديد نسب المعادن الثقيلة للعينات السابقة الذكر التي من شأنها إثبات جودة و سلامة المياه. أجريت التحاليل المخبرية في المخبر الخاص بمحطة تحلية مياه البحر السالفة الذكر و كذلك في مخبر مصنع الزنك بالجزوات.

كشفت نتائج التحاليل عن تراكيز و نسب مقلقة لكل من الرصاص، الكاديوم و عنصر البور.

الكلمات المفتاح : جودة الماء الصالح للشرب، تحلية مياه البحر، المعادن الثقيلة، البور.