

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : HYDRAULIQUE

Spécialité : OUVRAGES HYDRAULIQUES

Par :

Mlle. Fatima ADDADI

&

Mlle Latifa MEHIDI

Sujet

EFFET DU BORE SUR LA SANTE (CAS DU DESSALEMENT)

Soutenu publiquement, le 20 / 06 /2018, devant le jury composé de :

M ^{me} . C. BOULI HACENE	MCA	Univ. Tlemcen	Présidente
M ^{me} . I. MAROK- GUASMI	MCB	Univ Tlemcen	Directrice de mémoire
M ^r . A. CHIBOUB FELLAH	Professeur	Univ. Tlemcen	Examineur 1
M ^{me} . K. BABA- HAMED	Professeur	Univ. Tlemcen	Examinatrice 2

Remerciements

Pour m'avoir permis d'être ce que je suis devenu aujourd'hui, nous voudrions remercier le Seigneur tout puissant par qui tout est possible.

En préambule a ce mémoire, nous souhaiterons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apportées leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire, particulièrement à :

Notre encadreur Mme. Imen MAROK-GUASMI maître de conférences à l'université de Tlemcen, pour sa confiance, son attention, ses bons conseils, ses qualités humaines. Pour tout cela, on tient à lui exprimée toute notre gratitude.

Nous remercions les membres de jury d'avoir bien voulu accepter de juger notre modeste travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants et personnels du département d'hydraulique de l'université Abou bekr Belkaid, Tlemcen.

Nous remercions également Mme Wassila BELACHOUIN, chef du laboratoire de la station de dessalement de l'eau de mer de Hounaine, sans oublier Mr. Abd el Halim BEDDIAF responsable du service MBH de la station.

Nous remercions l'ingénieur d'exploitation de la station de dessalement de l'eau de mer de Souk-Tleta.

Fatima & Latifa

Dédicace

*A l'aide de Dieu tout puissant on a pu achever
ce modeste travail que je dédis*

*A Mon père et ma mère
Zui mon offert tous les moyens ainsi qu'à leur encouragements avec les
quelles j'ai atteints ce niveau, que le Dieu les protèges.*

A Mes chères sœurs Rokia et Soumia.

*A Mes frères Chick, Aboubeker, Nasr El ddine,
Bilal et Mohemed Amine*

A ma grande mère

A tous les membres des familles Addadi et Diyani grands et petits.

*A ma chère camarade et mon binôme Mlle. Latifa MEHDI, ainsi
qu'à toute sa famille.*

*A mes amies avec qui j'ai vécue de beaux moment au cours de mon cursus
universitaire : Nour El Houda , Hanaa et Fatima.*

A mes amil(e)s de la promotion 2^{me} année Master Ouvrage hydraulique

*A ceux qui m'ont encouragée et m'ont aidée d'une façon ou d'une autre,
Merci à tous.*

Fatima

Dédicace

*A l'aide de Dieu tout puissant on a pu achever
ce modeste travail que je dédis*

*A mon père et ma mère que le Dieu les protèges, qui mon offert tous les
moyennes ainsi qu'à leur encouragement avec les quelles
J'ai pus atteindre ce niveau.*

A mes chères sœurs Hawaria, Djamila et Djahida

A mes frères Mohamed, Yahia et Djamal

Aux familles MEHDI et YAHIALI grandes et petites

A tous les membres des familles Addadi et Diyani grands et petits.

*A ma chère camarade et mon binôme Mlle. Latifa MEHDI, ainsi
qu'à toute sa famille.*

*A ma chère camarade et mon binôme Mlle Fatima ADDADI et sa
famille.*

*A mes ami(e)s avec qui j'ai vécu des beaux moments au cours de mon
cursus a l'université, spécialement : Soumia, Samira,
Fatima et, Nor El Houda*

A mes ami(e)s de la promotion 2^{ème} année Master Ouvrage hydraulique

*A ceux qui m'ont encouragée et m'ont aidée d'une façon ou d'une autre,
Merci à tous.*

Latifa

Résumé

Le but de ce travail est de connaître l'ampleur de l'effet de Bore sur la santé humaine (cas du dessalement). A cet effet, nous avons comparé les résultats des analyses physico-chimiques de la station de dessalement l'eau de mer de Souk-Tleta et celle de Honaine.

A travers les résultats, nous avons constaté que les analyses physico-chimiques des deux stations sont conformes aux normes algériennes et celle de l'OMS.

Par contre la concentration du Bore de l'eau traité dans la station de Souk-Tleta est toujours supérieure a la valeur limite qui est 1,3 mg/L fixée par les normes algériennes pour les eaux traitées dessalées du ministère des ressources en eau, et cela dans la période allons de Mars 2013 à Novembre 2014. Mais au sein de la station de Honaine, il ya une augmentation en novembre 2015 à novembre 2016 puis on enregistre des analyse respectant les normes.

Cette augmentation de concentration du Bore constitue un risque imminent pour la santé et la sécurité du consommateur.

Mots clé : Dessalement, Souk-Tleta, Honaine, santé, Bore, Normes Algériennes, OMS.

Abstract

The purpose of this work is to know the extent of the effect of Boron on human health (case of desalination). For this purpose, we compared the results of the physico-chemical analyzes of the seawater desalination plant of Souk-Tleta and that of Honaine.

Through the results, we found that the physicochemical analyzes of the two stations comply with Algerian standards and that of WHO.

On the other hand, the concentration of the Boron of the treated water in the Souk-Tleta station is always higher than the limit value which is 1.3 mg / L set by the Algerian standards for desalinated treated water of the Ministry of Water Resources, and that in the period going from March 2013 to November 2014. But within the Honaine station, there is an increase in November 2015 to November 2016 and then we record analysis respecting the standards.

This increase in boron concentration poses an imminent risk to the health and safety of the consumer.

Keywords: Desalination, Souk-Tleta, Honaine, Health, Boron, Algerian Standards, WHO.

ملخص:

الغرض من هذا العمل، هو معرفة مدى تأثير البورون على صحة الإنسان في □الة عملية تحلية المياه. لهذا الغرض، قارنا نتائج التحاليل الفيزيوكيميائية لمصنع تحلية مياه البحر لسوق الثلاثاء و هونايين. من خلال النتائج المتحصل عليها، وجدنا أن التحاليل الفيزيوكيميائية للمحطتين تتوافق مع المعايير الجزائرية ومعايير منظمة الصحة العالمية.

من ناحية أخرى، فإن تركيز البورون من المياه المعالجة في محطة سوق الثلاثاء يكون دائماً أعلى من القيمة الحدية التي تبلغ 1.3 ميليغرام / لتر والتي تحددها المعايير الجزائرية للمياه المعالجة المحلاة بوزارة الموارد المائية في الفترة الممتدة من مارس 2013 إلى نوفمبر 2014. ولكن في محطة هونايين، هناك زيادة في الفترة الممتدة من نوفمبر 2015 إلى نوفمبر 2016، ثم نسجل تحليلاً يحترم المعايير. هذه الزيادة في تركيز البورون تشكل خطراً وشيكاً على صحة وسلامة المستهلك.

□كلمات مفتاحية: تحلية المياه، سوق الثلاثاء، هونايين، الصحة، البورون، المعايير الجزائرية، منظمة الصحة العالمية.

TABLE DES MATIERES

Pages

REMERCIEMENTS	
DEDICACES	
RESUME	
TABLE DES MATIERES	
LISTE DES ABREVIATIONS	
INTRODUCTION GENERALE	i

Chapitre 1 : GENERALITES SUR L'EAU

I. CADRE GENERAL	1
1. OBJECTIF DE L'ETUDE	1
2. INTRODUCTION	1
II. GENERALITES	1
1. L'EAU	1
2. IMPORTANCE DE L'EAU	1
2.1. L'eau dans l'organisme humain	1
2.2. Eau et alimentation	2
3. L'EAU DEMINERALISEE ET RISQUE SUR LA MUQUEUSES INTESTINALES	2
III. CARACTERISTIQUES DES EAUX SALINES ET SAUMATRES	3
1. LEAU DE MER	3
2. L'EAU SAUMATRE	5
3. REPARTITION DE L'EAU SUR LA TERRE	5
4. PROPRIETES DE L'EAU	5
5. CATEGORIE DE L'EAU	6
5.1. L'eau potable	6
5.1.1. Définition	6
5.1.2. Potabilité de l'eau	6
5.1.3. Les paramètres de potabilité de l'eau	7
5.1.3.1. Paramètres organoleptiques	7
a. La couleur	7
b. Goûts et odeurs	7
c. La turbidité	7
5.1.3.2. Paramètres physicochimiques	7
a. La température	7
b. Le pH	8
c. Matières en suspension	8
d. La conductivité électrique	8
e. La dureté totale	8
f. Solubilité des gaz dans l'eau	8
g. L'alcalinité	8
h. Cations et anions	9
i. Les nitrates et les nitrites	9
j. Pollution des eaux par les métaux lourds	10
5.1.3.3. Paramètres microbiologiques	10
5.1.4. Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation	11

5.1.5. Normes de qualité des eaux potables	11
5.1.5.1. Paramètres physico-chimiques	11
a. La température	11
b. La Conductivité	11
c. Le pH	12
d. La Turbidité	12
e. L'Oxygène dissous	12
f. La DBO ₅ , DCO et Oxydabilité	13
5.1.5.2. Les Ions majeurs	13
a. Calcium et Magnésium	13
b. Sodium et potassium	13
c. Sulfate	14
d. Chlorures	14
5.1.5.3. Paramètres chimiques de l'eau	14
a. Chrome	14
b. Plomb	14
c. Cuivre	14
d. Cadmium	15
e. Zinc	15
f. Fer	15
g. Bore	15
h. Argent	15
i. Nitrites	15
j. Nitrates	16
k. Bromate	16
5.1.5.4. Paramètres microbiologiques des eaux potables	16
a. Escherichia-Coli	16
b. Salmonella	16
c. Vibrio	17
d. Clostridium	17
e. Streptococcus	17
5.1.6. Qu'est-ce qu'une norme ?	17
5.2.L'eau de source	17
5.3.L'eau minérale naturelle	17
IV. CONCLUSION	17

Chapitre 2 : GENERALITES SUR LE DESSALEMENT

I. INTRODUCTION	18
II. GENERALITES SUR LE DESSALEMENT	18
1. DEFINITION DU DESSALEMENT DE L'EAU DE MER	18
III. SITUATION DU DESSALEMENT	19
1. SITUATION DU DESSALEMENT DANS LE MONDE	19
2. SITUATION DU DESSALEMENT EN ALGERIE	20
VI. ÉTAPES DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER	21
1. CAPTAGE D'EAU DE MER	21
2. LE PRETRAITEMENT	22
2.1. Coagulation-floculation	22
2.2. La filtration	22
2.3. Le Traitement chimique	22

2.4. La filtration de sécurité ou microfiltration	23
a. Pourquoi un prétraitement?	23
b. Procédés typiques de prétraitement du dessalement d'eau de mer	23
3. LES DIFFERENTS PROCEDES DE DESSALEMENT	24
3.1. Procédés de distillation	24
a. Distillation à simple effet	24
b. Distillation à multiples effets	24
c. Distillation avec compresseur de vapeur	25
d. Distillation par détente successive ou procédé 'Flash'	25
3.2. Procédés membranaires	25
a. L'électrodialyse	26
i. L'électrodialyse dite conventionnelle	26
ii. L'électrodialyse à membrane bipolaire	26
iii. L'électrolyse à membranes	26
b. L'osmose inverse	26
i. Installation d'osmose inverse	27
✓ <i>Membranes d'osmose inverse</i>	27
✓ <i>Modules d'osmose inverse</i>	27
ii. Colmatage des membranes et leur nettoyage	28
iii. Pompe haute-pression (HP) et système de récupération	29
d'énergie	
c. Autres procédés de dessalement	29
i. Échange ionique	29
ii. Dessalement par congélation	29
iii. Distillation solaire	29
d. Le post-traitement	29
i. L'ajustement du pH	30
ii. La chloration	30
4. LES INCONVENIENTS DU DESSALEMENT	30
V. CONCLUSION	30

Chapitre 3 : LE BORE

I. INTRODUCTION	31
II. PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DU BORE	31
III. SOURCES ET UTILISATIONS DU BORE	33
1. QUELQUES COMPOSES DU BORE	34
1.1. Boranes	34
a. Le diborane	34
b. Le borohydrure de sodium	34
1.2. Halogénures de bore	34
1.3. Borures métalliques	34
1.4. Nitrure de bore	35
1.5. Carbure de bore	35
a. Élaboration industrielle	35
IV. EFFETS SUR LA SANTE	35
V. LE BORE DANS L'EAU DE MER ET DANS L'EAU PRODUITE PAR LES INSTALLATIONS DE DESALINISATION D'EAU DE MER	36
VI. TRAITEMENTS REDUISANT LES TENEURS EN BORE DANS LES EAUX	36

1. ADSORPTION ET ECHANGE D'IONS	37
2. OSMOSE INVERSE	38
3. PROCESSUS HYBRIDES	39
3.1. Echange d'ions puis séparation membranaire	39
3.2. Ultrafiltration de composés complexés avec des polymères	40
3.3. Electrodialyse	40
VII. METHODES D'ANALYSE DU BORE DANS LES EAUX	41
1. PRINCIPE DE L'ANALYSE	41
2. CONSERVATION ET PRETRAITEMENT DES ECHANTILLONS	41
3. PERFORMANCES	41
VIII. CONCLUSION	42

Chapitre 4 : CAS D'ETUDE (STATION DE DESSALEMENT DE SOUK-TLETA ET DE HONAINE)

I. INTRODUCTION	43
II. GENERALITES	43
III. STATION DE DESSALEMENT DE SOUK-TLETA	44
1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE	45
1.1. Situation géographique et administrative de la station de dessalement de Souk-Tleta	46
1.2. Relief de la zone d'étude	46
1.3. Cadre Climatique	47
2. CARACTERISTIQUES DE L'EAU DE MER DE LA STATION DE DESSALEMENT DE SOUK-TLETA	48
3. PRESENTATION DE LA STATION DU DESSALEMENT DE SOUK-TLETA	48
3.1. Description du procédé de la station	49
3.1.1. Prise de la mer	51
3.1.2. Etapes de prétraitement	51
3.1.2.1. La filtration mécanique	51
3.1.2.2. La chloration	52
3.1.2.3. Station de pompage de l'eau de mer	52
3.1.2.4. Dosage avec le méta-bisulfite de sodium (SMBS)	52
3.1.3. Système d'ultrafiltration	53
3.1.3.1. Description du système	53
3.1.3.2. Membranes d'Ultrafiltration	53
3.1.3.3. Le système de rétro-lavage «Backwash»	54
3.1.3.4. Système CIP (Clean-In-Place)	54
3.1.3.5. Réservoir de stockage d'eau filtrée et la station de pompage	54
3.1.3.6. Deuxième dosage de SMBS	55
3.1.4. La technique d'osmose inverse (RO)	55
3.1.4.1. Description de la technique	55
3.1.4.2. Système de dosage anticalcaire	55
3.1.4.3. Station de pompage de RO	56
3.1.4.4. Le système d'osmose inverse	56
3.1.4.5. Système de récupération d'énergie	57
3.1.4.6. Le système de nettoyage en place (CIP)	57
3.1.5. Le stade de post-traitement	57

3.1.5.1. Le dosage du chlore	57
3.1.5.2. Reminéralisations (dosage du dioxyde de carbone et de la chaux)	57
3.1.6. Réservoir de stockage d'eau filtrée	59
3.1.7. Station de pompage de l'eau traitée	59
3.1.8. Fosse de neutralisation	59
3.1.9. Exutoire	59
4. SYSTEME DE CONTROLE SCADA	60
IV. CONCLUSION	60
V. STATION DE DESSALEMENT DE HONAINE	61
1. INTRODUCTION	61
2. SITUATION GEOGRAPHIQUE	61
2.1. Délimitation de la zone d'étude	62
2.2. Délimitation Géographique de la station de dessalement	62
3. PRESENTATION DE LA STATION DE DESSALEMENT DE HONAÏNE	63
3.1. Relief	63
3.2. Cadre climatique	64
3.2.1. Les Précipitations	64
3.2.2. Les Températures	65
3.2.3. Les Vents	66
3.2.4. Evaporation (mm)	67
3.2.5. Synthèse climatique	67
3.2.5.1. L'indice d'aridité de DE MARTONNE	67
3.3. Géologie	69
3.4. Hydrologie marine	70
4. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA FUTURE USINE DE DESSALEMENT D'EAU DE MER DE LA VILLE DE HONAINE	70
4.1. Produits chimiques stockés	71
4.2. Produits dangereux mis en œuvre	71
4.3. Installations principales	71
5. CARACTERISTIQUES DE L'EAU DE MER	72
5.1. Caractéristiques de l'eau à traitée	72
5.2. Caractéristiques de l'eau commercialisable	72
6. PROCESSUS DU DESSALEMENT APPLIQUE DANS LA STATION DESSALEMENT DE HONAÏNE	73
6.1. Captage d'eau de mer et filtration primitive	75
6.2. Le prétraitement	75
6.2.1. Le prétraitement chimique	75
6.2.1.1. Traitement par l'hypochlorite de sodium	75
6.2.1.2. Traitement par le chlorure ferrique	76
6.2.1.3. Injection du méta-bisulfite de sodium (Na ₂ O ₅ S ₂)	76
6.2.1.4. Dosage de dioxyde de carbone	76
6.2.1.5. Dosage d'hydroxyde de sodium	76
6.2.2. Prétraitement physique	76
6.2.2.1. Filtration à sable et anthracite	76
6.2.2.2. Filtration à cartouche	77
6.2.2.3. Réservoir d'eau filtrée	77
6.3. L'étape d'osmose inverse	78
6.3.1. Un châssis à membrane	78
6.3.2. Une pompe à haute pression	79

6.3.3. Pompe de recirculation	79
6.3.4. Système d'échange de pression	79
6.3.5. Réservoir de l'eau dessalée	79
6.4. Le Post-traitement	79
6.4.1. L'ajustement de pH	79
6.4.2. La chloration	80
6.5. Les services auxiliaires	80
6.6. Traitement des rejets liquides	81
VI. CONCLUSION	81

Chapitre 5 : INTERPRETATION DES RESULTATS

I. INTRODUCTION	82
II. PROTOCOLE D'ANALYSE	82
1. PRELEVEMENT ET ECHANTILLONNAGE	82
1.1. Sites de prélèvements	82
1.2. Mode de prélèvement	82
III. METHODES D'ANALYSES	83
1. METHODES D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES	83
1.1. Paramètres organoleptiques	83
1.1.1. Test de la couleur	83
1.1.2. Test de l'odeur et la saveur	83
1.1.3. Mesure de la Turbidité	83
1.2. Paramètres physicochimiques	83
1.2.1. Mode opératoire Mesure de la Température	83
1.2.2. Mesure de pH	83
1.2.2.1. Matériels et réactifs	83
1.2.2.2. Mode opératoire	83
1.2.3. Mesure de la conductivité	83
1.2.3.1. Matériels et réactifs	84
1.2.3.2. Mode opératoire	84
1.2.4. Mesure de l'Alcalinité	84
1.2.4.1. Titre alcalimétrique simple (TA)	84
a. Matériel et Réactif	84
b. Mode opératoire	84
1.2.4.2. Titre alcalimétrique complet (TAC)	84
a. Matériel et Réactif	84
b. Mode opératoire	85
1.2.5. Détermination des bicarbonates (HCO_3^-) et Carbonates (CO_3^{2-})	85
1.2.6. Mesure de chlore libre	85
a. Matériel et Réactif	85
b. Mode opératoire (Méthode Colorimétrique)	85
1.2.7. Mesure de la Dureté Total (TH)	86
a. Matériel et Réactif	86
b. Mode opératoire	86
1.2.8. Mesure de calcium (Ca^{2+})	86
a. Matériel et Réactif	86
b. Mode opératoire	87
1.2.9. Mesure de Magnésium (Mg^{2+})	87
1.2.10. Mesure des solides dissous totaux ou salinité (TDS)	87

a. Matériels et réactifs	87
b. Mode opératoire	87
1.2.11. Mesure de l'indice de <i>Langelier</i> ou pH de saturation (LSI)	88
1.3. Paramètres chimiques	88
1.3.1. Ions majeurs	88
1.3.1.1. Cations majeurs	88
a. Calcium Ca ²⁺	88
b. Magnésium Mg ²⁺	88
c. Potassium K ⁺	88
d. Sodium Na ⁺	88
1.3.2. Anions majeur	88
a. Chlorure Cl ⁻	88
b. Sulfates SO ₄ ⁻²	89
i. Méthode de mesure «Chromatographie Ionique»	89
ii. Définition et principe	89
iii. Description du chromatographe ionique: Metrohm	89
Compact IC 881 pro	
1.3.3. Bore B	90
a. Mesure du paramètre	90
IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS	90
1. RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA STATION DE SOUK-TLETA	90
1.1. Le pH	90
1.2. Température	91
1.3. Conductivité électrique	91
1.4. Chlore libre	92
1.5. Alcalinité totale	92
1.6. Indice de saturation de <i>Langelier</i> (LSI)	92
1.7. Dureté totale (TH [°])	93
1.8. Turbidité	93
1.9. Calcium Ca ⁺²	94
1.10. Magnésium Mg ⁺²	94
1.11. Potassium K ⁺	95
1.12. Bicarbonates	95
1.13. Sodium Na ⁺²	95
1.14. Bore	96
2. RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA STATION DE HONAINE	96
2.1. Le pH	96
2.2. Température	97
2.3. Conductivité électrique	97
2.4. Chlore libre	98
2.5. Alcalinité totale	98
2.6. Dureté totale (TH)	99
2.7. Indice de <i>Langelier</i>	99
2.8. La matière solide dissoute totale (TDS)	100
2.9. Bicarbonates	100
2.10. Carbonate	101
2.11. Calcium	101
2.12. Magnésium	102

2.13. Matière en suspension	102
2.14. Le Bore	103
V. CONCLUSION	103
CONCLUSION GENERALE	104
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES PHOTOS	
ANNEXES	

LISTE DES ABREVIATIONS

ABREVIATIONS	SIGNIFICATIONS
OMS	<i>Organisation Mondiale de la Santé</i>
L	<i>Litre</i>
kg	<i>Kilogramme</i>
pH	<i>Potentiel d'hydrogène</i>
mg/L	<i>Milligramme par litre</i>
ppm	<i>Partie par million</i>
g/L	<i>Gramme par litre</i>
Na ⁺	<i>Sodium</i>
Ca ²⁺	<i>Calcium</i>
K ⁺	<i>Potassium</i>
Mg ²⁺	<i>Magnésium</i>
SO ₄ ⁻	<i>Sulphates</i>
Cl ⁻	<i>Chlore</i>
HCO ₃	<i>Bicarbonates</i>
mg	<i>Milligramme</i>
Km ³	<i>Kilomètre cube</i>
°C	<i>Degré Celsius</i>
CMA	<i>Concentrations maximales admissibles</i>
TA	<i>Titre alcalimétrique</i>
TAC	<i>Titre alcalimétrique complet</i>
NO ₃ ⁻	<i>Les nitrates</i>
NO ₂ ⁻	<i>Les nitrites</i>
NH ₄ ⁺	<i>Ammonium</i>
L/J	<i>Litre par jour</i>
mS	<i>micro siemens</i>
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Unit</i>
O ₂	<i>Oxygène</i>
DBO	<i>Demande Biochimique en Oxygène</i>
DCO	<i>Demande Chimique en Oxygène</i>
MO	<i>Matière Organique</i>
µg/L	<i>Microgramme par litre</i>
HP	<i>Haute pression</i>
ONM	<i>Office National de la Météorologie</i>

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale, indispensable à toute forme de vie, sans elle il n'y aurait aucune vie possible sur terre. Notre planète est appelée planète bleue parce qu'elle est constituée 97,2% eau de mer et 2,15% de glace inutilisable directement.

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, les stations de dessalement des eaux construites puisqu'elles permettent de produire de l'eau potable à partir de l'eau de mer ou d'eau saumâtres grâce à des techniques particulières.

L'eau de mer contient des éléments indispensables à la vie (calcium, silicium, carbone, azote, phosphore, bore) et des matières organiques. Ces paramètres constituent un risque imminent pour la santé et la sécurité du consommateur s'il dépasse les valeurs limites fixées par les normes algériennes et l'OMS pour différentes paramètres.

Ce modeste travail consiste à faire une étude sur l'effet du Bore sur la santé (cas de dessalement). Pour cela on a pris deux cas de station de dessalement, la station de Souk-Tleta et la station de Honaine.

Le présent travail est subdivisé en cinq (05) chapitres :

- Le premier chapitre comprend des généralités sur l'eau, potabilité de l'eau et sa qualité avec tous ses paramètres, les caractéristiques des eaux saumâtres.
- Le second, comprend tous ce qui concerne le dessalement, les procédés de dessalement.
- Le troisième, comprend tous ce qui concerne le Bore et ses effets sur la santé humaine.
- Le quatrième chapitre consiste à étudier les deux stations de dessalement : celle de Souk-Tleta et de Honaine avec toutes leurs caractéristiques.
- En fin, le cinquième chapitre comprend tous ce qui est partie pratique traitant le matériel et méthodes ainsi que les résultats d'analyses et leurs interprétations.

Chapitre 1 :
Généralités sur l'eau

Premier Chapitre : **GENERALITES SUR L'EAU**

I. CADRE GENERAL

1. OBJECTIF DE L'ETUDE

Cette étude a pour objectif l'effet du bore sur la santé après consommation de l'eau potable issue de dessalement d'eau de mer.

Pour connaître l'ampleur de l'impact du bore aqueux sur la santé humaine nous devons comparer les analyses de l'eau de mer depuis 2013 à 2018 pour les deux stations de dessalement, celle de Souk-Tleta et celle de Honaine avec les normes de l'OMS de 2006 et les normes Algériennes de 2011.

2. INTRODUCTION

La terre est constituée d'eau au 3/4 de sa surface, mais cette quantité d'eau est salée ou non potable à plus de 99%. L'eau, appelé aussi l'or bleu est un élément vital, précieux et rare. Les êtres vivants (plantes, insectes, hommes, etc...) consomment l'eau, sans elle, il n'y aurait pas de vie sur terre.

Les ressources naturelles en eau douce sont limitées et même épuisées pour certaines régions, et le recours vers les ressources non conventionnelles est primordial. Face à ces besoins d'eau douce pour la consommation des populations, l'irrigation, et l'industrie, il paraît indispensable et logique d'avoir recours à d'autres solutions comme le dessalement de l'eau de mer.

Le dessalement de l'eau est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment). En dépit du nom, il s'agit rarement de retirer les sels de l'eau, mais plutôt, à l'inverse, d'extraire de l'eau douce.

Très généralement, il est plus simple et plus économique de rechercher des sources d'eau douce à traiter (eaux de surface, telles que lac et rivière, ou eau souterraine), que de dessaler l'eau de mer. Cependant, dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douce sont inexistantes ou deviennent insuffisantes au regard de la croissance démographique ou de la production industrielle.

II. GENERALITES

1. L'EAU

L'eau est un fluide, incolore, inodore et sans saveur, mais en même temps singulière, fantasque, exceptionnelle. De valeur nutritive à peu près nulle, elle est cependant le constituant principal de tout être vivant. Lorsqu'elle gèle, elle augmente de volume, se gonfle au lieu de diminuer comme la plupart des autres substances, elle se solidifie et flotte en milieu liquide (MERCIER, 2000).

2. IMPORTANCE DE L'EAU

2.1. L'eau dans l'organisme humain

L'eau est le principal constituant du corps humain. La quantité moyenne d'eau contenue dans un organisme adulte est de 65%, ce qui correspond à environ 45L d'eau pour une personne de 70 kg.

L'organisme élimine en permanence de l'eau. En fin de digestion la plus grande part de l'eau traverse les parois de l'intestin pour aller rejoindre le sang et la lymphe, qui la transportent dans tout l'organisme, notamment vers les reins, la peau et les poumons; elle sera ensuite éliminée de diverses manières (urine, sueur, expiration).

L'homme doit donc chaque jour subvenir à ses besoins en eau, en buvant, mais aussi en mangeant car les aliments en contiennent beaucoup. Pour maintenir l'organisme en bonne santé, les pertes en eau doivent toujours être compensées par les apports. La soif est d'ailleurs un mécanisme par lequel l'organisme "avertit" qu'il est en état de déshydratation (BALDERACCHI, 2009).

2.2. Eau et alimentation

Puisqu'elle ne contient ni protéines, ni glucides et ni lipides, l'eau n'est pas un aliment. Elle ne fournit pas d'énergie brute. Par contre, l'eau est essentielle à la vie. C'est grâce à l'eau que le corps peut utiliser l'énergie présente dans les aliments (DUMOULIN et al, 2009)

Au moment de la digestion, outre l'eau apportée par les boissons et les aliments ingérés, l'organisme fournit lui-même plusieurs litres d'eau à l'estomac et à l'intestin grêle pour faciliter la circulation et la digestion des aliments. En fin de digestion, une faible proportion de toute cette eau descend dans l'intestin qui l'élimine avec les résidus de la digestion. Mais la plus grande part traverse les parois de l'intestin grêle et du colon pour aller rejoindre le sang et la lymphe, qui la transportent dans tout l'organisme, notamment vers les reins, la peau et les poumons (HUOT, 2010).

Sur le plan quantitatif, les activités humaines consommatrices d'eau traitée sont réparties selon les domaines:

- ✓ L'agriculture: 68% (pour l'irrigation),
- ✓ La consommation humaine: 24%,
- ✓ L'industrie: 5%,
- ✓ Production d'énergie: 3% (RODIER, 2009)

3. L'EAU DEMINERALISEE ET RISQUE SUR LA MUQUEUSES INTESTINALES

Il a été démontré que la consommation d'eau à faible teneur en minéraux a un effet négatif sur les mécanismes homéostasiques. L'homéostasie est la tendance de l'organisme à maintenir ses différentes constantes à des valeurs ne s'écartant pas de la normale (l'homéostasie assure, par exemple, le maintien de la température, du débit sanguin, de la tension artérielle, du pH, des volumes liquidiens de l'organisme, de la composition du milieu intérieur, etc.).

Les expériences sur les animaux ont montré à plusieurs reprises que la prise d'eau déminéralisée mène à des hausses de la diurèse, volume de fluide cellulaire supplémentaire, diminution du volume des cellules rouges et certains autres changements hématocrites. Une étude allemande a prouvé que si l'eau distillée est ingérée, l'intestin doit ajouter des électrolytes à cette eau, les prenant des réserves du corps. L'ingestion d'eau distillée mène à la dilution des électrolytes dissous dans l'eau du corps. Une redistribution inadéquate de l'eau du corps peut compromettre la fonction des organes vitaux.

Par le passé, des problèmes de santé aigus furent rapportés chez les escaladeurs de montagne qui avaient préparé leurs boissons avec de la neige n'ayant pas assez d'ions nécessaires. Une plus grave tournure d'une telle condition couplée avec un œdème du cerveau, des convulsions et des acidoses métaboliques fut reportée chez des enfants dont les boissons furent préparées avec de l'eau distillée ou de l'eau en bouteille contenant très peu de minéraux (OMS, 2004).

III. CARACTERISTIQUES DES EAUX SALINES ET SAUMATRES

La principale différence entre l'eau de mer et la saumure est la différence de salinité qui est la concentration en sels dissous en mg/L ou ppm.

D'après P. Danis (DANIS, 2003), la salinité de l'eau de mer peut varier suivant la localisation sur le globe terrestre: la salinité la plus basse se rencontre au voisinage des pôles et elle augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'équateur. Mais l'ordre de grandeur de 35g/L est retenu comme valeur standard de salinité de l'eau de mer (MAUREL, 2006)

Quelques valeurs moyennes de la salinité de l'eau de mer sont données ci-dessous:

- Mer Baltique: 7 g/L
- Océan Atlantique: 35 g/L
- Mer Méditerranée: 38 g/L
- Mer Rouge: 40 g/L
- Mer Morte: 270 g/L

1. LEAU DE MER

L'eau de mer est une solution complexe qui contient tous les éléments indispensables à la vie (calcium, silicium, carbone, azote, phosphore, oligo-éléments), des matières organiques (teneur comprise entre 0,5 et 2mg), des sels naturellement à l'état dissous dont les ions majeurs sont principalement Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , SO_4^- , Cl^- et HCO_3^- , et les gaz présents dans l'atmosphère. L'eau de mer est faiblement alcaline. Son pH étant compris entre 7,5 et 8,4 (RAPINAT, 1982).

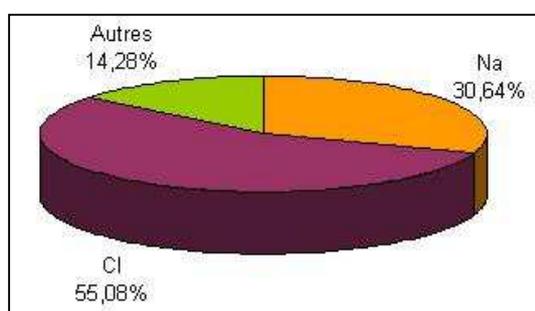
La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). D'autres ions sont présents de plus faibles concentrations. La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 36 g/L. Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées (HUOT, (2010). Le tableau 1 montre la composition typique d'une eau de mer dont la salinité est de 36 g/L.

En sus, les eaux de mer renferment une large variété de matière en suspension (sables, argiles, microorganismes, virus, matière colloïdale, etc....) (El DESSOUKY et al, 2002)

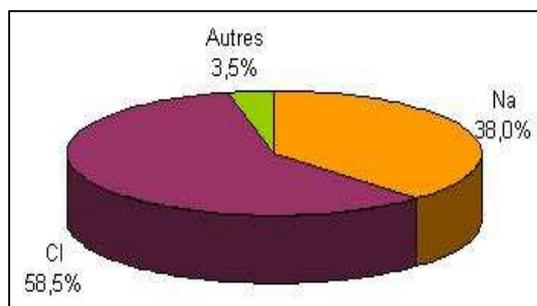
La composition standard de l'eau de mer océanique et celle de la saumure sont données dans les tableaux suivants :

Tabl.1 : Composition standard d'eau de mer (d'après. Danis, 2003)

Composition de l'eau de mer (g/L)	Proportion (%)	
Sodium	11,035	30,64
Magnésium	1,330	3,69
Calcium	0,418	1,16
Potassium	0,397	1,10
Strontium	0,014	0,04
Chlorures	19,841	55,08
Sulfates	2,769	7,69
Bicarbonates	0,146	0,41
Bromures	0,068	0,19
Fluorures	0,001	0,00
Total	36,02	100

**Fig.1** : Représentation en pourcentage des principaux constituants standard d'eau de mer**Tabl.2** : Composition de la saumure après le diapor.

Composition de la saumure (g/L)	Proportion (%)	
Sodium	104,0	38,0
Magnésium	0,4	0,1
Calcium	1,8	0,7
Potassium	1,5	0,5
Chlorures	160,0	58,5
Sulfates	6,0	2,2
Total	273,70	100

**Fig.2** : Représentation en pourcentage des principaux constituants de la saumure d'eau de mer

Parmi les composants d'eau de mer, on trouve le Bore sous forme d'Acide borique avec un taux de 25,2 mg/L soit 5 fois la norme qui est de 5 mg/L dans l'eau de mer.

2. L'EAU SAUMATRE

Généralement on appelle une eau saumâtre une eau saline non potable, de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. En effet, la plupart des eaux saumâtres ont une salinité comprise entre 1 et 10 g/L. Elles se présentent soit sous forme d'eau de surface, soit sous forme d'eau souterraine.

Leur composition chimique varie énormément d'une région à une autre et pour une même région d'une saison à une autre. Ces variations de composition chimique dépendent de plusieurs paramètres: l'eau qui pénètre dans le sol dissout les sels qui composent l'écorce terrestre.

Les principaux sels qui peuvent être dissous en assez grandes quantités sont le CaCO_3 , CaSO_4 , MgCO_3 et NaCl . Indépendamment de la composition chimique et de la structure physique des roches, d'autres facteurs interviennent également parmi lesquels nous citons :

- La vitesse de circulation de l'eau et par conséquent le temps de contact ;
- Les matières déjà dissoutes (la solubilité variant avec la force ionique) : ainsi des eaux chlorurées et gypseuses peuvent contenir en solution des quantités de sulfate de calcium supérieures de beaucoup à la solubilité du sulfate de calcium dans l'eau pure (cas d'eaux souterraines au Qatar) ;
- Le phénomène d'évaporation (évaporation directe ou évapotranspiration), paramètre principalement lié aux conditions climatiques mais aussi à la profondeur du niveau piézométrique des nappes souterraines (influences irrigation) (MAUREL, 2006)

3. REPARTITION DE L'EAU SUR LA TERRE

Près de 70% de la surface de la Terre est recouverte d'eau (97% d'eau salée et 3% d'eau douce dans différents réservoirs), essentiellement sous forme d'océans mais l'eau est aussi présente sous forme gazeuse, liquide et solide.

Selon *M. DITMAN*, le volume approximatif de l'eau de la Terre (tous les réserves d'eau du monde) est de $1\,360\,000\,000\text{ km}^3$. Dans ce volume, la répartition est la suivante:

- $1\,320\,000\,000\text{ km}^3$ (97,2%) se trouve dans les océans,
- $25\,000\,000\text{ km}^3$ (1,8%) se trouve dans les glaciers et les calottes glaciaires,
- $13\,000\,000\text{ km}^3$ (0,9%) sont des eaux souterraines,
- $250\,000\text{ km}^3$ (0,02%) sous forme d'eau douce dans les lacs, les mers intérieures, et les fleuves,
- $13\,000\text{ km}^3$ (0,001%) sous forme de vapeur d'eau atmosphérique à un moment donné.

4. PROPRIETES DE L'EAU

L'eau est une molécule remarquable dont les propriétés sont présentées ci-dessous :

- L'eau a une force de cohésion élevée (difficile à évaporer),
- (Température d'ébullition particulièrement élevée pour une molécule de cette masse molaire),
- Cela permet à une importante phase liquide d'exister aux températures, connues sur terre (phase liquide indispensable à la vie telle que nous la connaissons).
- Ses propriétés de solvant «doux» (un très grand nombre de réactions biochimiques possible),

- Le fait que la densité de l'eau soit plus grande à l'état liquide que solide, (conséquence remarquable : la glace flotte sur l'eau liquide),
- La densité de l'eau douce soit maximale à 4°C fait que la température au fond d'un lac ne peut pas descendre en dessous de 4°C (sauf cas extrêmes). Cela permet à la vie aquatique de survivre aux périodes glacées, car l'eau reste liquide sous son manteau de glace isolant),
- La tension superficielle particulièrement élevée permet le phénomène de capillarité (qui permet, entre autres, à la sève des végétaux de monter) et à de nombreux êtres vivants de se déplacer sur la surface de l'eau (DITMAN, 2009).
- L'eau est aussi la seule substance qui existe en trois états : liquide, solide et vapeur. Toutes les autres substances ne peuvent revêtir que deux états physiques seulement (MAILLARD et al, 2013).

5. CATEGORIE DE L'EAU

Les différents types d'eaux douces sont définis par le département fédéral de l'intérieur (D.F.I). On distingue :

- L'Eau potable,
- L'Eau de source,
- L'Eau minérale naturelle

5.1. L'eau potable

5.1.1. Définition

Une eau potable est une eau douce chimiquement et biologiquement saine, conforme pour un usage lié à la consommation humaine pour éviter toute maladie. Les normes appliquées à une telle eau ne devraient pas être inférieures à celles proposées dans la dernière édition de "Normes internationales pour l'eau potable" publiée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et par les normes Algériennes (voir Annexes 1 et 2). L'eau du robinet est très utilisée par les ménages car son niveau de potabilité est élevé (<https://www.aquaportail.com/definition-7160-eau-potable.html>).

5.1.2. Potabilité de l'eau

La potabilité d'une eau comme l'eau potable, peut intervenir après un processus de potabilisation. La potabilité des eaux, typiquement une eau de source ou l'eau du robinet, est encadrée et définie par des normes variables selon les pays ou les continents, mais dont le critère commun concerne la santé publique.

Concernant l'eau potable, elle fait souvent appel à l'eau osmosée pour rendre l'eau valable et sans risque bactériologique. (<https://www.aquaportail.com/definition-7160-eau-potable.html>).

Dans la plupart des pays développés, l'eau fournie aux ménages, au commerce et à l'industrie, se conforme aux normes de potabilité de l'eau, même si seule une très faible proportion est effectivement consommée ou utilisée dans la préparation des aliments. Les utilisations typiques, à des fins autres que potables, comprennent les chasses d'eau, le lavage, l'irrigation et les arrosages.

Dans de vastes parties du monde, les êtres humains ont un accès insuffisant à l'eau potable et les sources d'utilisation sont contaminées par des vecteurs de maladies, des agents pathogènes, ou à des niveaux inacceptables de toxines ou de solides en suspension. Boire ou d'utiliser cette eau non potable dans la préparation des aliments conduit à des

maladies aiguës et chroniques répandues, et est une cause majeure de décès et de la misère dans de nombreux pays. La réduction des maladies d'origine hydrique est un important objectif de santé publique dans les pays en développement. En France, un site regroupe l'ensemble des points d'eau potable avec les sources d'eau buvable à accès libre et gratuit.

Dans les zones à usage agricole intensif, il est de plus en plus difficile de trouver des puits dont l'eau est conforme aux exigences des normes. En particulier, les valeurs des nitrates et nitrites en plus des concentrations des composés pesticides, souvent, dépassent les seuils autorisés. La raison est généralement l'utilisation massive d'engrais minéraux ou filtration des purines. L'azote appliqué de cette façon, non absorbé par les plantes, est transformé par les microorganismes du sol en nitrates, puis lavé par l'eau de pluie vers la nappe phréatique. (<https://www.aquaportail.com/definition-7160-eau-potable.html>).

5.1.3. Les paramètres de potabilité de l'eau

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques (DEVILLERS et al, 2005)

En ce sens, les normes fixent les concentrations maximales admissibles (CMA), c'est-à-dire la quantité de telle ou telle substance qu'un individu peut absorber sans danger quotidiennement tout au long de sa vie.

5.1.3.1. Paramètres organoleptiques

a. La couleur

Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV. Elle peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques acides humiques, fulviques). Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire (ALPHA, 2005).

b. Goûts et odeurs

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur agréable. La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur. Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère (MAILLARD et al, 2013).

c. 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, la pluviométrie joue un rôle important vis-à-vis de ce paramètre dans les superficielles et souterraines selon leur origine (SAVARY, 2010).

5.1.3.2. Paramètres physico-chimiques

a. La température

La température de l'eau, est un facteur qui agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes (W.H.O, 1978).

b. Le pH

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates (HIMMI, 2003).

c. Matières en suspension

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. (RODIER, 2009).

Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution (HASLAY et al, 1993).

d. La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm^2 de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm . L'unité de la conductivité est le *Siemens* par mètre (S/m). La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau.

e. La dureté totale

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO_3 par litre (DEVILLERS et al, 2005).

Dans l'eau, sont déterminés :

- ✓ La dureté totale ou titre hydrotimétrique TH qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne,
- ✓ La dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium,
- ✓ La dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium,
- ✓ La dureté carbonatée correspond à la teneur en hydrogénocarbonate et carbonate de calcium et de magnésium.

f. Solubilité des gaz dans l'eau

L'eau contient toujours des gaz dissous dont les concentrations dépendent notamment de la température ainsi que de la composition et de la pression de l'atmosphère gazeux avec laquelle elle est en contact.

La loi de HENRY appliquée à la solubilité des gaz dans l'eau pure, prévoit que, la concentration dissoute d'un composé gazeux dans l'eau est directement proportionnelle à la pression partielle de ce composé dans la phase gazeuse au contact de l'eau (RODIER, 2009)

g. L'alcalinité

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 de la présence

d'hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes. D'autres sels d'acides faibles peuvent aussi être dosés et interfèrent dans la mesure : acides humiques, phosphates, citrates, tartrate.

Deux titres qui sont le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC). L'unité utilisée est le degré français ($1^{\circ}f=10\text{mg/L}$ de $\text{CaCO}_3=0,2$ milliéquivalent/L), (RODIER, 2009).

h. Cations et anions

Les eaux douces, qu'elles soient d'origine souterraine ou superficielle sont plus ou moins minéralisées par des sels naturels. Il est souvent très important de connaître précisément cette minéralisation en plus des indications données par les paramètres globaux de type «titre» et «potentiel». Par ailleurs, certains des cations et anions minéraux naturels présents dans les eaux sont considérés comme indésirables ou toxiques selon l'usage auquel l'eau douce est destinée (domestique, agricole, industriel, santé, tourisme, refroidissement...) (RODIER, 2009).

➤ Le Calcium (Ca^{2+})

L'ion calcium est le composé principal de la dureté de l'eau, il se trouve en général à une concentration de 5-500mg/L exprimé en CaCO_3 et 2-200mg en Ca^{2+} . (KEMMER, 1984).

➤ Le Magnésium (Mg^{2+})

La dureté magnésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale, les deux tiers restants correspondent à la dureté calcique, sa valeur est de 10 à 50 mg/L (environ 40-200 mg/L en CaCO_3). (KEMMER, 1984).

➤ Les Bicarbonates (HCO_3^-)

L'ion de bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. On le trouve souvent à une concentration de 5-500mg/L exprimée en CaCO_3 . (KEMMER, 1984)

➤ Le Chlorure (Cl^-)

Puisque tous les sels du chlore sont très solubles dans l'eau, le chlore est fréquent dans les réserves d'eau douce à un taux de 10 à 100 mg/L. (KEMMER, 1984)

i. Les nitrates et les nitrites

Ces paramètres sont des indicateurs pertinents de la dégradation des ressources en eau utilisée pour la production d'eau potable. La présence de nitrates dans l'eau d'alimentation peut avoir plusieurs origines :

- Une origine liée aux activités humaines (rejets industriels, agricoles et urbains) ;
- Une origine naturelle dans la mesure où les nitrates résultent des transformations de l'azote dans les eaux et les sols (cycle de l'azote).

Les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH_4^+), présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par les bactéries du genre 'Nitrosomonas', puis en nitrates par les bactéries du genre 'Nitrobacter'. Les nitrates sont très solubles dans l'eau. Les nitrates peuvent être à l'origine de la formation de nitrites et

de nitrosamines, responsables de deux phénomènes potentiellement pathologiques: la méthémoglobinémie et le risque de cancer (BELGHITI et al, 2013)

j. Pollution des eaux par les métaux lourds

La pollution des eaux se fait par des métaux lourds souvent sous forme de traces, qui peuvent provoquer des intoxications chez l'homme par la consommation de l'eau contaminée en dépassant les limites fixées par la réglementation et l'OMS. Ces métaux lourds sont en particulier : Le cadmium, le fer, le plomb, l'arsenic, le nickel, et le bore. Les principaux effets associés aux éléments ci-dessus sont présentés dans le tableau 03.

Tabl. 3: Principaux effets associés aux métaux lourds (FELLAH, 2010)

Elements	Effets
Arsenic (As)	Toxique, possible cancérigène.
Cadmium (Cd)	Hypertension, dommages sur le foie, Affections respiratoires, troubles rénaux.
Chrome (Cr)	Cancérigène sous forme de Cr (VI), troubles dermatologiques, anémie.
Cuivre (Cu)	Peu toxique envers les animaux, toxique envers les plantes et les algues des niveaux modérés.
Mercure (Hg)	Toxicité chronique et aigue, troubles du système nerveux (mémoire, fonctions sensorielles de coordination).
Nickel (Ni)	Maladies respiratoires, asthme, malformations congénitales, cancérigène.
Plomb (Pb)	Toxique, troubles du système nerveux et cardiovasculaire, fatigue, cancérigène, affection du foie et des reins.
Sélénium (Se)	Essentiel faibles doses, toxique à doses élevées.
Zinc (Zn)	Toxique pour les végétaux de fortes teneurs.

5.1.3.3. Paramètres microbiologiques

Le risque microbiologique d'origine hydrique (ou risque infectieux) correspond à la présence dans l'eau de microorganismes pathogènes, ou potentiellement pathogènes (opportunistes) et ce en quantité supérieure au seuil d'infection fixé par l'OMS. Parmi ces microorganismes, on distingue les virus, les bactéries et les protozoaires. Le risque microbiologique provient donc du pouvoir pathogène de ces germes qui est conditionné non seulement par les propriétés de l'agent infectieux, mais aussi par la réceptivité de l'hôte. Il convient de préciser que la mise en œuvre de procédés élémentaires de désinfection telle que la chloration de l'eau, permet d'éradiquer totalement les fléaux tels que le choléra, la dysenterie bacillaire ou les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes (Tableau 04 (LEBLEU, 2007)

Tabl. 4 : Principales maladies d'origine hydrique et agents microbiologiques responsables (HASLAY et al, 1993).

Origine	Maladies	Agents pathogènes
Parasitaire	Dysenterie amibienne	Entamoebahistolycyca
	Gastro-entérites	Giardia lamblia Cryptosporidiumparvum
Bactérienne	Fievrestyphoïde et paratyphoïde	Salmonella typhi
	Dysenterie bacillaire	Salmonella paratyphi A et B
	Cholera	Shigelle
	Gastro-entérites	Vibrio Cholera
Virale	Hépatites A et E	Virus Hépatites A et E
	Poliomyélite	Virus Poliomyélite
	Gastro-entérites	Rotavirus Enterovirus Calcivirus Adenovirus

5.1.4. Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation

Les normes s'appuient en général sur les travaux établissant les concentrations maximales admissibles (CMA), c'est-à-dire la quantité de telle ou telle substance qu'un individu peut absorber sans danger quotidiennement tout au long de sa vie.

Sur cette base, on calcule la quantité maximale pouvant être apportée par l'eau, en prenant une marge de sécurité confortable. Tout dépassement des normes ne comporte pas nécessairement un risque pour la consommation. Elles ont été fixées avec beaucoup de prudence, de telle sorte qu'un individu de 70 kg peut consommer sans danger 2 L/j d'eau contaminée à ces teneurs pendant 70 ans. Il n'en demeure pas moins souhaitable de maintenir au plus bas les concentrations de ces produits dans l'eau de boisson (MAUREL, 2006) & (AGGAB, 2014).

5.1.5. Normes de qualité des eaux potables

Les eaux potables sont toutes les eaux qui, soit en l'état, soit après traitement, sont destinées à la boisson, à la cuisson, à la préparation d'aliments ou à d'autres usages domestiques, qu'elles soient fournies par un réseau de distribution, à partir d'un camion-citerne ou d'un bateau-citerne, en bouteilles ou en conteneurs, y compris les eaux de source, etc. Toutes les eaux utilisées dans les entreprises alimentaires, qui peuvent affecter la salubrité de la denrée alimentaire finale, y compris la glace alimentaire d'origine hydrique (DITMAN, 2009).

5.1.5.1. Paramètres physiques et chimiques

Tout élément physique ou chimique constitutif de la structure naturelle d'une eau et que l'on doit prendre en compte lors de l'analyse de l'eau (Terminalf, 2018)

a. La température

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré (French ACF. 1)

b. La Conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est facile, et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau à 25°C.

Tabl. 5: Les Normes de Conductivité

$C = 0.005 \text{ mS/cm}$	Eau déminéralisée
$10 < C < 80 \text{ mS/cm}$	Eau de pluie
$30 < C < 100 \text{ mS/cm}$	Eau peu minéralisée, domaine granitique
$300 < C < 500 \text{ mS/cm}$	Eau moyennement minéralisée, domaine des roches carbonatées (karst)
$500 < C < 1000 \text{ mS/cm}$	Eau très minéralisée, saumâtre ou saline
$C > 30000 \text{ mS/cm}$	Eau de mer.

c. Le pH

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau:

Tabl. 6: Les différentes classes du pH

$\text{pH} < 5$	- Acidité forte, $\text{pH}_{\text{Coca Cola}} = 3$, $\text{pH}_{\text{Jus d'orange}} = 5$ - Présence d'acide minéral ou organique dans les eaux naturelles
$\text{pH} = 7$	pH neutre
$7 < \text{pH} < 8$	Neutralité approchée, majorité des eaux de surfaces
$5.5 < \text{pH} < 8$	Eaux souterraines
$\text{pH} > 8$	Alcalinité

d. La Turbidité

Elle permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau. La turbidité est causée par les particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Elle se mesure sur le terrain à l'aide d'un tube plastique transparent.

Unités:

1 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) = 1 JTU (Jackson TU) = 1 FTU (Formazin TU).

Les classes de turbidités usuelles sont définies dans le tableau suivant:

Tabl. 7: Classement de la Turbidité

NTU < 5	Eau incolore
5 < NTU < 30	Eau légèrement colorée
NTU > 50	Eau colorée
NTU > 200	Eau de surface "Africaine"

e. L'Oxygène dissous

L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que la pression partielle d'oxygène dans le liquide et l'air soit en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique (donc de l'altitude), de la température et de la minéralisation de l'eau: la saturation en O_2 diminue lorsque la température et l'altitude augmente.

La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie, et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse.

f. La DBO₅, DCO et Oxydabilité

La DBO (Demande Biochimique en Oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro-organismes, dans des conditions données. Les conditions communément utilisées sont 5 jours (on peut donc avoir une dégradation partielle) à 20°C, à l'abri de la lumière et de l'air: on parle alors de DBO₅.

La DCO (Demande Chimique en Oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant: le bichromate de potassium.

Cette méthode donne donc une image plus ou moins complète des matières oxydables présentes dans l'échantillon (certains hydrocarbures ne sont par exemple pas oxydés dans ces conditions). L'objectif de la DCO est donc différent de celui de la DBO.

La DCO peut être réalisée plus rapidement que la DBO ("oxydation forcée"), et donne une image de la matière organique présente même si le développement de micro-organismes est impossible (présence d'un toxique par exemple). Le résultat s'exprime en mg/L d'O₂.

Les échelles de valeur fréquemment rencontrées sont exprimées dans le tableau suivant:

Tabl. 8: DBO, DCO et oxydabilité

Situation	DBO ₅ , en mg/L d'O ₂
Eau naturelle pure et vive	< 1
Rivière légèrement polluée	1 < C < 3
Égout	100 < C < 400
Rejet station d'épuration	20 < C < 40

Généralement, la DCO = 2 à 1,5 x DBO₅. La relation empirique suivante lie la DBO₅, DCO et la matière organique de l'échantillon (MO):

$$MO = (2DBO_5 + DCO)/3$$

5.1.5.2. Les Ions majeurs

a. Calcium et Magnésium

Le calcium Ca²⁺ et le magnésium Mg²⁺ sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentés dans la plupart des eaux.

b. Sodium et potassium

Le cation sodium (Na⁺) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites). La roche Halite (évaporite NaCl) et le potassium (K⁺) est assez abondants sur terre, mais peut fréquent dans les eaux. Le potassium est dans les roches cristallines (mais dans des minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium), les évaporites (sylvinite KCl) et les argiles.

c. Sulfate

Les origines des sulfates dans les eaux sont variées. Les origines naturelles sont l'eau de pluie.

d. Chlorures

L'ion Cl⁻ est présent en petite quantité sur la terre. La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires.

5.1.5.3. Paramètres chimiques de l'eau

a. 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).

b. 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 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 Pb²⁺) qui se dissout dans l'eau (CHAUSSE et al, 2003)

c. 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)

d. 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).

e. 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/L, respectivement, les concentrations dans l'eau du robinet peuvent être beaucoup plus élevées à cause de la dissolution de zinc à partir de tuyaux (OMS, 2003).

f. 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/L. 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).

g. 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).

h. 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).

i. 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 dé-nitrifiante (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).

j. 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.

k. 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 10µg/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 µg/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).

5.1.5.4. Paramètres microbiologiques des eaux potables

a. Escherichia-Coli

Appelé également colibacille ou *E.coli*, est une bactérie intestinale des mammifères très commune chez l'humain. La recherche de *Echerichia-coli* dans l'eau d'alimentation est faite pour apprécier sa potabilité, et sa présence dans l'eau est le témoin d'une contamination fécale récente et la rend impropre à la consommation, elle se développe en 24 heures à 37°C sur les milieux gélosés, en donnant de colonies rondes, lisse, à bord régulier de 2 à 3mm de diamètre (LONG, 2008).

b. Salmonella

C'est une entérobactérie responsable de gastro-entérite, toxi-infection alimentaire et des fièvres typhoïde et paratyphoïde (*S. typhi* et *S. paratyphi*). La transmission de ces deux derniers se fait surtout par l'eau potable lors des épidémies étendues. Mais le contact direct ou les aliments peuvent également être en cause dans la propagation. Le contrôle bactériologique strict des eaux de consommation ainsi que la surveillance du réservoir de germes (porteurs) expliquent la diminution spectaculaire des fièvres typhoïdes et paratyphoïdes dans les pays à hygiène développée (BRANDS et al ,2005).

c. Vibrio

Ce sont des petits bacilles, de formes fréquemment incurvées dites "en virgule", l'espèce la plus connue du genre *Vibrio* est *Vibrio cholerae*: agent responsable du choléra. La transmission se fait par voie orale à partir du milieu extérieur (eaux ou aliments) souillé par les selles, le vibriion cholérique à une extraordinaire capacité de multiplication (LARBI et al, 2011).

d. Clostridium

Ce sont des bactéries très répandues dans la nature, elles se trouvent dans les intestins des animaux, elles peuvent provoquer des maladies mortelles. La plupart des espèces de *Clostridium* sont des bactéries telluriques, mais sont également isolées dans l'intestin et les selles de l'homme et de divers animaux. Ainsi la présence de *clostridium* dans les eaux ou les aliments par exemple signe en général, une contamination fécale (LEYRAL et al, 2007).

e. Streptococcus

Sont des bactéries fécales trouvés dans l'eau, l'air et le sol; Parmi les types qui provoquent des maladies on peut citer *Streptococcus pyogenes*, qui sont responsables de l'inflammation septique des amygdales, des glandes lymphatiques et des angines. (LEYRAL et al, 2007).

5.1.6. Qu'est-ce qu'une norme ?

Un paramètre est un élément dont on va rechercher la présence et la quantité .La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser, ou une limite inférieure à respecter.

Un critère donné est rempli, lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Un paramètre ne devient un critère qu'à partir du moment où il est choisi pour établir une norme (voir l'annexe 1 et 2 respectivement sur les normes algériennes 2011 et OMS).

La norme fixe pour chacun des paramètres retenus comme critères une valeur chiffrée, qui définit soit un maximum à ne pas dépasser, soit une quantité minimum, soit encore une fourchette comprise entre un minimum et un maximum (AUBRIL CARHON, 2013).

5.2.L'eau de source

On entend par eau de source, de l'eau potable conditionnée directement à la source, non traitée ou uniquement traitée au moyen des procédés admis pour l'eau minérale naturelle.

5.3.L'eau minérale naturelle

C'est une eau souterraine microbiologiquement irréprochable, provenant d'une ou de plusieurs sources naturelles ou de captages Souterrains artificiels.

IV. CONCLUSION

L'eau est incolore, inodore et sans saveur, de valeur nutritive à peu près nulle, elle est cependant le constituant principal de tout être vivant. L'organisme humain peut vivre pendant près d'un mois sans manger mais ne peut survivre que quelques jours sans boire.

L'eau potable est une eau qui est apte à être consommée par l'être humain, cette dernière peut contenir des substances polluantes. C'est pourquoi, elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée.

*Chapitre 2 :
Généralités sur le
dessalement*

Deuxième Chapitre : **GENERALITES SUR LE DESSALEMENT**

I. INTRODUCTION

De plus en plus de pays sont confrontés à une pénurie d'eau, en raison d'une aridité climatique, d'une pression démographique importante (notamment sur les littoraux où 40% de la population mondiale vit à moins de 100 Km d'un littoral), de techniques agricoles gourmandes en eau, mais aussi de l'élévation du niveau de vie qui se traduit par une consommation par habitant en hausse.

Ainsi le réchauffement climatique conduit-il à une situation de stress hydrique jusque-là inhabituelle pour de nombreux pays qui se tournent vers le dessalement de l'eau de mer car les solutions ne sont pas légion: soit il conviendra de limiter la consommation, ce qui paraît difficile pour beaucoup alors que de nombreux besoins minimaux ne sont pas couverts, soit il faudra trouver de nouvelles ressources (barrages, aquifères, etc.) ou encore mieux utiliser celles qui existent (recyclage).

Pourtant, l'eau est abondante sur la planète; mais la plupart du temps elle est salée (océans, mers). Cependant, si le dessalement ouvre de son coût économique, puis son coût environnemental.

Les besoins en eau potable sont à l'origine de l'idée ancienne, du dessalement de l'eau de mer. Mais ce n'est que récemment que cette technique a atteint un stade résolument industriel et ce pour répondre à une demande exponentielle, notamment en raison de l'évolution de la consommation humaine par habitant (BOUKLIKHA et al ,2016).

II. GENERALITES SUR LE DESSALEMENT

1. DEFINITION DU DESSALEMENT DE L'EAU DE MER

Le dessalement de l'eau (s'appelle également dessalage ou désalinisation) est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce (potable ou, plus rarement en raison du coût, utilisable pour l'irrigation) à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment). En dépit du nom, il s'agit rarement de retirer les sels de l'eau, mais plutôt, l'inverse, d'extraire de l'eau douce.

Très généralement, il est plus simple et plus économique de rechercher des sources d'eau douce à traiter (eaux de surface, telles que lac et rivière, ou eau souterraine), que de dessaler l'eau de mer. Cependant, dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douce sont inexistantes ou deviennent insuffisantes au regard de la croissance démographique ou de la production industrielle.

L'eau de mer est salée à peu près à 35 g/L en général. Dans des régions comme le Golfe Persique, la salinité atteint 42 g/L. Pour séparer le sel, il faut, d'un point de vue purement théorique et sans perte d'énergie (dessalement isentropique), environ 563 Wh/m³. Les systèmes de dessalement se caractérisent par leur rendement et le taux de sel résiduel.

La technologie de dessalement de l'eau de mer est surtout utilisée au Moyen-Orient (Emirats arabes unis : usine de Jebel Ali, la plus grande du monde avec une capacité de

l'ordre de 900 000 m³/j, usine de Fujairah, Arabie saoudite : usine de Jubail). Ces États qui ont d'importantes ressources en combustibles fossiles utilisent majoritairement le procédé de vaporisation.

En 2015, au Qatar 99% de l'eau consommée provient du dessalement; les Émirats arabes unis représentent 14% de la production mondiale, au 2^{ème} rang derrière l'Arabie Saoudite, l'osmose inverse assure 20% de leur production (COSSARDEAUX, 2016).

Les autres pays ont davantage développé l'osmose inverse :

- * Israël : usines d'Ashkelon, Palmachim, Hadera, Sorek, puis Ashdod fin 2015. En 2016, 75% de l'eau potable d'Israël devrait venir du dessalement de l'eau de mer, selon l'entreprise publique de l'eau Mekorot, contre 30% en 2010. Sorek, la plus grande usine du monde de dessalement d'eau de mer, à elle seule, en produit 20%; elle produit 624 000 m³/j depuis 2013.

- * Jordanie : usine d'Amman,

- * Tunisie : usine de Djerba,

- * En Amérique latine (Mexico, Chili : usine de Minera Escondida), Suez a remporté en septembre 2016 un contrat pour la construction et l'exploitation pendant 37 ans d'une usine de dessalement à Playas de Rosarito, dans l'État de Basse Californie, sa capacité devrait atteindre 190 000 m³/j d'eau potable en 2020, puis, à l'issue d'une seconde phase de travaux, 380 000 m³ en 2024, ce qui en fera la plus grande usine de dessalement d'eau de mer du continent américain.

- * En Espagne (usine de Carboneras, Baléares : usine de Baya de Palma), Malte.

- * Les États-Unis sont placés en 2^{ème} position derrière le Moyen-Orient pour le filtrage d'eaux saumâtres. Une usine de dessalement de l'eau de mer a été construite en 1993 dans la baie de Tampa, en Floride, pour pallier le manque d'eau.

Une usine de 200 000 m³/j à osmose inverse est en construction à Carlsbad au nord de San Diego en Californie pour assurer 7% des besoins du comté à partir de 2016, à un coût de 1,1 \$/m³ (80 c€/m³) contre 0,60 \$/m³ (43 c€/m³) pour l'eau provenant du Colorado; 17 projets d'usines de dessalement sont en cours tout au long de la côte californienne.

L'Algérie a construit 13 usines de dessalement en 2011 un peu partout sur son territoire et projette de construire 43 usines pour 2019, dont la plus grande usine de dessalement d'eau de mer au monde (utilisant la méthode de l'osmose inverse) à El-Magtaâ (inaugurée le 10 novembre 2014) dans la Wilaya d'Oran. D'une capacité de 268 000 m³/j prévue en février 2015, qui atteindra 500 000 m³/j à l'horizon 2017. L'objectif national à atteindre était de 2 300 000 m³/j en 2011.

III. SITUATION DU DESSALEMENT

1. SITUATION DU DESSALEMENT DANS LE MONDE

Le dessalement de l'eau est en très forte croissance dans le monde. L'approvisionnement en eau potable sur le plan quantitatif et qualitatif s'impose de plus en plus, parallèlement aux risques de pollutions (vecteurs de maladies, toxines ou matières en suspension ou agents pathogènes) qui perdurent à chaque étape du parcours de l'eau. La disponibilité géographique en eau douce est inégalement répartie dans le monde.

Face à cette réalité, le dessalement de l'eau de mer est venu s'imposer pour pallier à ce déséquilibre. La capacité installée de dessalement augmente chaque année en moyenne de plus de 10%.

La Chine a annoncé 1 million de m³/j d'eau de mer traitée en 2010 et jusqu'à 3 millions de m³/j en 2020.

60% des besoins en eau douce des pays du Golfe Persique sont satisfaits par le dessalement d'eau de mer. En Méditerranée, la production artificielle d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre souterraine a débuté d'abord dans des situations d'isolement insulaire (Malte, Baléares, Dalmatie, Chypre, Cyclades...), littorales (Libye) et désertiques (Algérie), et essaime aujourd'hui très rapidement tout autour de la Méditerranée.

L'Algérie et l'Espagne ont clairement opté pour cette option pour résoudre leur problème de pénurie. A ce jour, la Méditerranée représente environ un quart du dessalement mondial. Vers 2030, la région pourrait approcher le chiffre du dessalement mondial actuel (ABDERRAZAK, 2014).

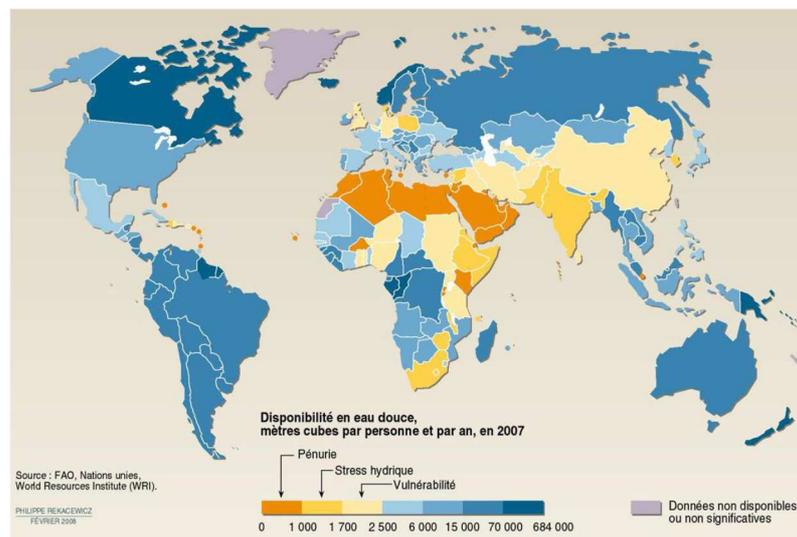


Fig.3: Disponibilité en eau douce par état en 2007 en m³/habitant/an (FAO, 2008).
Food Agency Organization. (www.cieau.com)

2. SITUATION DU DESSALEMENT EN ALGERIE

A la suite d'une sécheresse vécue par l'Algérie depuis plus de deux décennies et la demande en eau croissante. Le pouvoir public a décidé de s'orienter vers une politique de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles, à savoir le dessalement d'eau de mer afin de pouvoir compenser le déficit en eau enregistré.

C'est ainsi que le recours au dessalement d'eau de mer comme solution alternative s'avère de plus en plus nécessaire et présente les avantages suivants:

- Un littoral de 1200 Km;
- La population actuelle concernée par le littoral est de 11 million habitants;
- Les industries grandes consommatrices d'eau se trouvent à proximité de la mer ce qui réduit davantage les prix de revient du mètre cube d'eau;
- Le domaine de dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée technologique remarquable, grâce au développement des différents procédés;
- La disponibilité de la ressource énergétique ou la combinaison de sa production;

➤ Le coût du mètre cube d'eau dessalée est en nette régression, alors que le coût du mètre cube d'eau conventionnelle est en nette progression (grand transfert) (BENSALEMA, 2013).

Tabl. 9: Les principales unités de dessalement en Algérie (BENSALEMA, 2013).

Nom	Wilaya	Année de mise en service	Capacité (m ³ /j)
Kahrama Arzew	Oran	2005	90 000
El Hamma	Alger	2008	200 000
Skikda	Skikda	2009	100 000
Beni saf	Ain T'émouchent	2009	200 000
Mostaganem	Mostaganem	2010	200 000
Honaine	Tlemcen	2010	200 000
Ouled Ben Ayed	Tlemcen	2010	200 000
Douaouda	Alger	2010	120 000
Cap Djenet	Boumerdes	2010	100 000
Mactaa	Oran	2010	500 000
Oued Sebt	Tipaza	2010	100 000
Tenés	Chlef	2010	200 000
Echatt	El Tarf	2011	50 000
Total	-	-	2260 000

VI. ÉTAPES DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER

Le processus de dessalement d'eau de mer se fait en quatre étapes (ABDERRAZAK, 2014) :

- ✓ Le captage de l'eau de mer,
- ✓ Le prétraitement,
- ✓ Les différents procédés de dessalement,
- ✓ Le post traitement ou minéralisation.

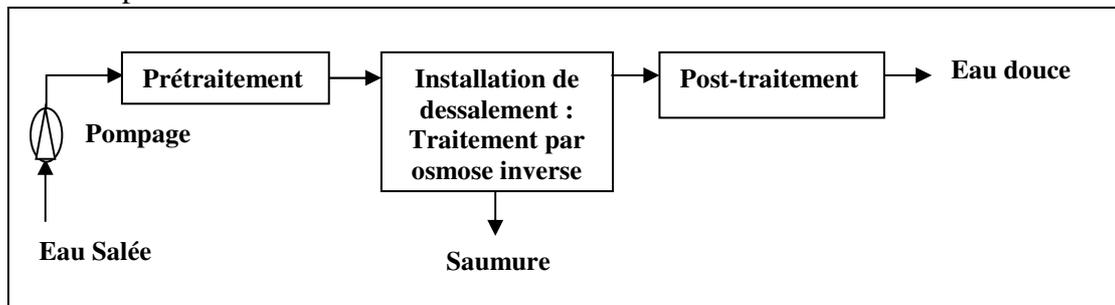


Fig.4 : Schéma général d'une installation de dessalement (MAUREL, 2006)

1. CAPTAGE D'EAU DE MER

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

➤ Les forages côtiers: soit verticaux soit sous forme de galeries horizontales permettant d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stables,

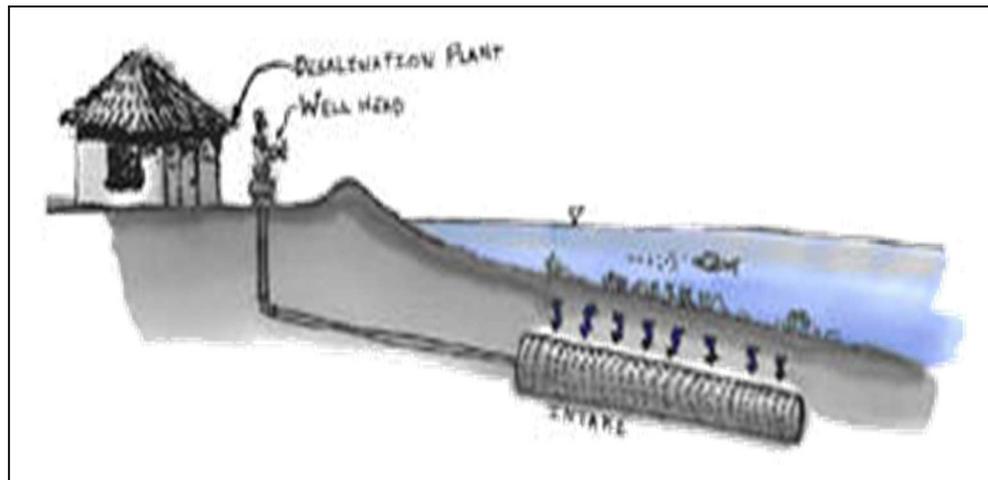


Fig. 5: Forage côtier.

➤ La prise d'eau de surface: peut être faite en pleine mer. Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la côte, protégé des pollutions et des forts courants (MAUREL, 2006).

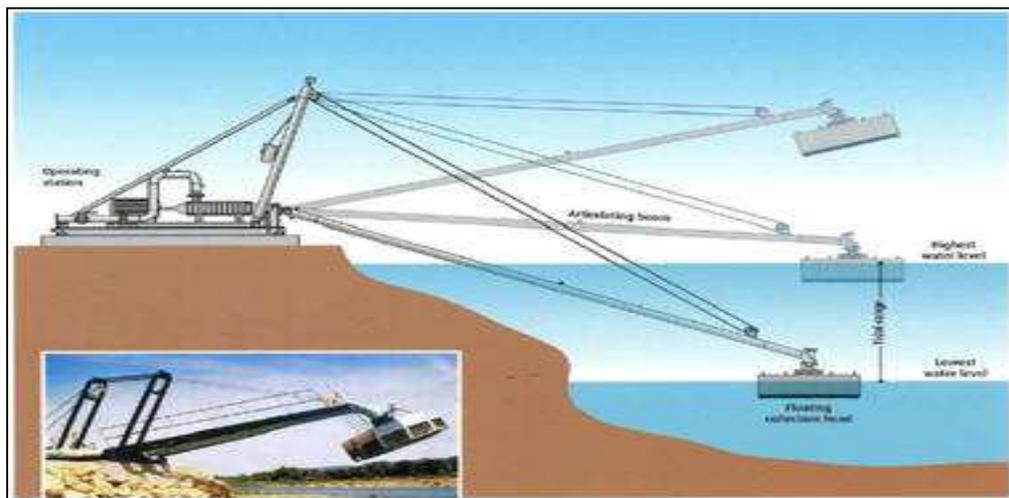


Fig. 6: Prise l'eau de surface.

2. LE PRETRAITEMENT

Le prétraitement de l'eau de mer avant osmose inverse est absolument nécessaire car les membranes d'osmose inverse sont très sensibles au colmatage et une bonne qualité de l'eau en entrée des modules d'osmose inverse est indispensable pour assurer des performances stables de l'osmose inverse sur le long terme. Les procédés de prétraitement peuvent être divisés en deux catégories : les prétraitements physiques et les prétraitements chimiques :

- Les prétraitements physiques incluent les pré-filtres mécaniques, les filtres à cartouche, la filtration à sable et la filtration membranaire.
- Le prétraitement chimique consiste en l'addition d'inhibiteurs d'entartrage, de coagulants, de désinfectants et de poly-électrolytes (TANSAKUL, 2009).

2.1. Coagulation-floculation

La coagulation permet de favoriser l'agglomération des colloïdes en diminuant les forces de répulsion électrostatique (liées aux charges superficielles). La floculation consiste à

agglomérer ces particules en micro-flocs puis en flocs plus volumineux décantables. Les substances les plus couramment utilisées sont :

- Pour la coagulation : la chaux, l'alun, le sulfate ferrique et le chlorure ferrique,
- Pour la floculation : les polymères organiques à longues chaînes de masse molaire élevée (BRGM, 2010).

2.2. La filtration

Dans le cas de la filtration sur sable, la séparation s'effectue le long d'un milieu poreux (le sable), plus ou moins tortueux, qui se colmatara en profondeur au fur et à mesure de l'accumulation des particules en suspension lors du passage du fluide. Plusieurs autres types de filtres reposent sur ce principe (filtre à cartouche, filtre à disque,...). Un milieu poreux représente un ensemble de grains ou d'agrégats autour desquels des espaces vides, appelés pores, sont interconnectés ou non. Le matériau doit être perméable à un écoulement de fluide (CASTAING, 2011).

2.3. Le Traitement chimique

Après filtration à sable, des équipements de dosage font partie de prétraitement chimique appliqué à l'eau de mer avant l'entrée dans les membranes (acidification, addition de bisulfite de sodium et dosage d'anti-incrustant (CHENAOUÏ, 2010).

2.4. La filtration de sécurité ou microfiltration

La microfiltration est assurée par l'utilisation d'un filtre à cartouche type bobiné. Entre le collecteur d'entrée et de sortie, il y'a un manomètre différentiel muni de contact électrique pour alarme, qui indiquera quand il sera nécessaire de remplacer les cartouches filtrantes (CHENAOUÏ, 2010).

a. Pourquoi un prétraitement?

Les membranes d'osmose inverse à film mince sont sujettes au colmatage par des matières en suspension présentes dans l'eau de mer. Les différents colmatages possibles sont:

Tabl. 10: Les types de colmatages

Colmatage	Cause	Prétraitement approprié
Biologique	Bactéries, micro-organismes, virus, protozoaires.	Chloration
Particulière	Sable, argile (turbidité, solides en suspension)	Filtration
Colloïdale	Complexes organiques et inorganiques, particules colloïdales, micro-algues	Coagulation +Filtration optionnel : Floculation/décantation
Organique	Matière organique (MO) : acides humiques et flaviques, biopolymères.	Coagulation +Filtration +Adsorption sur charbon actif : Coagulation +Ultrafiltration
Minéral	Calcium, Magnésium, Baryum ou Strontium, Sulfates et Carbonates	Anticalcaire, Acidification
Oxydant	Chlore, Ozone, $KMnO_4$	(Méta) bisulfite de soude, Charbon actif en granulés.

b. Procédés typiques de prétraitement du dessalement d'eau de mer

Une manière très économique d'empêcher le colmatage biologique est la chloration d'eau de mer. Malheureusement, le chlore oxyde le matériau de la membrane et c'est pour cela que seulement 0.02 mg/L peut être toléré.

Un procédé standard de déchloration est l'injection de bisulfite de soude ou métabisulfite, qui agit comme un désactivant pour le chlore. Une autre solution est l'utilisation de charbon actif en granulés.

Les matières organiques (particules et colloïdales) peuvent être enlevés par un traitement conventionnel, à savoir une coagulation suivie d'une filtration sur média pour une eau peu trouble. Des étapes additionnelles comme la floculation et la décantation sont ajoutées dans le cas d'eaux très troubles provenant d'eaux peu profondes.

Le traitement non conventionnel pour les matières organiques (particules et colloïdales) est l'ultrafiltration.

Un anticalcaire devrait être ajouté avant le passage dans les membranes pour disperser les carbonates de calcium et les précipités de sulfate afin d'éviter l'entartrage.

- Une filtration fine (5micron) est requise juste avant le passage au travers des membranes d'osmose inverse afin d'éviter que des débris ou des particules de sable viennent endommager les membranes <https://www.lenntech.fr>.

3. LES DIFFERENTS PROCEDES DE DESSALEMENT

Plusieurs méthodes permettent la séparation de l'eau de mer en une eau douce contenant une faible concentration des sels dissous, et une solution concentrée en sels. On citera notamment la distillation, l'osmose inverse, la congélation et l'électrodialyse.

Cependant, les deux technologies utilisées actuellement, à l'échelle industrielle, sont celles basées sur la distillation et l'osmose inverse (MANDRI, 2011).

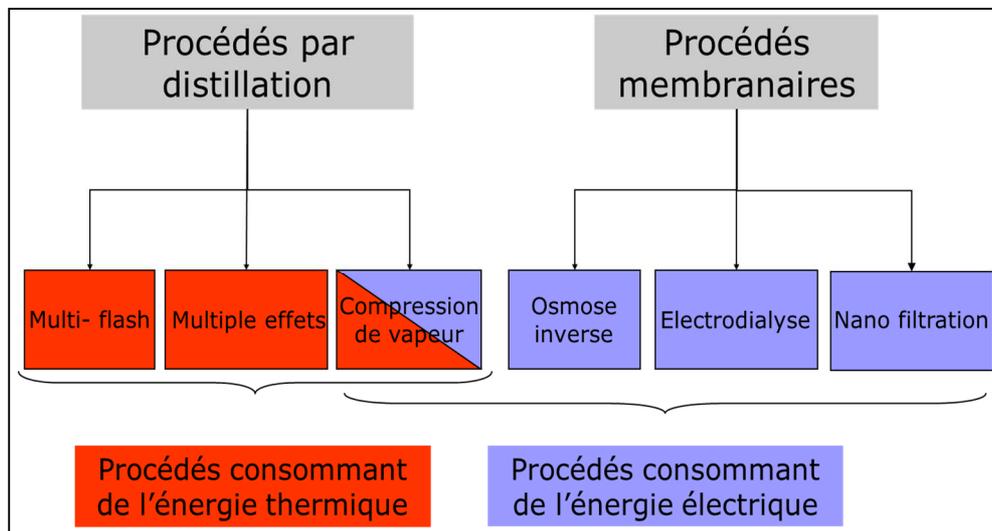


Fig. 7 : Principaux procédés industriels de dessalement d'eau de mer.
(Source : Philippe Bandelier).

3.1. Procédés de distillation

L'eau de mer chauffée produite de la vapeur d'eau qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau pure.

a. Distillation à simple effet

Permet de reproduire le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer. La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par de l'eau de mer froide. Un groupe électropompe soutire l'eau condensée, un deuxième, l'eau de mer concentrée (TATA-DUCRU, (2009).

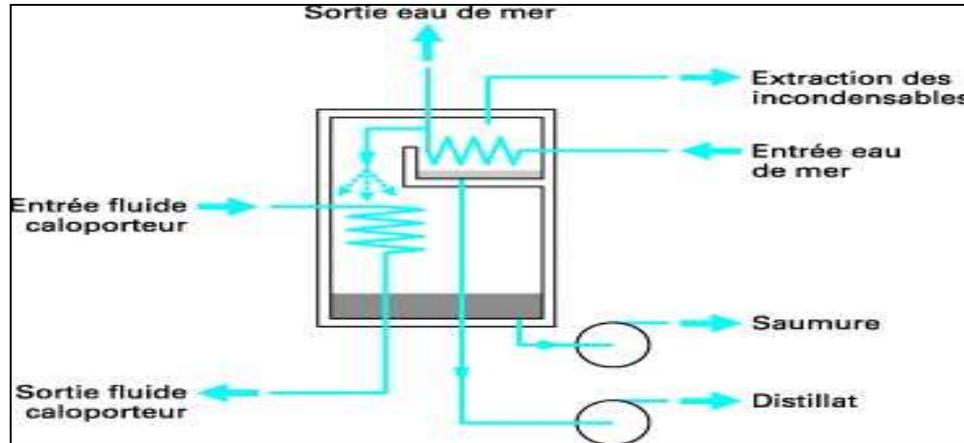


Fig. 8 : Distillation à simple effet.
(Source : SIDEM)

b. Distillation à multiples effets

Son objectif est d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur, simple effet. On sait que la température d'ébullition de l'eau varie avec la pression. On peut 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 faible et ainsi de suite (MAUREL, 2006).

c. Distillation avec compresseur de vapeur

Consiste à une revalorisation de la vapeur d'eau du dernier effet par compression grâce à un compresseur mécanique ou via un éjecteur, on parle alors de thermo compression. La compression par éjecteur nécessite par ailleurs une vapeur motrice (SAMAKÉ, 2013).

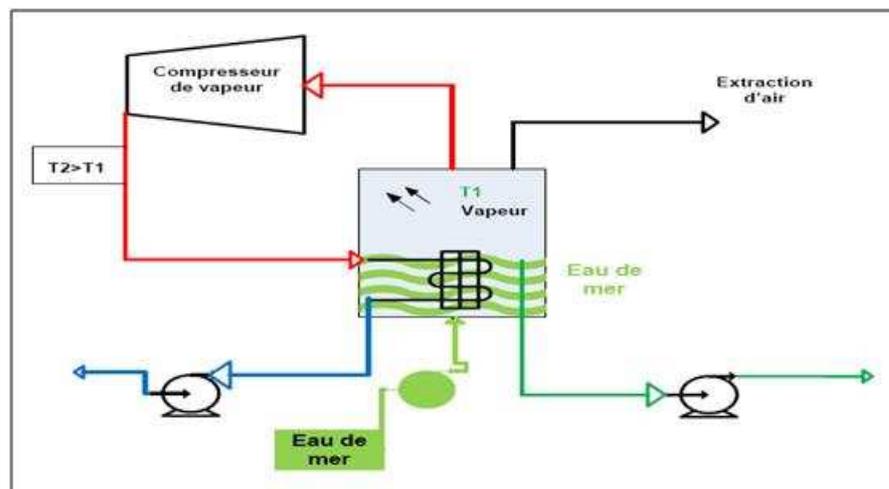


Fig.9 : procédés de dessalement par compression de vapeur (source SENHADJI, 2014).

d. Distillation par détente successive ou procédé 'Flash'

Ce procédé dit «Flash» consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage. Lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation partielle instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore pour se condenser sur les tubes du condenseur placé en haut de l'enceinte et l'eau liquide est recueillie en dessous des tubes. C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation. L'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène Flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle (TAHRI et al, 2010).

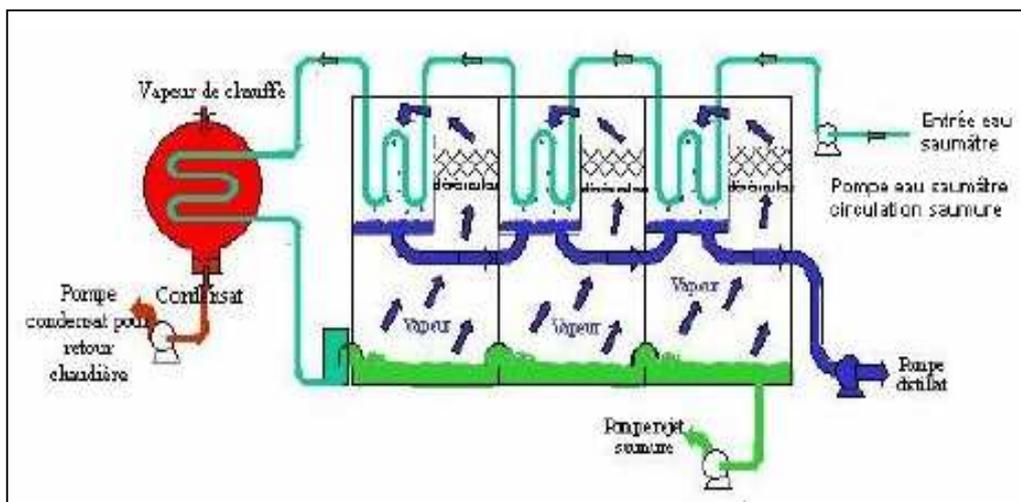


Fig. 10: Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) à 3 étages. (Source : Culture Sciences Chimie)

3.2. Procédés membranaires

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. Deux procédés utilisant de telles membranes sont actuellement commercialisés. Ce sont l'électrodialyse et l'osmose inverse.

a. L'électrodialyse

L'électrodialyse fonctionne sur le principe du rejet d'ions grâce à leur charge. Les techniques de l'électrodialyse sont : la dialyse et l'électro-désionisation.

On distingue trois types d'électrodialyse :

i. L'électrodialyse dite conventionnelle

Le terme dialyse désigne la diffusion d'une solution à travers une membrane qui lui est perméable. L'électrodialyse désigne le transfert d'ions à travers une membrane qui leur est perméable sous l'effet d'un champ électrique.

ii. L'électrodialyse à membrane bipolaire

Les membranes bipolaires sont constituées d'une face perméable aux anions et d'une face perméable aux cations. Sous l'effet d'un champ électrique, l'eau présente au

cœur de la membrane est dissociée en ions (H^+) et (OH^-) respectivement par les faces cationiques et anioniques.

iii. L'électrolyse à membranes

L'électrolyse à membranes est la technique électro-membranaire dans laquelle on couple les effets d'une électrodialyse (migration d'ions au travers d'une membrane semi-perméable) à ceux d'une électrolyse (réaction aux électrodes) (BERLAND et al, 2002).

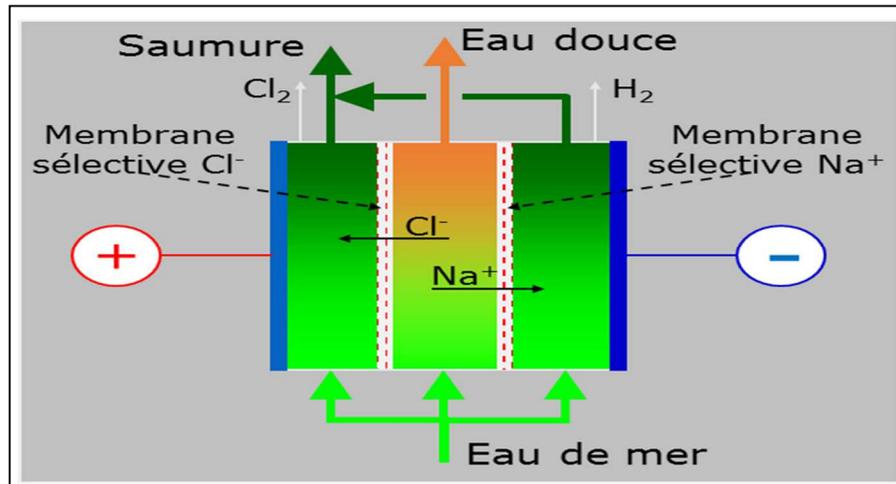


Fig. 11: Principe d'électrodialyse (Source : Philippe Bandelier)

b. L'osmose inverse

L'osmose un phénomène qui tend à équilibrer la concentration en soluté de part et d'autre d'une membrane semi-perméable. C'est est un phénomène naturel, notamment à travers les membranes cellulaires (BERLAND et al, 2002).

Le phénomène d'osmose va se traduire par un flux 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 va s'annuler. Si, pour simplifier, on suppose que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée: c'est le phénomène d'osmose inverse (AGGAB, 2014).

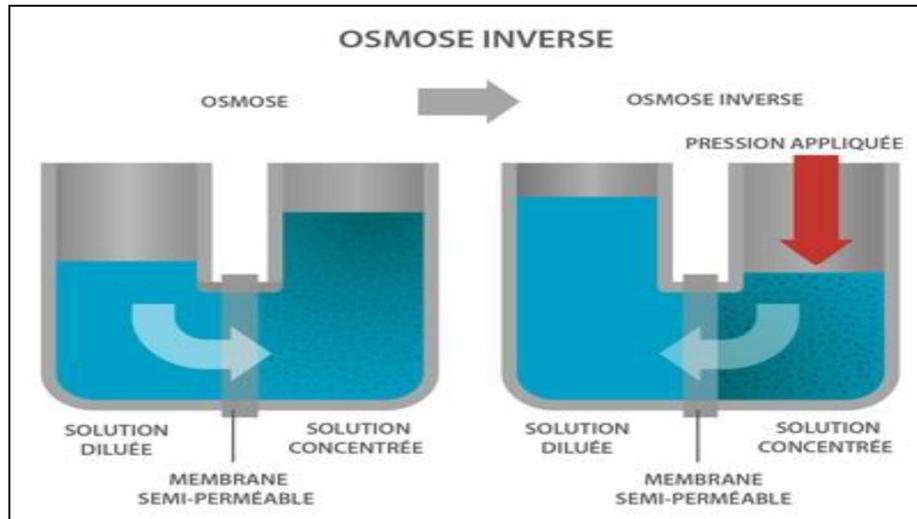


Fig. 12: Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse

i. Installation d'osmose inverse

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

- La membrane proprement dite,
- Le module,
- La pompe haute pression (HP),
- Le système de récupération d'énergie.

✓ Membranes d'osmose inverse

Une membrane est une interface physique de faible épaisseur, qui contre-pôle le transfert d'espèces chimiques entre les deux milieux qu'elle sépare. Cette interface peut être homogène au niveau moléculaire, uniforme en composition et structure, ou elle peut être chimiquement et physiquement hétérogène, contenant des pores de dimensions définis ou contenant des couches superposées (ARZATE. 2008).

✓ Modules d'osmose inverse

Pour être mise en œuvre, les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules. Une enceinte résistant à la pression est toujours nécessaire. Il existe quatre types de modules.

- Modules plans

Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples : les membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides (BERLAND et al, 2002).

- Modules tubulaires

Un module tubulaire contient plusieurs tubes qui peuvent être en série ou en parallèle. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à

l'extérieur de ces derniers. Les tubes constituent des canaux d'écoulement tangential (BERLAND et al, 2002).

- Modules spirales

C'est un module particulier de membranes planes qui sont enroulées autour d'un axe creux collecteur de perméat. L'ensemble est introduit dans une enveloppe cylindrique dont les sections donnent accès à l'entrée de l'alimentation et à la sortie du retentât (EL KHABBAZE, 2008).

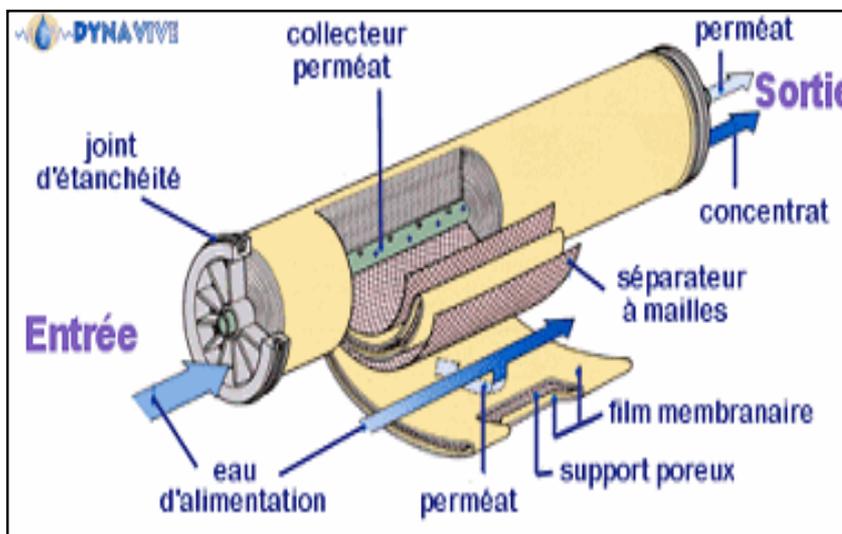


Fig. 13: Module à membrane spiralée

[Source : <http://www.dynavive.eu/Osmose/Conseils-osmose.html>]

- Modules à fibres creuses

Elles contiennent plusieurs milliers de fibres dont leur diamètre est de l'ordre de 1mm. Les aisseaux ainsi obtenus sont encollés aux extrémités de façon à assurer l'étanchéité entre le compartiment (perméat) ainsi que l'alimentation.

L'alimentation peut se faire à l'intérieur (interne externe) ou à l'extérieur (externeinterne) des fibres creuses, selon que la peau active soit à l'intérieur ou à l'extérieur de la fibre creuse (EL KHABBAZE, 2008).

i. Colmatage des membranes et leur nettoyage

Le Colmatage des membranes a pour conséquence de réduire le flux d'écoulement ou d'augmenter la pression d'opération. La détermination de la nature et de la structure des éléments qui colmatent la membrane est nécessaire pour établir le choix des agents de nettoyage et des conditions d'opération les plus efficaces. On peut classer les éléments colmatant en deux groupes:

- Les résidus solubles dans l'eau : qui peuvent être éliminés par un simple rinçage.
- Les résidus non solubles dans l'eau : qui forment une couche poreuse et résistante composée principalement de protéines et de sels, ainsi que de microorganismes, colloïdes, polysaccharides insolubles, etc.

Le nettoyage des membranes a pour but de limiter le colmatage irréversible de perméabilité ainsi par le même fait à prolonger la durée de vie des membranes. Les différentes techniques de nettoyage sont:

✓ Le nettoyage mécanique : partiel mais rapides, son principe consiste à décoller et retirer la matière accumulée sur la membrane par des forces mécaniques.

✓ Le nettoyage chimique : nécessite un arrêt de production périodique, génère des coûts en solution de lavages et en traitement des effluents. Il se compose d'une séquence de lavage acide et basique, ainsi que de phase de rinçage.

Le nettoyage enzymatique: constitue une alternative aux traitements chimiques. Il peut être appliqué dans le cas de membranes sensibles aux réactifs chimiques, au pH ou à la température élevée, ainsi que dans les cas de colmatage avancé (ARZATE. 2008).

ii. Pompe haute-pression (HP) et système de récupération d'énergie

Les pompe haute-pression d'alimentation des modules d'osmose inverse destinée au dessalement de l'eau de mer ainsi que les dispositifs de récupération de l'énergie hydraulique du concentrât qui y sont associés, représentent des postes très importants dans la conception des usines de dessalement, tant du point de vue de l'investissement, que de celui de l'énergie électrique nécessaire à leur fonctionnement. Les pompes haute-pression des membranes d'osmose doivent permettre d'assurer un débit d'eau à une pression donnée, tout en absorbant le minimum d'énergie (CORSIN et al, 2003).

c. Autres procédés de dessalement

i. Échange ionique

L'échange d'ions est un phénomène d'interface qui se produit entre les solutions plus ou moins ionisées et la surface des échangeurs.

Les échangeurs d'ions sont des substances granulaires insolubles ou des liquides immiscibles comportant dans leur structure moléculaire des radeaux anioniques ou cationiques susceptibles de permuter, sans modification apparente de leur aspect physique et sans altération ou solubilisation.

Des ions positifs ou négatifs fixés sur les radicaux contre des ions de même signe se trouvent en solution dans le liquide à leur contact. Cette permutation appelée «échangeur d'ions» permet de modifier la composition des liquides (eaux de mer).

ii. Dessalement par congélation

Le dessalement par congélation dérive du principe que la glace après congélation d'une solution aqueuse contenant des particules solides permet d'obtenir une phase solide de l'eau pure excluant les éléments étranges de la structure cristalline.

L'eau de mer refroidie à environ 2°C donne des cristaux de glace d'eau douce. Plus la température de refroidissement augmente, plus la production de glace augmente. Par conséquent, à une température de -9°C l'eau pure est obtenue.

iii. Distillation solaire

La distillation solaire est un procédé simple et pouvant être appliqué de façon rustique mais elle ne convient évidemment qu'aux régions où l'ensoleillement est suffisant.

Ce procédé de dessalement solaire est basé sur le principe du dessalement «Serre», soit une serre fermée et exposée au soleil à l'intérieur de laquelle se trouve une d'eau de mer ou d'eau saumâtre de quelques centimètres d'épaisseur. L'air à l'intérieur de la serre est surchauffé et saturé de vapeur d'eau douce qui conduit au contact de la paroi relativement

fine de verre, et les gouttes d'eau douce peuvent être recueillis dans une gouttière (BEN SALEM et al, 2012).

d. Le post-traitement

En général, l'étape de post-traitement comporte deux phases principales; l'ajustement du PH et la chloration.

i. L'ajustement du pH

L'eau produite par un des procédés de dessalement est agressive, son pH est inférieur au pH de saturation. Subséquemment, la correction de pH se fait à l'aide d'une solution alcaline, automatiquement en fonction du pH (NaOH). Cette neutralisation a pour but d'éviter les problèmes liés au CO₂ dissous dans l'eau pour obtenir une eau ni agressive, ni incrustante, car elle présente de multiples inconvénients.

ii. La chloration

Il est nécessaire d'assurer une étape de désinfection pour éviter toute contamination et développement biologique. Dans ce contexte, il existe de nombreuses méthodes de désinfection de l'eau, mais la plus utilisée est la chloration par l'utilisation d'une solution d'hypochlorite de sodium (eau de javel).

La chloration permet de détruire les organismes pathogènes présents dans l'eau et protéger l'eau contre de nouvelles contaminations ultérieures au cours de son transport ou de son stockage (TAHRAOUI et al, 2010).

4. LES INCONVENIENTS DU DESSALEMENT

- Coût énergétique encore élevé,
- Rejet des saumures concentrées au double de la salinité naturelle en mer ou injectées dans le sol,
 - Rejet d'eaux chaudes en mer dans le cas de la distillation,
 - Emploi de produits chimiques pour nettoyer les membranes (chlore);
 - Traces de cuivre échappées des installations;
 - Aucune législation spécifique concernant la potabilité de l'eau issue de ces traitements (<http://solitaire23.unblog.fr/2010/11/06/differents-systemes-de-dessalement>).

V. CONCLUSION

Le dessalement est un enjeu particulièrement important pour l'avenir des régions arides. C'est une méthode d'avenir pour pallier aux problèmes d'eau douce. Dans certains cas il devient impératif à cause de la diminution des ressources souterraines.

Les techniques ne cessent de se développer de part leur performance et leur rentabilité ce qui va permettre une baisse des coûts de production et peut être permettront à certains pays pauvres, en grande pénurie d'eau, de s'équiper à leur tour afin de pouvoir sécuriser leur alimentation.

Chapitre 3:
Le Bore

Troisième Chapitre: *LE BORE*

I. INTRODUCTION

Le bore est un élément naturel présent un peu partout dans l'environnement particulièrement dans les mers et océans. C'est un micro-nutrient essentiel pour la croissance des plantes et la santé des êtres vivants. A fortes doses il devient toxique ; ainsi, il peut provoquer l'apparition de taches jaunâtres sur les fruits et légumes altérant leurs qualités gustatives et commerciales.

Le Bore est un des composants d'eau de mer, on le trouve sous forme d'Acide borique avec un taux de 25,2 mg/L soit 5 fois la norme qui est de 5 mg/L dans l'eau de mer.

De même, il peut provoquer l'infertilité chez les êtres humains et être à l'origine de certaines maladies nerveuses.

L'organisation mondiale de la santé (O.M.S) préconise des teneurs maximales en bore dans les eaux potables de 0,5 mg/L. Par contre selon le Journal officiel 2014 (**voir Annexe. 3**), la norme d'eau traitée dessalée à été fixée à 1,3mg/L.

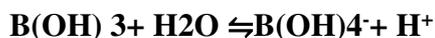
Le recyclage des eaux usées urbaines et industrielles, pour la consommation humaine impose une élimination croissante de micropolluants, tels que le bore, afin de minimiser les risques pour la santé humaine et les écosystèmes. Plusieurs procédés de traitements ont été développés, mais demeurent pour la plupart complexes et trop onéreux pour être appliqués à l'échelle industrielle. Les recherches actuelles sont orientées vers des technologies simples, efficaces et moins coûteuses pour le traitement des eaux. De ce point de vue, les procédés d'adsorption sont particulièrement intéressants. L'intérêt de ces techniques réside dans leur aspect non polluant et leur facilité d'automatisation.

D'autre part avec le récent réchauffement climatique de la planète et la rareté de l'eau dans les régions côtières telles que l'Algérie, le dessalement de l'eau de mer offre une alternative intéressante pour la compensation des déficits. L'eau de mer contient de 4 mg/L à 6 mg/L de bore. Il est donc impératif de l'éliminer avant d'envisager cette eau pour la consommation humaine.

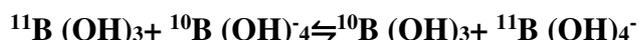
II. PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DU BORE

- ✓ Symbole chimique :.....B.
- ✓ Numéro atomique :.....5.
- ✓ Masse atomique :.....10,811 g.
- ✓ Masse volumique à 20°C :.....2,3 g.cm⁻³.
- ✓ Electronegativité de Pauling :.....2,0.
- ✓ Configuration électronique :.....1s² 2s² 2p¹.
- ✓ Température de fusion :.....2300 °C.
- ✓ Température d'ébullition :.....2550 °C.
- ✓ Densité à 20°C :.....2,3 (état amorphe).
2,31 - 2,5 (état cristallin).

D'un point de vue chimique, le bore n'a qu'un seul degré d'oxydation (+3). Dans la nature il est systématiquement lié à 3 ou à 4 atomes d'oxygène. En solution aqueuse, il forme un couple acide/base entre l'acide borique $B(OH)_3$ et l'ion borate $B(OH)_4^-$. L'équilibre entre ces deux espèces se fait selon la réaction :



A force ionique nulle, à 25°C, et à pression atmosphérique, le pKa de l'acide borique est égal à 9,23 [21]. La spéciation du bore en solution est donc simple, l'acide borique est majoritaire jusqu'à pH~9, puis l'ion borate prédomine aux pH supérieurs. Il existe également entre ces deux espèces un échange isotopique, l'ion borate étant plus riche en ^{10}B que l'acide borique, qui se fait selon la réaction :



Le bore est partout présent dans l'environnement; il existe naturellement dans plus de 80 minéraux et constitue 0,001% de la croûte terrestre (**U.S. Environmental Protection Agency, 1987**).

Selon l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) dans l'avis relatif à l'évaluation des risques sanitaires du bore dans les eaux destinées à la consommation humaine, le bore est un métalloïde trivalent dont la principale caractéristique est de former de nombreux complexes.

Le bore élémentaire est insoluble et inerte en solutions aqueuses. Dans les eaux naturelles, le bore forme des composés chimiques stables et est principalement présent sous forme d'acide borique (H_3BO_3) et d'ortho-borates en fonction du pH.

A faible concentration (< 5mg/L) seuls les composés mono-moléculaires sont présents [$B(OH)_3$ et $B(OH)_4^-$] tandis qu'à des concentrations plus élevées et particulièrement à pH élevé (pH > 10), des composés poly-moléculaires sont retrouvés ($[B_3O_3(OH)_5]^{2-}$ et $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$).

À noter la formation possible d'ions cycliques qui résulte d'une interaction entre l'acide borique et les ions borates selon la réaction (BODZEK, 2015).



Très solubles, ces formes chimiques du bore ne sont pas facilement éliminées d'une solution par les mécanismes naturels. Le tableau 10, résume les principales caractéristiques physico-chimiques du bore élémentaire et de l'acide borique non dissocié (d'après US EPA, 2008 et OMS/IPCS, 1998).

Tabl.11 : Principales caractéristiques physico-chimiques du Bore élémentaire et de l'acide borique non dissocié.

Propriétés	Bore	Acide Borique
Numéro CAS	7440-42-8	10043-35-3
Formule brute	B	H ₃ BO ₃
Masse moléculaire	10.81	61.83
Densité à 20°C	2.34	1.51
Point d'ébullition	2550°C	300°C
Point de fusion	2300°C	450°C (anhydre, forme cristalline)
Solubilité dans l'eau	Insoluble	63.5 g/L à 30°C
Log K _{ow}	-	0.175

Le diagramme de prédominance du bore en milieu aqueux en fonction du pH est présenté par la figure 14 (MAUREL, 2000).

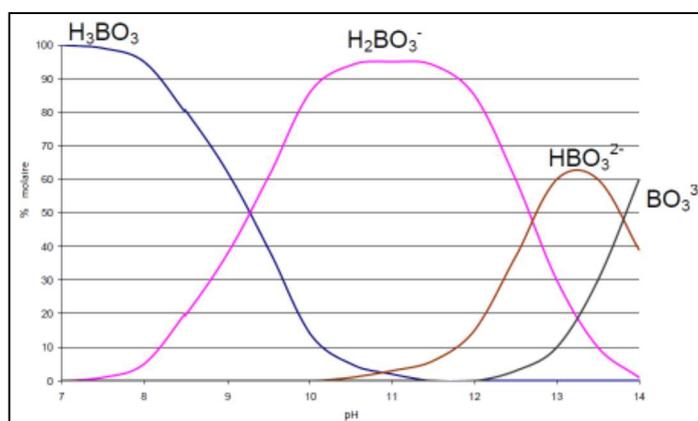


Fig.14 : Diagramme de prédominance du bore en milieu aqueux en fonction du pH (MAUREL, 2000)

Les borates et l'acide borique sont en état d'équilibre selon le pH de l'eau. L'acide borique est un acide faible présentant un pKa de 9,2 à 25°C. À pH acide, le bore existe en solution sous forme d'acide borique non dissocié, tandis qu'à pH très alcalin, il est présent sous forme d'ions borate (HOWE, 1998)

Dans les eaux naturelles (pH 7 à 8), la forme principale du bore est l'acide borique (99,3 % à pH 7 et 93,2 % à pH 8).

La molécule d'acide borique ne forme pas d'hydrates alors que la forme dissociée du bore est très hydratée, conduisant à un rayon plus grand et à une charge ionique négative (KABAY *et al*, 2013). Ces points auront un impact important sur les procédés d'élimination du bore.

III. SOURCES ET UTILISATIONS DU BORE

Dans les roches sédimentaires en contiennent plus que les roches ignées, le bore est plus couramment présent dans les roches granitiques et les pegmatites. Les émissions volcaniques libèrent de l'acide borique (acide ortho-borique B(OH)₃) et du tri-fluorure de bore (BF₃). Par conséquent, les concentrations de bore sont élevées dans l'eau des régions volcaniques. L'eau des océans contient aussi de l'acide borique; l'évaporation de l'eau de

mer dans les bassins confinés a créé une source commerciale de bore (DUROCHER, 1969).

Les composés du bore, en particulier l'acide borique et le borate de sodium (ou borax, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) sont employés dans la préparation de désinfectants et de médicaments, dans la fabrication de verres borosilicatés, entrent dans la fabrication des émaux, servent d'antioxydants lors des travaux de soudage, et sont aussi employés dans les produits cosmétiques, dans le cuir, dans les textiles, dans les peintures et par les industries de transformation du bois. De plus, le borax et l'acide borique sont utilisés au Canada comme insecticides; le borax est également employé comme agent antimicrobien, et très souvent comme nettoyant

Le bore est un élément indispensable à la croissance des plantes et est directement appliqué au sol comme engrais. Le borate de soude et l'acide borique sont employés comme agents fongistatiques dans le traitement des légumes, des fruits et des arbres.

La principale forme sous laquelle se présente le bore dans l'eau est l'acide borique (MAYA, 1976). Dans l'eau de mer, la concentration de bore se situe entre 4 et 5 mg/L (GASSAWAY, 1967)

Dans les eaux côtières du Canada, les concentrations de bore se situent apparemment entre 3,7 et 4,3 mg/L. Les eaux des estuaires sont généralement riches en bore, et les concentrations rencontrées dans les puits d'eau sont apparemment plus variables et souvent plus élevées que dans les eaux de surface (BINGHAM, 1973), le plus souvent en raison de l'érosion de sources naturelles de bore.

Les concentrations moyennes de bore dans les eaux de surface, déterminées par des analyses colorimétriques, se situaient bien au-dessous de 0,5 mg/L (moyenne d'ensemble 0,16 mg/L) dans plus de 90 % des lieux figurant dans la banque nationale de données sur la qualité des eaux; dans quelques stations, les concentrations dépassaient 2,0 mg/L. Les valeurs individuelles allaient de non décelables (limite de détection de 0,02 mg/L) à 2,9 mg/L, et les valeurs provinciales médianes allaient de 0,01 mg/L dans le cas de la Colombie-Britannique à 0,15 mg/L dans le cas du Manitoba et de la Saskatchewan.

1. QUELQUES COMPOSES DU BORE

1.1. Boranes : composés hydrogénés du bore.

a. Le diborane: B_2H_6 est utilisé :

- Pour le dopage du silicium et du germanium destinés à l'industrie électronique.
- En catalyse de polymérisation, comme agent de vulcanisation.
- Comme réducteur puissant.

b. Le borohydrure de sodium: très réducteur, est utilisé :

- Comme réducteur sélectif en chimie organique.
- Dans le traitement des effluents de diverses industries afin de limiter la pollution et récupérer des métaux lourds.
- Décoloration de la pulpe de bois dans l'industrie papetière.

1.2. Halogénures de bore: BF_3 et BCl_3 .

Le trichlorure de bore est utilisé dans le raffinage des métaux et en catalyse.

1.3. Borures métalliques: ils sont, en général, préparés à haute température, sous vide ou sous atmosphère inerte. Ils sont, en général, durs, réfractaires et résistants aux métaux et laitiers liquides. Exemples : TiB₂, CrB₂, ZrB₂.

1.4. Nitrure de bore: de formule BN, deux variétés principales : a et b.

BN a : de structure hexagonale de type graphite (surnommé pour cela : graphite blanc).

BN b: de structure cubique de type diamant.

1.5. Carbure de bore: de formule proche de B₄C.

a. **Élaboration industrielle:** par réaction, dans un four électrique à arc, de l'oxyde de bore avec du carbone à 2300°C (HARBEN, 1995).



IV. EFFETS SUR LA SANTE

Par le passé, on a considéré le bore comme non essentiel pour les animaux. Cependant, les résultats d'une étude indiquant une mince étendue de concentrations dans le sang humain (CLARKE et al, 1987) et d'études sur la carence en bore chez le rat suggèrent que le bore pourrait effectivement être un élément essentiel.

Le bore satisfait à quelques-uns des critères de caractère essentiel, mais il n'a pas été possible d'établir que la carence en cet élément entravait de façon reproductible une fonction biologique en l'amenant à un niveau sous-optimal. Des expériences animales indiquent que le bore peut directement influencer sur le métabolisme du calcium, du phosphore, du magnésium et du cholécalférol (NIELSEN, 1985).

L'effet du bore sur le métabolisme des principaux minéraux et son rôle potentiel d'inhibiteur de l'ostéoporose chez les humains ont été étudiés. Le bore a réduit l'excrétion urinaire de calcium chez douze femmes en phase post-ménopausique qui ont suivi un régime alimentaire pauvre en bore (0,25 mg/j) pendant 119 jours, puis un régime avec apport complémentaire de 3,0 mg/j pendant 48 jours; cette réduction a été plus prononcée lorsque le taux de magnésium dans l'alimentation était faible. L'apport complémentaire de bore a également accru les taux de ^β-estradiol dans le sérum ainsi que les taux de testostérone (NIELSEN et al 1987).

Les composés du bore sont rapidement et complètement absorbés par le tube digestif (SIEGEL et al 1986) par les muqueuses, et également par la peau lorsque celle-ci est abrasée ou endommagée. Les concentrations de bore dans le foie, les reins, le cerveau et le sang des rats ont continuellement augmenté pendant les neuf premiers jours de leur exposition à de l'eau potable contenant 100 ppm de borate de soude, et les concentrations maximales sont apparues dans les reins. Les taux étaient progressivement revenus à la normale dans les reins, dans le foie et dans le cerveau à la fin de la période de 21 j, tandis que les concentrations sanguines ont continuellement augmenté jusqu'au 21^{ème} jour (MAGOUR et al, 1982).

Le bore ne s'accumule pas dans les tissus normaux, mais peut se concentrer dans les tumeurs malignes du cerveau.

L'homme peut être exposé au bore par les fruits et légumes, l'eau, l'air et d'autres produits de consommation. Manger du poisson ou de la viande n'augmente pas la concentration en bore de notre organisme, car le bore ne s'accumule pas dans les tissus animaux. L'exposition au bore présent dans l'air ou dans l'eau a peu de chance de se produire, mais le risque d'être exposé à des poussières de bore sur les lieux de travail existe. Quand l'homme consomme de grandes quantités de nourriture contenant du bore, la concentration en bore de son organisme peut augmenter jusqu'à atteindre des niveaux dangereux pour la santé. Le bore peut infecter l'estomac, le foie, les reins et le cerveau et peut éventuellement entraîner la mort. Lorsqu'on est exposé à de petites quantités de bore, on peut avoir des irritations du nez, de la gorge ou des yeux (COL et al 2003).

On a signalé les concentrations moyennes suivantes de bore dans les tissus humains (en $\mu\text{g/g}$ de poids humide):

- Les reins : 0,6
- Les poumons : 0,6
- Les ganglions lymphatiques : 0,6
- Le sang : 0,4
- Le foie : 0,2
- Les tissus musculaires : 0,1
- Les testicules : 0,09
- Le cerveau : 0,06.

Chez les humains, on a signalé plusieurs cas d'intoxication aiguë liée à l'utilisation d'acide borique ou de borax, après l'ingestion ou l'injection parentérale de ces produits, après le lavage des cavités séreuses ou des lavements avec ces produits, et l'application de pansements, de poudres ou d'onguents contenant ces produits sur de vastes surfaces de peau brûlée ou abrasée (UNDERWOOD, 1977).

Les symptômes d'intoxication aiguë par le bore sont en particulier des nausées, des vomissements, la diarrhée, des irritations cutanées et une desquamation de l'épiderme, et des indices d'une stimulation du système nerveux central suivie de dépression.

Dans les cas graves, la mort survient habituellement en cinq jours par collapsus cardio-vasculaire et choc.

V. LE BORE DANS L'EAU DE MER ET DANS L'EAU PRODUITE PAR LES INSTALLATIONS DE DESALINISATION D'EAU DE MER

Le bore est initialement présent dans l'eau de mer à des concentrations relativement élevées ($> 6 \text{ mg/L}$, OMS, 2009). Les installations de désalinisation d'eau de mer font le plus souvent appel à la technique d'osmose inverse permettant de réduire la concentration en bore jusqu'à environ 1 à 2 mg/L dans le perméat. Néanmoins, dans certaines situations, une telle installation n'est pas suffisante pour diminuer efficacement la concentration en bore dans l'eau en sortie d'installation de traitement.

VI. TRAITEMENTS REDUISANT LES TENEURS EN BORE DANS LES EAUX

Plusieurs méthodes peuvent servir au dosage du bore présent dans l'eau, notamment la méthode de la curcumine qui consiste en un processus d'acidification et d'évaporation en présence de curcumine de façon à produire de la rososynine qui est dissoute dans l'éthanol puis comparée à des étalons par photométrie, ou bien en utilisant la méthode du carmin qui consiste à combiner le bore avec du carmin ou de l'acide carminique en présence d'acide sulfurique, puis à procéder à des mesures photométriques. Dans le cas de l'eau, il est recommandé d'utiliser la méthode de la curcumine lorsque les concentrations de bore se situent entre 0,1 et 1 mg/L, tandis que la méthode du carmin est optimale pour doser le bore entre 1 et 10 mg/L (GREENBERG et al 1985).

La méthode d'analyse spectro-photométrique avec la 1,1'-dianthrimide (lorsque les concentrations de bore se situent entre 0,01 et 0,2 mg/L) ou avec l'azométhine-H, ou le dosage volumétrique après la distillation (procédé optimal lorsque l'eau contient plus de 0,2 mg/L, est colorée ou contient des impuretés non filtrables), n'est plus utilisée (FRESENIUS et al, 1988).

On peut éliminer peu de bore par les méthodes de traitement des eaux classiques (coagulation, floculation, décantation, adsorption), car ces méthodes ne sont pas efficaces. Les problèmes posés sont la forme sous laquelle le bore se trouve ainsi que sa concentration initiale.

Le tableau. 12 résume les différents traitements utilisés aujourd'hui pour l'élimination du bore (d'après Bodzek, 2015).

Tabl.12: Différentes méthodes de traitement pour l'élimination du bore dans les eaux.

Technologie	Taux de traitement (%)	Commentaires
Adoucissement	Non significatif	Précipitation du carbonate de calcium
Coagulation	< 28%	Généralement un taux de traitement < 10%
Adsorption sur charbon actif	> 90%	De fortes doses de charbon actif sont nécessaires
Résine échangeuse d'ions	> 90%	pH de l'effluent < 4.5
Osmose inverse dont osmose inverse à deux étages avec correction du pH	40-100%	pH de l'eau brute d'environ 10.5
Electrodialyse	> 90%	Cout de traitement élevé
Complexation du bore	> 80%	En utilisant de la N-méthyl-glucamine

1. ADSORPTION ET ECHANGE D'IONS

Le processus d'échange d'ions se fait au moyen de groupes spécifiques capables de former des complexes avec l'acide borique ou les borates. Les groupes spécifiques utilisés en général sont la N-méthyl-glucamine et le squelette des résines utilisées est en général un copolymère styrène-divinylbenzène.

Les atomes et molécules électriquement chargés sont des ions. Le traitement connu sous le nom d'échange d'ions emploie des résines spéciales pour éliminer les contaminants

minéraux tels que l'arsenic, le chrome, le calcium, le radium, l'uranium et des anions tels que les nitrates et les fluorures excédentaires de l'eau.

Les résines échangeuses d'ions existent sous deux formes : les résines cationiques, qui échangent des cations (calcium, magnésium, radium) et les résines anioniques, qui éliminent des anions (nitrates, arsénates, arsénites ou chromates). Dans les deux cas, on les renouvelle avec une solution de chlorure de sodium. L'ion de sodium des résines cationiques déplace les cations du site d'échange ; l'ion chlorure des résines anioniques déplace les anions du site d'échange.

Dans l'ensemble, les résines à cations s'encrassent moins que les résines à anions. Les résines peuvent être conçues pour montrer une préférence pour certains ions, ce qui permet d'adapter le processus à des contaminants spécifiques.

Ce traitement fonctionne au mieux dans une eau débarrassée des particules en suspension qui peuvent s'agglutiner sur la résine et limiter son efficacité.

L'efficacité d'élimination est comprise entre 93 et 98% et en général, la concentration de l'eau traitée est inférieure à 0,05 mg/L. Les capacités d'adsorption données par les auteurs vont de 5 à 15,5 mg B/g de résine à 1,87 g B/L de résine (OZTURK et al, 2008).

De nouvelles résines avec introduction de groupes spécifiques (groupes sorbitol, groupes sulfonamides) ont été testées (WOLSKA et al, 2013).

D'autres auteurs comme Kluczka et al, 2007, ont utilisé du charbon actif en grains imprégné d'acide tartrique sur des lixiviats de décharge et ont obtenu une capacité d'adsorption de 4,95 mg/g à un pH > 9 et avec un temps de contact de 6 h.

D'autres adsorbants ont également été testés. Baskan et Atalay, 2014 ont obtenu 96% d'élimination du bore sur du GEH (oxyde ferrique granulaire) après un temps d'équilibre de 20 h. La capacité d'adsorption de ce matériau a été estimée à 1,2 mg/g.

L'ensemble des auteurs concluent à une efficacité de ces procédés qui dépend fortement du pH (efficacité optimale si pH de 9 à 9,5), de la concentration initiale en bore et du ratio [résine (adsorbant)]/ [concentration en bore]. Si la concentration en bore est très élevée, l'efficacité de ce procédé de traitement est très faible.

De plus, ce moyen de traitement est très onéreux et nécessite de grandes quantités d'acide pour la régénération et de soude pour la neutralisation des effluents de régénération (WOLSKA, 2013)

2. OSMOSE INVERSE

Cette technique est classiquement utilisée en dessalement d'eau de mer. Dans l'eau de mer, le bore est souvent présent sous forme d'acide borique et est donc peu retenu par la membrane d'osmose. La rétention du bore à pH acide ou neutre est de 40 à 60%. Dès que le pH est augmenté, l'élimination du bore est beaucoup plus importante (90% à pH 8,2; 99% à pH 11) (DYDO et al, 2005).

Il a été montré que la rétention de composés organiques chargés négativement augmentait quand la force ionique de la solution diminuait. La double couche électrique est plus faible à faible charge ionique mais si on augmente la force ionique, on diminue le potentiel zêta des membranes et cela diminue l'interaction électrostatique entre les borates et la surface de la membrane.

Les technologies mises en œuvre aujourd'hui utilisent plusieurs étages d'osmose inverse avec une augmentation du pH entre les étages permettant une meilleure élimination du bore présent alors sous forme ionique, ayant une taille plus grande. La rétention est alors importante (>98%) en raison notamment des interactions électrostatiques avec la surface de la membrane chargée négativement. Néanmoins, lors du passage en plusieurs étages, les concentrats sont très chargés en carbonate de calcium et oxyde de magnésium, ce qui nécessite souvent une acidification pour le traiter (BODZEK, 2015).

L'eau de mer présentant une concentration en bore de 5 mg/L environ, c'est dans le cadre du dessalement que l'osmose inverse trouve son application principale au regard de la réduction du bore. Le rendement d'élimination des membranes dépend de plusieurs facteurs:

✓ **pH** : L'élimination du bore est d'autant meilleure que le pH est élevé, car l'acide borique est alors dissocié sous forme ionique, seule forme retenue par les membranes (figure 15). Le pH optimum de l'eau d'alimentation doit se situer entre 9 et 10, ce qui nécessite donc un ajustement, le pH de l'eau de mer étant de 8 environ.

✓ Concentration en bore. Qui peut varier de 4,5 mg/L à plus de 5 mg/L.

✓ Température de l'eau de mer. Plus la température est élevée, plus la viscosité diminue, ce qui augmente le passage en sels dissous.

✓ Nature de la membrane. Il existe des membranes spécifiques présentant des taux de rejet du bore pouvant être supérieurs à 90 %.

Pour des eaux très chaudes et très salines, présentant une teneur en bore supérieure à 5 mg/L, une seule passe sur les membranes peut ne pas suffire pour respecter la concentration de 0,5 mg/L dans le perméat.

Deux solutions sont alors envisageables:

- Traiter le perméat par un passage sur des membranes basse-pression, après avoir ajusté le pH. Les membranes de la deuxième passe sont arrangées en deux étages afin de limiter le débit de concentrat, et donc la production de la première passe.

- Fixer le bore du perméat sur un échangeur d'ions spécifique.

3. PROCESSUS HYBRIDES

3.1. Echange d'ions puis séparation membranaire

Cette technique couple un échange d'ions par résine utilisée sous forme de grains très petits ou sous forme de poudre, et une séparation par micro ou ultrafiltration. Les résines utilisées ont des groupements N-méthyl-glucamine (KABAY et al, 2008).

3.2. Ultrafiltration de composés complexés avec des polymères

Les polymères sélectifs du bore utilisés sont des ligands carbohydate avec des chaînes polymériques (alcools polyvinyl notamment, souvent modifiés avec de la N-méthyl-glucamine).

L'avantage de cette technique est l'utilisation d'ultrafiltration qui nécessite une énergie moins importante que l'osmose inverse. Cette technique est prometteuse mais elle nécessite l'utilisation de polymères solubles et de poids moléculaire supérieur au pouvoir de coupure de la membrane. Les efficacités d'élimination rapportées vont jusqu'à 92% à pH 9. Néanmoins, les problèmes observés en osmose inverse (fouling notamment) ont été retrouvés.

3.3. Electrodialyse

L'électrodialyse est un procédé de nature électrochimique. Il permet d'extraire en partie ou en totalité les ions contenus dans une solution, en conservant des substances pas ou très peu ionisées. Un électro-dialyseur fonctionne de la manière suivante (voir schéma ci-dessous): deux compartiments (1) et (2) sont séparés par des membranes alternativement anioniques et cationiques. Comme leur nom l'indique, sous l'action d'un champ électrique, les premières ne sont franchies que par des anions, les secondes, que par des cations.

Les cations migrent dans le sens du courant électrique. Ils peuvent sortir du compartiment (1) en traversant la membrane cationique, mais ils ne peuvent pas sortir du compartiment (2), car ils trouvent sur leur chemin une membrane anionique. Les anions migrent dans le sens inverse du courant électrique. Ils peuvent eux aussi sortir du compartiment (1) en traversant la membrane anionique, mais ils ne peuvent pas sortir du compartiment (2) car la membrane cationique les en empêche.

En conséquence, le compartiment (1) s'appauvrit en sel dissous: on l'appelle compartiment de dilution. Le compartiment (2) s'enrichit en sels dissous: on l'appelle compartiment de concentration. La concentration des substances dissoutes non ionisées n'est pas modifiée.

L'électrodialyse n'est efficace que pour les formes ionisées de bore ; ainsi l'acide borique voit sa migration à travers les membranes limitée par celles des espèces ionisées.

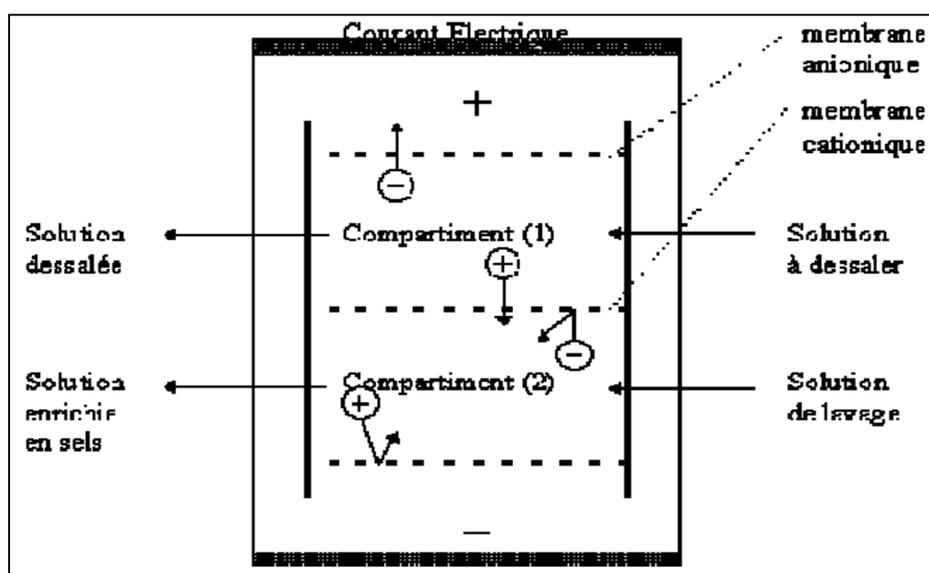


Fig. 15 : Schéma de principe de l'électrodialyse(KABAY et al , 2008)

Cette technique est basée sur le transport des ions à travers une membrane sous l'effet d'un champ électrique. Tout comme pour les autres procédés, le pH doit être

supérieur à 9 pour que le bore se trouve sous forme borate et puisse migrer à travers la membrane.

Les efficacités d'élimination vont de 0,8% à pH 3,2 à 20% à pH < 7 et à 80% à pH 10 (KABAY et al, 2008).

Cette technique est peu utilisée car la mobilité des borates est faible comparée à celle des autres ions présents en solution (chlorures et sulfates notamment) et peut conduire également au colmatage des membranes.

VII. METHODES D'ANALYSE DU BORE DANS LES EAUX

1. PRINCIPE DE L'ANALYSE

Pour le dosage du bore dans les eaux douces il existe deux méthodes normalisées AFNOR basées sur des principes analytiques différents :

- NF EN ISO 11885 [2009]: Qualité de l'eau - Dosage d'éléments choisis par spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-OES),
- NF EN ISO 17294-2 [2005]: Application de la spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS).

Une méthode colorimétrique (T 90 041 : méthode à l'azométhine H) a été récemment abrogée par l'AFNOR en raison d'une utilisation de plus en plus rare par les laboratoires et d'interférences identifiées en présence d'autres éléments traces.

A ce jour, au niveau national, 57 laboratoires sont agréés pour le contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine, principalement avec ces deux méthodes normalisées. Six laboratoires agréés ont déclaré utiliser une méthode interne.

2. CONSERVATION ET PRETRAITEMENT DES ECHANTILLONS

Les échantillons sont généralement prélevés dans des flacons en plastique et acidifiés à l'acide nitrique (pH < 2). Dans le cadre d'analyses du contrôle sanitaire des eaux, l'étape de minéralisation n'est pas nécessaire (circulaire du 17 septembre 2003). Les échantillons sont stables durant un mois.

3. PERFORMANCES

Les limites de quantification (LQ) du bore dépendent de la méthode mise en œuvre. Elles sont généralement de l'ordre de 0,01 mg/L en ICP-MS; 0,05 mg/L en ICP-OES et par colorimétrie. Les incertitudes intra-laboratoires sont de l'ordre de 10 à 15 % alors que les incertitudes inter-laboratoires sont de 30 à 40% en fonction du niveau de concentrations mesurées.

La figure 16 présente les limites de quantifications atteintes par les laboratoires agréés pour le contrôle sanitaire des eaux. La LQ médiane est de 0,02 mg/L. L'arrêté du 17 septembre 2003 relatif aux méthodes d'analyses des échantillons d'eau impose une limite de quantification de 0,05 mg/L.

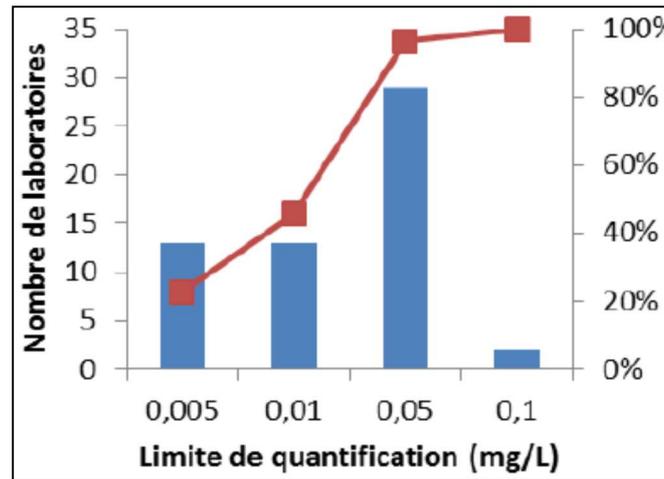


Fig. 16: Limite de quantification du bore (mg/L) dans les laboratoires agréés pour le contrôle sanitaire des eaux.(L'arrêté du 17 septembre 2003)

La figure 17 représente la répartition des incertitudes intra-laboratoires pour les laboratoires agréés pour le contrôle sanitaire des eaux.

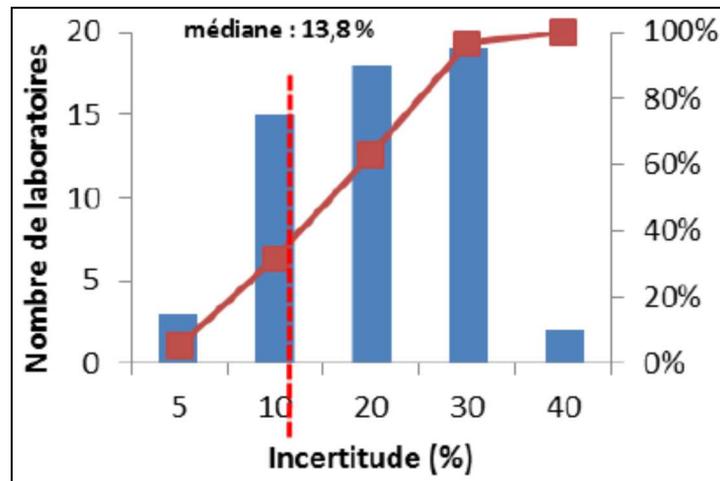


Fig.17: Incertitudes intra-laboratoires élargies (2 x écart-type) du bore (%) dans les laboratoires agréés pour le contrôle sanitaire des eaux.(L'arrêté du 17 septembre 2003)

VIII. CONCLUSION

Le bore est un métalloïde trivalent dont la principale caractéristique est de former de nombreux complexes. C'est un élément insoluble et inerte en solutions aqueuses (US EPA, 2008). L'eau de mer contient de 4 mg/L à 5 mg/L de bore. Il est donc impératif de la traiter avant de l'envisager pour la consommation humaine. On peut éliminer le bore des eaux par plusieurs méthodes : l'usage de résines échangeuses d'ions, l'osmose inverse, la précipitation coagulation et l'adsorption.

L'eau de mer présentant une concentration en bore de 5 mg/L environ, c'est dans le cadre du dessalement que l'osmose inverse trouve son application principale au regard de la réduction du bore. Le rendement d'élimination des membranes dépend de plusieurs facteurs:

- ✓ Le pH est élevé l'élimination du bore est meilleure.

- ✓ Plus la température est élevée, plus la viscosité diminue, ce qui augmente le passage en sels dissous.
- ✓ Nature de la membrane. Il existe des membranes spécifiques présentant des taux de rejet du bore pouvant être supérieurs à 90 %

Chapitre 4 :
Cas D'Etude (Station de
dessalement de Souk-Tleta et
de Honaine)

Chapitre IV : Cas d'étude (Station de dessalement de Souk-Tleta et Honaine)

I. INTRODUCTION

Inaugurée en 2011 par le ministère des Ressources en eau et le ministère de l'Énergie et des Mines, la station de dessalement d'eau de mer dans la commune de Souk-Tleta, a été mise en service afin d'alimenter en eau potable 19 communes (Marsa Ben M'Hidi, MsirdaFouaga, bab El-Assa, Souk-Tleta, Souahlia, Ghazaouet, Tianet, Dar Yaghmourassen, Nedroma, Djebala, Souani, Hammam Boughrara, Maghnia, Sabra, Bouhlou, Sidi M'djahed, Beni Boussaid, Beni Mester et Ouled Riah).

La capacité de production de cette infrastructure, réalisée pour un coût de 251 millions de dollars, est de 200 000 m³/j, soit 73 millions m³/an. Elle est destinée à couvrir les besoins en eau d'une population estimée à 320 000 habitants répartis sur 19 communes dont le chef-lieu de wilaya de Tlemcen.

Par contre la station de Honaine est la deuxième station de dessalement dont dispose la wilaya après celle de Souk-Tleta, entamée en 2006 par le groupement espagnol GEIDA (composé des sociétés COBRA, SADYT, BEFESA et CODESA), a été opérationnelle en Juillet 2012, avec un montant d'investissement de 250 million de dollars.

Avec une capacité de production de 200.000m³/j, elle assurant l'approvisionnement en eau potable de 23 communes : Couloir Ouest (Béni-Boussaïd, Maghnia, Bab El-Assa, Marsat Ben M'hidi), toutes les régions Nord et Est de la wilaya (Nedroma, Ghazaouet, Chetouane, Sabra et Ouled-Mimoun) ainsi que les agglomérations urbaines du Grand-Tlemcen (Tlemcen, Mansourah), soit une population d'environ 555 000 habitants.

Utilisant la technologie de l'osmose inverse, cette usine sera réalisée, exploitée et maintenue par la société de projet Sharikat Miyah Bar Honaine (SMBH, Société des eaux de mer de Honaine).

II. GENERALITES

Dans le but d'acheminer l'eau potable aux agglomérations urbaines concernées à partir de la station de Souk-Tleta, des canalisations ont été réalisées sur 157Km, en plus de six (06) réservoirs d'une capacité globale de 46 500m³ et cinq (05) stations de pompage pour un coût global de 25,4 milliards DA.

Cette station permettra de renforcer significativement les capacités de la wilaya en matière d'approvisionnement en eau potable.

Avec les deux stations (Souk-Tleta et Honain), une quantité globale de 400 000m³ d'eau sera fournie quotidiennement au lieu de 170 000m³ transférés des forages et des barrages. La wilaya devra ainsi avoir un excédent en cette ressource vitale. Ce projet des deux stations a entraîné la création de 600 postes de travail temporaires et 180 permanents.

Grâce à ces nouveaux apports, les eaux des barrages seront réservées à l'irrigation agricole. Les nappes phréatiques pourront, quant à elles, se régénérer, a indiqué le responsable du secteur de l'hydraulique.

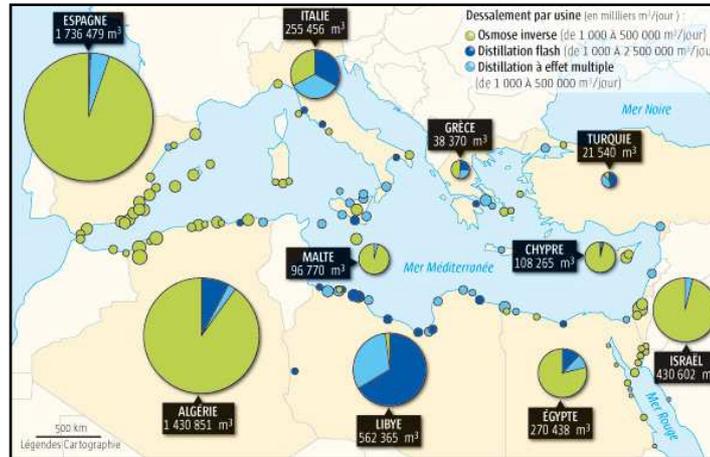


Fig. 18 : Volume d'eau traitée par les stations de dessalements en Méditerranée (Source : Google Map)

- ✓ **Travaux de construction et de montage de la canalisation:**
 - L = 19 Km,
 - Diamètre : Ø 1400mm en fonte et acier,
- ✓ **Réalisation des travaux de la station de pompage SPI et travaux de pose de conduite :**
 - **Travaux de construction et de montage de la canalisation :**
 - L = 43 Km,
 - Diamètre : Ø 250mm et Ø 500mm en fonte et PEHD.

À noter aussi que des travaux de rénovation des réseaux d'adduction et de distribution, ainsi que des forages dont la profondeur se situe entre 700 et 1200m sont en cours, dans les régions de : Béni-Boussaïd, Zouïa, Bouhlou, Nakhla, Sidi-Snoussi, El-Aricha, Aïn Tellout, El Gor, Sebduou et Djebala, ceci afin de capter de nouvelles sources pour le renforcement de l'adduction en eau potable.

Le premier responsable du secteur de l'hydraulique souligne qu'un bilan a été élaboré à travers les différents programmes réalisés, mais malheureusement, ils avaient remarqués que les aspects liés à la gestion, gardiennage, entretien des ouvrages, petits barrages, retenues collinaires et l'utilisation rationnelle de la ressource mobilisée n'ont pas été pris en charge par les fellahs. Ainsi, ces ouvrages se sont retrouvés livrés à la nature sans aucune forme de gestion, et l'utilisation de l'eau se fait d'une manière anarchique.

III. STATION DE DESSALEMENT DE SOUK-TLETA

L'objectif de projet était la construction d'un réseau de transport d'eau entre la station de dessalement de Souk-Tleta et le réseau de distribution de la région de Tlemcen, en Algérie.

Grâce à lui, il a été possible d'approvisionner en eau, 24 heures sur 24, une population aujourd'hui estimée à 1 million de personnes. Il devrait en outre permettre de couvrir les besoins en eau potable des habitants de la région jusqu'en 2050.

Les bénéficiaires cette infrastructure sont la ville de Tlemcen, capitale de la wilaya, et les communes suivantes : Marsa Ben M'Hidi, Msirda Fouaga, Bab El Assa, Souk-Tleta, Souahlia, Ghazaouet, Tianet, Dar Yaghmourassen, Nedroma, Djebala, Souani, Hammam Boughrara, Maghnia, Sabra, Bouhlou, Sidi M'djahed, Beni Boussaïd, Beni Mester et Ouled Riah.

La station de dessalement de Souk-Tleta a été mise en service en décembre 2009. Elle se caractérise par :

- Une canalisation linéaire de 157km, avec un diamètre nominal de 1 400 - 150mm.
- Six (06) dépôts ayant une capacité de 500 à 20 000m³.
- Cinq (05) stations de pompage.
- Un système de télégestion.
- Un régulateur de pression d'eau.

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

La wilaya de Tlemcen, située dans le Nord-Ouest algérien, a bénéficié de deux stations de dessalement d'eau de mer. L'une d'entre eux est la station de dessalement de Souk-Tleta implantée au niveau de la Commune de Souk-Tleta, Daïra de Bab El Assa et qui traite les eaux de la plage de Sel Connue sous le nom d'el B'hira.



Photo. 1 : Photo de la plage de sel (plage d'El B'hira), Commune de Souk-Tleta, Tlemcen.

Cette station de 200 000 m³/j de capacité de production permet actuellement de satisfaire les besoins en eau potable des habitants des communes frontalières (AGGAB, 2014).

1.1. Situation géographique et administrative de la station de dessalement de Souk-Tleta

La station de dessalement d'eau de mer de Souk-Tleta est localisée au Nord-Ouest algérien dans la wilaya de Tlemcen, Daïra de Bab El Assa, commune de Souk-Tleta. Située à 90Km du chef-lieu de la wilaya, la commune de Souk-Tleta s'étend sur une superficie de 8 500Ha et se situe au Nord-Ouest de la ville de Tlemcen, elle est frontalière de par sa proximité par rapport à la frontière Algéro-Marocaine (SENHADJI, 2017).

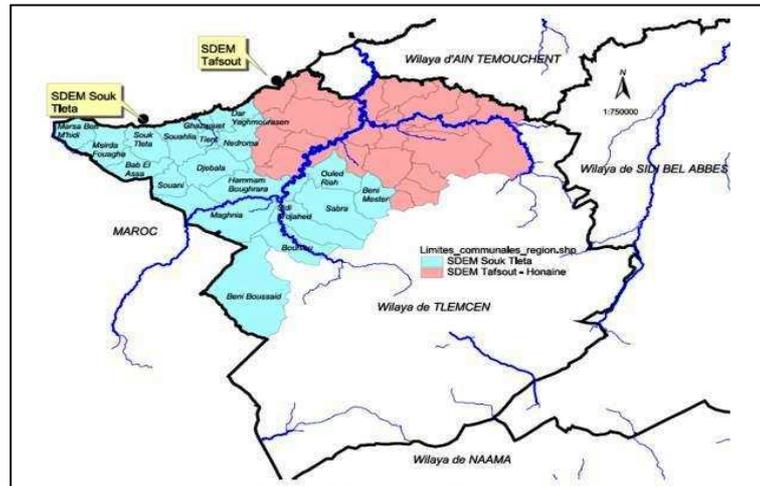


Fig. 19 : Situation de la station de dessalement de Souk-Tleta.(Rapport de stage ,2012)

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.

1.2. Relief de la zone d'étude

Comme le montre la figure 22, le relief de la commune de Souk-Tleta est très accidenté, il est marqué par des monts, des Djorf, des Djebels, des crêtes, des ravins, et des Oueds.

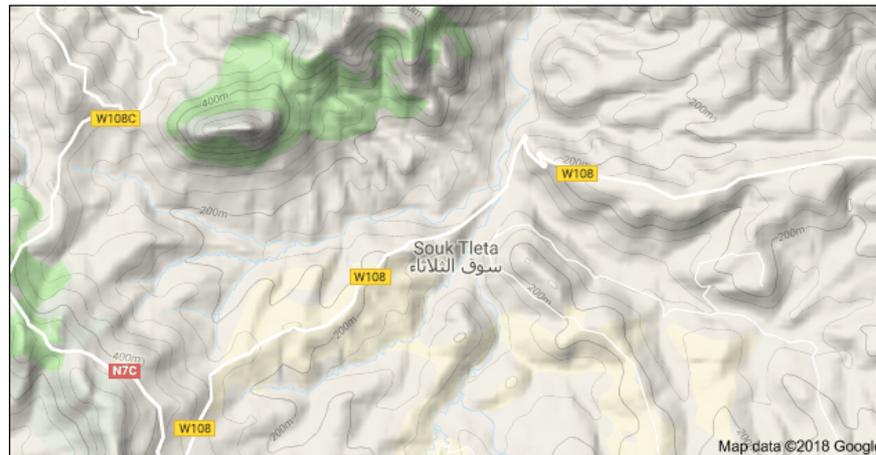


Fig. 20 : Carte Topographique représentant le relief de la zone d'étude. (Source : Google Map).

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 (voir Fig. 20).

Au Nord, le long de la cote d'Est en Ouest, s'étend une petite plaine, ou s'étale la zone éparsée de Ouled ben Ayad. L'altitude moyenne est d'environ 120m. Au Sud, de cette plaine, on trouve une chaîne de montagne étendue d'Est en Ouest composée de Djebel Zendal (618m), Djebel Trasmout (599m), Djebel Hacene (476m), Djebel Ali Ben Salah (520m) et Djebel Mahdi (304m).

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

Au centre de la commune, ou s'étend l'agglomération du chef-lieu, l'altitude moyenne est de 150m (HACHEMAOUI, 2014).

1.3. Cadre Climatique

Le climat de la commune de Souk-Tleta 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 (05) 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 363mm avec 78mm au mois de novembre et 0,3 mm au mois le plus sec qui est Juillet, avec une humidité est assez importante au cours de l'année: elle varie entre 70,5% et 74,7% (HACHEMAOUI, 2014).

2. CARACTERISTIQUES DE L'EAU DE MER DE LA STATION DE DESSALEMENT DE SOUK-TLETA

L'eau de mer au niveau de la station de Souk-Tleta est caractérisée par les paramètres suscités dans le tableau suivant :

Tabl. 13: Caractéristiques de l'eau de mer de Souk-Tleta.

Paramètres	Unité	Conditions de base du site de la station de dessalement de Souk-Tleta
Température	°C	24
Les solides dissous total	mg/L	37 500
Les matières en suspension	mg/L	4
Chlorure	mg/L	20 300
Calcium	mg/L	420
Sulfate	mg/L	3 400
Strontium	mg/L	10
Magnésium	mg/L	1 330
Sodium	mg/L	11 650
Bicarbonate	mg/L	135
Bore	mg/L	5
PH		8

3. PRESENTATION DE LA STATION DU DESSALEMENT DE SOUK-TLETA

Portant l'appellation de "200 MLD Seawater Desalination Plant", la station de dessalement de Souk-Tleta permet la production d'eau potable par les techniques d'ultrafiltration et d'osmose inverse. Les eaux ainsi produites sont transférées à l'Algérienne Des Eaux (ADE) et serviront à l'alimentation en eau potable de 330 000 habitants résidant dans les communes frontalières, entre autres, celles de Bab El Assa, Souahlia, Ghazaouet, Nedroma, Maghnia, Zénata, Bouhlou et Hammam Boughrara.

La station de dessalement de Souk-Tleta représente le plus grand réseau de transport d'eau du Maghreb. Il s'agit d'un réseau de transport d'eau entre cette station de dessalement et le réseau de distribution de la région de Tlemcen. L'approvisionnement est garanti par les rapports de la station de dessalement d'eau de mer de Souk-Tleta, depuis décembre 2011. Ayant une capacité d'environ 200 000m³ et un taux de conversion de 45% de l'eau de mer sous la direction de '*Hyflux*' pour l'entreprise publique algérienne '*Energy Company*', qui a pour projet de concevoir, développer, construire, posséder, exploiter et d'entretenir une concession de 25 ans. Avec un prix hautement recommandé par l'usine de dessalement de l'année, '*Global Water Awards 2012*'.

- Située à seulement 50 m de la côte, l'usine de dessalement utilise la technologie de membrane d'ultrafiltration de '*Hyflux*' pour le processus de prétraitement, suivie d'un procédé de traitement par osmose inverse. L'eau produite est destinée à la compagnie nationale algérienne des eaux et à la compagnie pétrolière nationale (RAPPORT DE STAGE, 2012).



Photo.2 : Présentation de la station de dessalement de Souk-Tleta. (Source : rapport de stage 2012)

3.1. Description du procédé de la station

Le Processus du dessalement appliqué dans la station du dessalement de Souk-Tleta est représenté dans le schéma suivant :

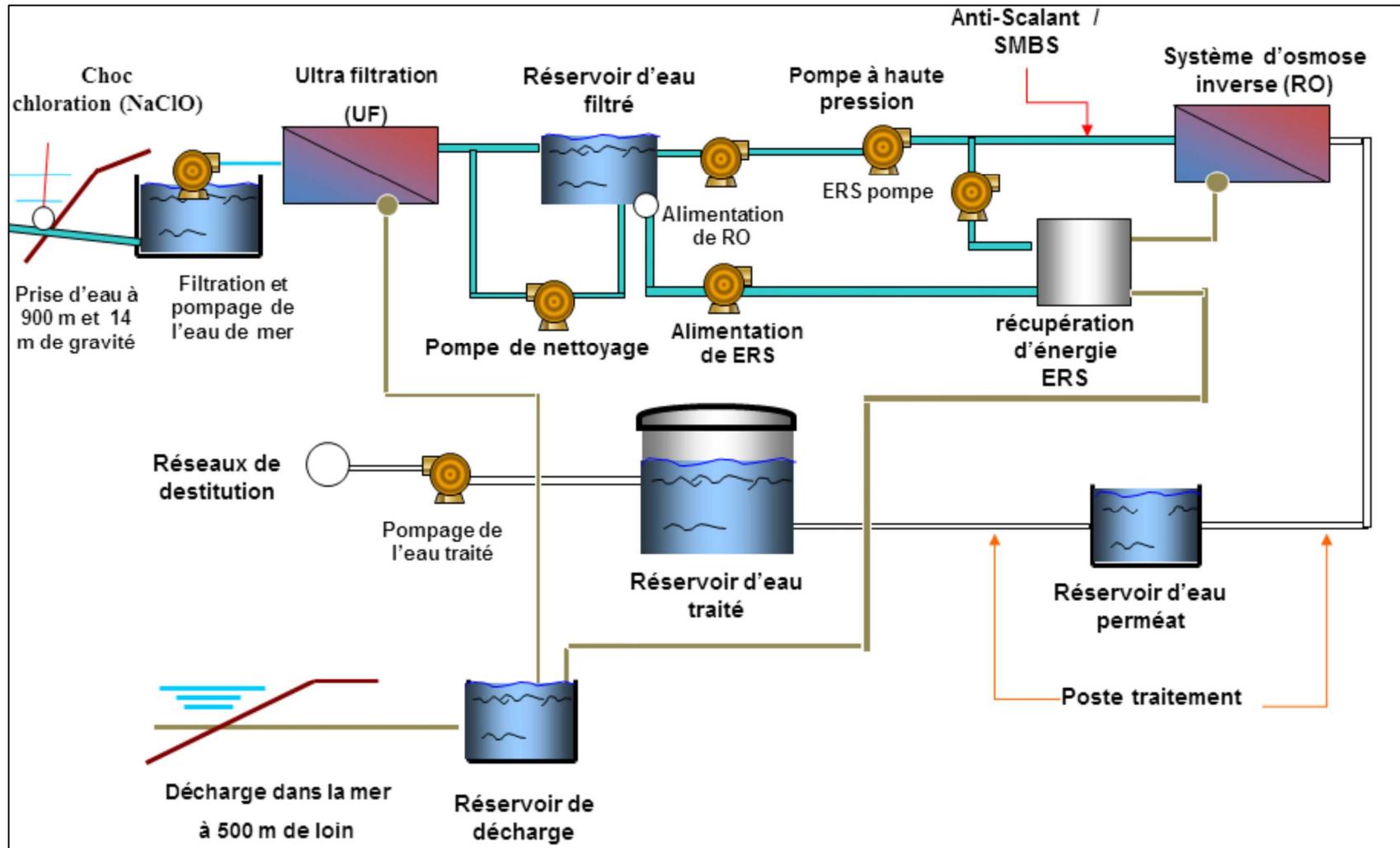


Fig. 21 : Schéma représentant le processus du dessalement appliqué à la station de Souk-Tleta (source : HACHEMAOUI, 2014).

3.1.1. Prise de la mer

C'est une étape très importante. En général, c'est le chemin d'arriver de l'eau de mer par graviter à la station. Leur tuyau de prise entre dans la mer à 900m avec une inclinaison de 30° à la droite et une profondeur de 12m.

- On trouve une crépine à l'entrée de ce tuyau pour qu'elle ne laisse pas passer les poissons et les débris etc. Lorsque l'eau de mer arrive à la station, elle entre dans deux réservoirs de 17m. Ce dernier contient un système de dosage de chlore pour l'élimination des micros organismes. Il y aussi deux pompes d'air en parallèle qui doivent injecter l'air dans le réservoir pour éliminer les poissons, les planctons et les agents biologiques (RAPPORT DE STAGE, 2012).

La prise d'eau de mer doit permettre d'obtenir à l'entrée de l'usine de dessalement une eau de meilleure qualité possible, en particulier du point de vue matière en suspension. Deux technologies peuvent être utilisées:

- **Les forages côtiers:** soit verticaux soit sous forme de galeries horizontales permettent d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stable.
- **La prise d'eau de surface :** peut être faite en pleine mer. Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la côte, protégée des pollutions et des forts courants et ne pas être sous l'infiltration de rejets (MAUREL, (2006)

3.1.2. Etapes de prétraitement

3.1.2.1. La filtration mécanique

La première phase du traitement consiste à faire passer l'eau de mer à travers deux filtres de différents diamètres:

✓ Le premier filtre (Deux dégrilleurs grossiers, l'un de service et l'autre de secours) comportant des mailles de 20mm de diamètre, permet l'élimination des grands organismes contenus dans l'eau de mer tels que les poissons. (**Photo.3**).



Photo. 3 : Les dégrilleurs grossiers. (source : HACHEMAOUI, 2014)

✓ Le deuxième filtre (Deux dégrilleurs fins, l'un de service et l'autre de secours), dont les mailles sont plus fines que celles du précédent avec 200µm, sert à éliminer les petits organismes et les fines particules solides. (**Photo.4**).



Photo. 4: Les Tamis-dégrilleurs fin rotatifs (Source : HACHEMAOUI, 2014).

L'ensemble de filtres bénéficie d'un système de nettoyage automatique permettant d'enlever les débris accumulés sur les deux écrans.

Cette étape de filtration mécanique assure la protection de la station de pompage d'eau de mer et le système d'ultrafiltration (SENHADJI, 2017).

3.1.2.2. La chloration

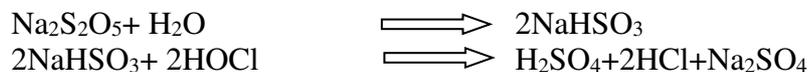
L'hypochlorite de sodium (NaOCl) est dosé périodiquement dans la structure de prise. Ce dosage de chlore de 10mg/L pour 1 h, désinfectera la prise et les filtres et réduira la croissance biologique à l'usine de traitement préparatoire (ZOUAG et al, 2017).

3.1.2.3. Station de pompage de l'eau de mer

Cette station de pompage comprend un total de six (06) pompes, cinq (05) en service et une (1) en veille pendant le fonctionnement normal. Chaque pompe d'eau de mer offre 5 300 m³/h et une pression de 3,5 Bar pour chaque pompe (AGGAB, 2014).

3.1.2.4. Dosage avec le méta-bisulfite de sodium (SMBS)

La déchloration de l'eau de mer est effectuée par le méta-bisulfite de sodium (Na₂S₂O₅) pour éviter l'oxydation des membranes d'Ultrafiltration et les membranes d'Osmose Inverse.



Le système de dosage se compose de deux réservoirs de stockage de SMBS avec mélangeurs et de deux séries de pompes doseuses.

Les premières pompes de dosage (une (01) en service et une (01) en mode veille) injectent la solution de SMBS dans la ligne d'alimentation d'eau de mer juste avant les banques d'Ultrafiltration. Ce dosage est synchronisé avec le dosage du chlore dans la chambre d'eau de mer.

Les deuxièmes pompes de dosage (une (01) en service et une (01) en veille) injectent la solution de SMBS dans la ligne d'eau filtrée avant le système d'Osmose Inverse

pour enlever toutes les traces du chlore libre. En théorie, une quantité de 1,34 mg de métabisulfite de sodium permet d'éliminer 1mg de chlore libre (SENHADJI, 2017).

3.1.3. Système d'ultrafiltration

3.1.3.1. Description du système

L'ultrafiltration est considérée comme l'étape la plus essentielle du prétraitement. Le système d'ultrafiltration se compose de cinq (05) compartiments comportant chacun neuf (09) trains dont huit (08) seront mis en service et le neuvième jouera le rôle d'un système de contre-courant (Backwash), ou il prendra la position d'un nettoyeur sur place (CIP) ou encore il sera en maintenance.

Des modules, de type Hyflux's Kristal™ UF, avec un flux de 50 à 70L/m²/h et une superficie de 70m²/module, seront utilisés par le procédé de filtration. Chaque train est fourni d'un espace pouvant englober 162 modules. Toutefois, seulement 144 modules seront en service. Cette installation permettra, dans le futur, une augmentation de la capacité de l'usine en cas de nécessité (AGGAB, 2014).



Photo. 5 : Représentation d'un train de cartouches d'Ultrafiltration. (Source : HACHEMAOUI, 2014).

3.1.3.2. Membranes d'Ultrafiltration

Les membranes de type **Hyflux Kristal™ UF (Photo.6)** ont les caractéristiques suivantes:

- Le diamètre de la membrane est de 8 pouces,
- La longueur est égale à 80 pouces,
- Les dimensions des pores de la membrane sont de 0,015µm et 0,020µm.

Les membranes fonctionnent de façon que l'eau d'alimentation arrivée à la membrane s'écoule au large de la face extérieure de cette dernière et le filtrat se concentre à l'intérieur (SENHADJI, (2017)).



Photo.6: Représentation des membranes d'ultrafiltration.(SENHADJI MUSTAPHA).

3.1.3.3. Le système de rétro-lavage «Backwash»

Avec l'accumulation des solides pendant la filtration, la résistance à l'écoulement augmentera et peut être surmenée par la soumission de la membrane à un écoulement en sens inverse avec le filtrat. Le lavage par l'air est introduit en même temps pour améliorer l'efficacité du rétro-lavage (Backwash).

Ce lavage à contre-courant est effectué périodiquement, généralement toutes les 30 à 45 minutes, et est contrôlé de façon qu'un seul train par compartiment puisse jouer le rôle de Backwash, durant cette période déterminée, avant de passer à l'autre (SENHADJI, (2017).

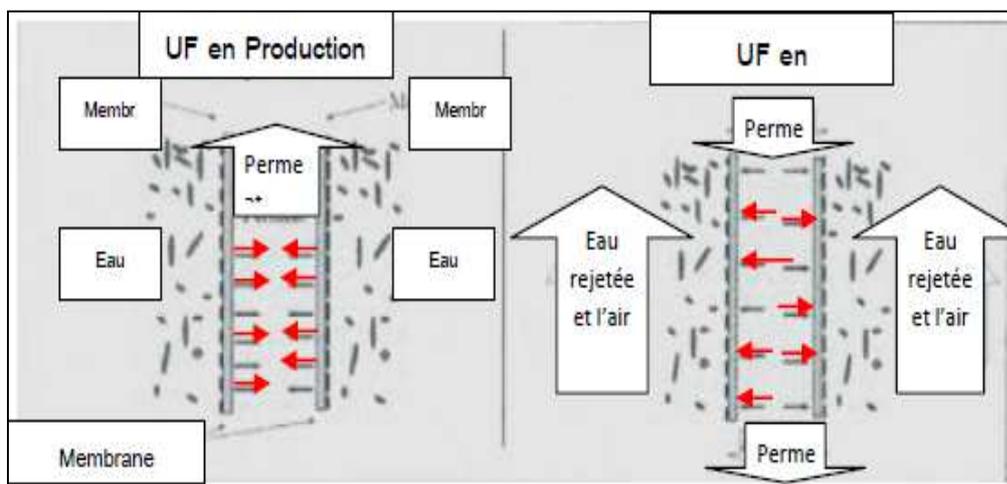


Fig.22: Fonctionnement de la membrane de l'UF en production et en rétro-lavage.(Didda, 2013).

3.1.3.4. Système CIP (Clean-In-Place)

Si le lavage à contre-courant supprime la plupart des solides accumulés, il faudra effectuer périodiquement, sur place et sans démonter les modules, un nettoyage plus efficace à l'intérieur des membranes d'UF. Cela peut se faire de deux façons:

- La première consiste en un nettoyage de maintenance fréquent (A frequent Maintenance Cleaning: **MC**), avec de l'acide chlorhydrique HCl à pH entre 2 et 3 et un mélange d'hydroxyde de sodium (NaOH) et d'hypochlorite de sodium (NaClO) à pH 11.

Il s'agit d'un contact de la membrane avec le produit chimique pendant 5 à 10 minutes. Après quelques semaines (3 à 4), la pression membranaire peut être non contrôlée par un lavage à contre-courant ou même par un MC. A ce moment, un nettoyage de récupération fréquent (A frequent Recovery Cleaning: **RC**), en utilisant l'acide phosphorique H_3PO_4 et nitrique HNO_3 , sera nécessaire.

Le RC exige une interruption de fonctionnement avec un temps plus important par rapport au MC mais avec un nettoyage plus profond des membranes. A la fin des opérations de nettoyage, le train peut être remis en service ou mis en veille et les solutions chimiques utilisées seront dirigées vers le réservoir de neutralisation avant d'être évacuer dans la mer [15].

3.1.3.5. Réservoir de stockage d'eau filtrée et la station de pompage

L'eau filtrée par le système d'UF est destinée vers un réservoir construit en béton et doublé d'un revêtement d'époxy. Ce réservoir est la source d'alimentation en eau pour le système d'osmose inverse (RO) ainsi que pour le lavage des membranes d'UF.

Six (06) pompes alimentant le système de lavage à contre-courant (Backwash), neuf (09) pompes d'alimentation de RO et sept (07) autres pour le système de récupération d'énergie (ERS), sont logées toutes dans une même station de pompage. (AGGAB,2014)



Photo.7: Station de pompage de Souk-Tleta. (Source : Rapport de stage, 2012).

3.1.3.6. Deuxième dosage de SMBS

Après le dosage de SMBS, avant l'entrée au système d'ultrafiltration, un deuxième dosage du produit est nécessaire à ce stade du traitement. Ce dosage, ayant pour but l'élimination du chlore, a lieu dans la ligne "d'eau réservoir d'eau filtrée - trains du système d'osmose inverse".

La solution de bisulfite de sodium est employée en raison de sa nature oxydative forte. En théorie, une quantité de 1,34 mg de méta-bisulfite de sodium permet d'éliminer 1,0 mg de chlore libre.

3.1.4. La technique d'osmose inverse (RO)

3.1.4.1. Description de la technique

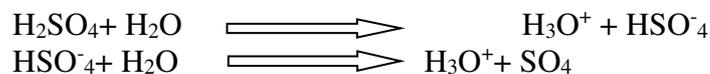
Au niveau de la station, le dessalement de l'eau de mer s'effectue par la technique membranaire d'osmose inverse RO. La section de cette technique à l'usine comprend les équipements suivants:

- Système de dosage anticalcaire (anti-scalant),
- Station de pompage de RO,
- Le système d'osmose inverse,
- Le système de récupération d'énergie,
- Système de nettoyage en place (CIP).

3.1.4.2. Système de dosage anticalcaire

Dans les membranes d'osmose inverse (RO), il existe une possibilité de précipitations du carbonate de calcium lors de passage de l'eau à travers les membranes laissant une concentration plus élevée de cette dernière. Pour minimiser le risque d'entartage, l'acide sulfurique est utilisé comme anticalcaire (l'acide sulfurique attaque les carbonates).

Le système de dosage se compose d'un réservoir de stockage et de deux pompes doseuses (une en service et l'autre en veille). Il fonctionne de façon que lorsque le train de RO rentre en service, la pompe démarre et commence à doser l'acide sulfurique.



3.1.4.3. Station de pompage de RO

La station de pompage de RO est composée de:

- Neuf (09) pompes centrifuges horizontales, ayant chacune une capacité de 1060m³/h et une pression allant de 10 aux 15 Bars, assurent l'alimentation des trains d'osmose inverse, dont huit sont en service et une en mode de veille.
- Sept (07) pompes centrifuges horizontales ayant chacune une capacité de 1720m³/h et une pression de 5 Bars, assurent l'alimentation de système de récupération d'énergie (ERS), dont six sont en service et une en veille. Chaque pompe alimente le système ERS pour deux trains d'osmose inverse (**photo.8**) (SANHADJI,2017).



Photo.8: Photo Pompe à haute pression. (Source : SENHADJI, 2014).

3.1.4.4. Le système d'osmose inverse

Treize (13) unités de trains de RO, sont installées où douze (12) sont en opération et le treizième constitue un train de secours. Chacun des douze trains permet de fournir un volume maximal de 16 833m³ avec une température variant entre 18 et 27°C et une TDS de 37 500mg/L.

Chaque train est équipé d'une pompe HP et d'un système de récupération d'énergie isobare. Le train unique se compose de 192 tubes, déposés en parallèle. Chacun de ces tubes contient 7 cartouches de membranes servant à éliminer 99,8% des sels dissous.

De la totalité des eaux alimentant les trains, seules 45% seront converties en eau potable et subiront un post-traitement tandis que le reste (eau de mer concentrée à teneur élevée en solides dissous totaux) sera rejeté dans la mer. (AGGAB, 2014).



Photo.9: Unités d'osmose inverse. (Source : HACHEMAOUI, 2014)

3.1.4.5. Système de récupération d'énergie

-Le système de récupération d'énergie ERS (Energie Recovery System) est utilisé afin de récupérer au préalable l'énergie du rejet de RO qui est dirigé vers la décharge. Il est basé sur les échangeurs isobares

-Le système ERS transfère la pression du courant de rejet saumâtre à haute pression au courant d'alimentation en eau de mer à basse pression.

-Le débit d'eau filtrée qui traverse le système ERS est contrôlé par une pompe de surpression à vitesse variable (pompe Booster). (SENHADJI, 2017).

3.1.4.6. Le système de nettoyage en place (CIP)

Le système de nettoyage en place ou Clean In Place (CIP), permet de nettoyer les membranes d'osmose inverse par les produits chimiques en cas de besoin, en raison de l'encrassement des membranes.

Le CIP peut être réalisé de deux façons :

- Soit le nettoyage avec l'acide citrique à pH faible (entre 2 et 3).
- Soit le nettoyage avec le STPP (Sodium Tri Poly Phosphate Na₅P₃O₁₀) et l'hydroxyde de sodium NaOH à un pH égale 11 à 11.5.

3.1.5. Le stade de post-traitement

L'eau obtenue par l'osmose inverse, doit passer par le stade de post-traitement afin de la reminéraliser pour satisfaire aux exigences de la potabilité de l'eau.

Le perméat est «agressif» en raison de la valeur négative de LSI (indice de saturation de Langelier) qui doit être augmenté dans le but de le mettre aux normes de potabilité ainsi que pour protéger le réservoir de stockage et les réseaux de distribution.

Les étapes de post-traitement sont basées essentiellement sur les dosages:

- Du chlore,
- Du dioxyde de carbone,
- De la chaux.

3.1.5.1. Le dosage du chlore

Cette étape est nécessaire pour le système d'approvisionnement en eau potable. Le dosage du chlore ayant pour but de désinfecter l'eau par l'injection d'hypochlorite de sodium NaOCl sous forme liquide en aval du réservoir du perméat.

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. 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. (CHENAOU, 2010).

3.1.5.2. Reminéralisations (dosage du dioxyde de carbone et de la chaux)

La reminéralisations 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 selon la réaction suivante :



Ces deux dosages permettent d'augmenter le pH et le LSI (Indice de Langelier) à la gamme désirée donnant une eau «non agressive» pour la distribution et la consommation humaine.

Dans la pratique, le CO₂ sera injecté à un débit de dosage fixe prédéterminé de 50mg/L et le dosage de chaux sera commandé par le pH de l'eau de façon qu'il se stabilise entre 7,8 et 8,2. (AGGAB, 2014).

Au niveau de la station, deux réservoirs de stockage de dioxyde de carbone (CO₂) liquide qui sera dirigé par la suite vers une des deux unités de vaporisation atmosphérique (un en service et un en mode veille) pour avoir le gaz du CO₂ (**Photo.10**). Ce gaz est injecté dans l'eau après le réservoir du contacte du chlore.



Photo.10: Site de stockage et de préparation du CO₂. (Source : SENHADJI, 2014)

Le système de dosage de la chaux se compose de plusieurs équipements permettant le stockage de la chaux en poudre, la préparation de la solution de la chaux saturée et son injection dans l'eau. La chaux en poudre est stockée dans deux silos construits en acier qui sont dirigés par la suite vers le réservoir de dilution où elle se mélange avec l'eau de service (perméat) pour former une solution de 0,14% du lait de la chaux (**Photo.11**).

Le lait de la chaux déborde dans la partie supérieure de réservoir (saturateur) qui s'écoule vers le réservoir de stockage du lait de la chaux. Ce dernier sera injecté dans l'eau, en surveillant le pH de façon qu'il reste conforme à la gamme préconisée par le contrat d'achat d'eau potable, qui est entre 7,5 et 8,5. (SENHADJI, 2017).



Photo.11: Site de stockage et de préparation de la chaux. (Source : SENHADJI, 2014)

3.1.6. Réservoir de stockage d'eau filtrée

Après la désinfection et la reminéralisations, l'eau sera stockée dans un réservoir d'eau traitée d'une capacité de 25 000m³. Ce réservoir est divisé en deux compartiments, s'il y a lieu, le stockage se fait dans un seul compartiment tandis que le deuxième sera en maintenance ou en nettoyage. (AGGAB, 2014).

3.1.7. Station de pompage de l'eau traitée

Il y a un total de quatorze (14) pompes d'eau traitée d'une capacité de 695m³/h, à haute pression de 30 Bars, dont douze (12) pompes sont en service et deux (2) pompes sont en veille, permettent le pompage de l'eau traitée à partir du réservoir de stockage vers les réseaux de distribution.

Des analyseurs en ligne sont installés à la sortie de l'eau traitée pour contrôler la qualité de cette eau. (SENHADJI, 2017).



Photo.12: Station de pompage de l'eau traitée. (Source : SENHADJI, 2014)

3.1.8. Fosse de neutralisation

Sous l'écoulement gravitaire, les déchets du système CIP concernant l'ultrafiltration et l'osmose inverse ainsi que toutes les eaux utilisées dans les opérations chimiques, s'accumulent dans une fosse d'une capacité de 250m³ située à la limite Nord-Ouest de la station, ou ils vont être neutralisés.

Cette opération se fait de la façon suivante:

- à pH faible, la neutralisation est effectuée avec de l'hydroxyde de sodium (NaOH);
- à pH élevé, elle sera faite par l'ajout de l'acide chlorhydrique (HCl).

La neutralisation assure aux rejets des valeurs de pH comprises entre 6 et 9, avant qu'ils ne soient acheminés vers l'exutoire. Cette démarche permettra la protection des eaux de mer (site final de la décharge) des produits toxiques et donc de l'écosystème marin.

3.1.9. Exutoire

La saumure retirée par les membranes d'osmose inverse, l'eau de lavage à contre-courant ainsi que toutes les solutions neutralisées au niveau de la fosse seront déversées par gravité dans un réservoir de décharge avant de rejoindre la mer.

Les points de décharge dans la mer seront placés tels que les rejets à haute salinité ne seront pas recyclés dans la prise d'eau qui est prolongée à presque 900m dans la mer.

4. SYSTEME DE CONTROLE SCADA

Les étapes de dessalement des eaux de mer à la station de Souk-Tleta sont contrôlées par un système de contrôle SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) (Photo.13).

Ce système de contrôle est configuré pour avoir un plus haut degré de disponibilité et de fiabilité, conviviale et la facilité d'entretien pendant 24/24 h, ce dernier exige un haut degré de vigilance de ce qui est chargé de ce poste si sensible.

La station pompe 500 000m³/j pour produire 200 000m³/j d'eau potable destinée à l'alimentation humaine et l'irrigation des terres. Le dessalement se fait par la méthode d'osmose inverse car ce procédé est le plus approprié (cout de l'eau produite) pour l'Algérie.



Photo.13: Système de contrôle SCADA. (Source : SENHADJI, 2014)

IV. CONCLUSION

Les étapes de dessalement des eaux de mer à la station de Souk Tleta sont:

- Le prétraitement c'est la première étape et basé sur une filtration mécanique afin de retirer toutes les particules volumineuses contenues dans l'eau de mer,
- L'étape d'ultrafiltration permettant de retirer la matière en suspension,
- L'osmose inverse, la phase la plus essentielle dans le procédé, installée dans le but d'enlever les éléments constituant la salinité de l'eau filtrée,
- Le post-traitement qui par l'ajout de produits chimiques appropriés permettra la reminéralisations des eaux afin d'assurer leur potabilité selon les normes exigées dans le contrat d'achat signé entre l'usine et l'Algérienne Des Eaux.

VI. STATION DE DESSALEMENT DE HONAINE

1. INTRODUCTION

Les travaux d'une seconde station de dessalement, implantée dans la côte de Tafssout, Commune de Souk El Khemiss, Daïra de Honaine. Dotée de la même capacité de production que pour celle de Souk-Tleta. Entamée en 2006 par le groupement espagnol GEIDA (Composé des sociétés COBRA, SADYT, BEFESA et CODESA), a été opérationnelle en juillet 2012, avec un montant d'investissement de 250 millions de dollars. (BENAOUDA, 2016).

Avec la mise en service de cette station, les besoins en eau potable de la wilaya de Tlemcen seront satisfaits jusqu'à l'horizon 2030. L'irrigation agricole sera également renforcée eu égard aux grands projets hydrauliques réalisés ces dernières années dans la wilaya.

Le projet de raccordement aval de la station de dessalement d'eau de mer de Tafssout aux réseaux AEP de Tlemcen, qui consiste en la réalisation de cinq (05) grands réservoirs et quatre (04) stations de pompage. Ce projet, localisé à Sidi Ahmed (Remchi) et dont les travaux ont atteint un taux d'avancement de 65%, a nécessité un montant de plus de 12 milliards de DA. Il alimentera 21 communes sur les 53 que compte la wilaya.

2. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le site de l'usine de dessalement d'eau de mer, est localisé au niveau de la Zone d'Extension Touristique Tafssout (ZET) de la commune de Honaine, Daïra de Honaine, à 64km du chef-lieu de la wilaya de Tlemcen.

La commune de Honaine, chef-lieu de daïra, s'étend sur une superficie de 57 Km², elle se situe au Nord-Ouest de la ville de Tlemcen. Elle est limitée :

- ❖ Au Nord par la mer méditerranée;
- ❖ A l'Est par la commune de Beni Khellad;
- ❖ A l'Ouest par la commune Dar Yaroumracen;
- ❖ Au Sud par les communes de Nedroma et Beni Ouarsous

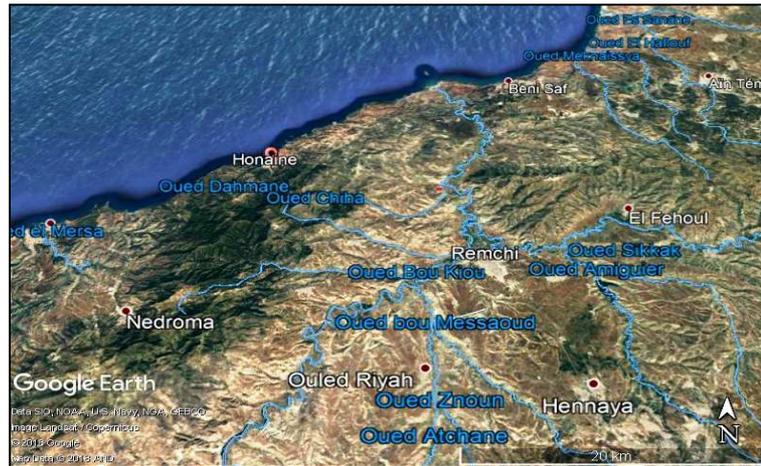


Fig.23: Situation de la zone d'étude (Source : station de Dessalement 'Honaine')

2.1. Délimitation de la zone d'étude

Le site considéré pour l'implantation de l'usine de dessalement, offre une superficie de 58.485 hectares, ses limites sont :

- Au Nord : la mer méditerranée
- Au Sud : Zones de maquis
- A l'Est : Zones de maquis et une partie de la ZET de Tafout
- A l'Ouest : Quelques habitations de l'ACL Honaine et une partie de la ZET

3. PRESENTATION DE LA STATION DE DESSALEMENT DE HONAÏNE

Au Nord-Ouest Algérien, la Wilaya de Tlemcen a fait l'objet de l'installation d'une station de dessalement d'eau de mer, dans la région de 'Honaine'. Sa capacité de production est de 200 000m³/j, assurant l'approvisionnement en eau potable de 23 communes ainsi que les agglomérations urbaines du Grand-Tlemcen (Tlemcen, Mansourah et Chetouane), soit une population d'environ 555 000 habitants.

3.1. Relief

La commune de Honaine, présente une morphologie singulière des pays calcaires, délimitée par la mer méditerranée et fortement accidentée. Elle est dans une petite baie à 52km de la frontière Algéro-Marocaine à laquelle des hauteurs escarpées donnent des allures de forts.

Les pentes sont très variables, elles vont de 10 à 45% alors qu'au Nord, elles sont plus douces.

Au Sud, les massifs sont plus abruptes, et les pentes Nord-Sud varient entre 35% et 40%, et constituent un ensemble montagneux fortement raviné et de parcours très difficile.

Les habitants définissent leur côte, comme «une façade sans fenêtres et avec une seule porte: Honaine».

La morphologie de la région s'est formée à la faveur d'une succession de mouvements tangentiels et de soulèvement de l'orogénèse atlasique et/ou alpine. Néanmoins, subsiste le

substratum primaire bien individualisé par le granite de Nedroma et son auréole métamorphique.

Ces mouvements tectoniques profonds, ont créé un important métamorphisme régional. C'est cette tectogenèse atlasique qui est à l'origine des reliefs actuels, de la nature des faciès des formations et d'éventuels mouvements néotectoniques actuels.

Le relief très accidenté de la commune limite l'utilisation agricole des terrains, sauf pour l'arboriculture de montagne, et rend les tracés routiers très sinueux et donc des liaisons entre la commune et le reste de la région assez médiocres, et une trame de desserte interne à la commune très faible.

4. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA FUTURE USINE DE DESSALEMENT D'EAU DE MER DE LA VILLE DE HONAINAINE

Tabl. 14: Caractéristiques techniques de l'usine de dessalement d'eau de mer.

Paramètres	Unité de mesure	Valeur
Production d'eau	m ³ /j	200 000
Superficie	m ²	58 485
Prise d'eau de mer	m ³ /h	17,729
Salinité de l'eau de mer	ppm	36 700
Volume d'eau rejetée	m ³ /h	9,663S
Qualité de l'eau	ppm	484
Température de l'eau rejetée	°C	17
Taux de rendement de dessalement	%	47
Durée de la construction	Mois	24
Cout	Millions d'USD	230
Type de prise d'eau de mer : Emissaire sous-marin		
Type de décharge de saumure : Emissaire sous-marin		

- **Superficie totale** : 58 485 Ha,
- **Surface bâtie** : 21 754 Ha
- **Nature de la construction** : Bâtiment de production ; réservoir d'eau dessalée ; voirie et espace vert ; sous station électrique ; Institut de formation.

Tabl. 15 : Répartition de la superficie de la station de dessalement

La zone	Superficie (Ha)
Captage	2 075
Les filtres	11 857
Batiment de production	08 297
Réservoir de l'eau produite	03 749
La sous station électrique	03 340
Voirie et espace verts	19 679
Institut	09 488
Total	58 485

5. CARACTERISTIQUES DE L'EAU DE MER

5.1. Caractéristiques de l'eau à traitée

Les caractéristiques de l'eau de mer faisant l'objet du dessalement sont présentées dans le tableau. 25. Il s'agit des conditions de base pour entamer l'opération de dessalement.

Tabl. 16 : Caractéristiques de l'eau de mer 'Honaïne' (Conditions de base du site) (ABDERRAZAK, 2014) :

Paramètres	Unité	Conditions de base du site de la station de dessalement de Honaïne
Température	°C	24
Les solides dissous total	mg/L	40 074
Total des matières solides dissoutes (TDS)	mg/L	37 000
Total matières solides en suspension (TSS)	mg/L	-
Pétrole et hydrocarbures	mg/L	-
Les matières en suspension	mg/L	0,004
Chlorure	mg/L	22 289
Calcium	mg/L	1 047
Sulfate	mg/L	2 978
Magnésium	mg/L	1 545
Sodium	mg/L	11 472
Potassium	mg/L	0,583
Bicarbonate	mg/L	0,130
pH		8,2
Bore	mg/L	5

5.2. Caractéristiques de l'eau commercialisable

Les valeurs garanties pour l'eau traitée seront conformes aux paramètres suivants :

PH : 8,4

Indice de Langelier: 0 - 0,4

Alcalinité: 60,20 ppm de CaCO₃

Dureté totale: 83,10 ppm avec CaCO₃.

Matière totale Dissoute: 150 < MTD < 500 ppm

Bore: ≤ 1 mg/L (valeur annuelle moyenne)

6. PROCESSUS DU DESSALEMENT APPLIQUE DANS LA STATION DESSALEMENT DE HONAÏNE

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

- ✓ Le captage de l'eau de mer,
- ✓ Le prétraitement,
- ✓ L'installation de dessalement proprement dite, le procédé utilisé est l'osmose inverse (éventuellement couplée à la nanofiltration),
- ✓ Le post-traitement.

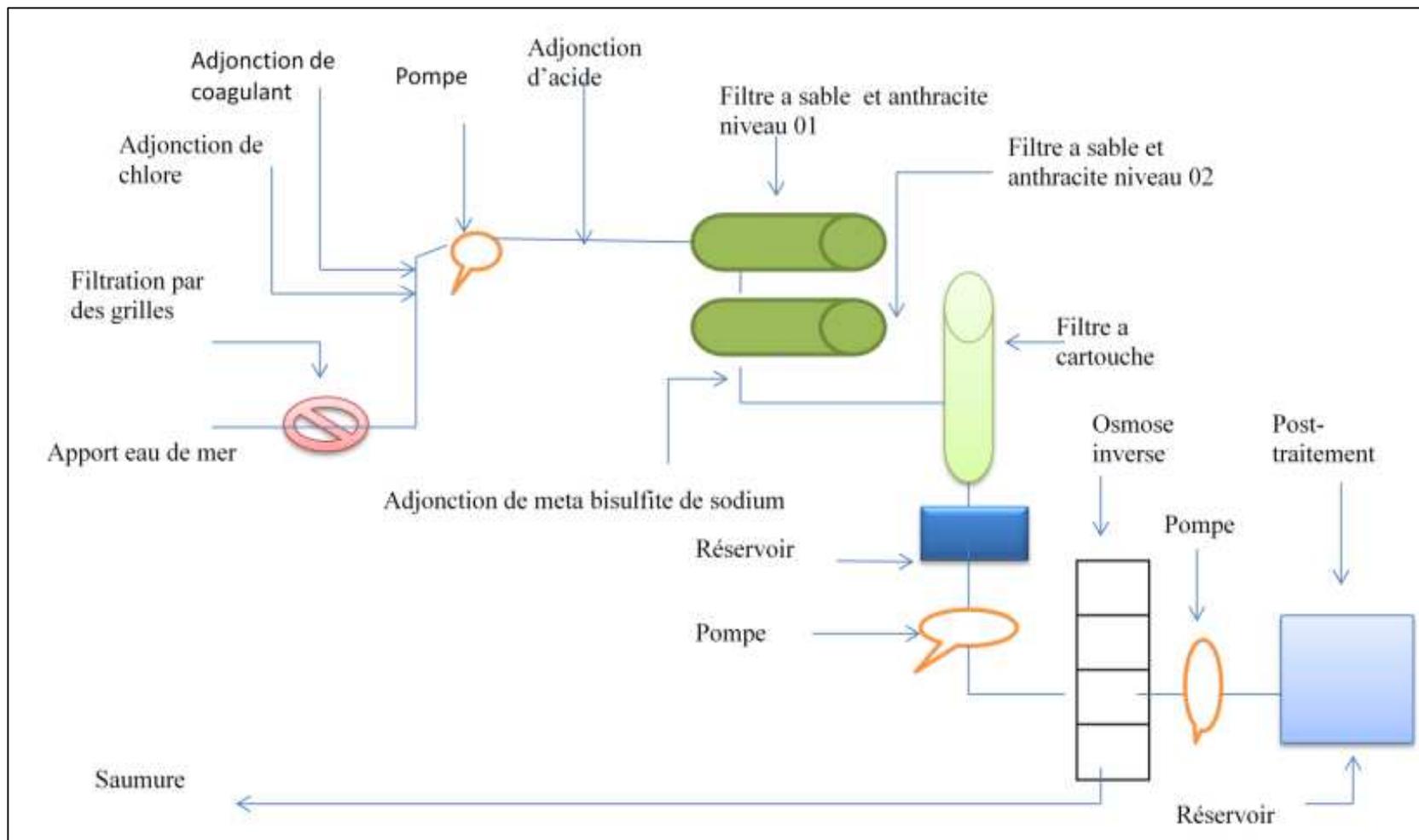


Fig.24 : Diagramme de processus de dessalement de l'eau de mer par Osmose Inverse au niveau de la station de dessalement de l'eau de mer 'Honaine'. (Source : station de Dessalement 'Honaine').

6.1. Captage d'eau de mer et filtration primitive

La première opération s'effectue au niveau de la tour de captage de l'eau de mer qui consiste à pomper l'eau de mer par le biais de onze (11) pompes dont une (01) de réserve (veille), par aspiration à vide au débit de 18 934 m³/h.

Cette tour est dotée d'un système de pré-filtration comprenant trois (03) tubes de grilles à gros grains et des tamis autonettoyants. Cette filtration d'eau permet d'assurer une entrée en eau moins chargée en débris marins et homogène, adéquate pour l'étape suivante (ABDERRAZAK, 2014).

6.2. Le prétraitement

C'est la deuxième étape du processus de dessalement dont le but est d'éliminer :

- ❖ Les solides en suspension
- ❖ Les matières organiques
- ❖ Les micro-organismes

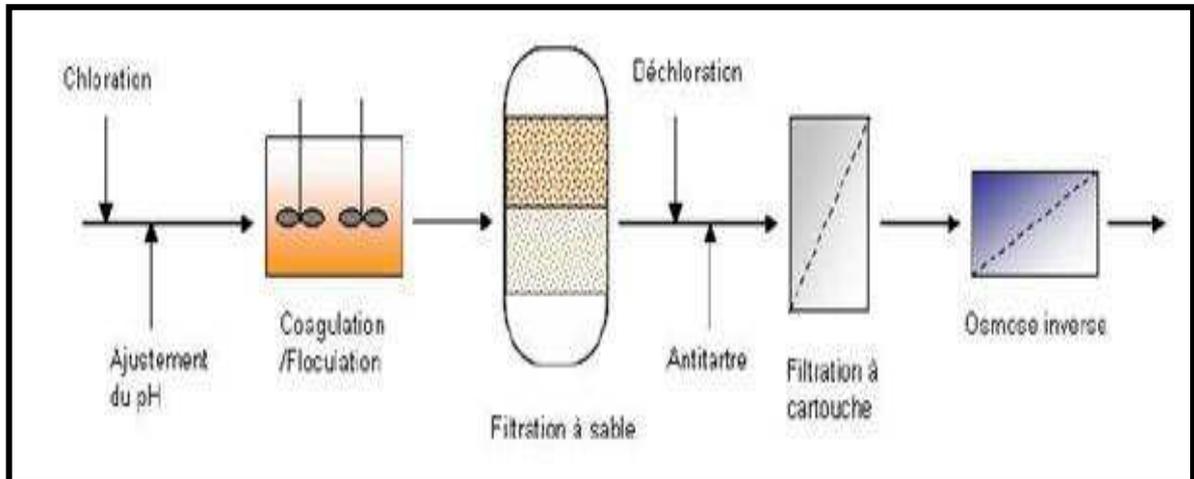


Fig.25: Etapes du prétraitement avant l'osmose inverse (Source : station de Dessalement 'Honaine')

Les principales étapes d'un prétraitement sont les suivants:

- * La Chloration,
- * La Clarification,
- * La Prévention de l'entartrage,
- * La Déchloration,
- * La Filtration sur cartouches.

Elle est aussi nécessaire pour éviter la détérioration des pompes, l'incrustation, l'encrassement et la dégradation des membranes d'osmose inverse par les microorganismes. Cette étape comporte deux (02) types de prétraitements :

6.2.1. Le prétraitement chimique

Cette opération s'effectue au niveau de la tour de captage de l'eau de mer ou dans l'aspiration des pompes à eau de mer ou dans l'impulsion de ces dernières. Elle consiste à l'injection d'hypochlorite de sodium NaOCl, de chlorure ferrique (FeCl₃) et du tabisulfite de sodium (Na₂O₅S₂) (BENAOUA,2016).

6.2.1.1. Traitement par l'hypochlorite de sodium

Cette étape se fait grâce à deux citernes NaOCl d'une capacité de 140 m³, munies de (4 +1) pompes destinées à injecter l'hypochlorite de sodium au niveau du système de pompage de l'eau de mer.

6.2.1.2. Traitement par le chlorure ferrique

Deux autres citernes de FeCl₃ munies de (4 +1) pompes sont utilisées pour injecter le FeCl₃ au niveau du système de pompage de l'eau de mer. Une injection éventuelle d'acide sulfurique pour ajuster le pH est possible lors du traitement. Cette injection a pour but d'éliminer les matières en suspension et les matières colloïdales présentes dans l'eau de mer.

6.2.1.3. Injection du méta-bisulfite de sodium (Na₂O₅S₂)

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

L'injection de la solution de Na₂O₅S₂ se fait par l'ensemble des pompes (4+1) avant la filtration à sable ou à cartouche pour donner un maximum de temps de contact possible (ABDERRAZAK, 2014).

6.2.1.4. Dosage de dioxyde de carbone

Equipement doseur de dioxyde de carbone destiné à réduire le pH d'eau de mer et à éviter les précipitations de carbonates et de bicarbonates.

6.2.2. Prétraitement physique

C'est un traitement destiné à éliminer fondamentalement les éléments solides, les algues et la matière organique, par le passage de l'eau de mer à travers des filtres à sable et anthracite et à travers des filtres à cartouches.

Le mouvement de l'eau dans ces filtres est vertical, pénétrant par la partie supérieure du filtre et descendant à travers les couches filtrantes qui retiennent les matières solides dans sa partie inférieure. Des collecteurs munis de buses recueillent l'eau filtrée (BENAOUDA, 2016).

6.2.2.1. Filtration à sable et anthracite

Une distribution de 80 filtres, bicouches sable-anthracite avec une granulométrie différente, a été conçue (divisée en quatre lignes) d'une surface unitaire de filtration de 11 857 m².



Photo.15 : Filtres à sables et anthracite (Source : station de Dessalement 'Honaine').

6.2.2.2. Filtration à cartouche

Une fois que l'eau d'appoint a reçu les dosages des réactifs appropriés et qu'elle a été filtrée, elle est conduite vers le processus de microfiltration.

Au total, il y aura 22 filtres avec 290 cartouches chacune, dont 10 seront ceux qui filtrent l'eau d'alimentation aux pompes de haute pression et 12 filtreront le courant d'alimentation aux récupérateurs d'énergie.

C'est une microfiltration assurée par des cartouches en polypropylène de 25 micron et d'un diamètre de 61mm, dans des réservoirs métalliques en position verticale (Photo.16).

Son rôle est la protection des pompes à haute pression, contrairement aux filtres à sable et anthracite. Ces filtres sont renouvelés périodiquement après 171 jours d'utilisation.



Photo.16: Filtres à cartouches au niveau de la station (Source : station de Dessalement 'Honaine')

6.2.2.3. Réservoir d'eau filtrée

L'eau filtrée produite est stockée dans un réservoir fermé. Cette eau, à partir de ce réservoir, est utilisée pour alimenter les unités d'osmose inverse; une autre partie est utilisée pour le rinçage et le nettoyage des filtres à sable. Ces derniers subissent l'accumulation des matières solides qui provoquent une augmentation de la résistance à l'écoulement ainsi que la diminution de la production d'eau filtrée. Un barbotage avec l'air est introduit afin d'améliorer l'efficacité du lavage par inversion du flux de bas en haut.



Photo.17: Réservoir de stockage de l'eau produite (Source : station de Dessalement 'Honaine')

6.3. L'étape d'osmose inverse

Le dessalement de l'eau de mer est réalisé par son passage à travers le système d'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 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.



Photo.18: L'étape de l'osmose inverse (Source : station de Dessalement 'Honaine')

6.3.1. Un châssis à membrane

Composé de 222 modules à 7 membranes de type «SWC5 max, Hydranautics». Ces membranes type spirale (Photo.19) sont composées de:

- * Une couche de polyamide à 0.15 μ ,
- * Une couche de poly-sulfone à 40 μ pour supporter la couche polyamide,
- * Une couche de polyester qui donne une certaine résistance mécanique de la membrane à 100 μ .

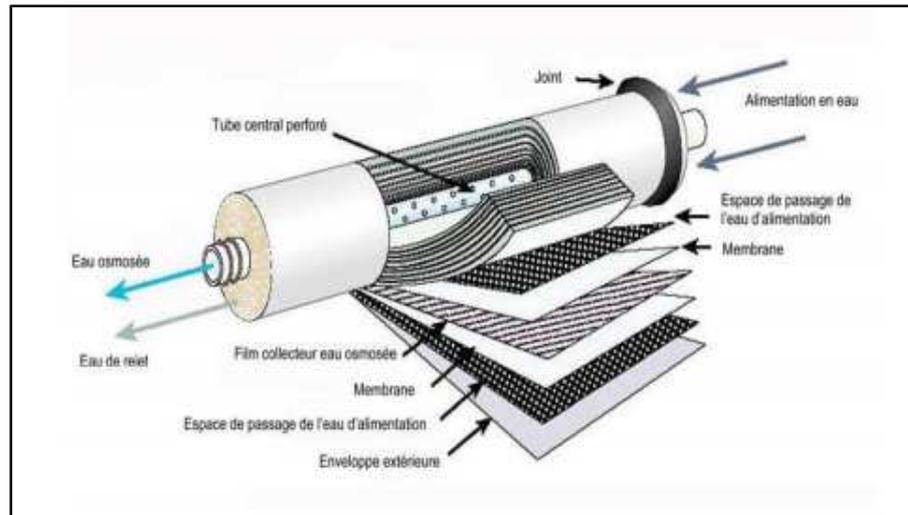


Fig.26: La membrane spirale de l'osmose inverse [P. DANIS, (2003) : Dessalement de l'eau de mer. Technique de l'ingénieur, référence :d 2700].

6.3.2. Une pompe à haute pression

Les pompes haute-pression des membranes d'osmose doivent permettre d'assurer un débit d'eau à une pression donnée, tout en absorbant le minimum d'énergie. Elle permet de fournir une pression jusqu'à 70 Bar en vue d'alimenter l'osmose inverse. Cette dernière peut être de types segmenté, chambre partie, et autres, etc.

6.3.3. Pompe de recirculation

Dans le but de compenser les pertes de charge produites dans les membranes et la tuyauterie, la station doit être dotée d'une pompe de recirculation pour augmenter la pression de l'eau de mer provenant du système de récupération d'énergie avant l'arrivée du flux d'eau de mer provenant de la pompe centrifuge à haute pression.

6.3.4. Système d'échange de pression

Grâce à un rotor, un système d'échange de pression s'effectue entre la saumure provenant des membranes à haute pression et l'eau de mer à basse pression, une récupération importante d'énergie permet la réduction de coût de dessalement de l'eau de mer.

6.3.5. Réservoir de l'eau dessalée

Ce dernier est destiné à accueillir l'eau déminéralisée issue de l'osmose inverse. Cette eau dessalée est utilisée aussi pour rincer les membranes d'osmose inverse en cas de colmatage (Photo.19).



Photo. 19: Réservoir de l'eau dessalée (Source : station de Dessalement 'Honaine')

6.4. Le Post-traitement

En général, l'étape de post-traitement comporte deux phases principales: l'ajustement de pH et la chloration.

6.4.1. L'ajustement de pH

L'eau produite par un des procédés de dessalement est agressive. Son pH est inférieur au pH de saturation. La correction du pH se fait par une solution alcaline, automatiquement par une fonction du pH.

L'eau issue du traitement de l'osmose inverse est indemne de tous les minéraux, c'est-à-dire non consommable, une re-minéralisation est nécessaire pour rendre cette eau potable.

L'injection automatique de CO₂ pour réduire le pH proche de 5 permet de rendre plus efficace le processus de re-minéralisation. Ce dernier est réalisé dans des tours ou chambres en nombre de dix, à l'intérieur desquelles est situé le lit de calcite (carbonate de calcium) de 2,86 m de hauteur, équipées par des tuyaux de distribution (Photo.20).

6.4.2. La chloration

Il est nécessaire d'assurer une étape de désinfection pour éviter toute contamination et développement biologique. Dans ce contexte, il existe de nombreuses méthodes de désinfection de l'eau, mais la plus utilisée est la chloration de l'eau par l'utilisation d'une solution d'hypochlorite de sodium (eau de Javel).

La chloration permet de détruire les organismes pathogènes présents dans l'eau et protéger l'eau contre de nouvelles contaminations ultérieures au cours de son transport ou de son stockage.

A travers ce lit de calcite l'eau traitée passe et atteindra le fond (réservoir) par un canal à l'intérieur de la tour. Après et à l'aide d'un doseur automatique, il y aura un ajout d'hypochlorite de sodium à partir des deux citernes suscitées.

A l'aide d'une dizaine de pompes l'eau traitée est pompée vers le réservoir de stockage afin de la distribuer par l'ADE, tandis que le rejet de saumure sera évacué par un émissaire marin pénétrant jusqu'à 1000m dans la mer dans le but d'assurer une meilleure dilution et d'éviter des conséquences indésirables pour l'environnement.



Photo.20 : Les réservoirs de CO₂ (Source : station de Dessalement 'Honaine')

6.5. Traitement des rejets liquides

Les différents rejets de l'usine seront traités comme suit :

- **Eaux résiduelles** : Il est prévu une station d'épuration monobloc.
- **Solution de nettoyage chimique** : La solution de nettoyage chimique sera neutralisée dans les mêmes réservoirs de préparation de la solution une fois que le cycle de nettoyage terminée.
- **La Saumure** : Une partie de la saumure produite dans le processus de dessalement est utilisé pour le nettoyage des filtres à sable. La quantité de la saumure qui reste est versée dans la mer a travers de l'émissaire de saumure.
- **Saumure de nettoyage des filtres** : La saumure utilisée pour le nettoyage des filtres est conduite jusqu'au réservoir de saumure où elle se mélange avec le reste de la saumure provenant de l'osmose inverse, en diminuant de cette façon sa concentration en solides dissoutes.

VI.CONCLUSION

Les étapes de dessalement des eaux de mer à la station de Souk-Tleta sont:

- Le prétraitement : c'est la première étape, elle est basée sur une filtration mécanique afin de retirer toutes les particules volumineuses contenues dans l'eau de mer,
- L'ultrafiltration permettant de retirer la matière en suspension,
- L'osmose inverse : la plus essentielle phase dans le procédé, installée dans le but d'enlever les éléments constituant la salinité de l'eau filtrée,
- Le post-traitement qui par l'ajout de produits chimiques appropriés permettra la reminéralisations des eaux afin d'assurer leur potabilité selon les normes exigées dans le contrat d'achat signé entre l'usine et l'Algérienne Des Eaux.

Le processus du dessalement d'eau de mer de Honaine comporte aussi les mêmes étapes que Souk-Tleta mais la technique utilisée dans chaque étape est différente :

- Le prétraitement : comporte deux types de prétraitements, le prétraitement chimique se fait par l'injection des produits chimiques et le Prétraitement physique par des filtres à sable et anthracite et des filtres à cartouches.
- L'étape d'osmose inverse
- Le post-traitement contient deux phases principales : l'ajustement de pH et la chloration.

*Chapitre 5 :
Interprétation des
Résultats*

Cinquième Chapitre : INTERPRETATION DES RESULTATS

I. INTRODUCTION

Cette partie est consacrée à l'interprétation des résultats des analyses physico-chimiques des prélèvements effectués à la station de dessalement de Souk-Tleta et Honaine. Elle traitera l'évolution des paramètres relatifs aux eaux traitées et à la qualité des eaux dessalées par l'utilisation des normes de potabilité algériennes et celles de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Aussi, une comparaison des paramètres physico-chimiques des eaux traitées des stations aux normes de qualité stipulées dans le contrat sera établie.

II.RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA STATION DE SOUK-TLETA

1.1.le PH :

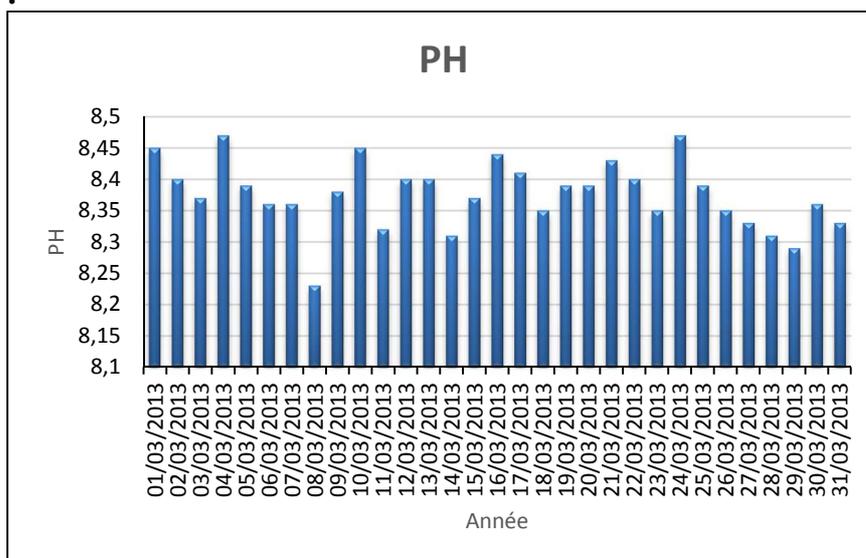


Fig.27 : la variation de PH au mois de Mars 2013

La figure(27) représente les variations du la moyenne du pH sur le site de prélèvement au mois de Mars 2013. Elle varie entre 8,29 et 8,47.

Si l'on se réfère aux normes de potabilité, les valeurs du pH des eaux traitées sont conformes à la norme algérienne (Annexe. 2) et à celle de l'OMS (Annexe. 1) dont les valeurs minimale et maximale sont respectivement de 6,5 et 9,5.

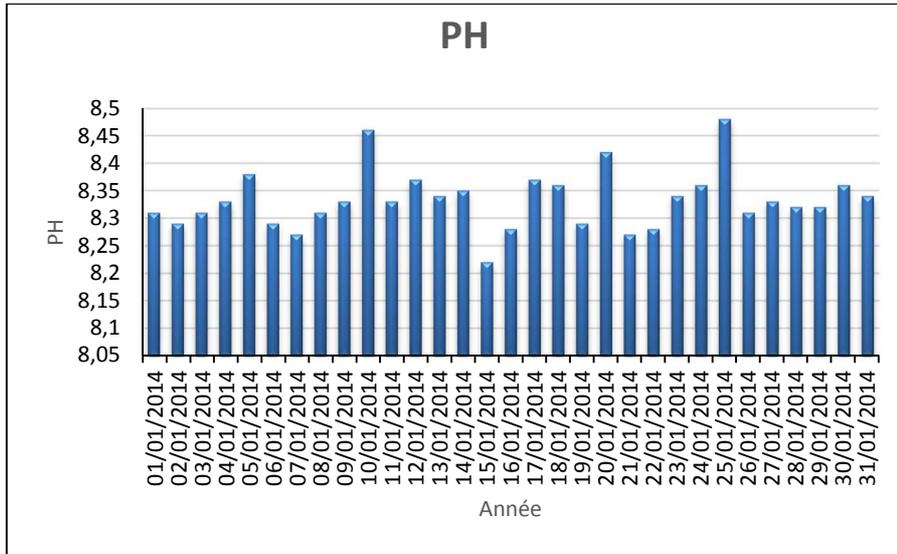


Fig.28 : la variation de PH au Mois de Janvier 2014

La figure(28) représente les variations du la moyenne du pH sur le site de prélèvement au mois de Janvier 2014 .Elle varier entre 8,22 et 8,46.Ces valeur respecté les Norme (Annexe. 2), (Annexe. 1).

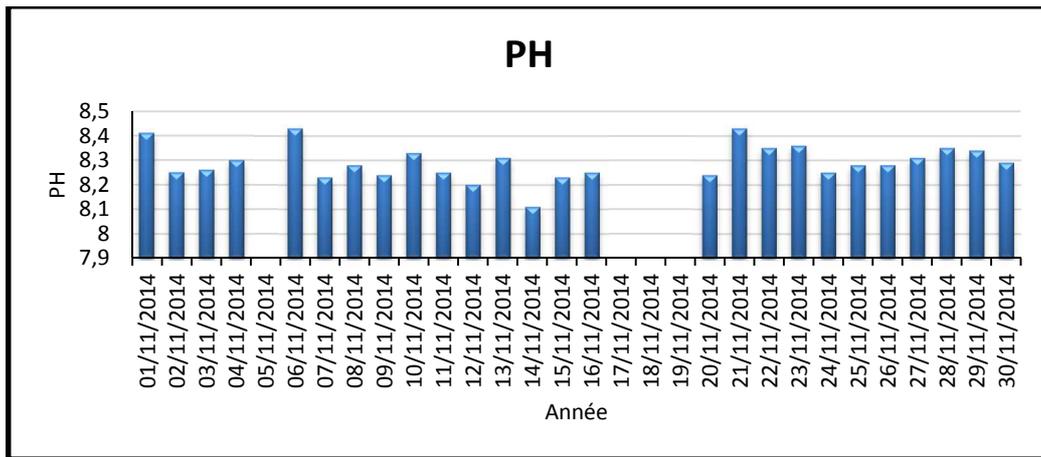


Fig.29 : la variation de PH au mois de Novembre 2014

La figure(29) représente les variations du la moyenne du pH sur le site de prélèvement au mois de Novembre 2014. Elle varie entre 8,11 et 8,43. Cette valeur ne dépasse pas la valeur 9,5 qui fixée par les normes Algériennes.

1.2. Température

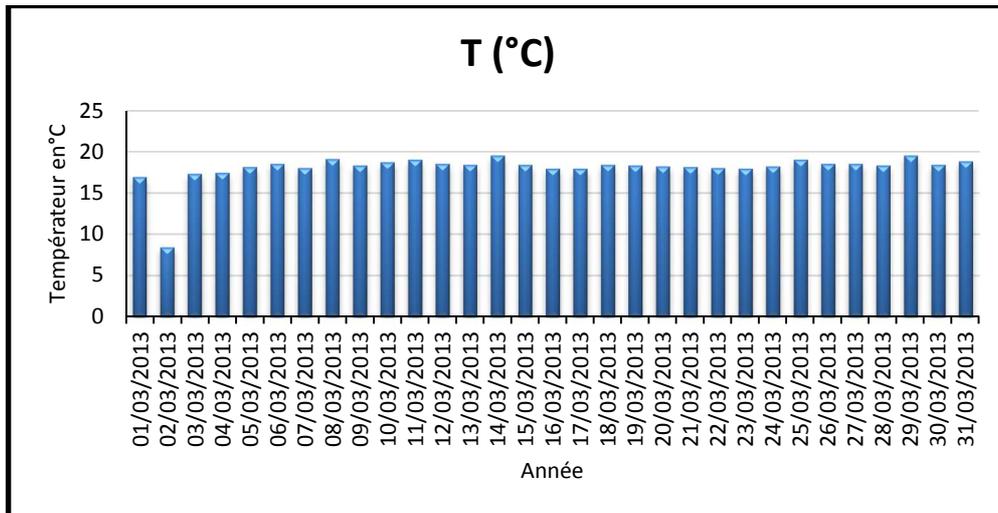


Fig.30 : la variation de température au mois de Mars 2013

À partir d’histogramme de la figure 30 on remarque que la température au mois de Mars 2013 est presque stable et toujours inférieur à la norme (Annexe 1et 2).

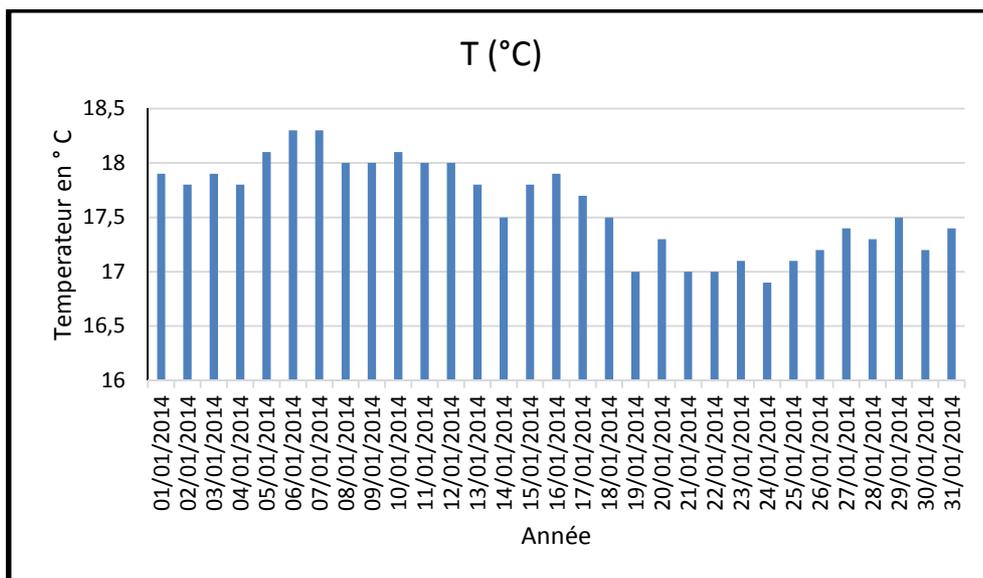


Fig.31 : la variation de la température au mois de Janvier 2014

La fig 31 représente la variation de la température au mois de Janvier 2014, elle varier entre 18, 3 et 16,9°C .ces valeur est respecté les normes de l’OMS et celle de les normes Algériennes (Annexe 1 et 2).

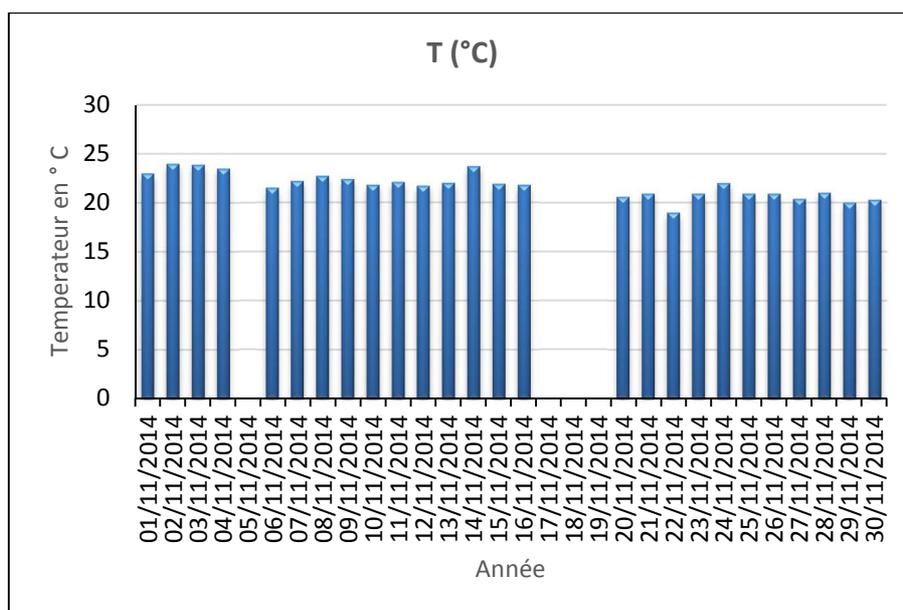


Fig.32 : la variation de la température au mois de Novembre 2014

À partir d'histogramme de la figure 32 on remarque que la température au mois de Novembre 2014 est presque stable et toujours inférieur à la norme (Annexe 1et 2).

1.3. Conductivité électrique

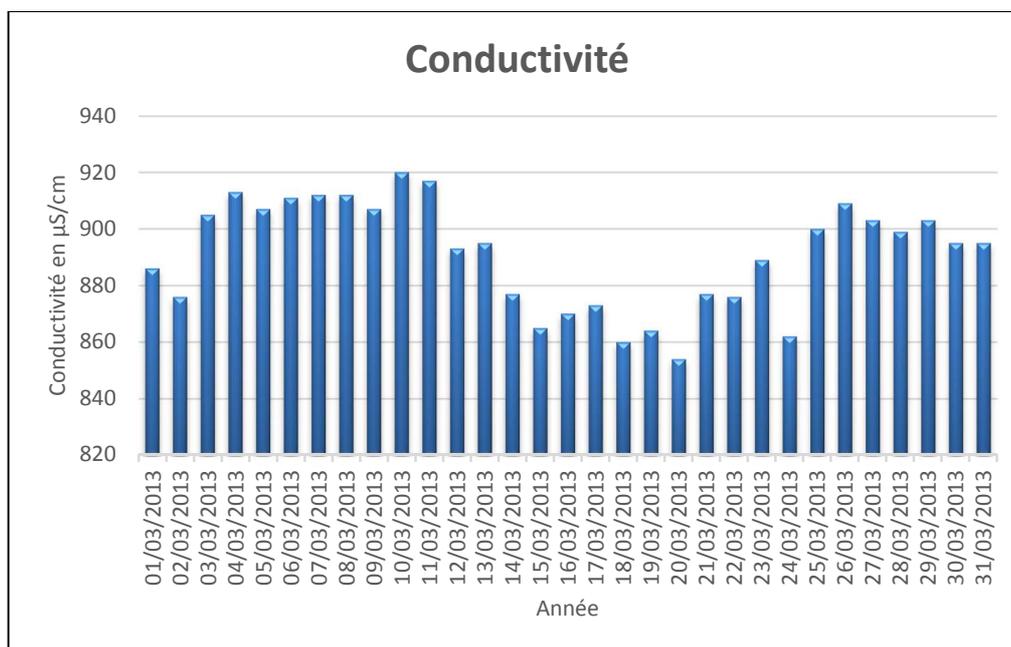


Fig.33. la variation de la conductivité au mois de Mars 2013

A partir de cet histogramme de la conductivité on remarque que la conductivité varier entre 920 et 854 µS/cm. Ces valeurs de conductivité électrique enregistrées pour l'eau de consommation sont conformes à la norme algérienne dont les concentrations maximales admissibles sont respectivement de 2880 µS/cm.

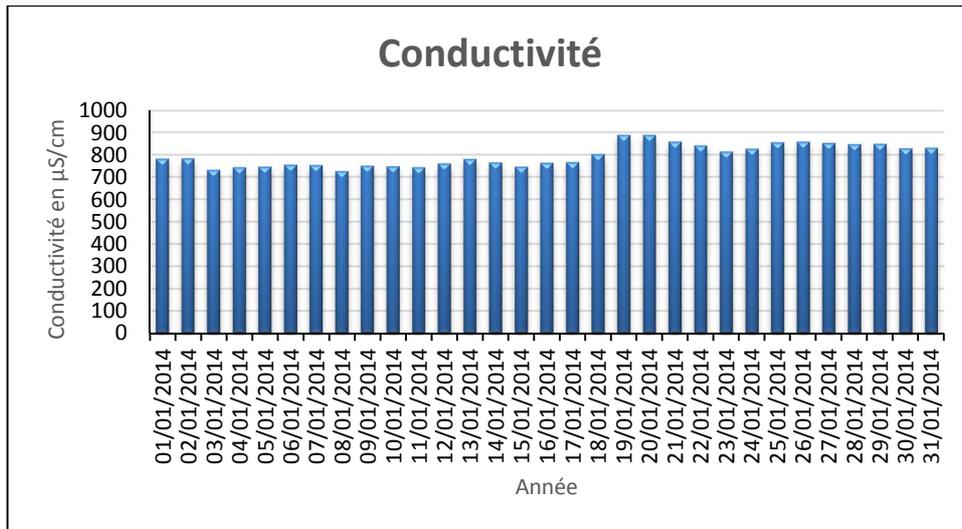


Fig.34 : la variation de la conductivité au mois de janvier 2014

La conductivité au mois de janvier est presque stable et respecté les normes Algérienne (Annexe 2).

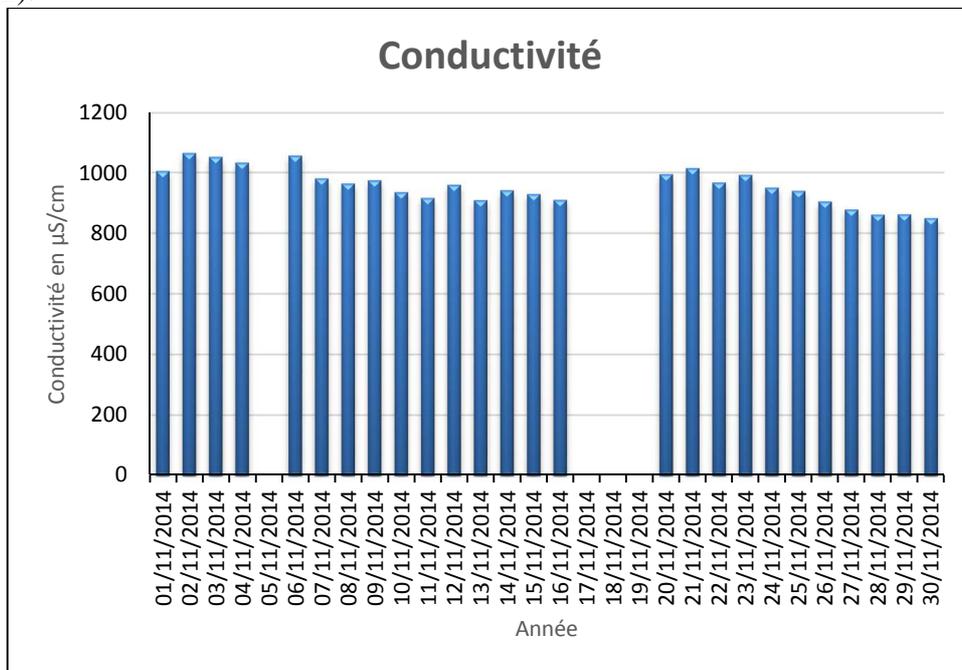


Fig.35 : la variation de la conductivité au mois de Novembre 2014

Les résultats obtenus à partir d’histogramme montrent des variations de la conductivité mesurée sur site. On note que les valeurs fluctuent entre 1014 et 861 µS/cm. Cette valeur inférieure à 2880 µS/cm.

1.4. Chlore libre

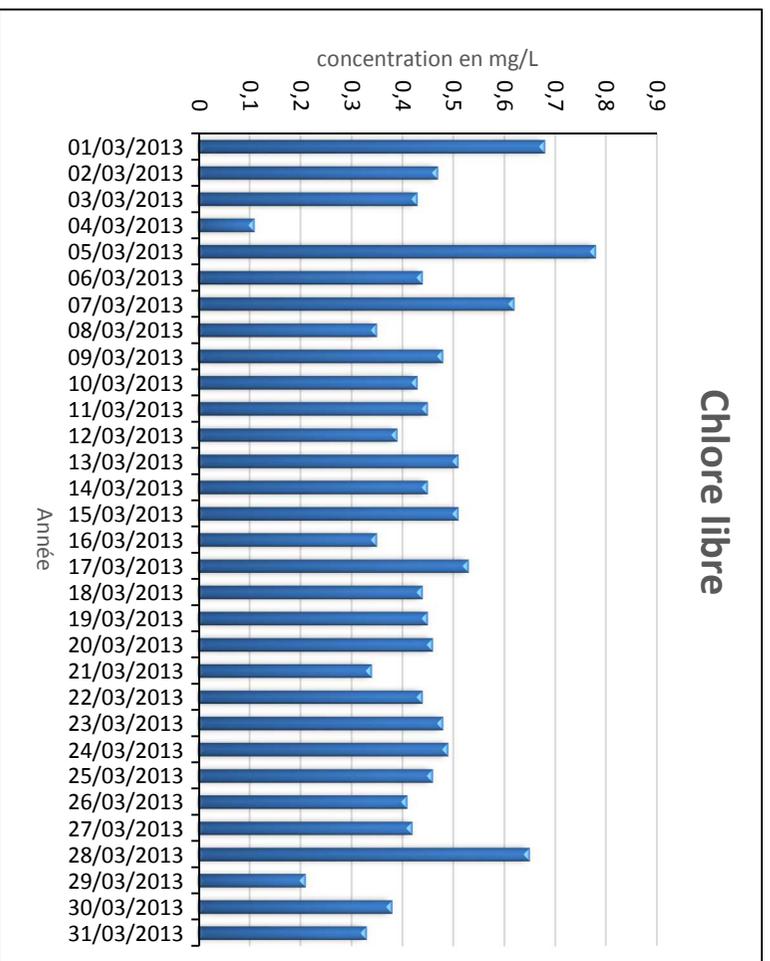


Fig.36 : la variation de Chlore libre au mois de Mars 2013

Les valeurs de Chlore libre conformes aux normes de l'OMS et celle les normes Algérienne.

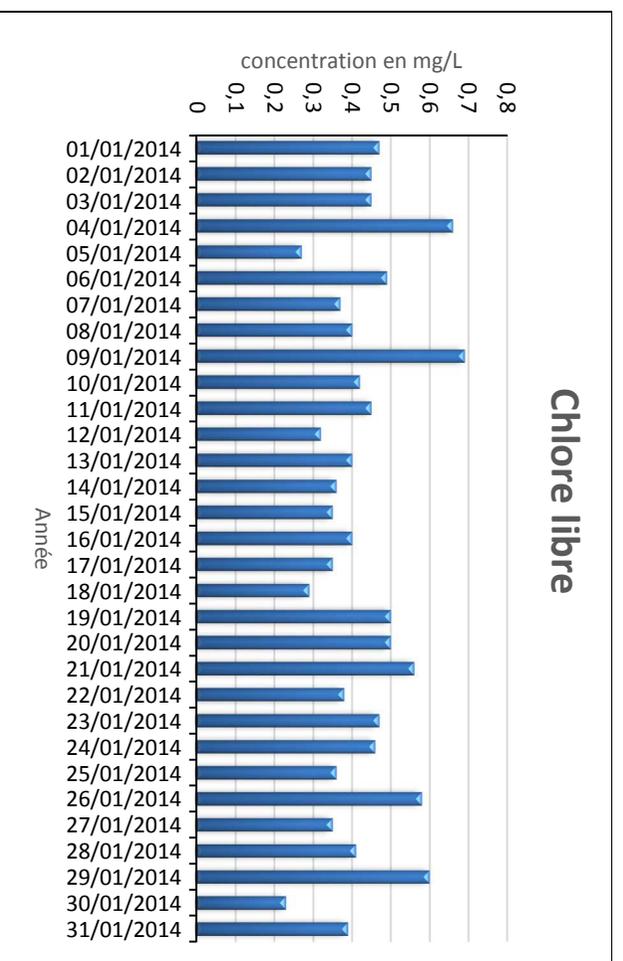


Fig.37 : la variation de Chlore libre au mois de Janvier 2014

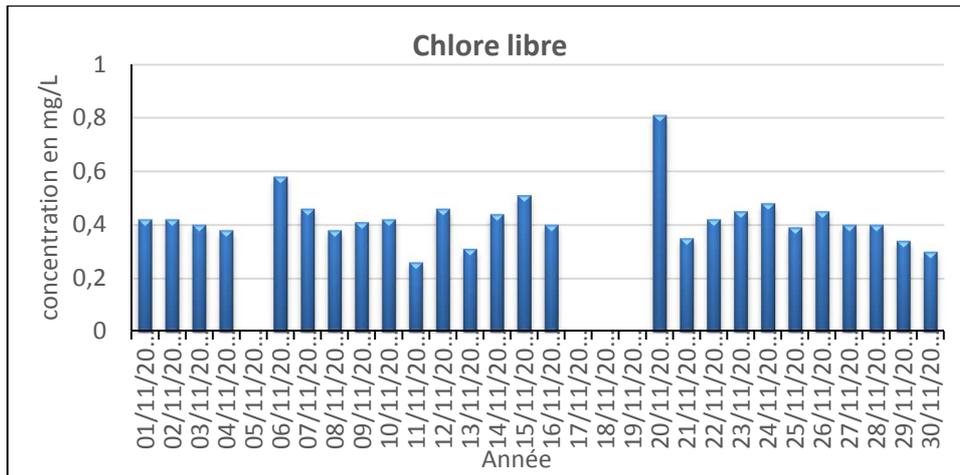


Fig.38 : la variation de Chlore libre au mois de Novembre 2014

Les histogrammes de la figure 37 et 38 représentent les variations de chlore libre au mois de Mars 2014 et mois de Janvier 2014. ces valeurs est toujours respecté les normes. (Annexe et 2).

1.5. Alcalinité totale

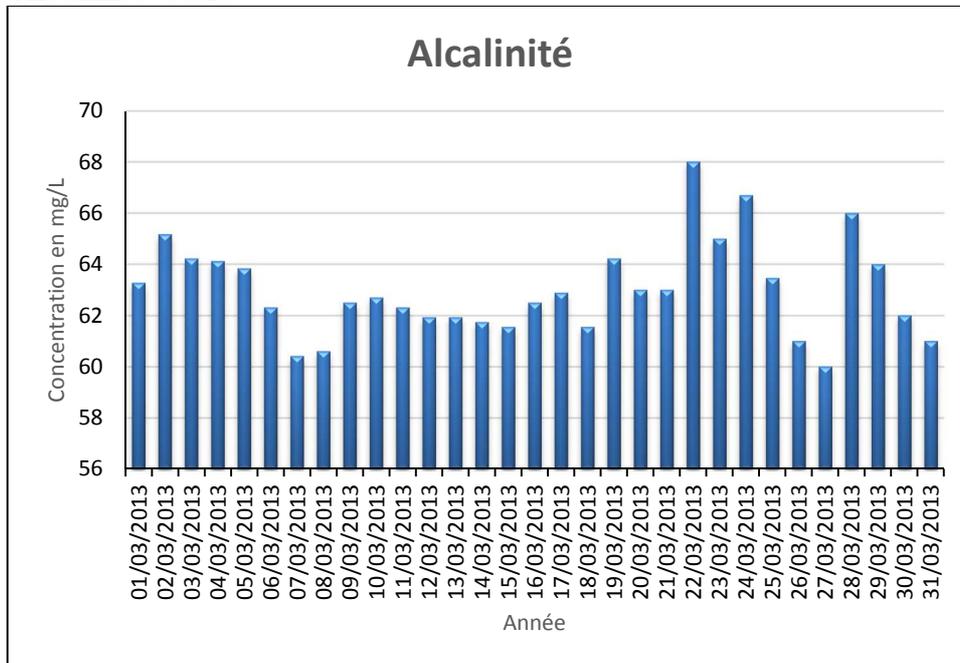


Fig.39 : la variation d'alcalinité totale au mois de Mars 2013

Le résultat d'histogramme indique que la variation d'Alcalinité totale de l'eau traité au mois de Mars 2013, est comprise entre une valeur maximale de 65,17mg/L et une valeur minimale de 61,74 mg /L.

Ces valeurs sont également conformes aux normes algériennes qui limitent le taux d'alcalinité des eaux de consommation à 500 mg/L en CaCO_3 et à celle de les normes algériennes pour les eaux traitées dessalées du ministère des ressources en eau qui préconisées la valeur limite à 65 mg/L en CaCO_3 (Annexe. 3).

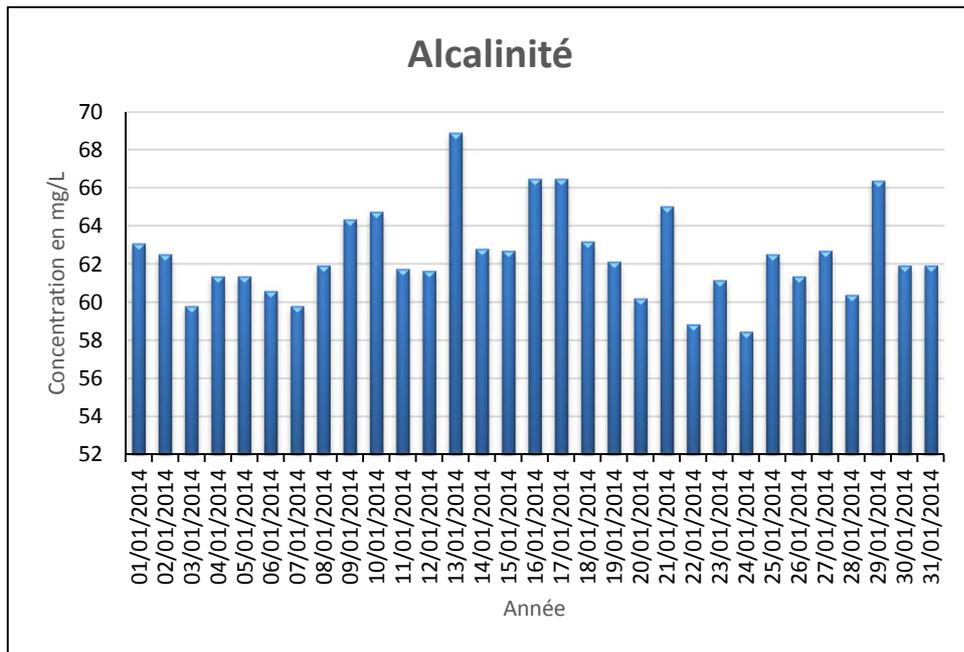


Fig.40 : la variation d'alcalinité au mois de Janvier 2014

Les valeurs d'alcalinité au mois de Janvier 2014 sont inférieurs à la valeur maximal admissible qui recommandée par les normes Algériennes.

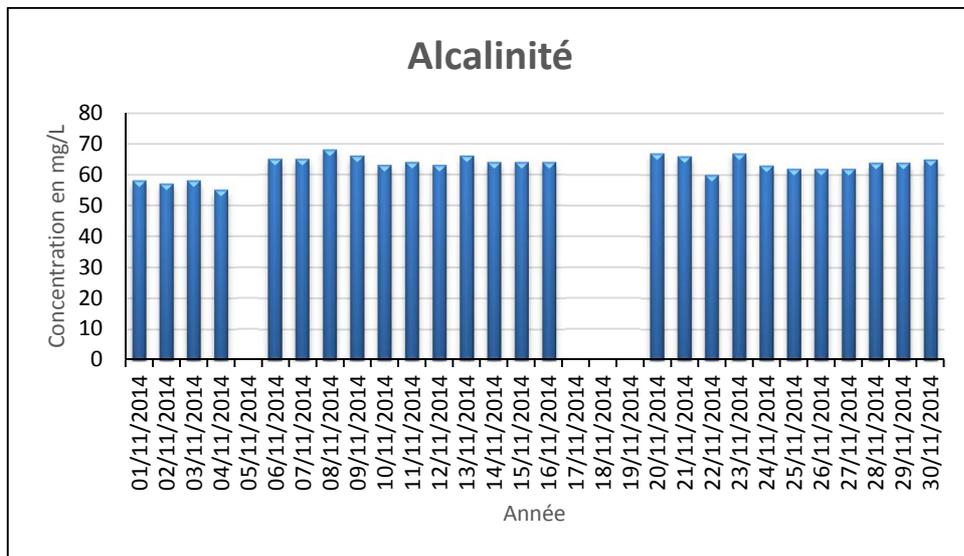


Fig.41 : la variation d'alcalinité au mois de Novembre 2014

L'histogramme de la figure 41 représente la variation de la concentration d'alcalinité au mois de Novembre 2014. ces valeurs au débite de Novembre varier entre 63,27 et 65,17 mg/L en CaCO₃ et après augmente mais toujours inférieure au les normes (Annexe 3).

1.6. Indice de saturation de Langelier (LSI)

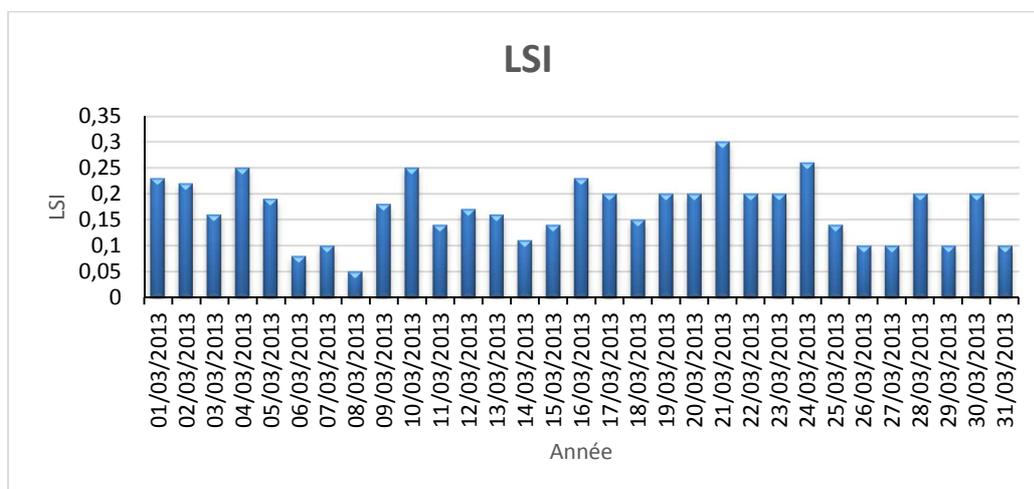


Fig.42 : la variation de LSI dans l'eau traitée au mois de Mars 2013

D'après l'histogramme de la figure 40 on remarque que les valeurs de LSI au mois de Mars 2013 restent dans l'intervalle de (0 à 0,4) déterminée dans le contrat d'achat de l'eau.

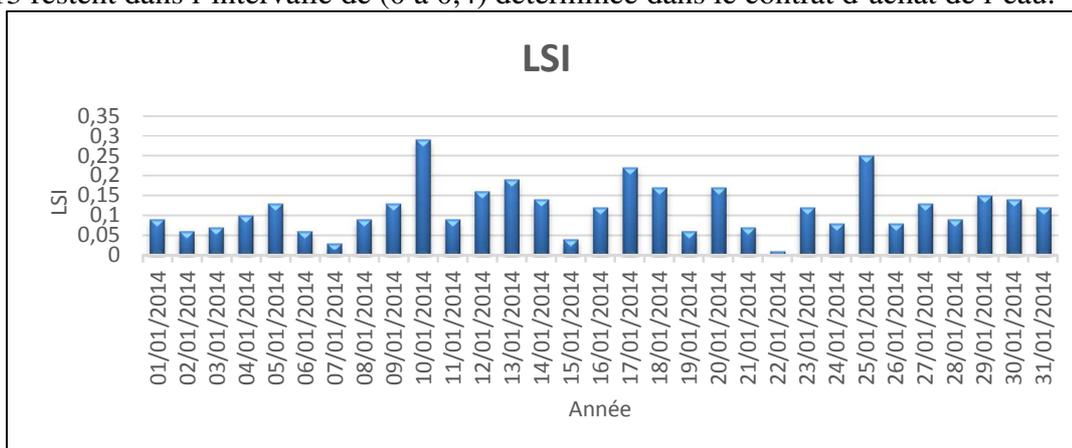


Fig.43 : la variation de LSI dans l'eau traitée au mois de Janvier 2014

Les valeurs de LSI au mois de Janvier 2014 varient entre 0,01 et 0,29 est toujours inférieure aux normes.

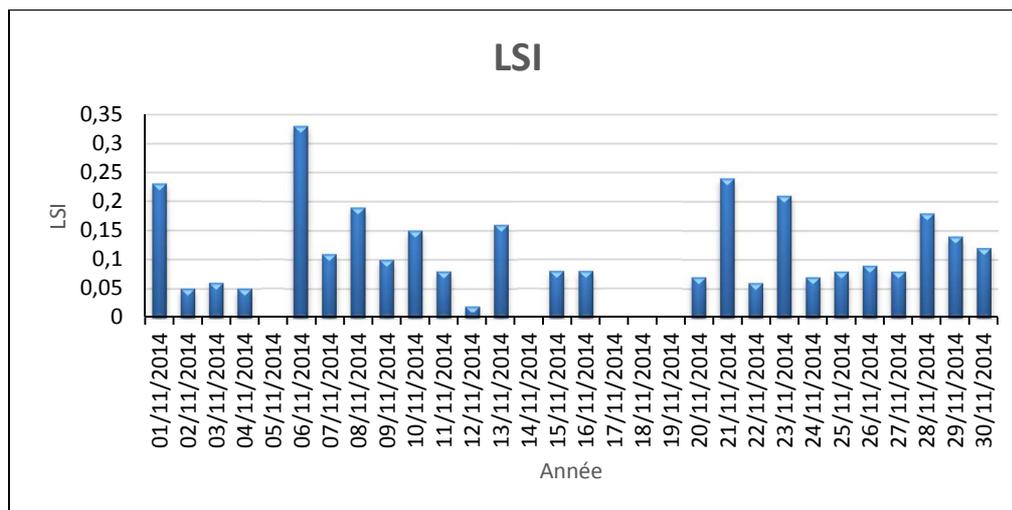


Fig.44 : la variation de LSI au mois de Novembre 2014

D'après l'histogramme de la figure 42 les valeurs de LSI sont toujours inférieures aux normes du contrat d'achat d'eau.

1.7. Turbidité

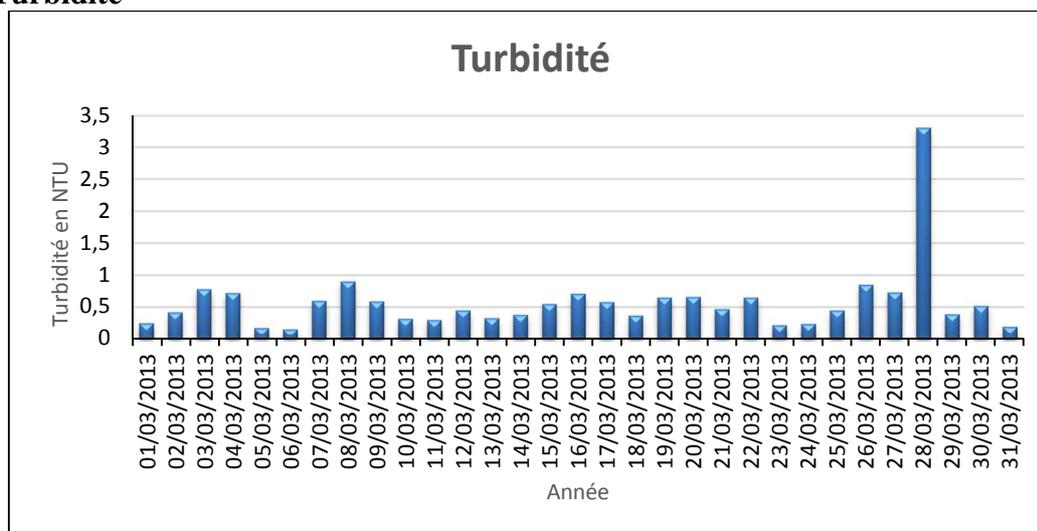


Fig.45. La variation de la turbidité au mois de Mars 2013

L'histogramme de la figure 45 représente les variations de la turbidité entre valeur maximal 3,3 NTU et une valeur minimal 0,15 NTU. Selon La norme Algérien et l'OMS qu'est fixée la valeur limite de 5 NTU de turbidité pour la potabilité de l'eau, ces valeurs de la turbidité conforme aux normes.

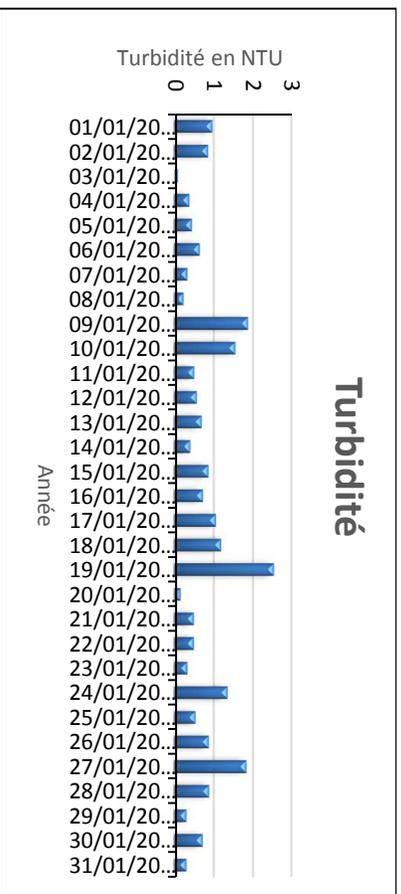


Fig.46 : La variation de la turbidité au mois de Janvier 2014

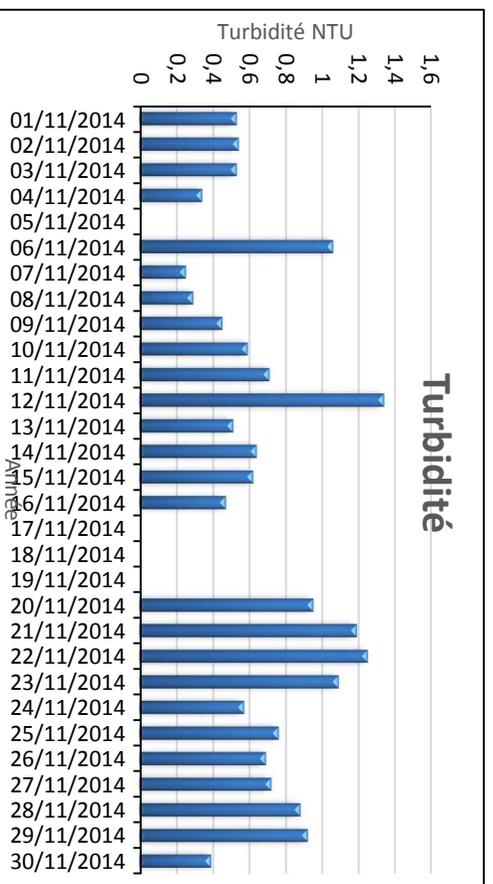


Fig.47 : La variation de la turbidité au mois de November 2014

Les variations de la turbidité au mois Janvier (Fig.47) prendre une valeur maximal 2,53 NTU et au mois de Nouvember 2014(fig.51) la valeur maximal 1,34 NTU. Ces valeurs sont respectée les normes Algérienne et l'OMS.

1.8. Calcium Ca²⁺

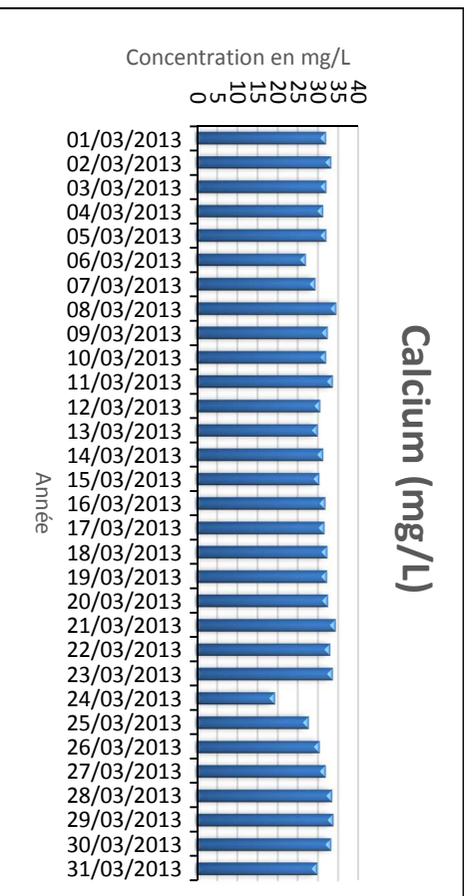


Fig.48 : la variation de Calcium au mois de Mars 2013

D'après l'histogramme de la figure 48 on remarque que les valeurs de la turbidité est plus petite à la valeur qui fixée par les normes Algérien et l'OMS.

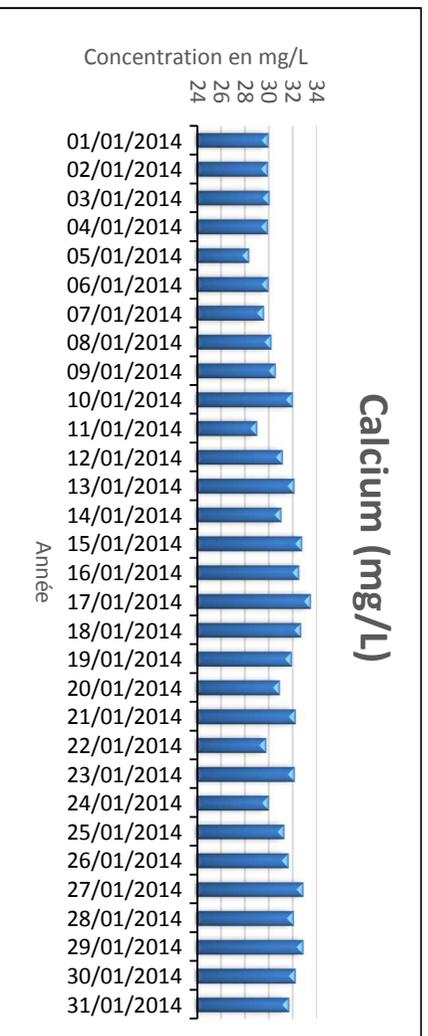


Fig.49 : La variation de la concentration de Calcium au mois de Janvier 2014

Les valeurs de la concentration de Calcium au mois de Janvier 2014 toujours respecté les normes.

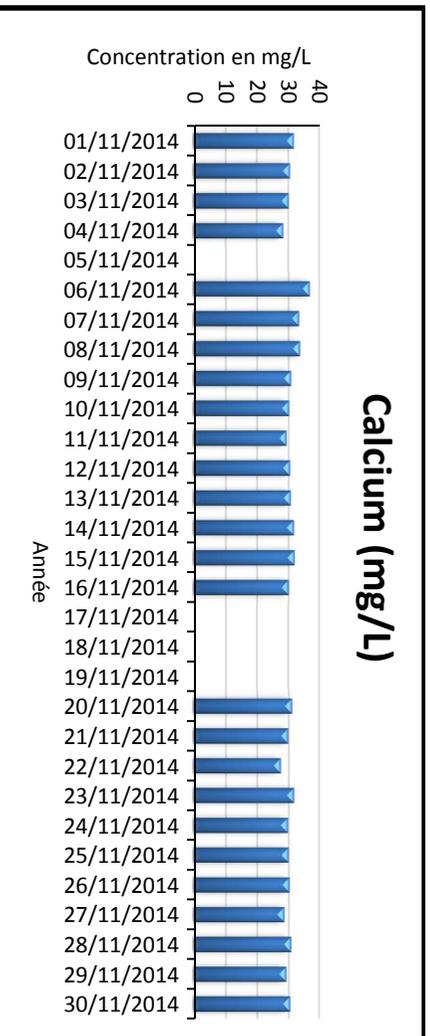


Fig.50 : La variation de Calcium au mois de Novembre 2014

Les valeurs de Calcium au mois de November 2014 presque stable mais toujours respecté les normes.

1.9. Magnésium Mg⁺²

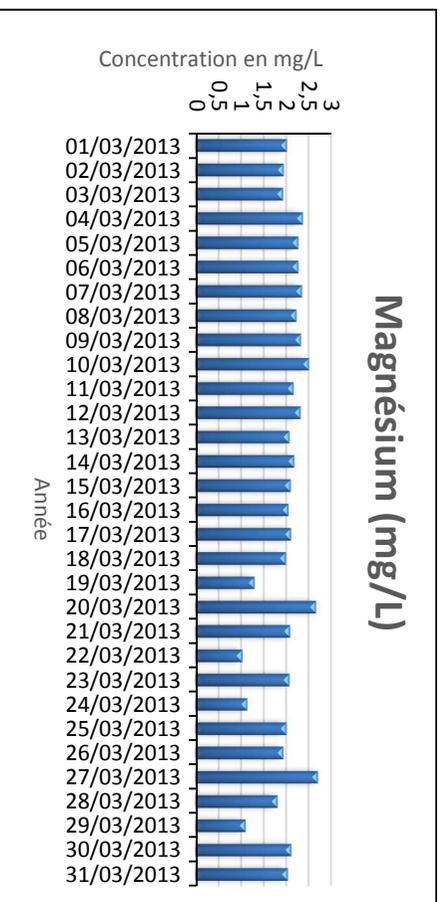


Fig.51 : variation de magnésium au mois de Mars 2013

Les valeurs de Magnésium au mois de Mars 2013 varient entre 1,8 et 2,7 mg/L sont trop faibles par rapport à la norme de l'OMS.

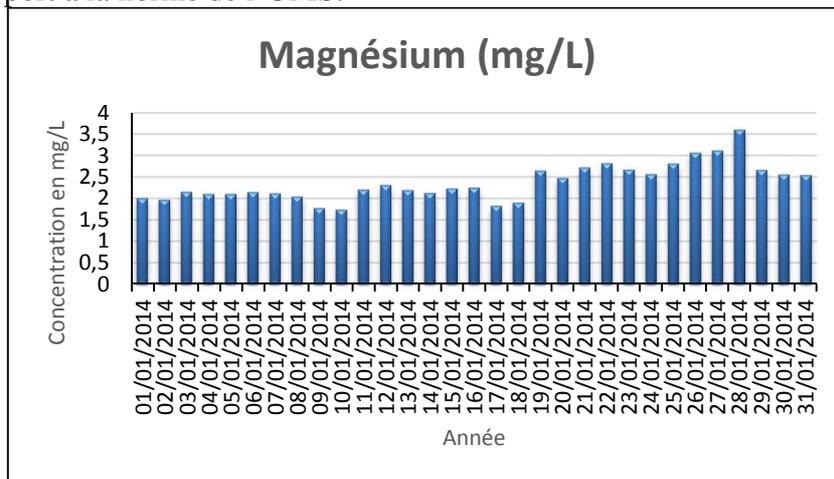


Fig.52 : variation de magnésium au mois de janvier 2014

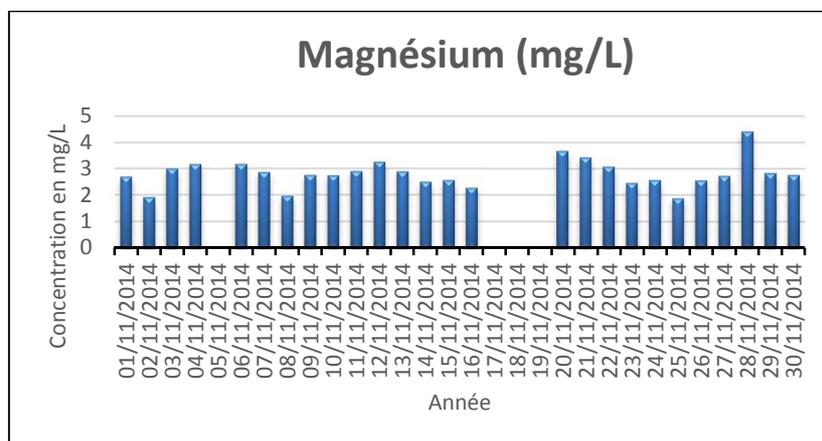


Fig.53 : La variation de Magnésium au mois de Novembre 2014

D'après l'histogramme de la figure 52 et 53 on remarque que les valeurs de Magnésium au mois de Janvier et Novembre 2014 sont toujours inférieures à la valeur qui recommandée dans les normes de l'OMS.

1.10. Potassium

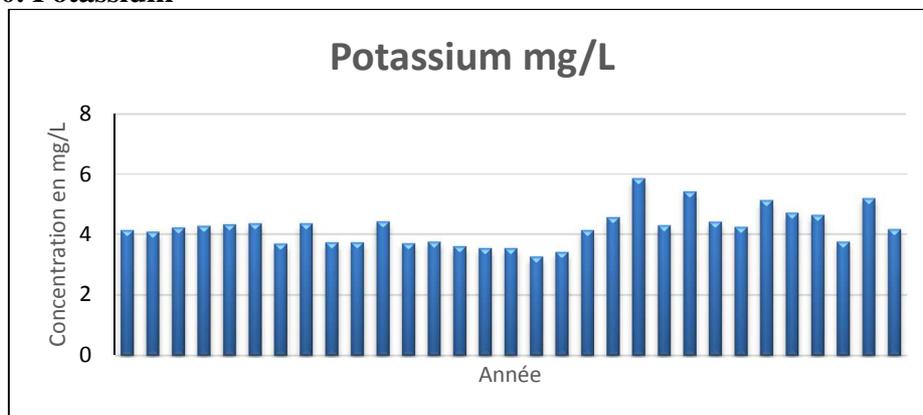


Fig.54 : La variation de Potassium au mois de Mars 2013

Les valeurs de potassium au mois de Mars 2013 varié entre 5,84 et 3,26 .ces valeurs conformes aux normes (Annexe 1et 2).

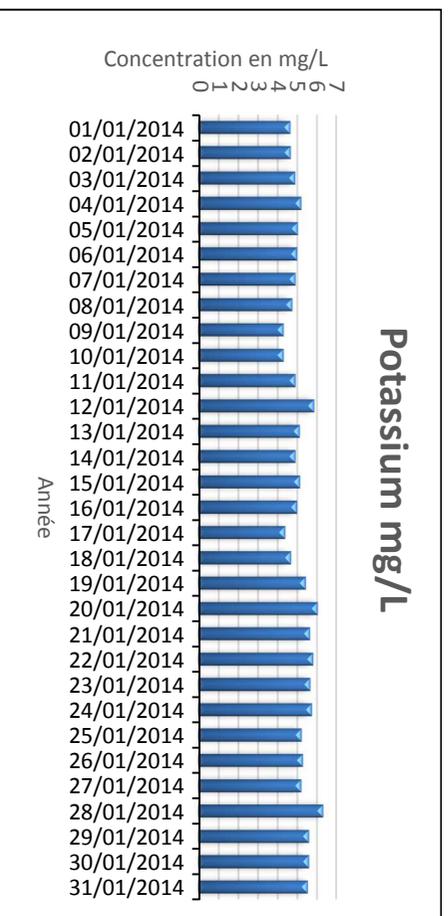


Fig.55 : variation de Potassium au mois de Janvier 2014

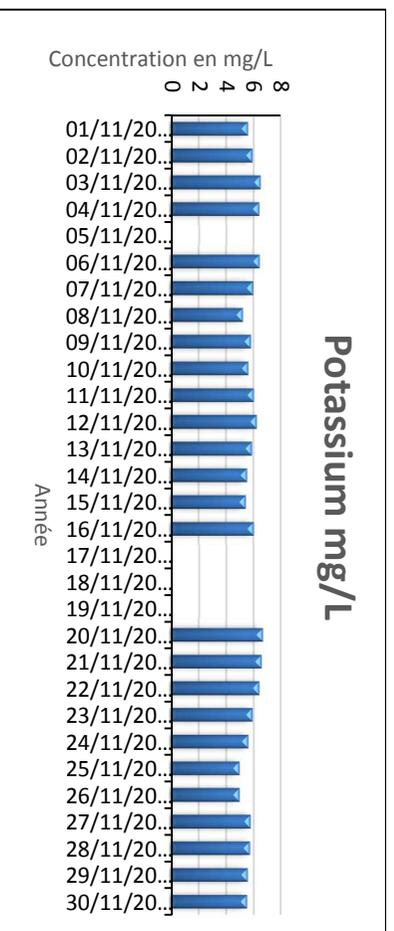


Fig.56 : La variation de Potassium au mois de Novembre 2014

Les valeurs de Potassium au mois de Janvier 2014(fig 55) et au mois de Novembre 2014 (fig 56) presque stable et respecte les normes.

1.11. Bicarbonate HCO_3^-

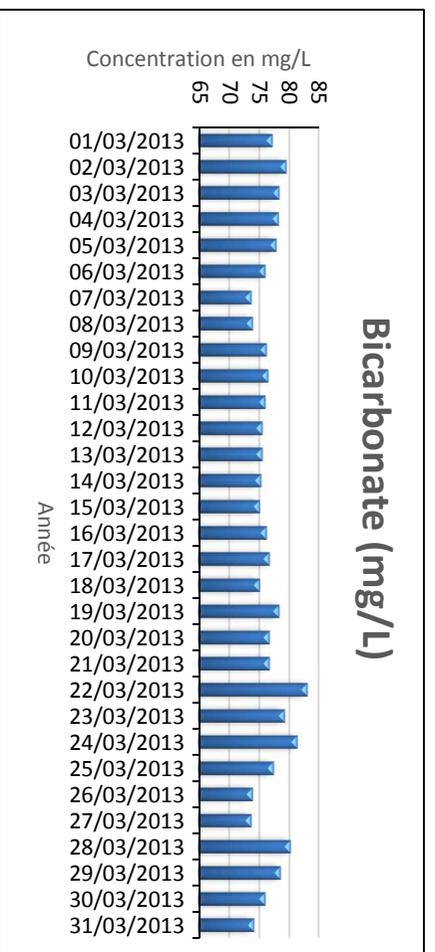


Fig.57 : variation de Bicarbonate au mois de Mars 2014

Les valeurs de potassium au mois de Mars 2013 varié entre 83 et 73,7 .ces valeurs conformes aux normes.

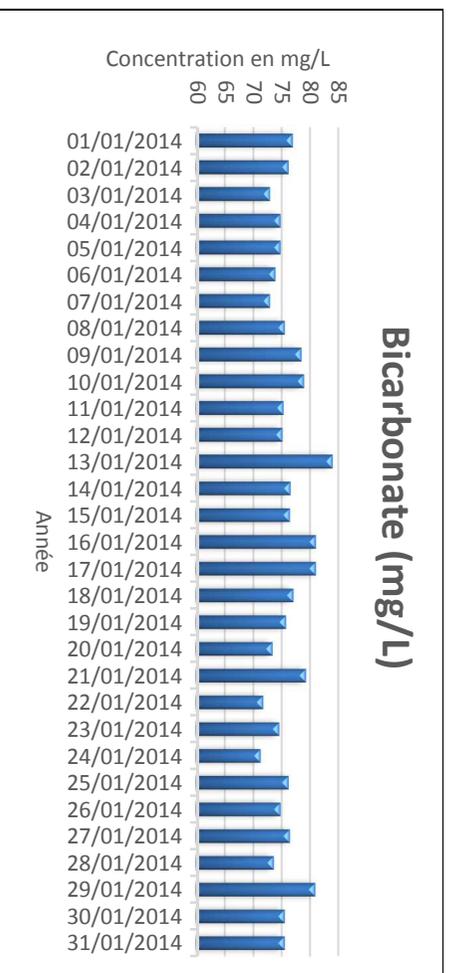


Fig.58 : variation de Bicarbonate au mois de Janvier 2014

Les valeurs de potassium au mois de Janvier 2014 varié entre 84,04 et 71,29 mg/L.

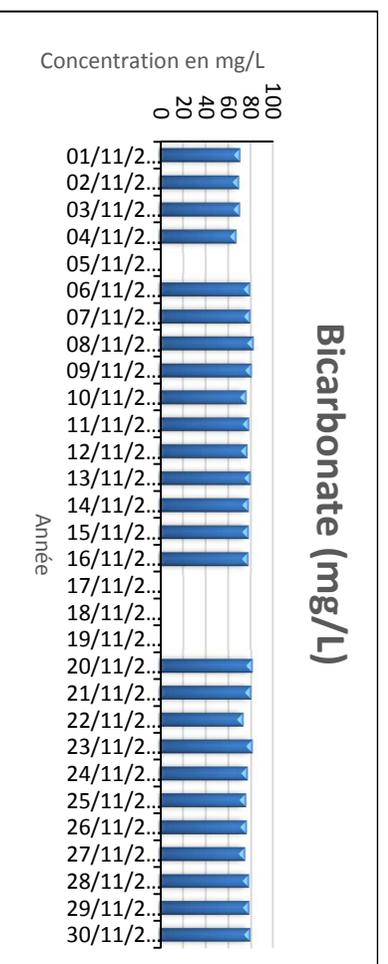


Fig.59 : variation de Bicarbonate au mois de November 2014

Les valeurs de Bicarbonate au mois de November 2014 presque stable mais toujours respecté les normes.

1.12. Bore



Fig.60 : variation de la concentration de Bore au mois de Mars 2013

D'après l'histogramme de la figure 60 on remarque que les valeurs de Bore au mois de Mars presque sable et conforme les normes (Annexe 3 et 2).

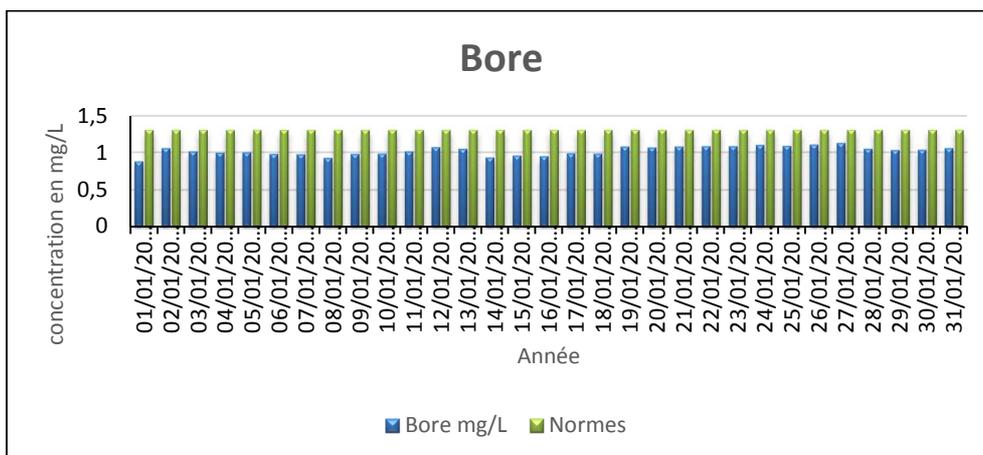


Fig.61 : variation de Bore au mois de Janvier 2014

Les valeurs de bore au mois de Janvier 2014 sont toujours respecté les Normes.

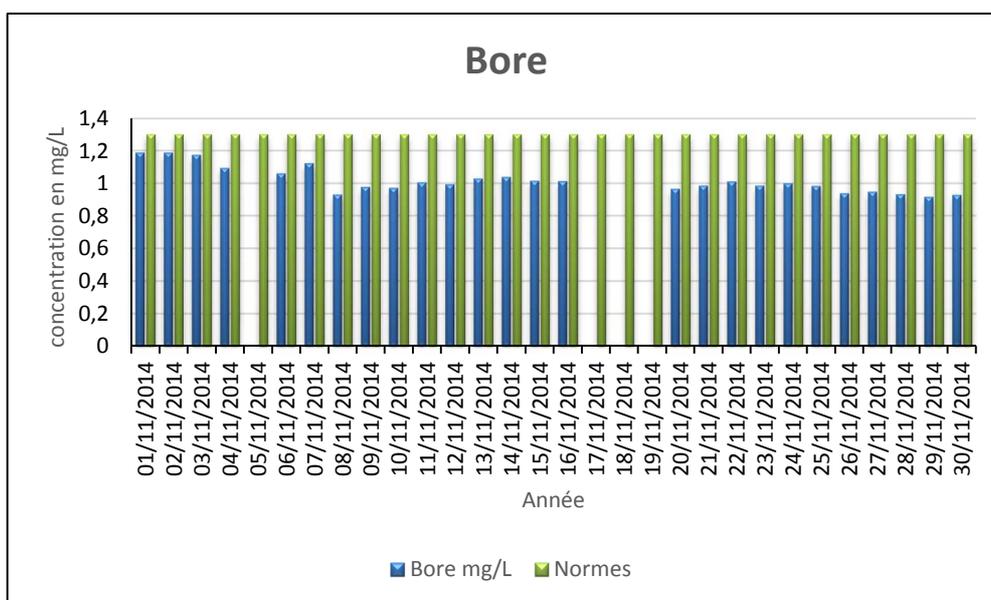


Fig.62 : variation de Bore au mois de Novembre 2014

D'après l'histogramme de la figure 62 on remarque que les valeurs de varié entre 1,18 et 0,92 mg/L .Ces valeurs conforme les normes. (Annexe 3 et 2)

2. Resultat des analyses physico- chimiques de l'eau traitée dans la station de honaine :

2.1 Alcalinité Totale

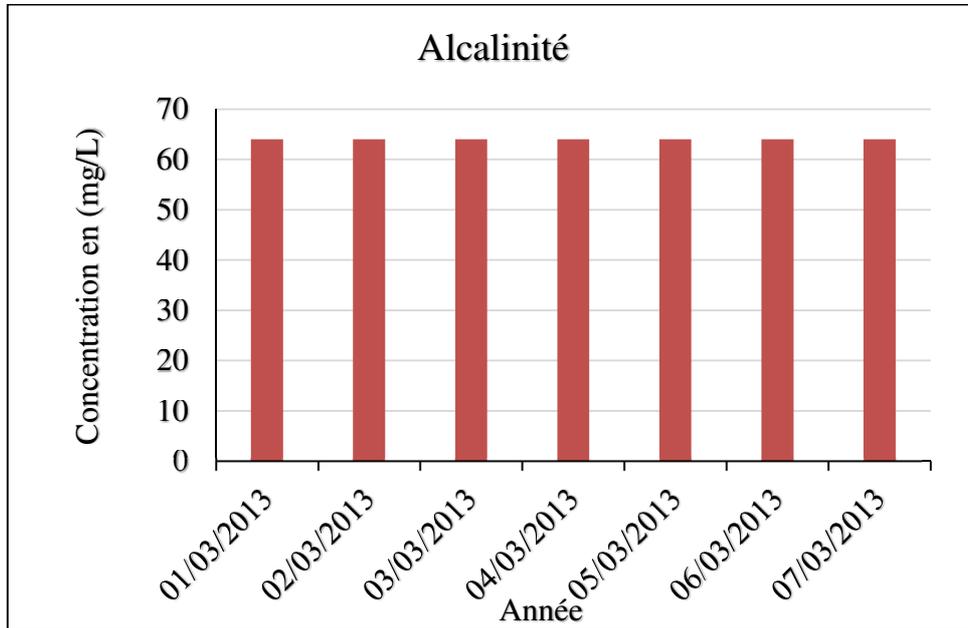


Fig 63 : variation d'alcalinité d'eau traitée (Mars 2013)

La teneur d'Alcalinité des eaux traitées révèle des valeurs stables de 64mg/L.

Ce résultat reste inférieur à la norme algérienne qui est de 500 mg/L en CaCO_3

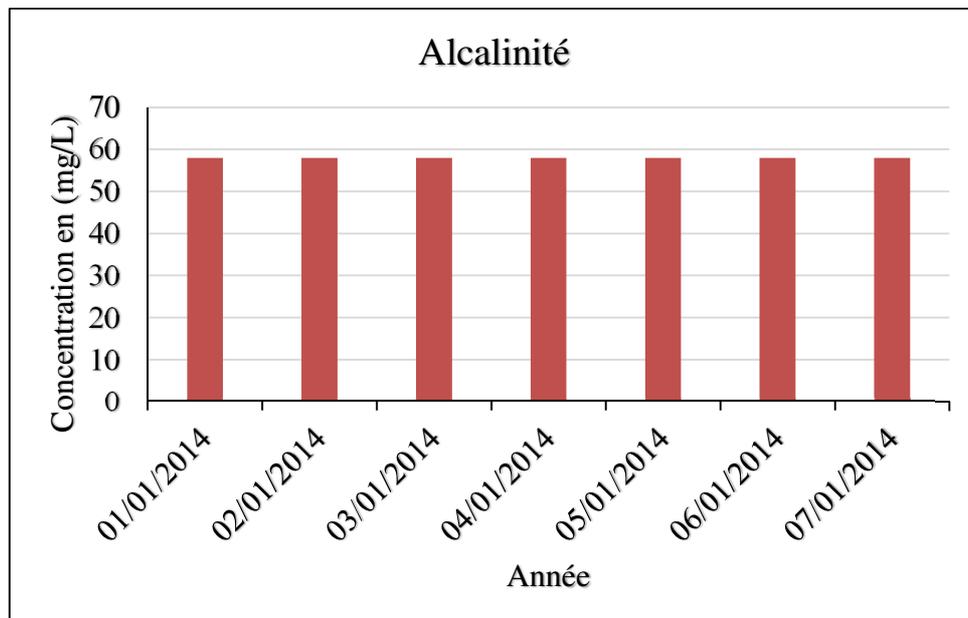


Fig 64 : variation d'alcalinité d'eau traitée (Janvier 2014)

Pour la figure (64) la valeur d'Alcalinité totale est aussi stable de 58 mg/L en CaCO_3 et reste inférieur à la norme algérienne.

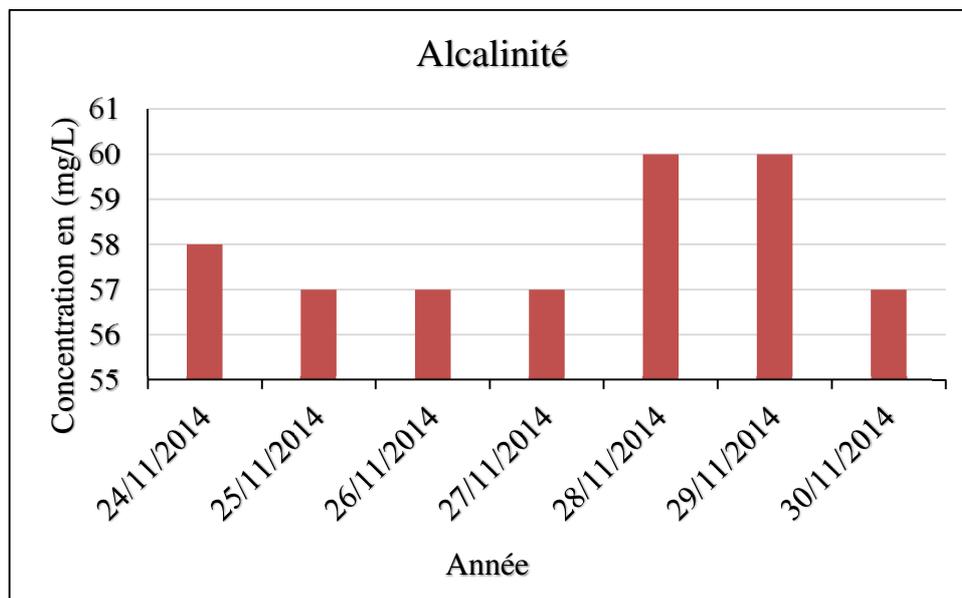


Fig 65 : variation d'alcalinité d'eau traitée (Novembre 2014)

L'alcalinité totale des échantillons analysés (fig 65) varie entre 57 et 60 mg/L. Ces valeurs sont également conformes aux normes algériennes qui limitent le taux d'alcalinité des eaux de consommation à 500 mg/L en CaCO_3 .

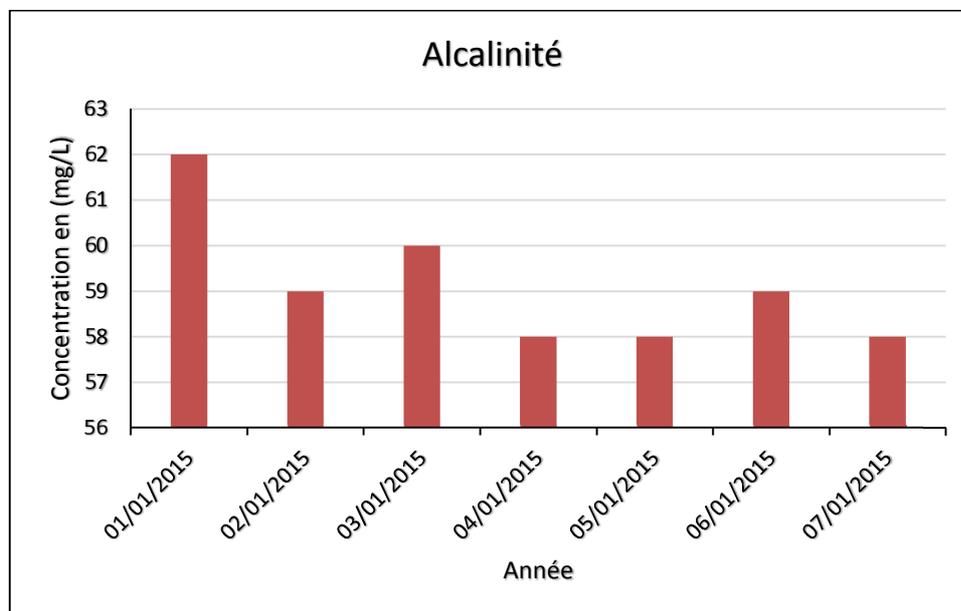


Fig 66 : variation d'alcalinité d'eau traitée (Janvier 2015)

Les mesures d'Alcalinité totale de l'eau traitée s'échelonne de 58 - 62 mg/L.

Les valeurs enregistrées s'avèrent inférieures à la valeur maximale admissible recommandée par les normes algériennes qui est 500 mg/L CaCO_3 .

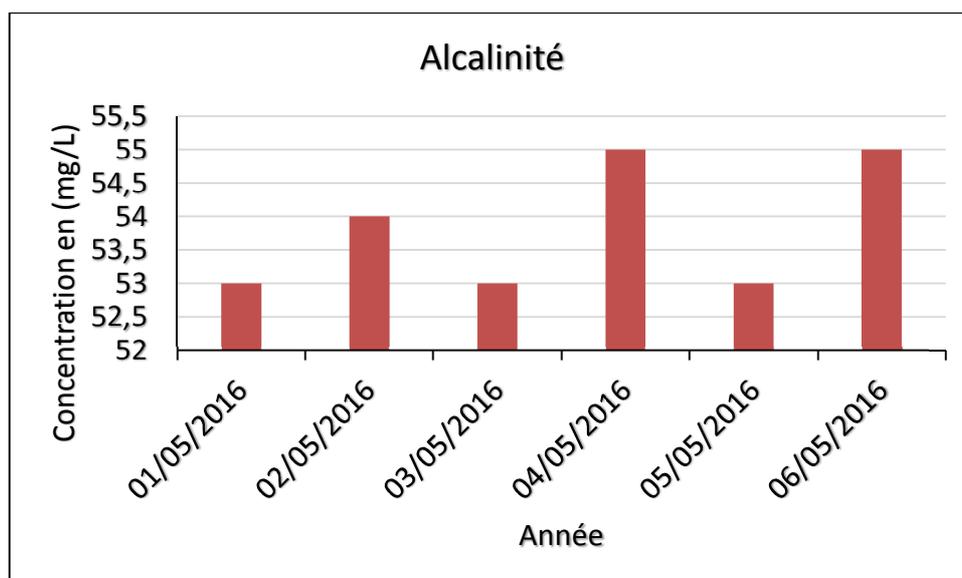


Fig 67 : variation d'alcalinité d'eau traitée (Mai 2016)

Les valeurs d'Alcalinité totale des eaux traitées sont comprises entre 53 et 55mg/L.

Toutes ces mesures sont conformes aux valeurs limites préconisées par les normes algériennes qui est 500 mg/L CaCO_3

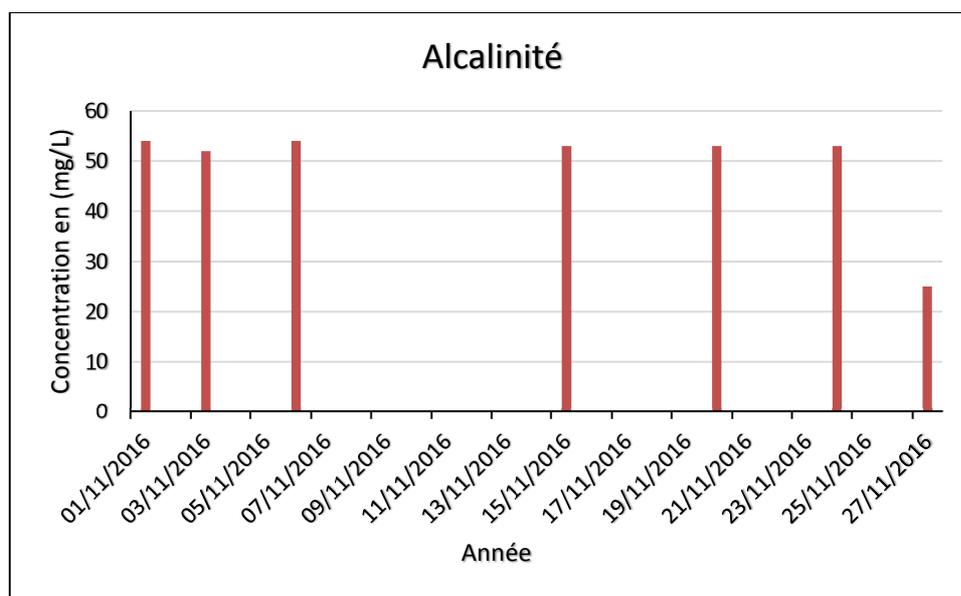


Fig 68 : variation d'alcalinité d'eau traitée (Novembre 2016)

Les concentrations représentées dans la figure (68), montrent une variation entre 25 et 54 mg/L, ce qui signifie que les valeurs des échantillons analysés respectent les normes algériennes.

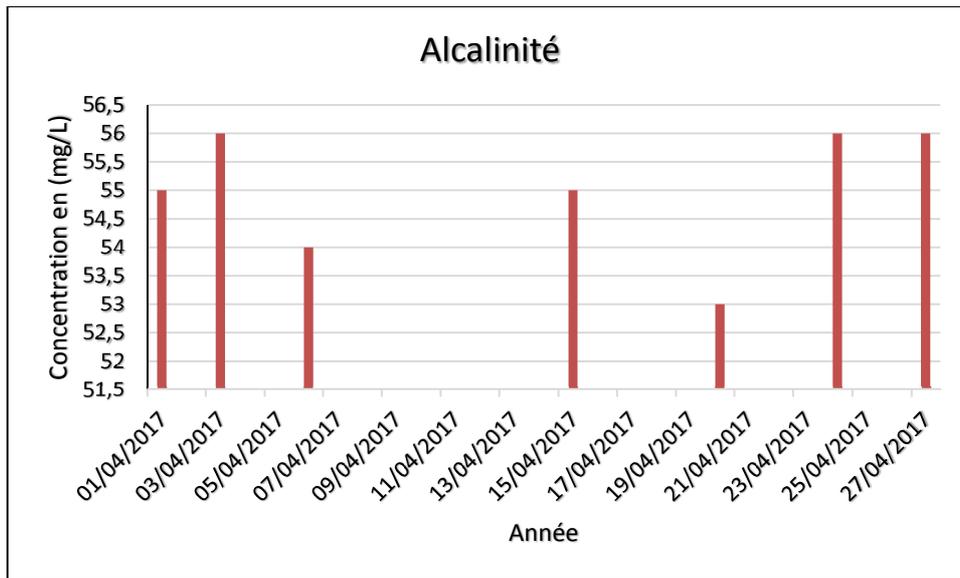


Fig 69 : variation d'alcalinité d'eau traitée (Avril 2017)

D'après la figure (69) la variation d'Alcalinité totale pendant le mois d'Avril comprise entre 53 et 56 mg/L. Ces valeurs sont toujours conformes aux normes algériennes.

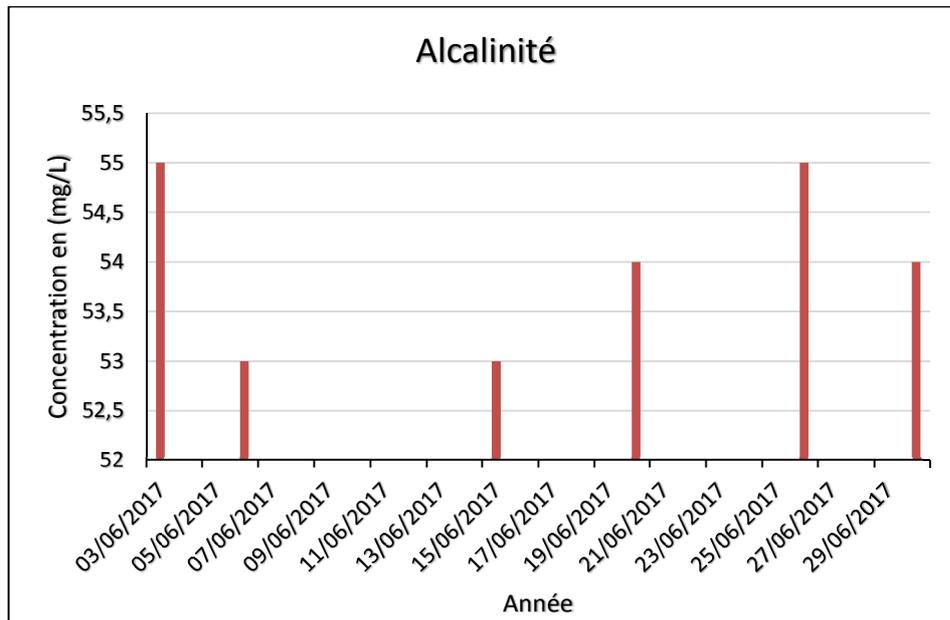


Fig.70 : variation d'alcalinité d'eau traitée (Juin 2017)

Les valeurs d'alcalinité totale de l'eau traitée mesurée Figure (70) sont comprises entre 53 et 55 mg/L. Elles sont toutes inférieures à la limite maximale recommandée dans les normes algériennes.

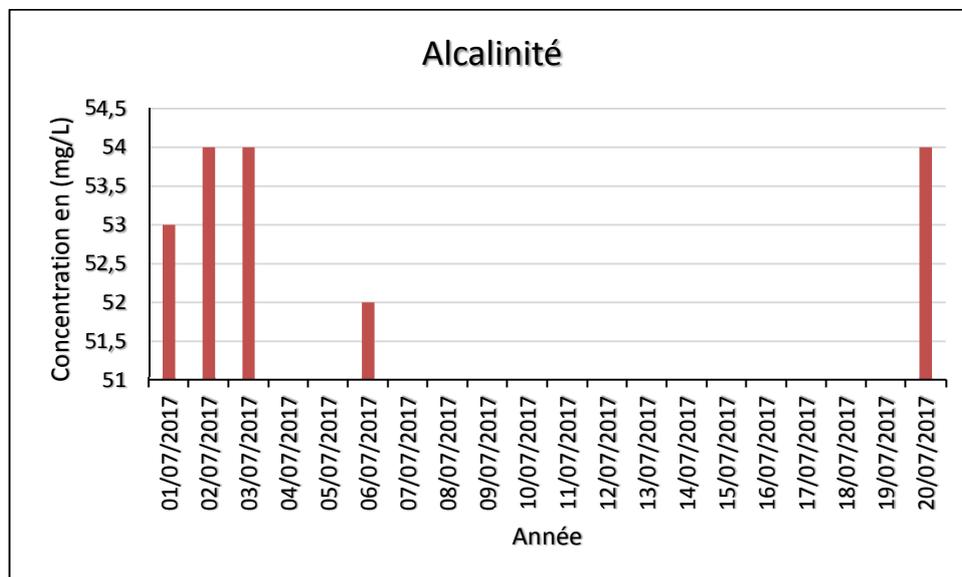


Fig 71 : variation d'alcalinité d'eau traitée (juillet 2017)

La figure (71) représente la variation d'Alcalinité totale en fonction de temps (mois de juillet) dont la valeur minimale est 52 mg/L et 54mg/L comme valeur maximale.

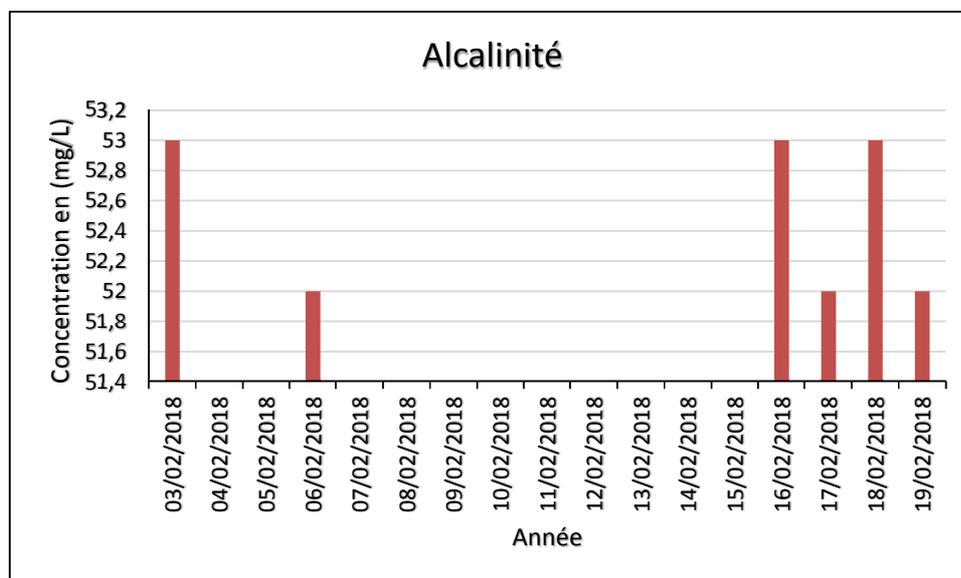


Fig 72 : variation d'alcalinité d'eau traitée (février 2018)

Dans la figure (72) la variation d'Alcalinité totale est très remarquable où la valeur maximale de ce paramètre dans le mois de février est 53mg/L et 52mg/L comme valeur minimale. Ce paramètre est conforme aux normes algériennes.

2.2 Température

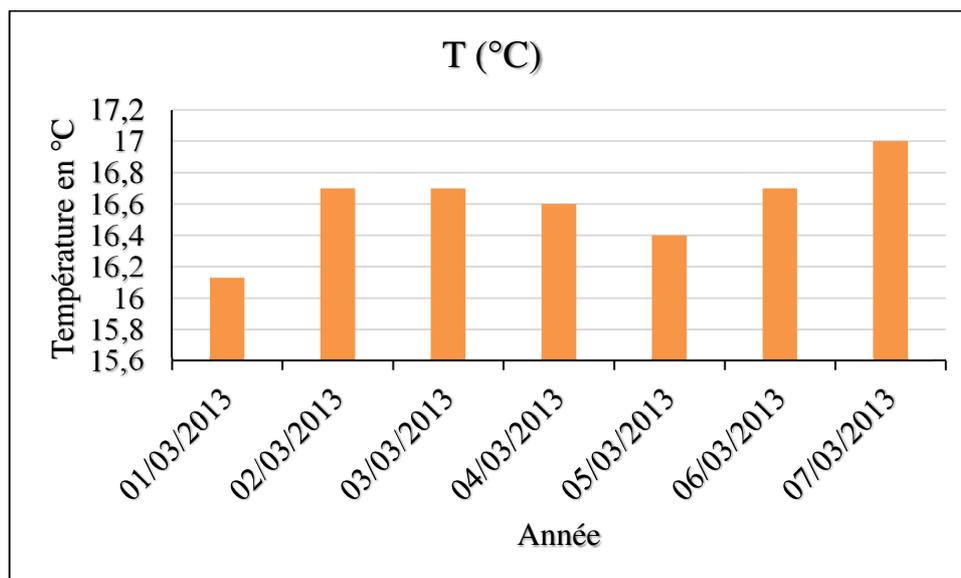


Fig 73 : variation de la température d'eau traitée (Mars 2013)

Les mesures de la température qui ont été effectuées au sein de la station de dessalement montrent une variation entre 16,13 et 17 °C. Les valeurs de ses paramètres sont toujours inférieures à la valeur limite fixée par les normes algériennes (Annexe. 2).

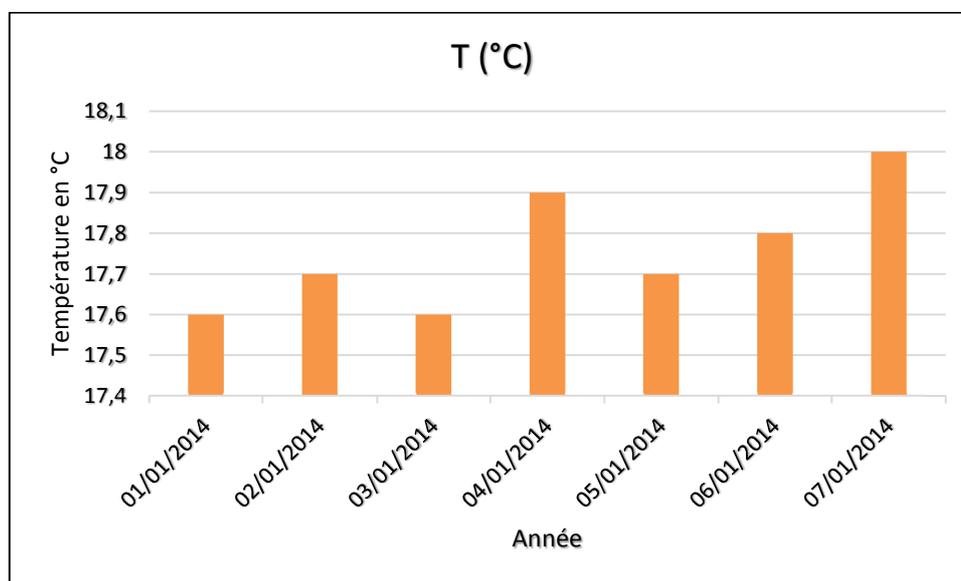


Fig 74 : variation de la température d'eau traitée (Janvier 2014)

La figure (72) montre les variations de la température mesurée d'eau traitée. On note une valeur de température minimale égale à 17,6 °C tandis que la valeur maximale est de 18 °C. Toutes les valeurs enregistrées sont inférieures à 25°C et de ce fait sont conformes aux normes algériennes.

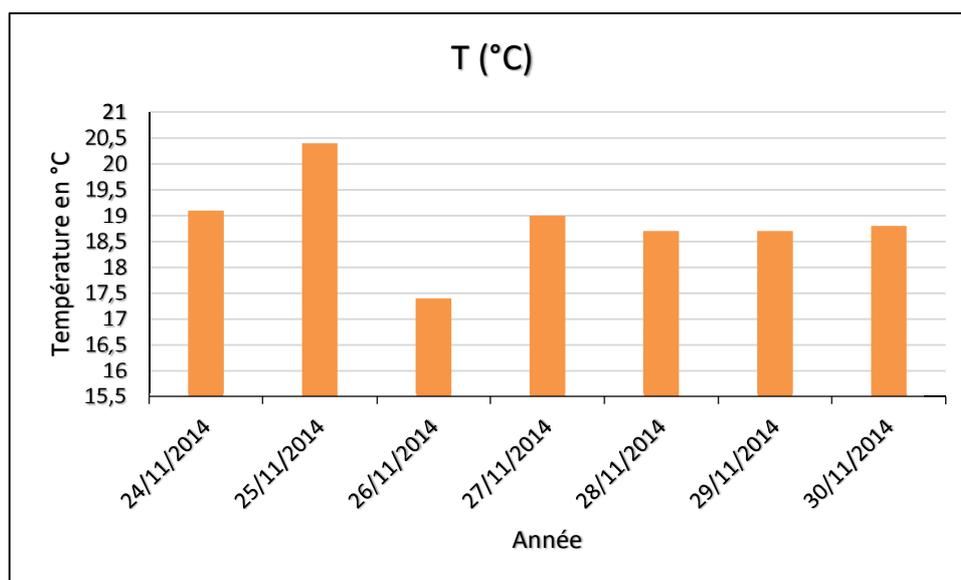


Fig 75 : variation de la température d'eau traitée (Novembre 2014)

Les valeurs de température représentées dans la figure (75) fluctuent entre 17,4 et 20,4°C.

Ces valeurs sont toujours conformes aux normes algériennes.

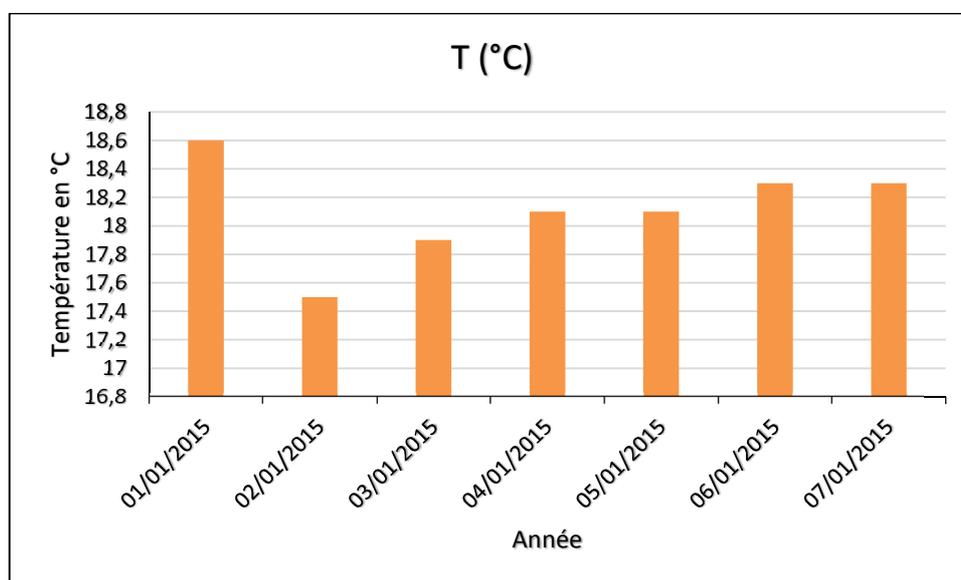


Fig 76 : variation de la température d'eau traitée (Janvier 2015)

Les concentrations représentées dans la figure (76), montrent une variation entre 17,5 et 18,6 °C, ce qui signifie que la valeur de température des échantillons analysés respecte les qualités de l'eau potable souhaitée.

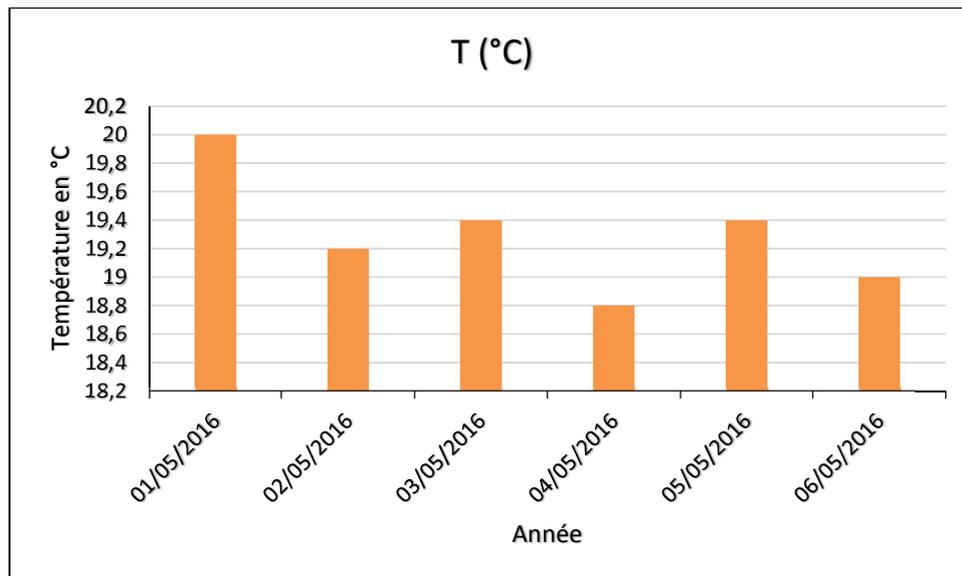


Fig 77 : variation de la température d'eau traitée (Mai 2016)

Les résultats obtenus au mois de Mai montrent que les valeurs de la température fluctuent entre 18,8°C et 20°C. Elles sont conformes à la norme algérienne.

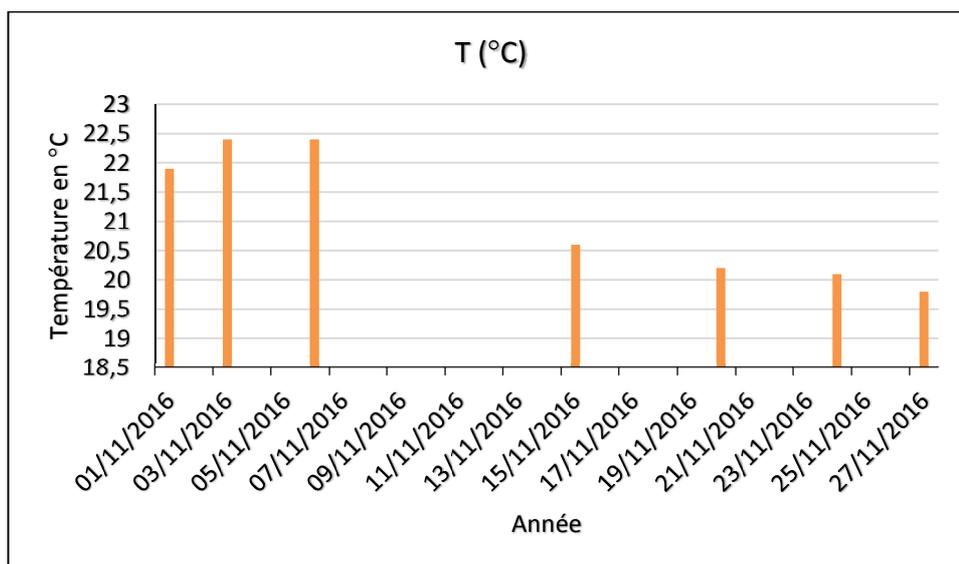


Fig 78 : variation de la température d'eau traitée (Novembre 2016)

Au début de mois de novembre la valeur de la température est augmentée jusqu'à 22,4°C, après la valeur va diminuée à 19,8°C. Mais elle reste toujours conforme à la norme algérienne.

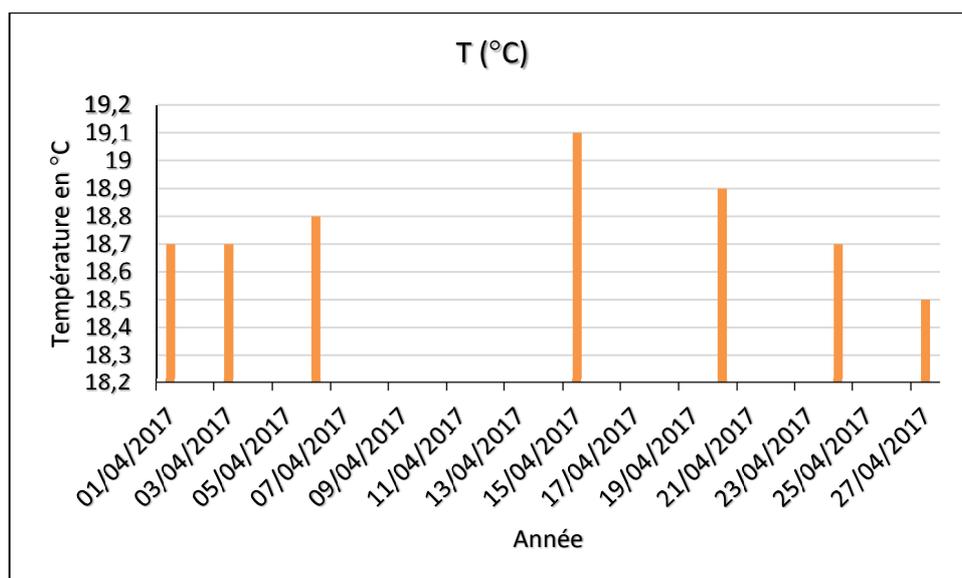


Fig 79 : variation de la température d'eau traitée (Avril 2017)

Les mesures de la température de l'eau traitée s'échelonne de 18,5 et 19,1°C. Ces valeurs de ce paramètre sont inférieures à la valeur maximale admissible recommandée par les normes algériennes.

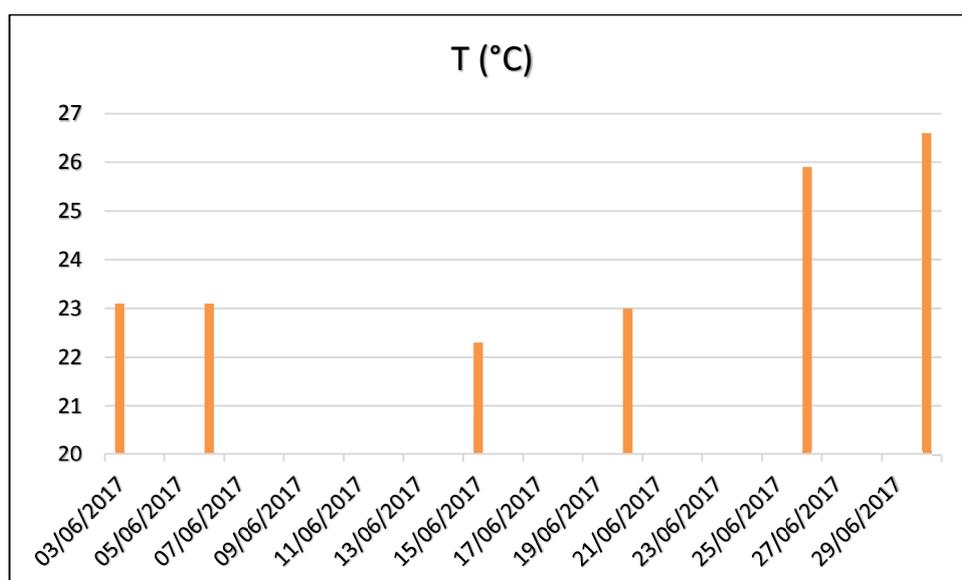


Fig80 : variation de la température d'eau traitée (Juin 2017)

Dans la figure (80) les valeurs sont presque stables ($T=23^{\circ}\text{C}$) jusqu'à le 25 juin où la valeur commence à augmenter et dépassé la valeur admissible.

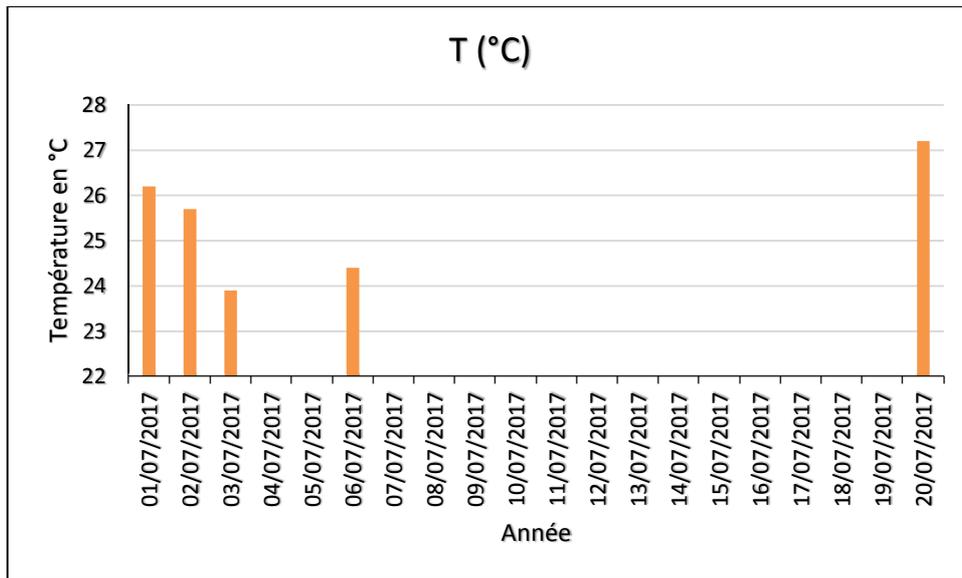


Fig 81 : variation de la température d’eau traitée (Juillet 2017)

Les valeurs obtenues de la température (figure 81) de l’eau traitée sont comprise entre 23,9 et 27, 2°C. Ces résultats sont conformes aux normes.

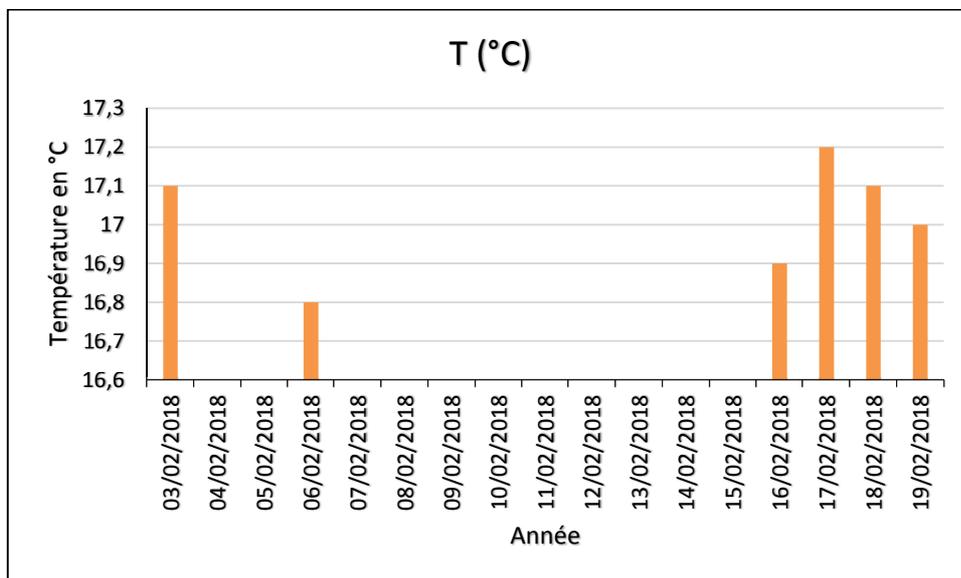


Fig 82 : variation de la température d’eau traitée (Février 2018)

Les observations de mesures de la température de l’eau traitée e (Figure.82) indiquent les résultats suivants : $T_{\min}=16,8^{\circ}\text{C}$, $T_{\max}=17,2^{\circ}\text{C}$.

Les valeurs de la température enregistrées pour l’eau de consommation sont conformes à la norme algérienne

2.3. PH

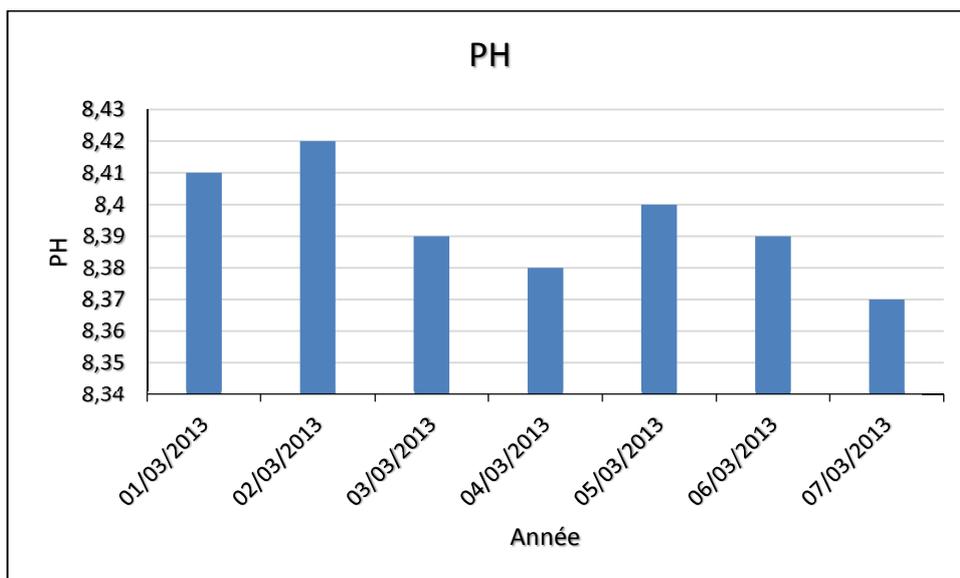


Fig 83 : variation de pH d'eau traitée (Mars 2013)

Les mesures du pH qui ont été effectuées au sein de la station de dessalement de Honaine montrent une variation entre 8,37 et 8,42. Si l'on se réfère aux normes de potabilité, les valeurs du pH des eaux traitées sont conformes à la norme algérienne.

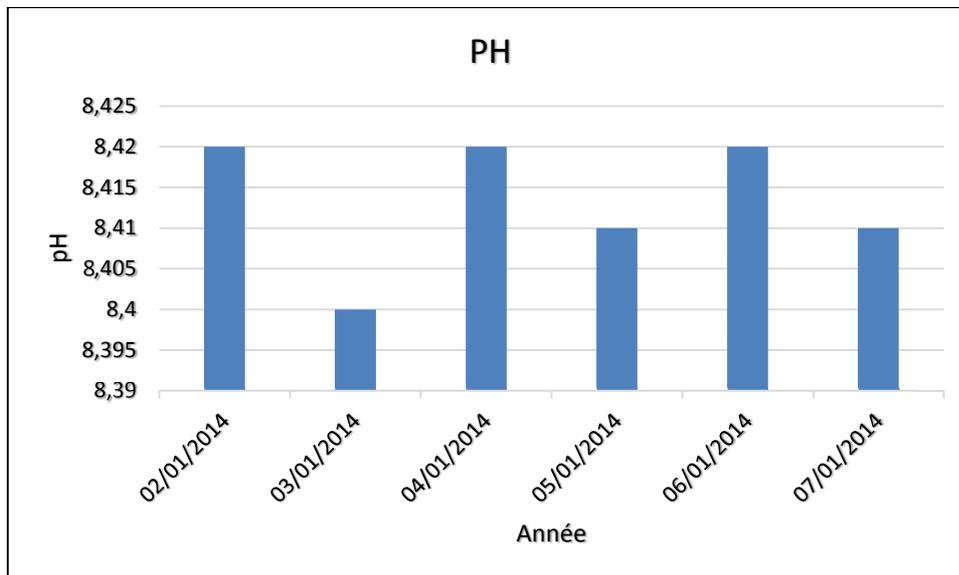


Fig 84 : variation de pH d'eau traitée (Janvier 2014)

Les valeurs de pH des eaux traitées sont comprises entre 8,4 et 8,42. Se référant aux normes de qualité de l'eau potable, les valeurs du pH des eaux traitées sont conformes à la norme algérienne dont les valeurs sont fixées de 6,5 – 8,5

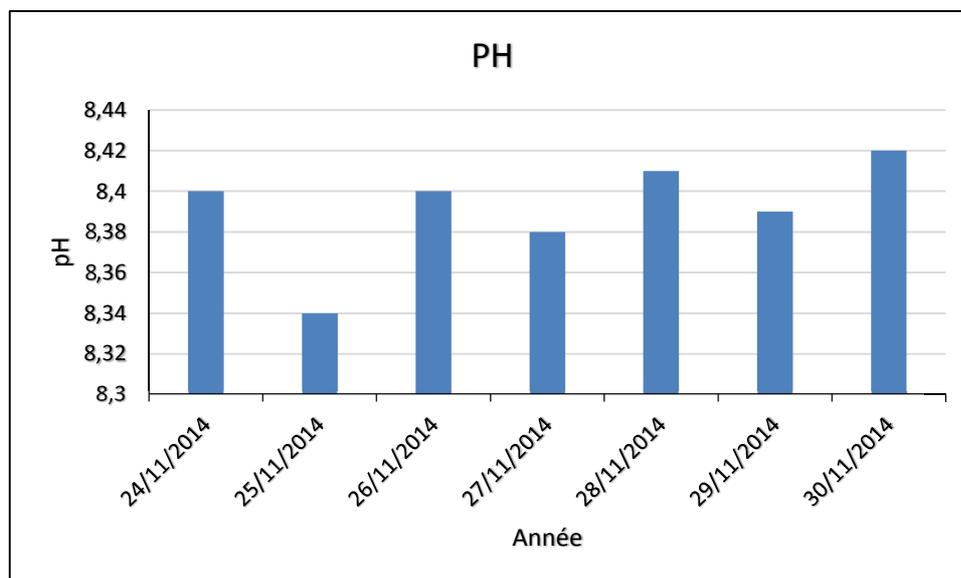


Fig 85 : variation de pH d'eau traitée (Novembre 2014)

La figure(85) représente les variations du pH sur le site de prélèvement. Elle varie entre 8,34 et 8,42. Les valeurs du pH des eaux traitées sont conformes à la norme algérienne dont les valeurs sont fixées de 6,5 – 8,5

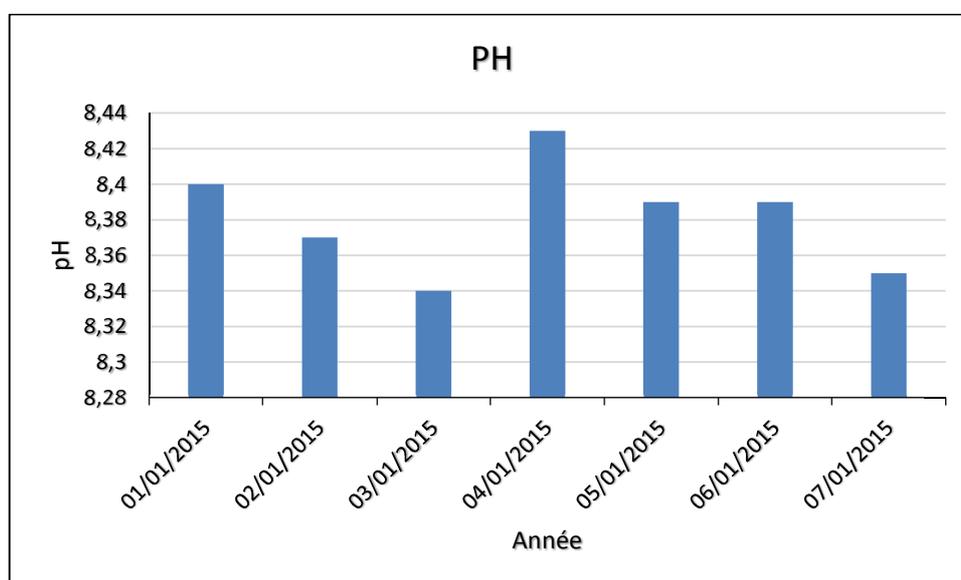


Fig 86 : variation de pH d'eau traitée (Janvier 2015)

Les résultats des analyses de pH montrent une variation entre 8,34 et 8,43. Ces valeurs de pH enregistrées pour l'eau de consommation sont conformes à la norme algérienne dont les valeurs maximales admissibles sont respectivement de 6,5 – 8,5.

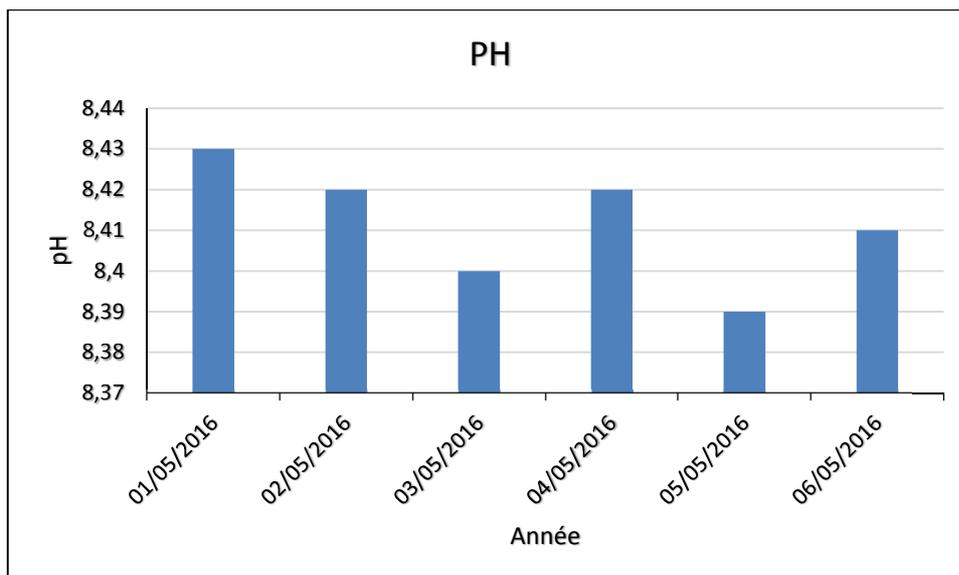


Fig 87 : variation de pH d'eau traitée (Mai 2015)

Les valeurs obtenues de Ph après l'analyse (figure 87) de l'eau traitée sont comprise entre 8,39 et 8,43. Ces résultats sont conformes aux normes algériennes dont les valeurs sont fixées de 6,5–8,5.

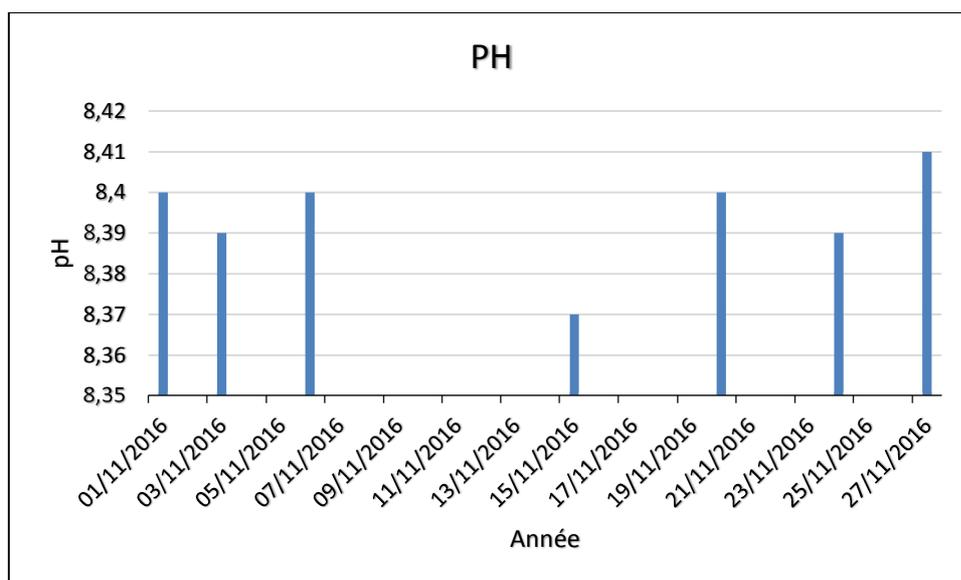


Fig 88 : variation de pH d'eau traitée (Novembre 2016)

Les résultats des analyses de pH montrent une variation entre 8,37 et 8,41. Ces valeurs de pH enregistrées pour l'eau de consommation sont conformes à la norme algérienne dont les valeurs maximales admissibles sont respectivement de 6,5 – 8,5.

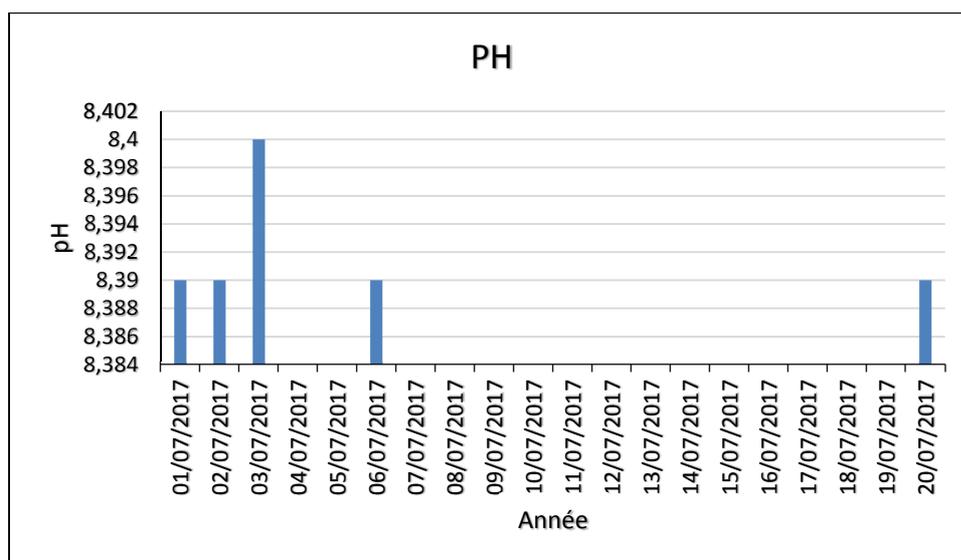


Fig 89 : variation de pH d'eau traitée (Juillet 2017)

Les observations de mesures de pH de l'eau traitée (Figure.89) indiquent que les valeurs sont presque identiques (pH=8,39) sauf le 03 juillet qui a une valeur de 8,3.

Les valeurs de pH enregistrées pour l'eau de consommation sont conformes à la norme algérienne.

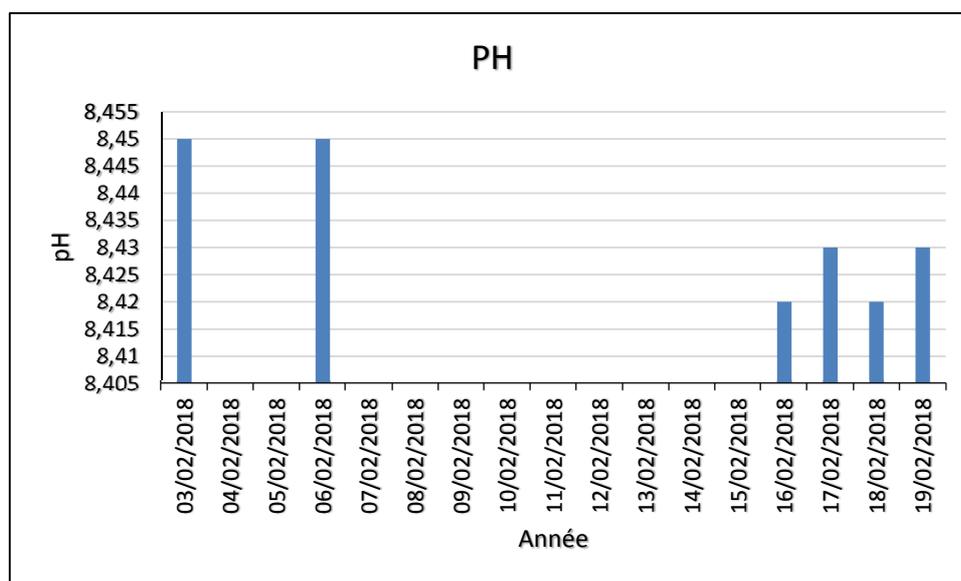


Fig 90 : variation de pH d'eau traitée (Février 2018)

La figure(90) représente les variations du pH sur le site de prélèvement. Elle varie entre 8,32 et 8,45. Les valeurs du pH des eaux traitées sont conformes à la norme algérienne dont les valeurs sont fixées de 6,5 – 8,5

2.4. Conductivité électrique

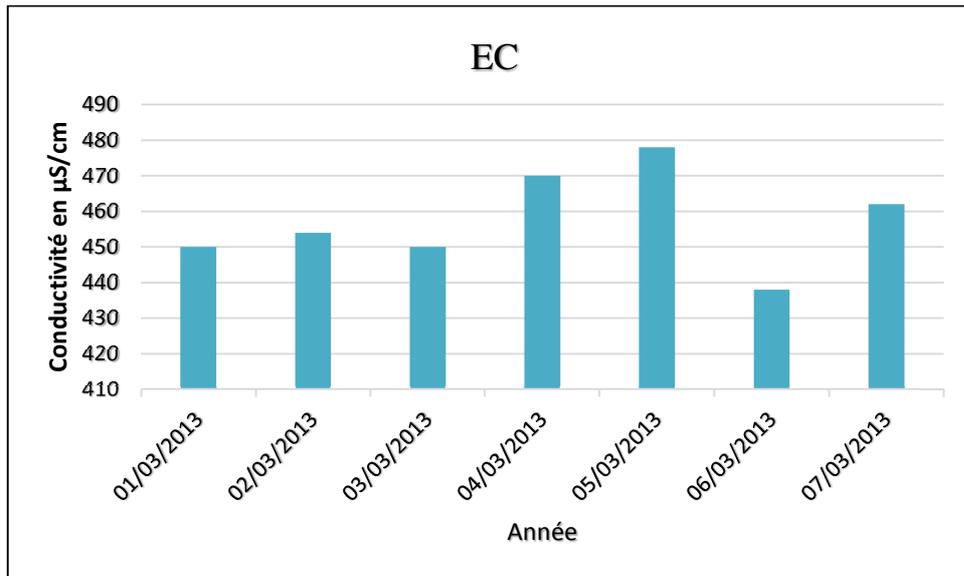


Fig.91 : Variations de la conductivité électrique dans l'eau traitée (Mars 2013)

Les résultats des analyses de la conductivité électrique montrent une variation entre 450 et 478 $\mu\text{S/cm}$. Ces valeurs de conductivité électrique enregistrées pour l'eau de consommation sont conformes à la norme algérienne dont les concentrations maximales admissibles sont respectivement de 2880 $\mu\text{S/cm}$.

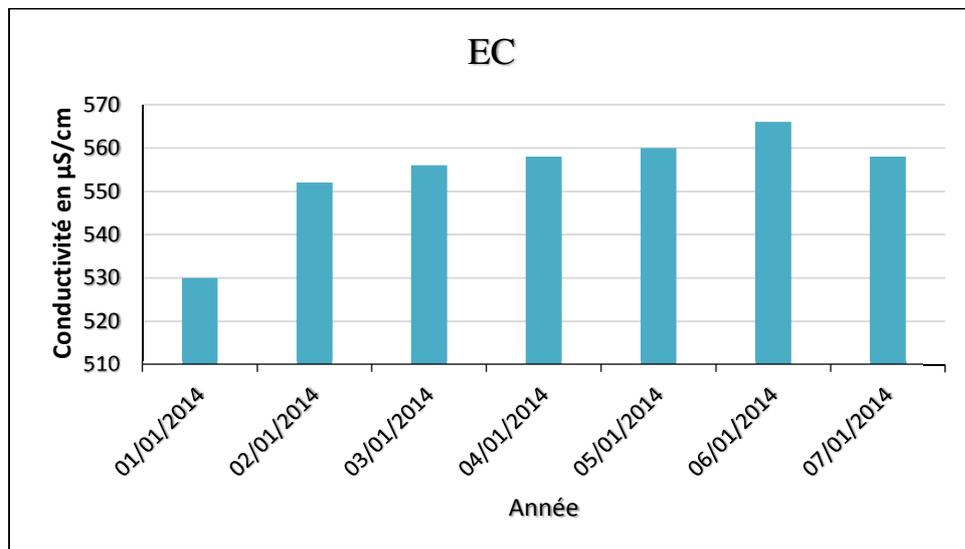


Fig.92 : Variations de la conductivité électrique dans l'eau traitée (Janvier 2014)

Les résultats des analyses montrent une variation entre 530 $\mu\text{S/cm}$ et 566 $\mu\text{S/cm}$. Ces résultats sont conformes à la valeur limite fixée par les normes Algérienne dont la concentration maximale admissible est respectivement de 2800 $\mu\text{S/cm}$.

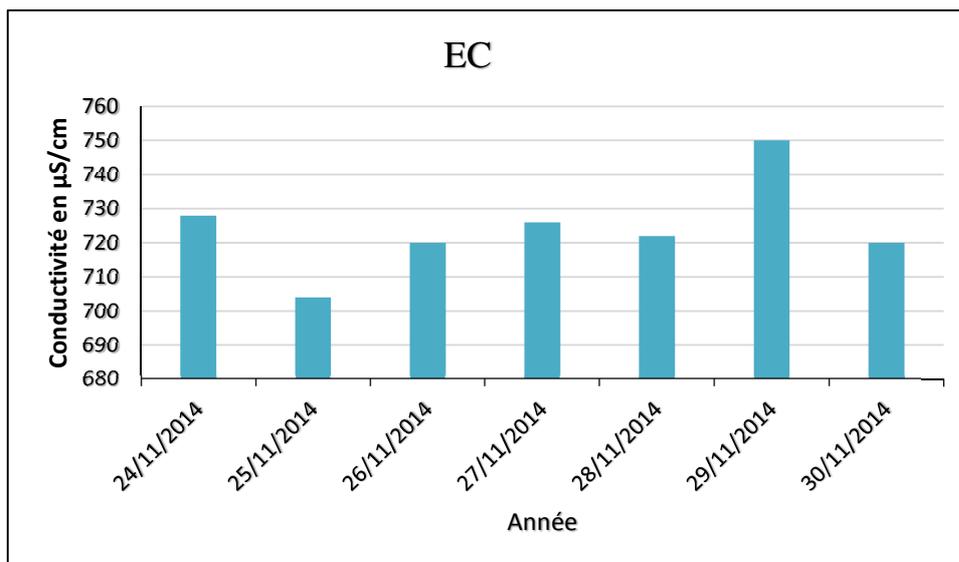


Fig.93 : Variations de la conductivité électrique dans l'eau traitée (Novembre 2014)

Dans la figure (93) la variation de la conductivité électrique est très remarquable où la valeur maximale de ce paramètre est $750 \mu\text{S/cm}$. Ce paramètre est conforme aux normes algériennes.

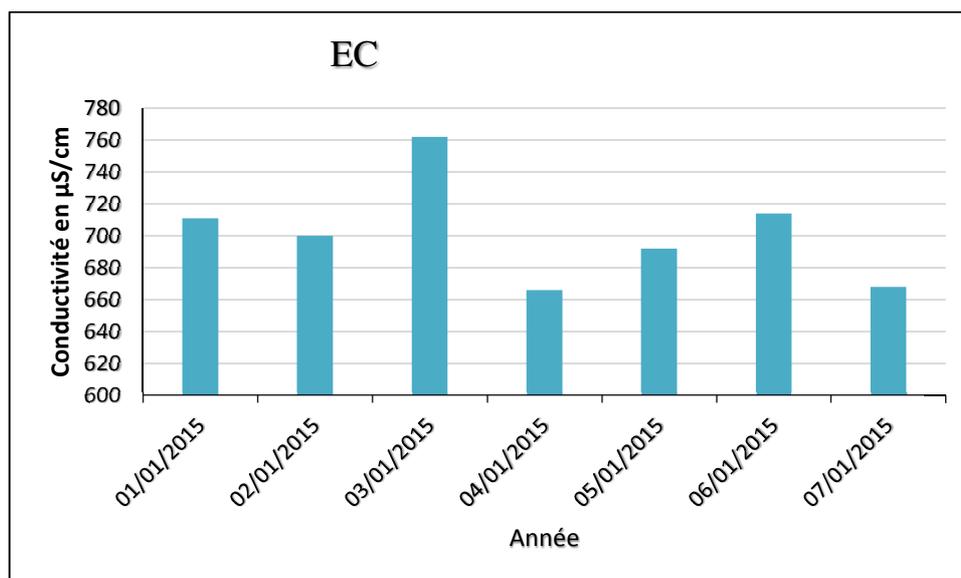


Fig.94 : Variations de la conductivité électrique dans l'eau traitée (Janvier 2015)

Dans la figure (92) la variation de la conductivité électrique est très remarquable où la valeur maximale de ce paramètre est $760 \mu\text{S/cm}$. Ce paramètre est conforme aux normes algériennes.

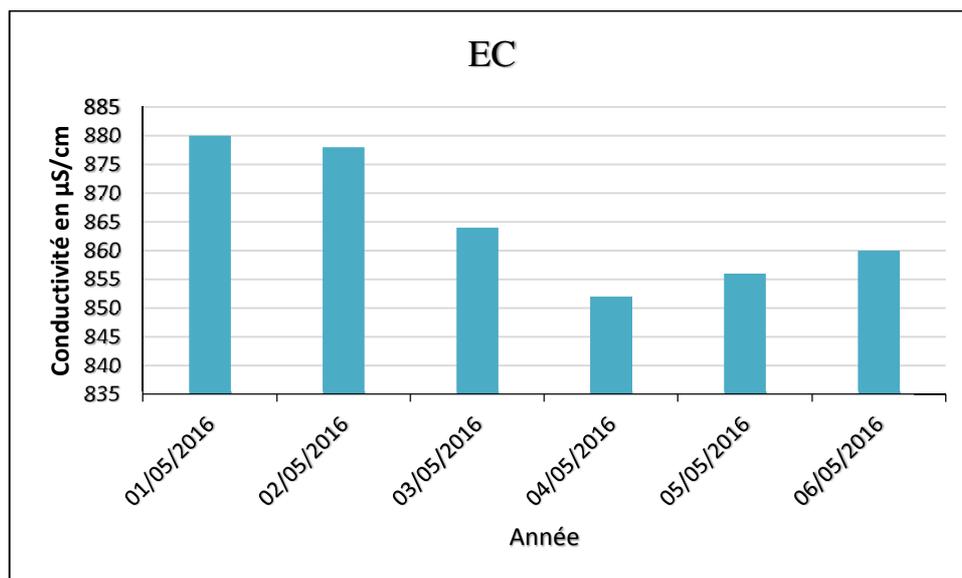


Fig.95 : Variations de la conductivité électrique dans l'eau traitée (Mai 2015)

Dans la figure (95) la variation de la conductivité électrique est très remarquable où la valeur maximale de ce paramètre est 880 $\mu\text{S/cm}$. Ce paramètre est conforme aux normes algériennes.

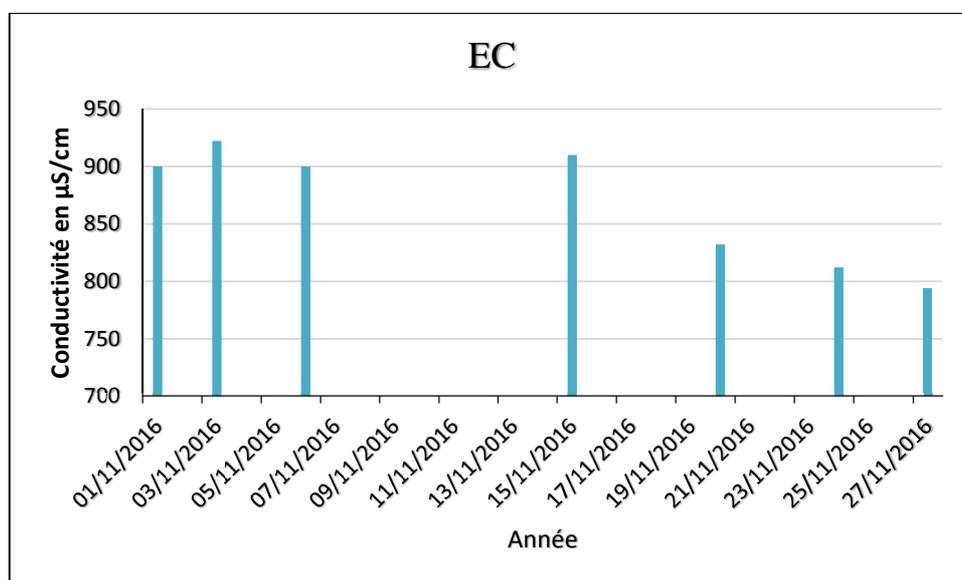


Fig.96 : Variations de la conductivité électrique dans l'eau traitée (Novembre 2016)

Les valeurs obtenues de la conductivité électrique après l'analyse (figure 96) de l'eau traitée sont comprise entre 794 et 910 $\mu\text{S/cm}$. Ces résultats sont conformes aux normes algériennes dont les valeurs sont fixées de 2800 $\mu\text{S/cm}$.

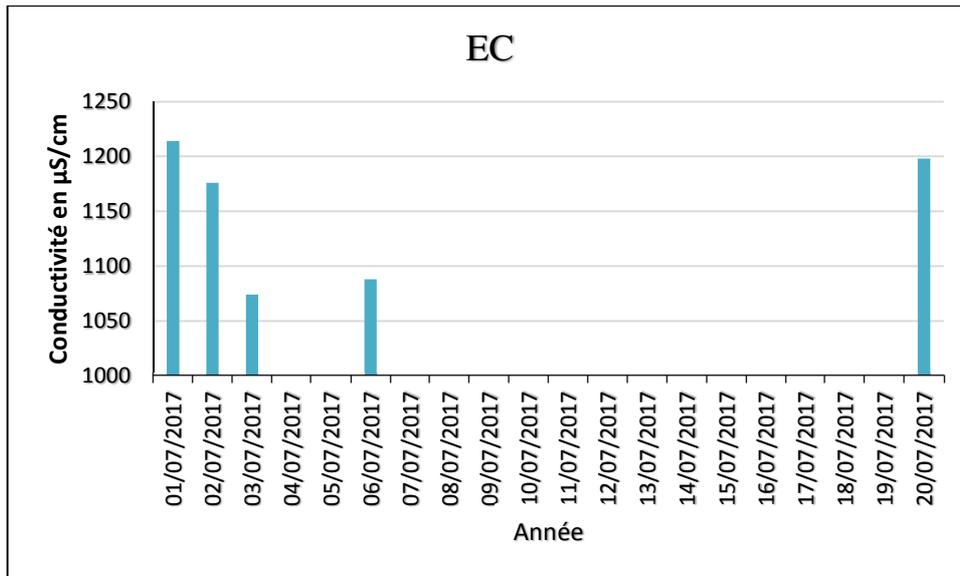


Fig.97 : Variations de la conductivité électrique dans l’eau traitée (Juillet 2017)

Les résultats montrent des valeurs comprises entre 1074 – 1214 µS/cm. Ces valeurs sont également conformes aux normes algériennes qui limitent le taux de la conductivité des eaux de consommation à 2800 µS/cm.

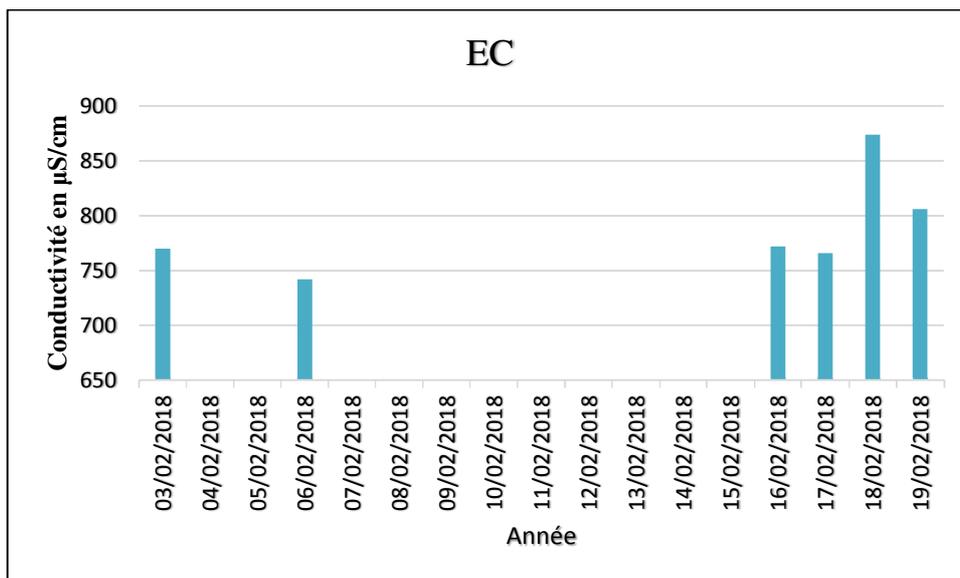


Fig.98 : Variations de la conductivité électrique dans l’eau traitée (Février 2018)

Les résultats montrent des valeurs comprises entre 770– 874 µS/cm. Ces valeurs sont également conformes aux normes algériennes qui limitent le taux de la conductivité des eaux de consommation à 2800 µS/cm.

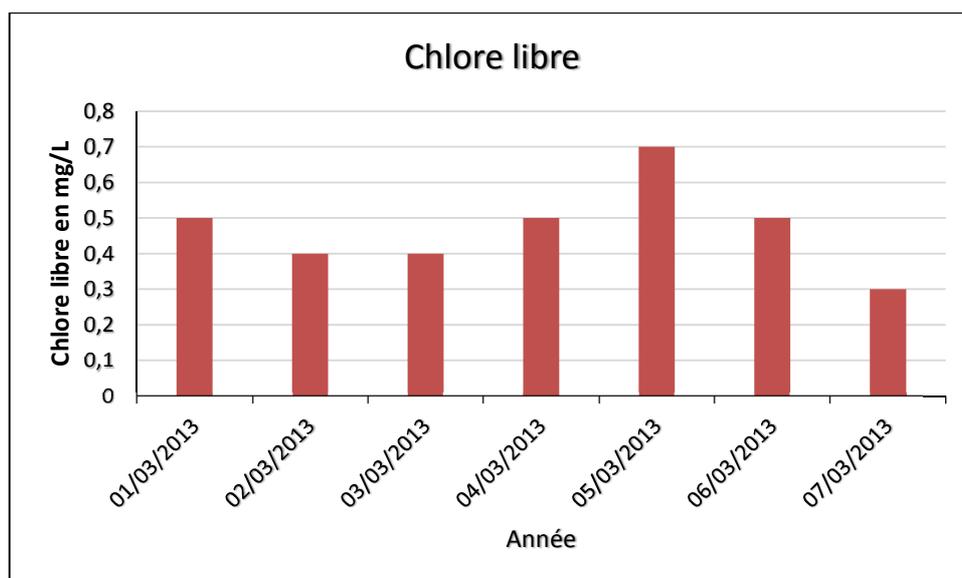


Fig.99 : Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Mars 2013)

Les teneurs en chlore libre dans les échantillons analysés (figure 99) varient entre 0,3 et 0,7mg/L. Cette valeur est légèrement inférieure par rapport à la valeur préconisée par les normes algériennes qui est de 5mg/L (Annexe. 2).

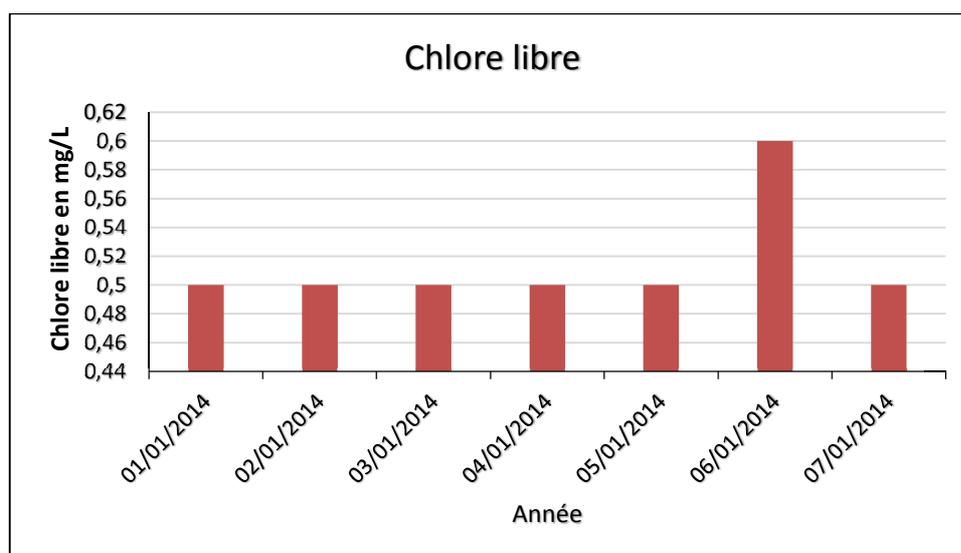


Fig.100 : Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Janvier 2014)

Dans la figure (101), Le taux de chlore libre est égal ($Cl_2 = 0,5$ mg/L) sauf le 06 janvier qui est une valeur de 0,6mg/L.

Cette valeur est légèrement inférieure par rapport à la valeur préconisée par les normes algériennes qui est de 5mg/L.

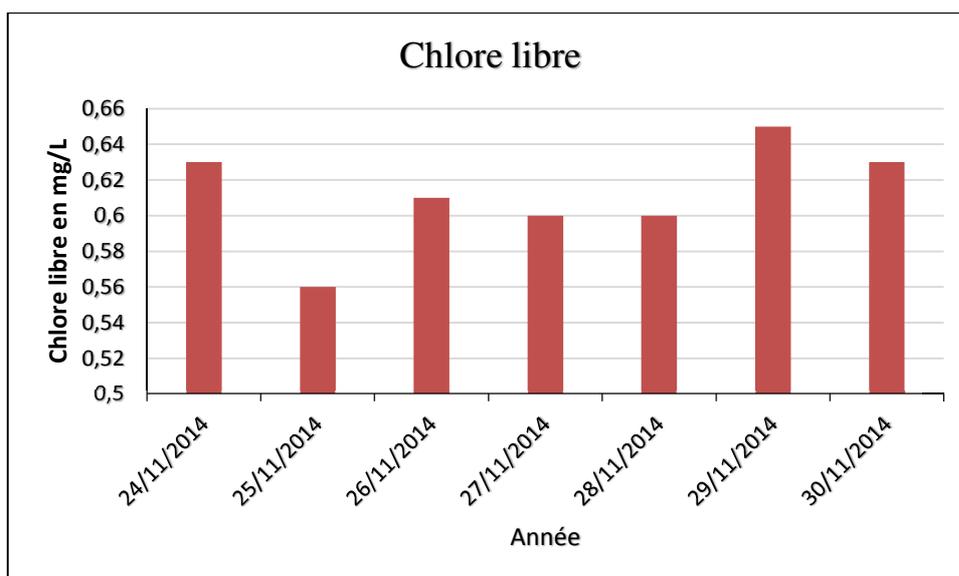


Fig.101 : Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Novembre 2014)

Les teneurs en chlore libre dans les échantillons analysés (figure 102) varient entre 0,56 et 0,65mg/L. Cette valeur est légèrement inférieure par rapport à la valeur préconisée par les normes algériennes qui est de 5mg/L (Annexe. 2).

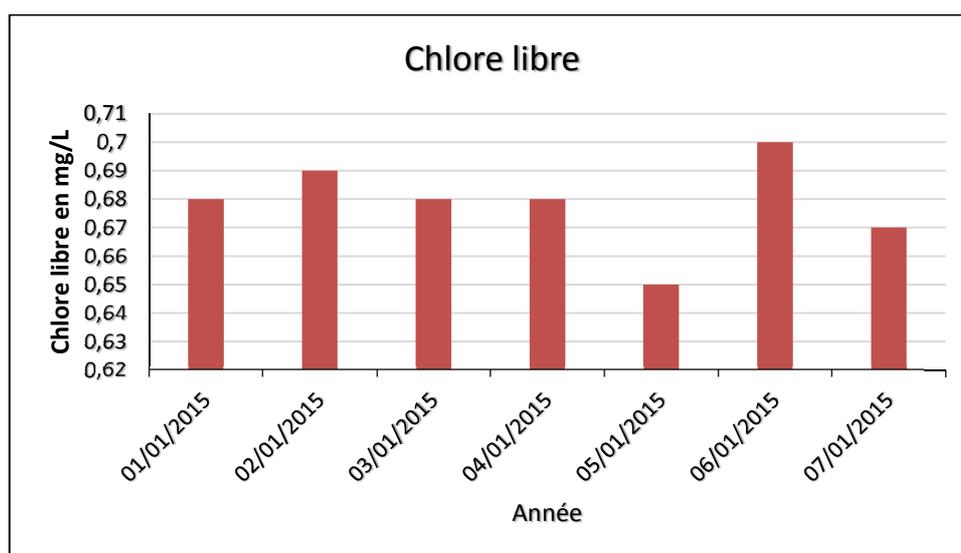


Fig.102 : Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Janvier 2015)

Les teneurs en chlore libre dans les échantillons analysés (figure 102) varient entre 0,65 et 0,7mg/L. Cette valeur est légèrement inférieure par rapport à la valeur préconisée par les normes algériennes qui est de 5mg/L (Annexe. 2).

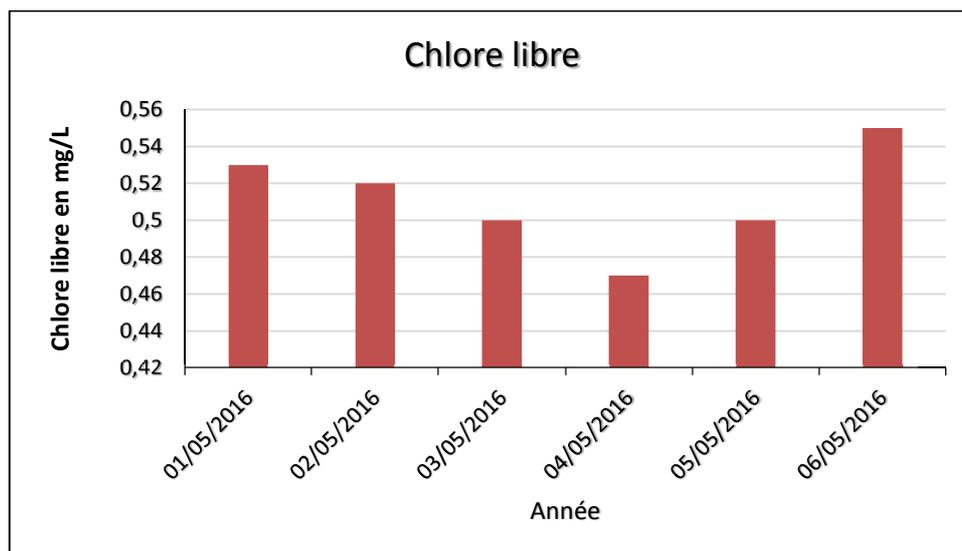


Fig.103 : Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Mai 2015)

Les teneurs en chlore libre dans les échantillons analysés (figure 103) varient entre 0,47 et 0,55mg/L. Cette valeur est légèrement inférieure par rapport à la valeur préconisée par les normes algériennes qui est de 5mg/L (Annexe. 2).

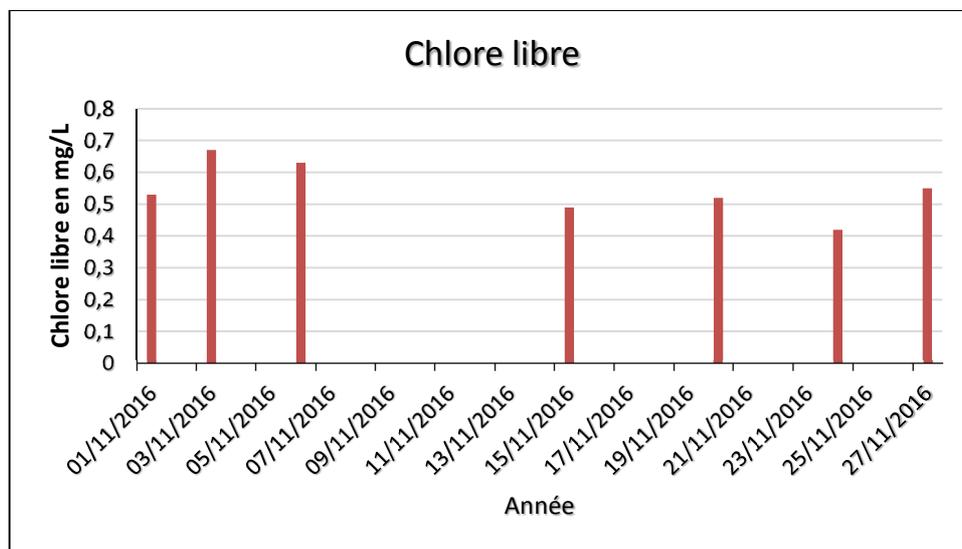


Fig.104 : Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Novembre 2016)

Les teneurs en chlore libre dans les échantillons analysés (figure 104) varient entre 0,42 et 0,67mg/L. Cette valeur est légèrement inférieure par rapport à la valeur préconisée par les normes algériennes qui est de 5mg/L (Annexe. 2).

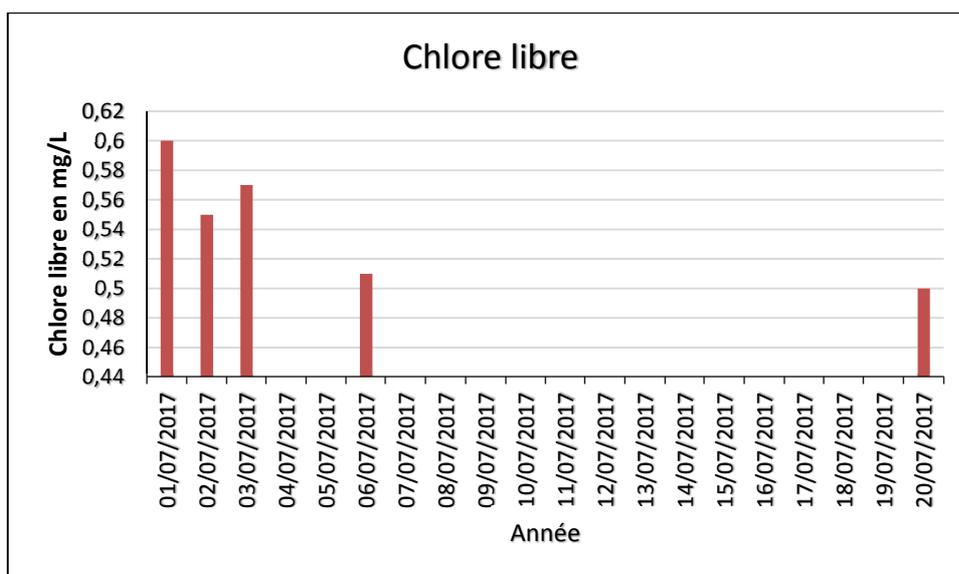


Fig.105 : Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Juillet 2017)

Les teneurs en chlore libre dans les échantillons analysés (figure 105) varient entre 0,5 et 0,6 mg/L. Cette valeur est légèrement inférieure par rapport à la valeur préconisée par les normes algériennes qui est de 5mg/L (Annexe. 2).

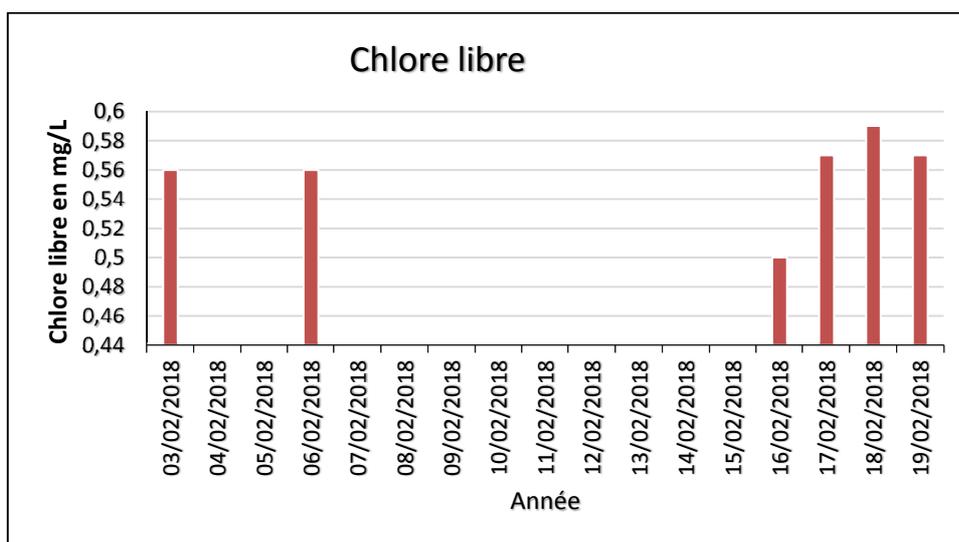


Fig 106 : Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Février 2018)

Les teneurs en chlore libre dans les échantillons analysés (figure 106) varient entre 0,5 et 0,59 mg/L. Cette valeur est légèrement inférieure par rapport à la valeur préconisée par les normes algériennes qui est de 5mg/L (Annexe. 2).

2.6. Dureté totale

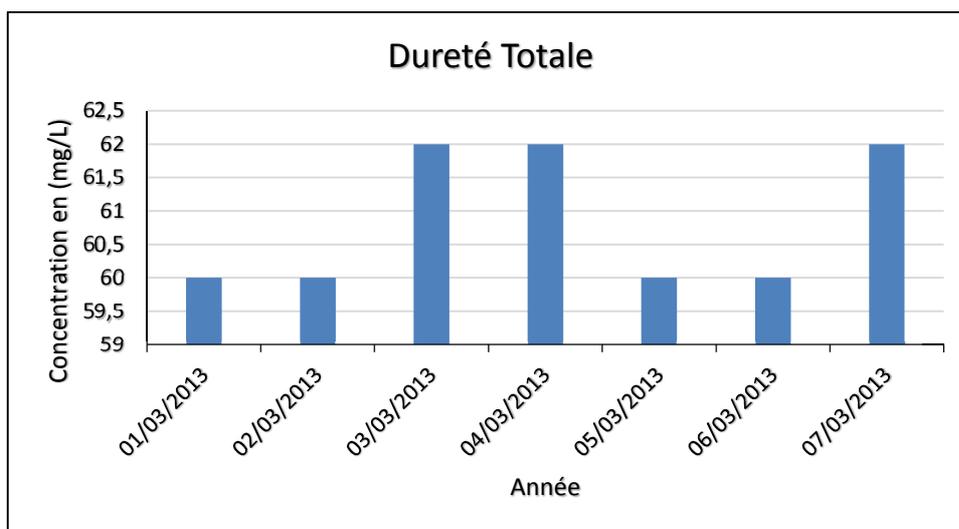


Fig.107 : Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Mars 2013)

Les mesures de la dureté totale de l'eau traitée s'échelonne de 60 mg/L et 62 mg/L. Ces valeurs de ce paramètre sont inférieures à la valeur maximale admissible 200mg/L recommandée par les normes algériennes et l'OMS.

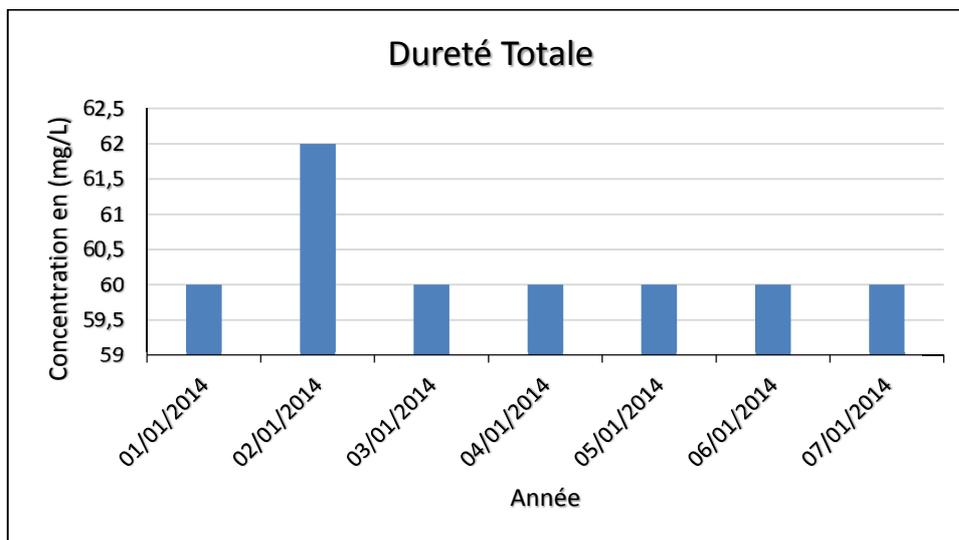


Fig.108 : Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Janvier 2014)

Dans la figure (108) la valeur maximale est 62 mg/L, les autres valeurs sont identiques (60 mg/L). Ces valeurs de ce paramètre sont inférieures à la valeur maximale admissible 200mg/L recommandée par les normes algériennes et l'OMS.

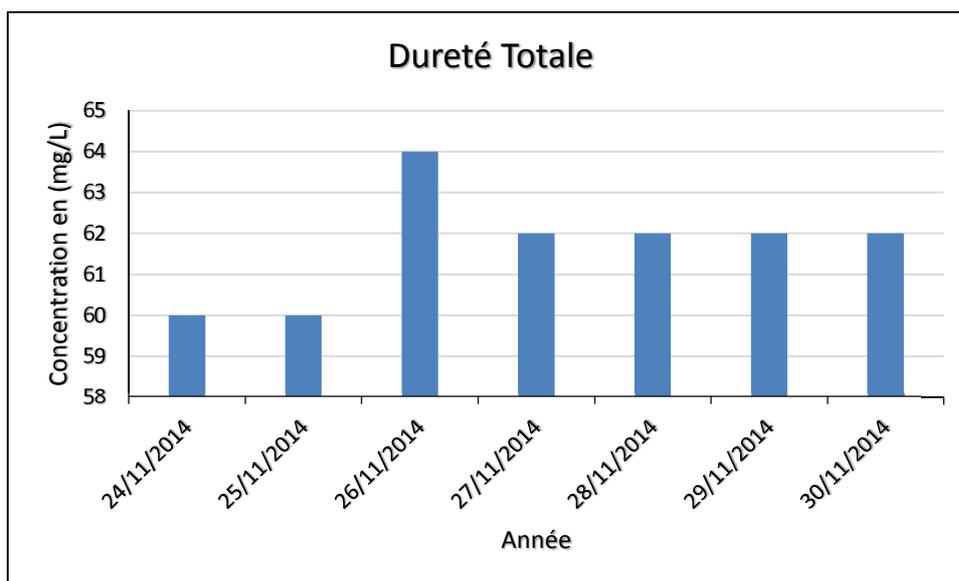


Fig.109 : Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Novembre 2014)

Les mesures de la dureté totale de l'eau traitée s'échelonne de 60 mg/L et 64 mg/L. Ces valeurs de ce paramètre sont inférieures à la valeur maximale admissible 200mg/L recommandée par les normes algériennes et l'OMS.

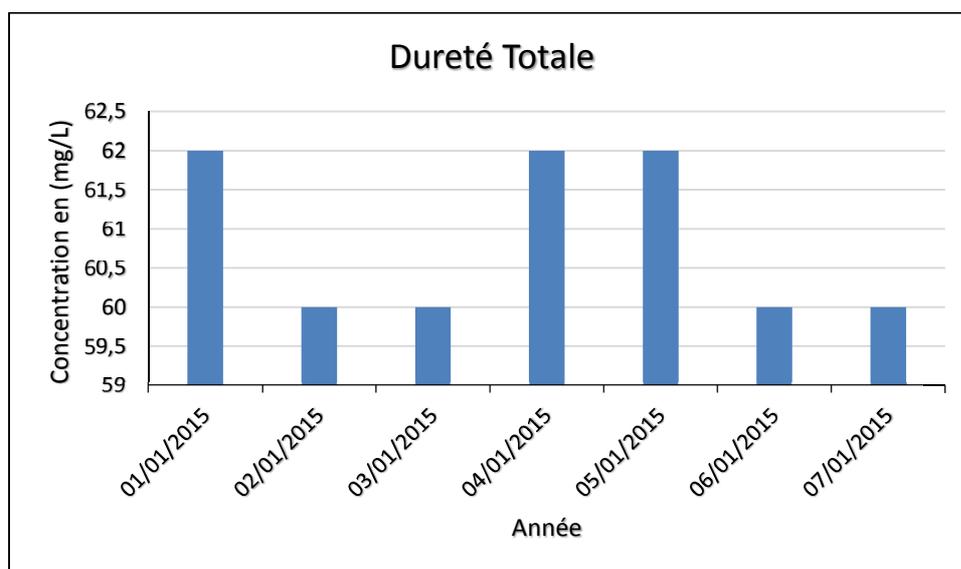


Fig.110 : Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Janvier 2015)

Les mesures de la dureté totale de l'eau traitée s'échelonne de 60 mg/L et 62 mg/L. Ces valeurs de ce paramètre sont inférieures à la valeur maximale admissible 200mg/L recommandée par les normes algériennes et l'OMS.

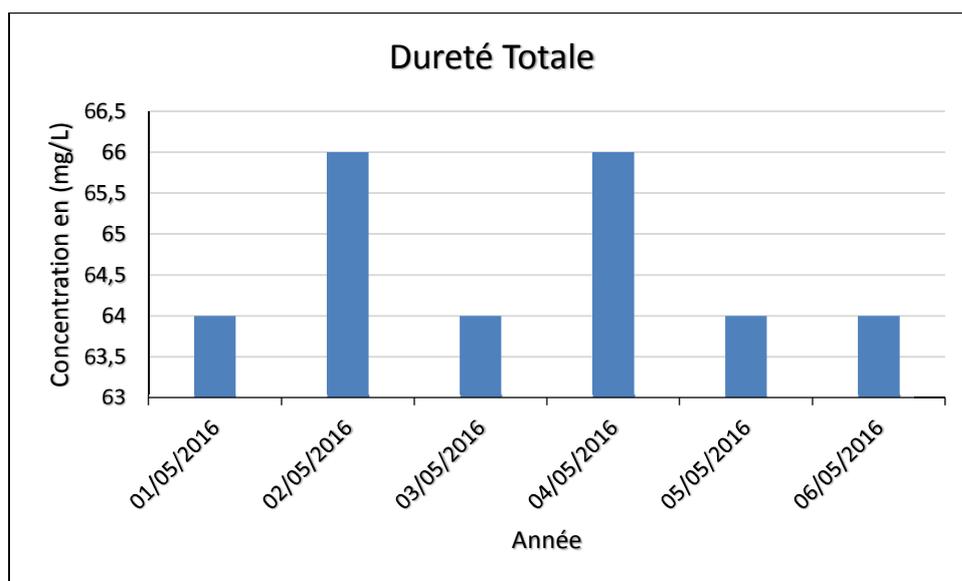


Fig.111 : Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Mai 2016)

Les mesures de la dureté totale de l'eau traitée s'échelonne de 64 mg/L et 66 mg/L. Ces valeurs de ce paramètre sont inférieures à la valeur maximale admissible 200mg/L recommandée par les normes algériennes et l'OMS.

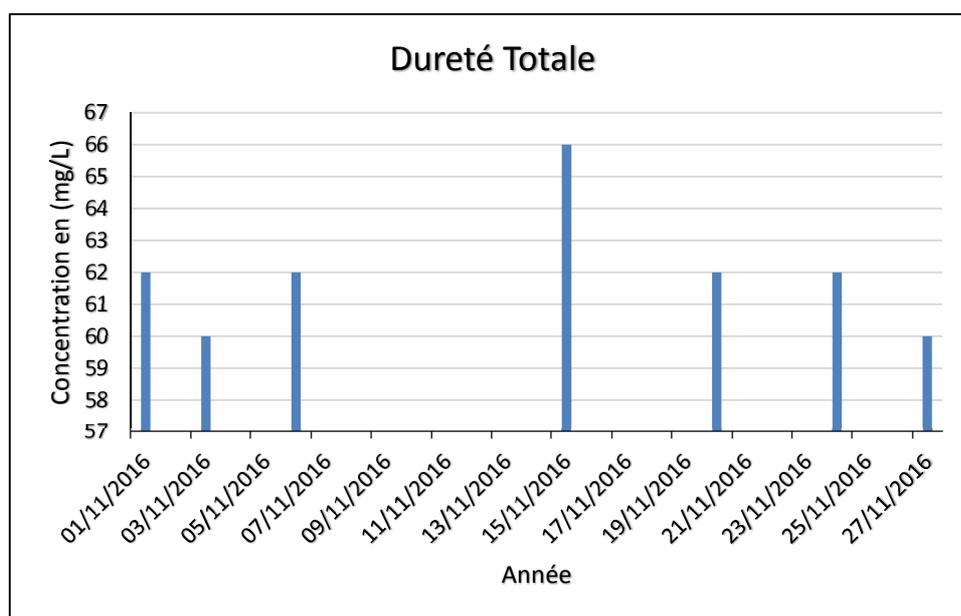


Fig.112 : Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Novembre 2016)

Les mesures de la dureté totale de l'eau traitée s'échelonne de 60 mg/L et 66 mg/L. Ces valeurs de ce paramètre sont inférieures à la valeur maximale admissible 200mg/L recommandée par les normes algériennes et l'OMS.

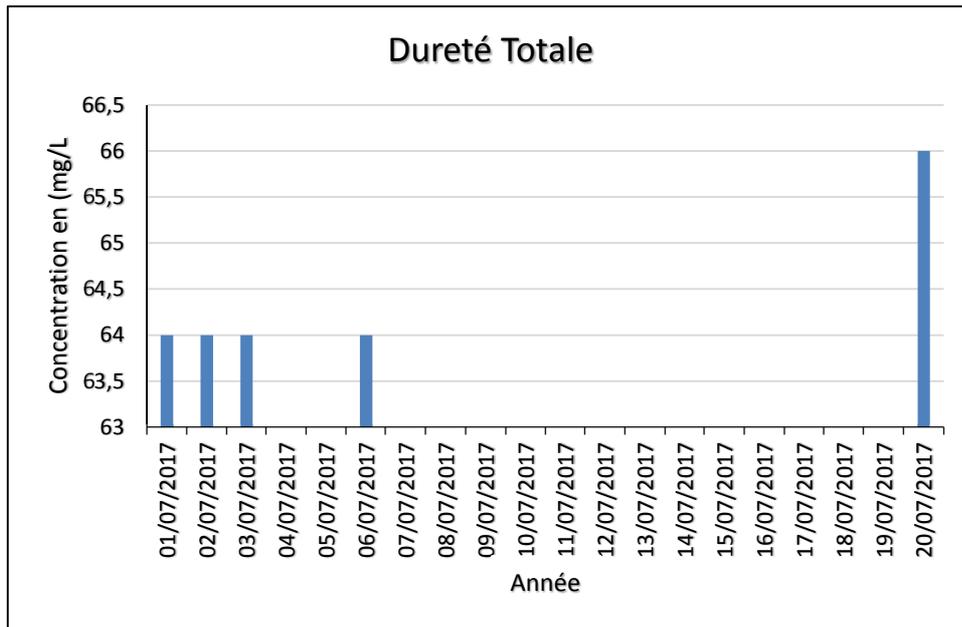


Fig.113 : Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Juillet 2017)

Les mesures de la dureté totale de l'eau traitée s'échelonne de 64 mg/L et 66 mg/L. Ces valeurs de ce paramètre sont inférieures à la valeur maximale admissible 200mg/L recommandée par les normes algériennes et l'OMS.

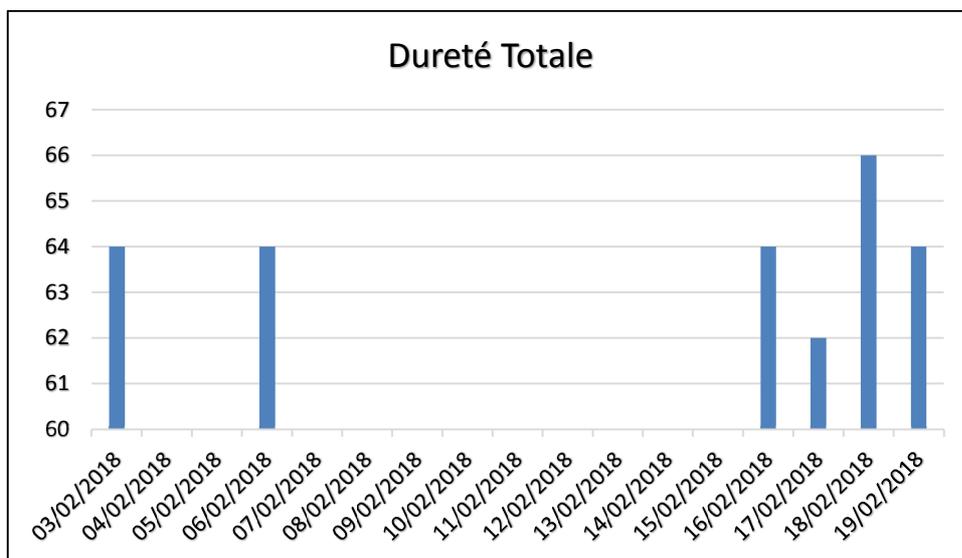


Fig.114 : Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Février 2018)

Les mesures de la dureté totale de l'eau traitée s'échelonne de 62 mg/L et 66 mg/L. Ces valeurs de ce paramètre sont inférieures à la valeur maximale admissible 200mg/L recommandée par les normes algériennes et l'OMS.

2.7. Indice de saturation de Langelier (LSI)

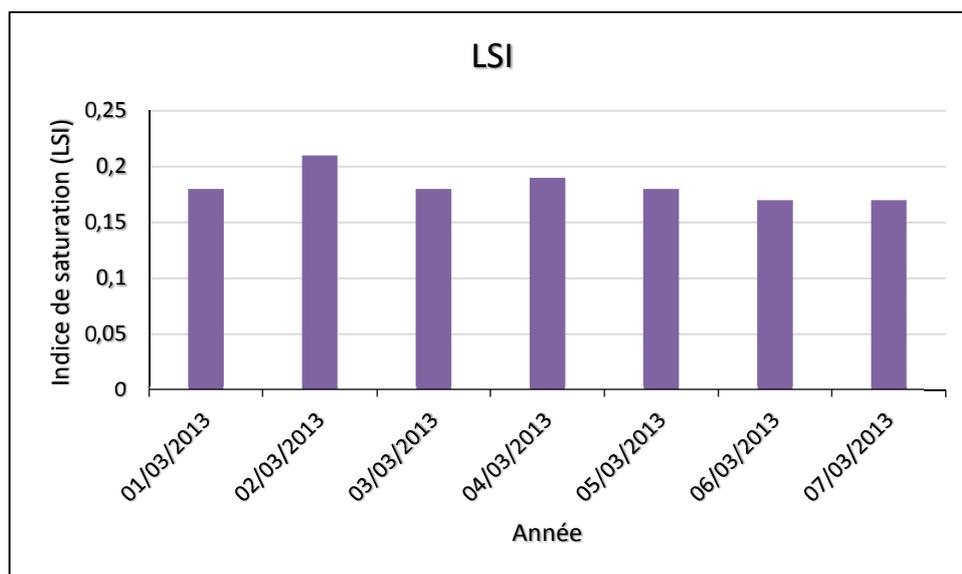


Fig. 115 : Variations de l'indice de saturation dans l'eau traitée (Mars 2013)

Les valeurs enregistrées de l'indice de Langelier des échantillons (figure 115) de l'eau traitée destinée à la consommation humaine varie entre 0,17 et 0,21. Ces valeurs sont conformes aux normes et restent dans l'intervalle de [0 à 0,4] déterminée dans le contrat d'achat de l'eau.

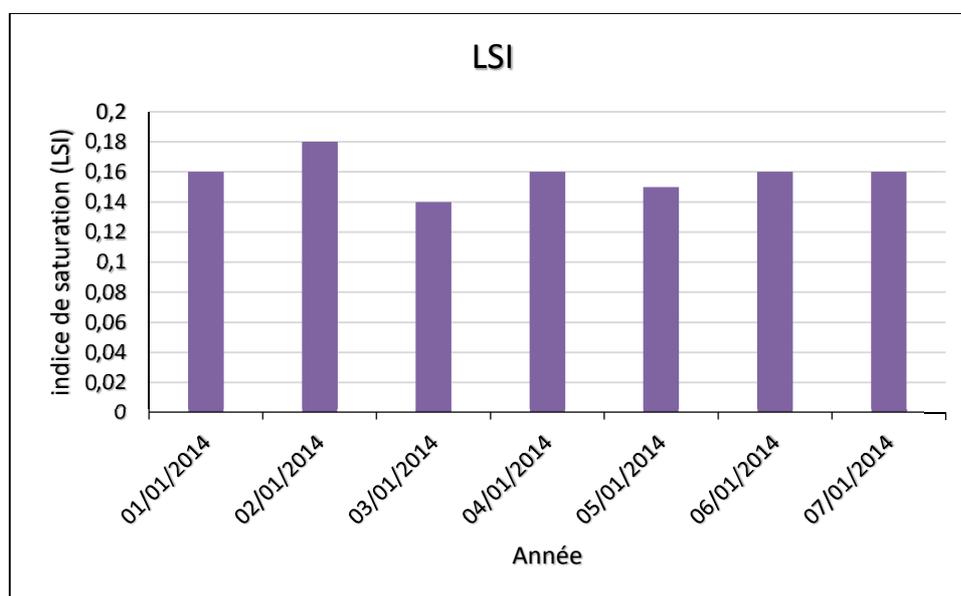


Fig. 116 : Variations de l'indice de saturation dans l'eau traitée (Janvier 2014)

La Figure (116) indique des valeurs de l'indice de saturation dans l'eau traitée comprises 0,14 et 0,18. Ces valeurs sont conformes aux normes et restent dans l'intervalle de [0 à 0,4] déterminée dans le contrat d'achat de l'eau.

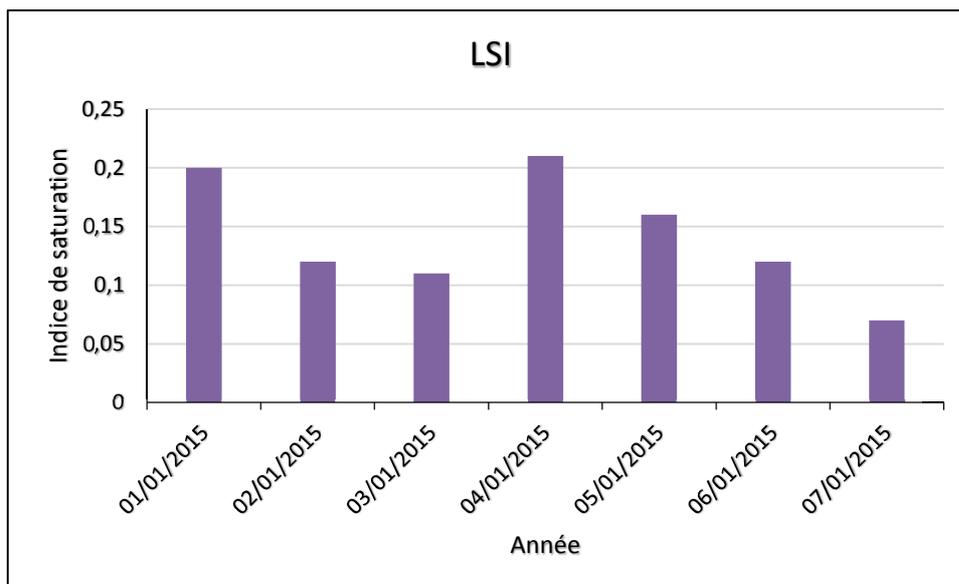


Fig. 117 : Variations de l'indice de saturation dans l'eau traitée (Janvier 2015)

Les valeurs enregistrées de l'indice de Langelier des échantillons (figure 117) de l'eau traitée destinée à la consommation humaine varie entre 0,07 et 0,21. Ces valeurs sont conformes aux normes et restent dans l'intervalle de [0 à 0,4] déterminée dans le contrat d'achat de l'eau.

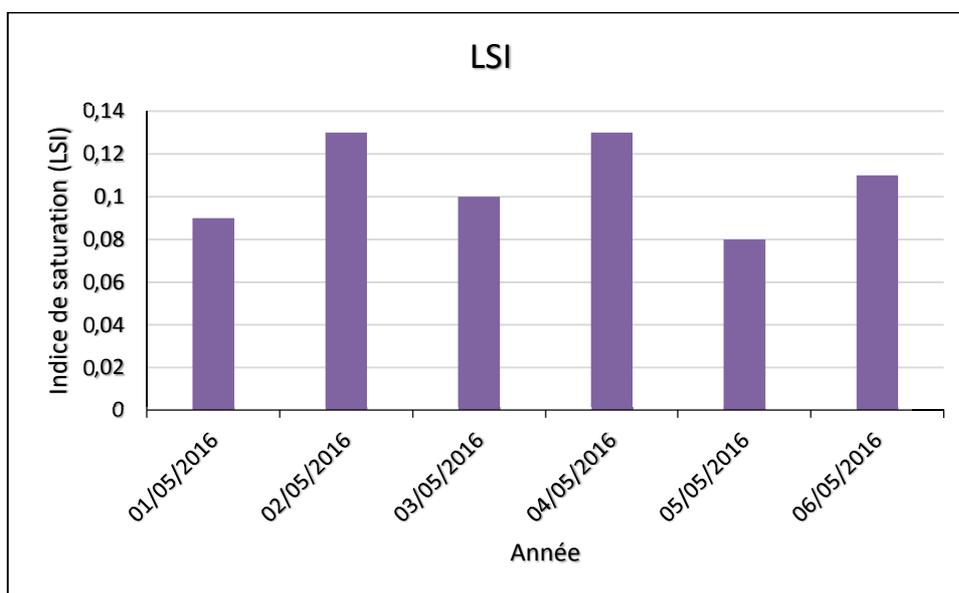


Fig. 118 : Variations de l'indice de saturation dans l'eau traitée (Mai 2016)

La Figure (118) indique des valeurs de l'indice de saturation dans l'eau traitée comprises 0,08 et 0,13.

Ces valeurs sont conformes aux normes et restent dans l'intervalle de [0 à 0,4] déterminée dans le contrat d'achat de l'eau.

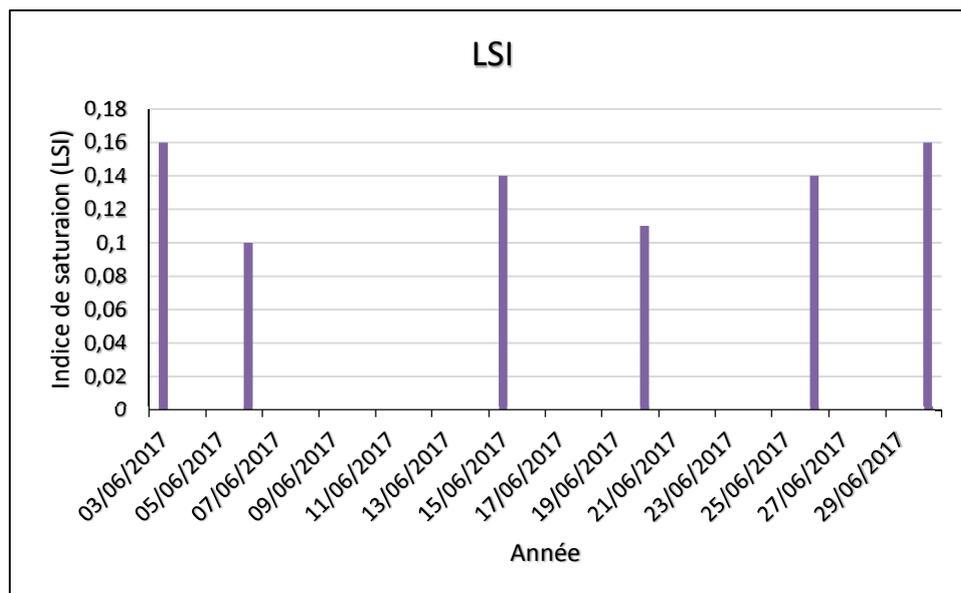


Fig. 119 : Variations de l'indice de saturation dans l'eau traitée (Juin 2017)

Les valeurs enregistrées de l'indice de Langelier des échantillons (figure 119) de l'eau traitée destinée à la consommation humaine varie entre 0,1 et 0,16.

Ces valeurs sont conformes aux normes et restent dans l'intervalle de [0 à 0,4] déterminée dans le contrat d'achat de l'eau.

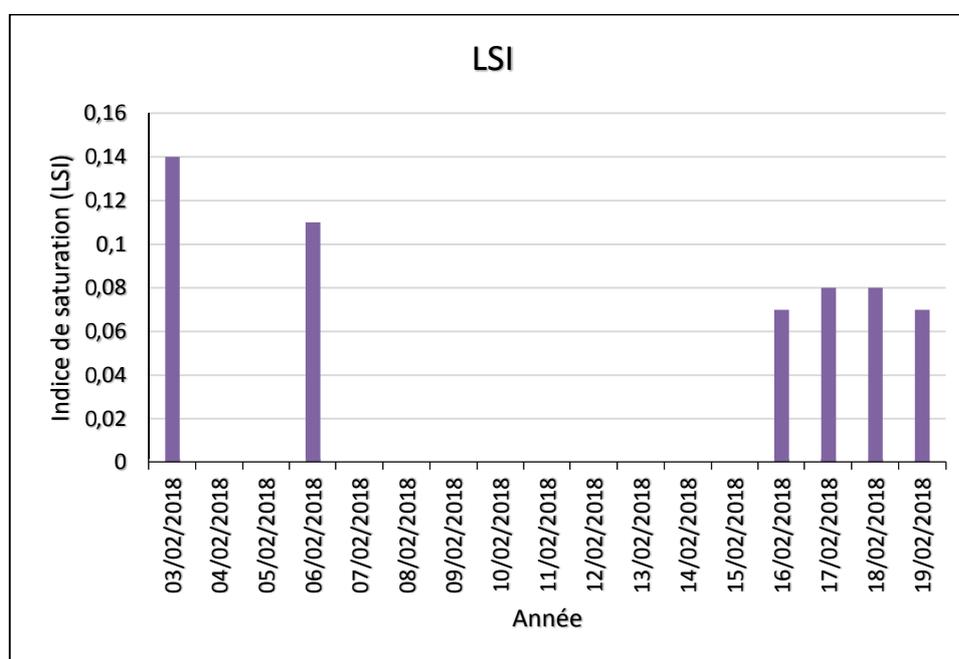


Fig. 120 : Variations de l'indice de saturation dans l'eau traitée (Février 2018)

La Figure (120) indique des valeurs de l'indice de saturation dans l'eau traitée comprises 0,07 et 0,14.

Ces valeurs sont conformes aux normes et restent dans l'intervalle de [0 à 0,4] déterminée dans le contrat d'achat de l'eau.

2.8. Calcium

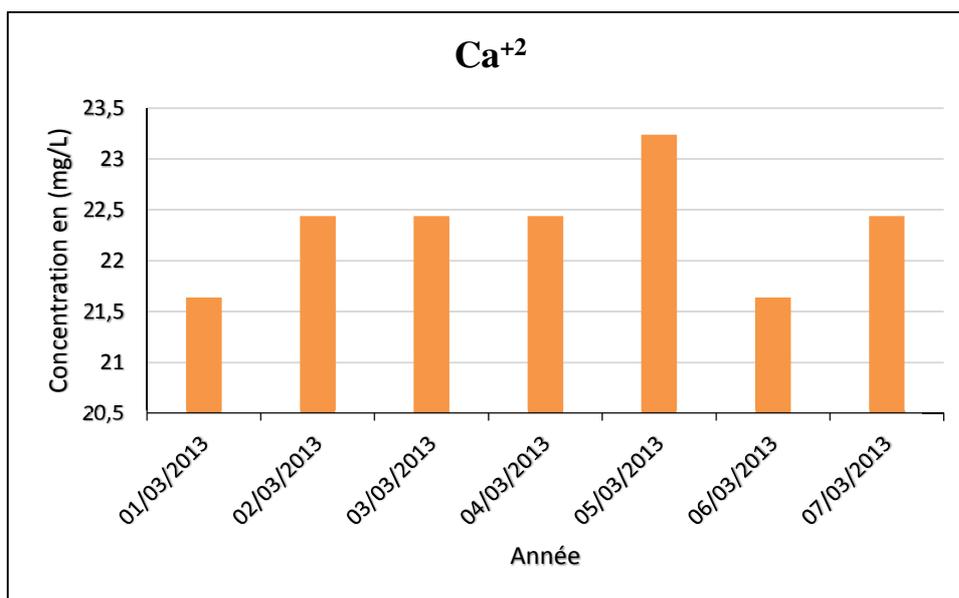


Fig.121 : Variations de la concentration du Calcium dans l'eau traitée (Mars 2013)

Les analyses de l'eau traitée (figure 121) donne 21,64 mg/L comme valeur minimale du calcium et 22,44mg/L comme valeur maximale. Ces teneurs restent sous la valeur guide indiquée par l'OMS qui est 100mg/L (Annexe. 1) et 200 mg/L indiquée par les normes algériennes (Annexe. 2).

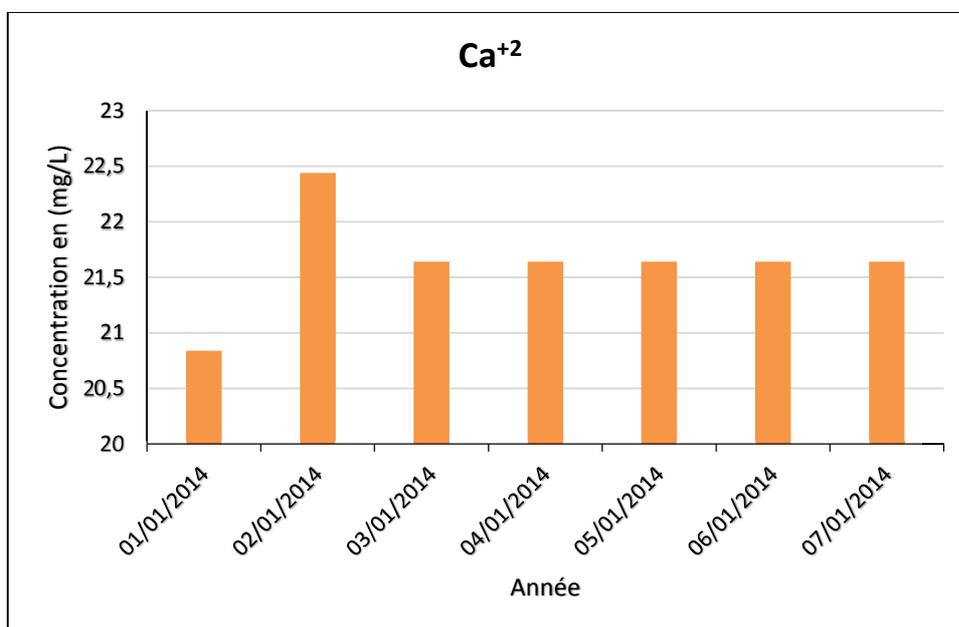


Fig.122 : Variations de la concentration du Calcium dans l'eau traitée (Janvier 2014)

Les valeurs de la concentration en calcium de la figure. (122) varient entre 20,84 et 22,44 mg/L. Le taux de calcium est inférieur à la norme algérienne qui fixe la composition en Ca^{+2} à 200 mg/L (Annexe. 2) et 100 mg/L par celles de l'OMS (Annexe. 1).

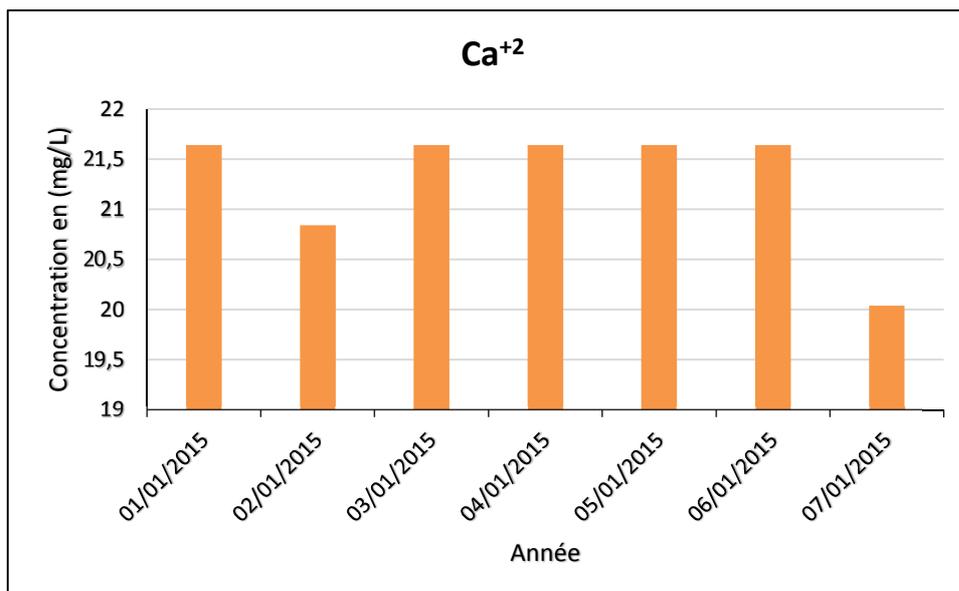


Fig.123 : Variations de la concentration du Calcium dans l'eau traitée (Janvier 2015)

Les analyses de l'eau traitée (figure 123) donne 20,04 mg/L comme valeur minimale du calcium et 21,64mg/L comme valeur maximale. Ces teneurs restent sous la valeur guide indiquée par l'OMS qui est 100mg/L (Annexe. 1) et 200 mg/L indiquée par les normes algériennes (Annexe. 2).

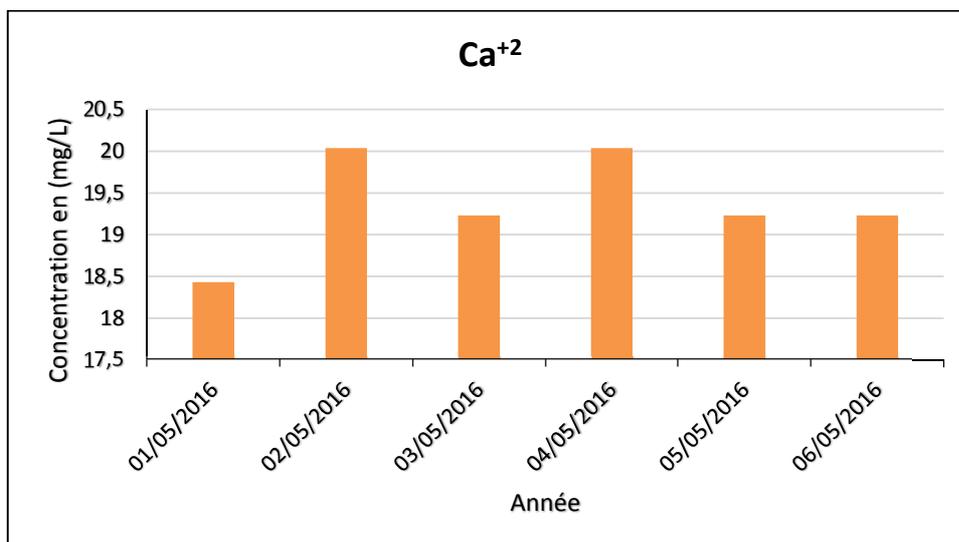


Fig.124 : Variations de la concentration du Calcium dans l'eau traitée (Mai 2016)

Les valeurs de la concentration en calcium de la figure. (124) varient entre 18,43 et 20,04 mg/L. Le taux de calcium est inférieur à la norme algérienne qui fixe la composition en Ca^{+2} à 200 mg/L (Annexe. 2) et 100 mg/L par celles de l'OMS (Annexe. 1).

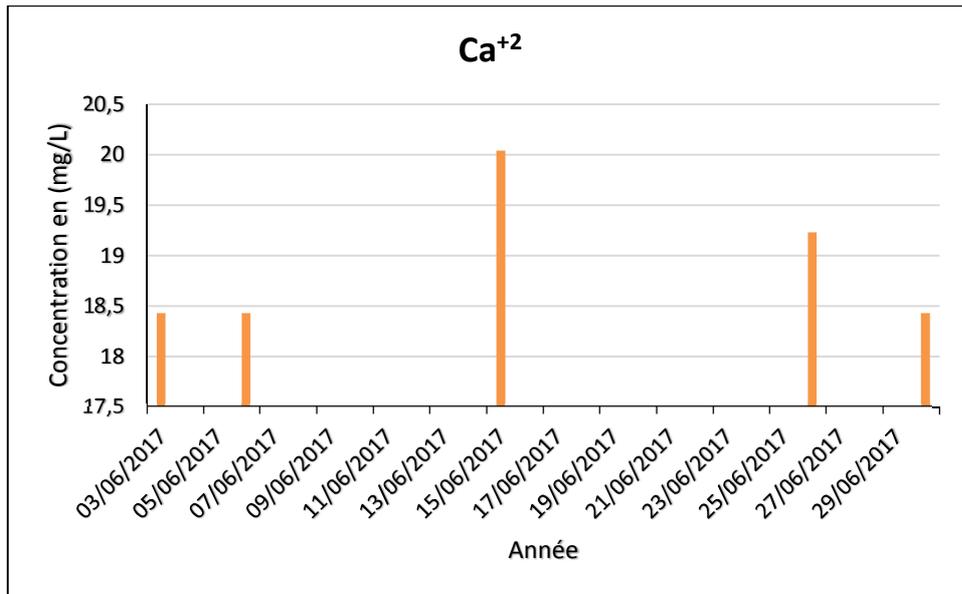


Fig.125 : Variations de la concentration du Calcium dans l'eau traitée (Juin 2017)

Les analyses de l'eau traitée (figure 125) donne 20,04 mg/L comme valeur minimale du calcium et 21,64mg/L comme valeur maximale. Ces teneurs restent sous la valeur guide indiquée par l'OMS qui est 100mg/L (Annexe. 1) et 200 mg/L indiquée par les normes algériennes (Annexe. 2).

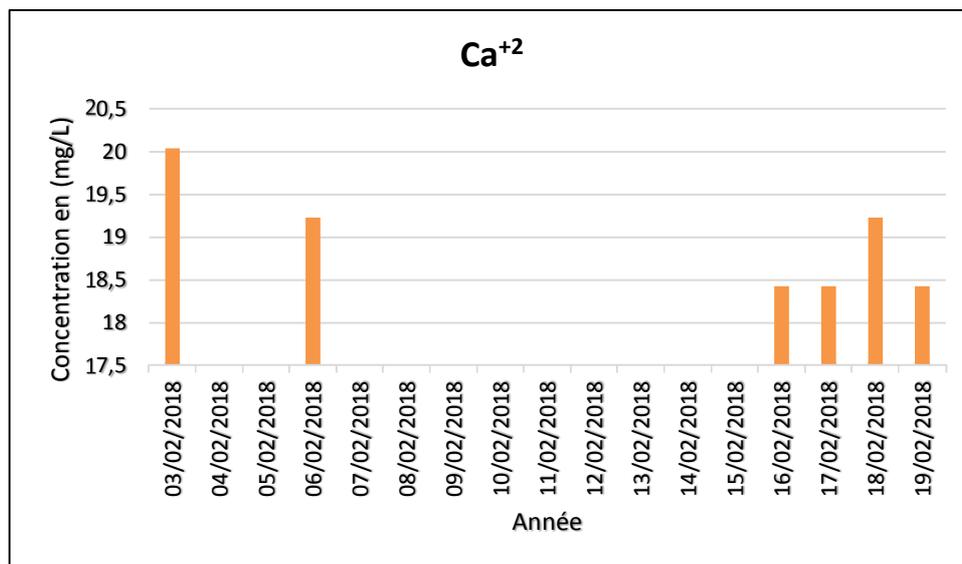


Fig.126 : Variations de la concentration du Calcium dans l'eau traitée (Février 2018)

Les valeurs de la concentration en calcium de la figure. (126) varient entre 18,43 et 20,04 mg/L. Le taux de calcium est inférieur à la norme algérienne qui fixe la composition en Ca^{+2} à 200 mg/L (Annexe. 2) et 100 mg/L par celles de l'OMS (Annexe. 1).

2.9. Magnésium

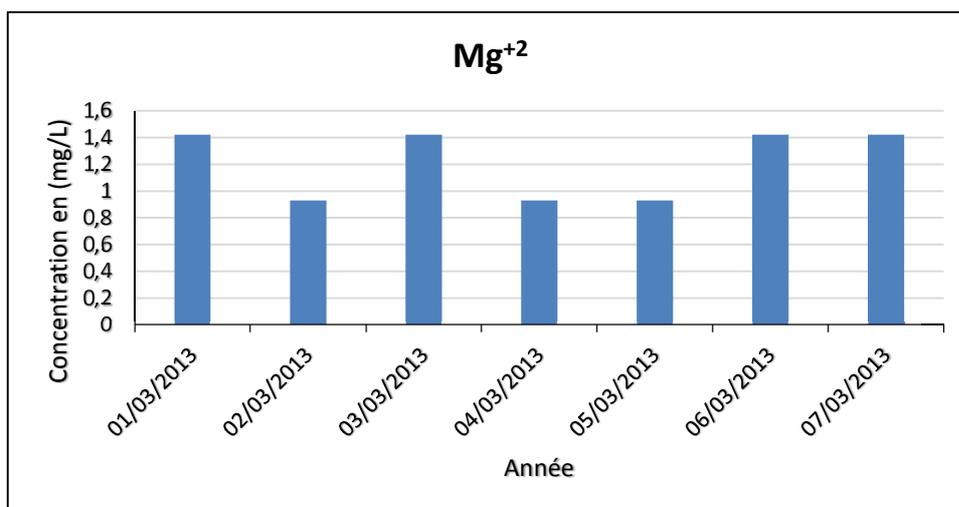


Fig. 127 : Variations de la concentration du Magnésium dans l'eau traitée (Mars 2013)

La figure. (127), représente les concentrations moyennes du Magnésium qui fluctuent entre 0,93 et 1,42 mg/L. Ces valeurs sont trop faibles par rapport à la valeur guide recommandée dans les normes de l'OMS qui est de 50 mg/L.

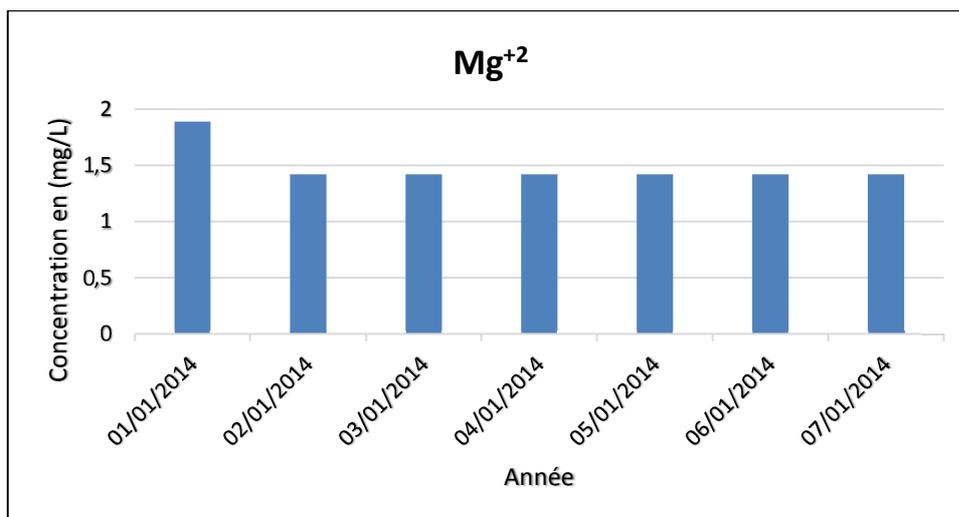


Fig. 128 : Variations de la concentration du Magnésium dans l'eau traitée (Janvier 2014)

Les valeurs obtenues pour le magnésium d'eau traitée présentée dans la figure. (128), varient entre 1,42 et 1,89 mg/L. La majorité des valeurs sont identiques.

Ces valeurs sont trop faibles par rapport à la valeur guide recommandée dans les normes de l'OMS qui est de 50 mg/L.

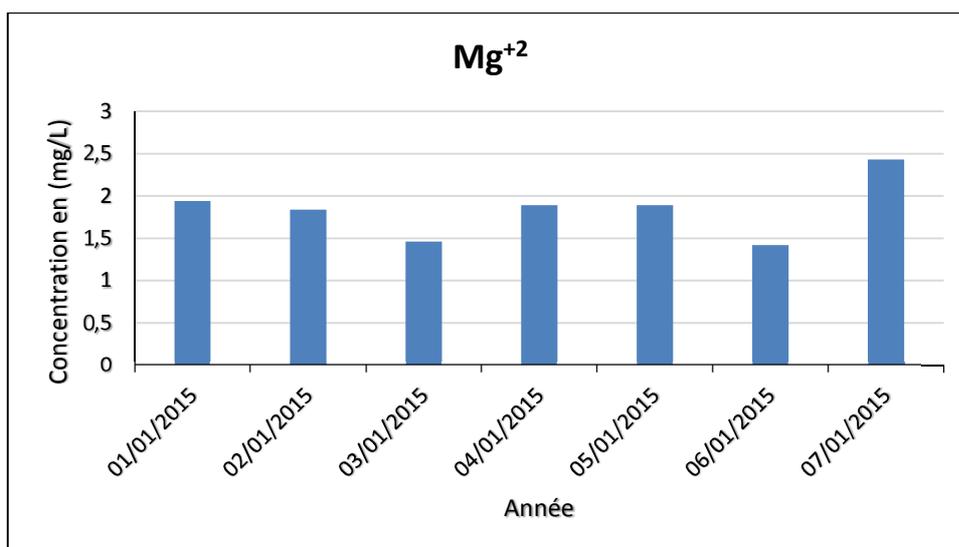


Fig. 129 : Variations de la concentration du Magnésium dans l'eau traitée (Janvier 2015)

La figure. (129), représente les concentrations moyennes du Magnésium qui fluctuent entre 1,42 et 2,43 mg/L. Ces valeurs sont trop faibles par rapport à la valeur guide recommandée dans les normes de l'OMS qui est de 50 mg/L.

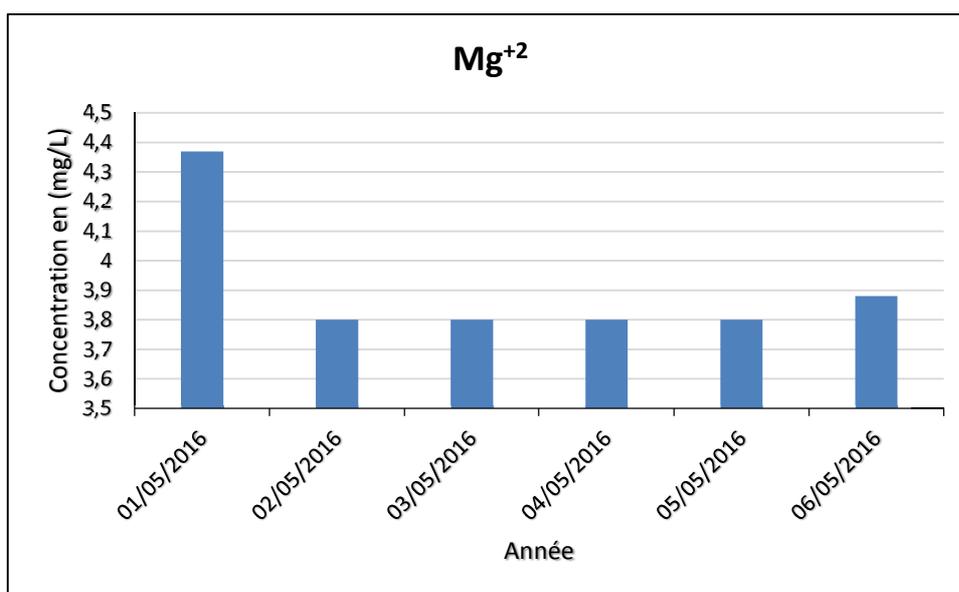


Fig. 130 : Variations de la concentration du Magnésium dans l'eau traitée (Mai 2016)

Les valeurs obtenues pour le magnésium d'eau traitée présentée dans la figure. (130), varient entre 3,8 et 4,37 mg/L. La majorité des valeurs sont identique.

Ces valeurs sont trop faibles par rapport à la valeur guide recommandée dans les normes de l'OMS qui est de 50 mg/L.

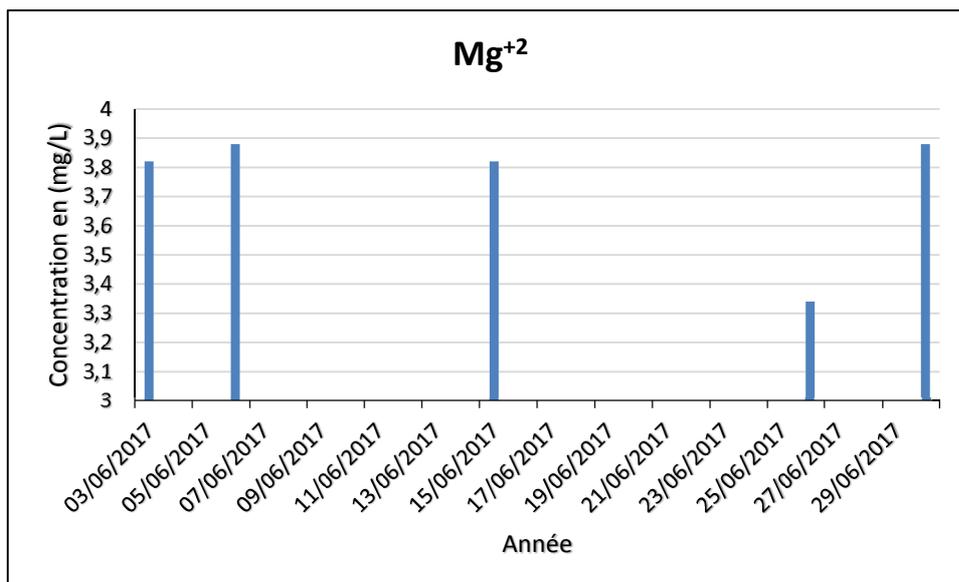


Fig. 131 : Variations de la concentration du Magnésium dans l'eau traitée (Juin 2017)

La figure. (131), représente les concentrations moyennes du Magnésium qui fluctuent entre 3,34 et 3,88 mg/L. Ces valeurs sont trop faibles par rapport à la valeur guide recommandée dans les normes de l'OMS qui est de 50 mg/L.

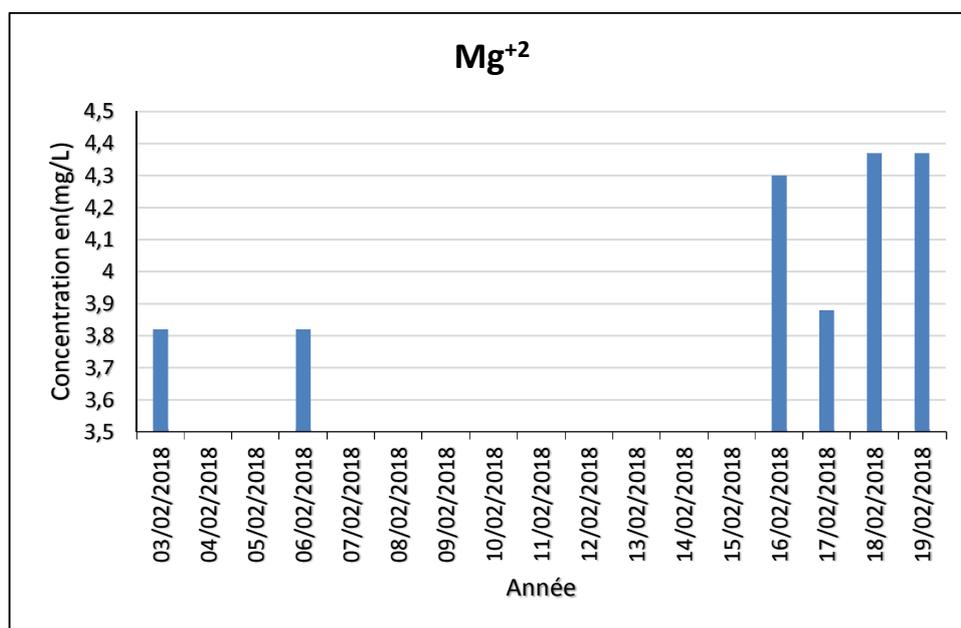


Fig. 132 : Variations de la concentration du Magnésium dans l'eau traitée (Février 2018)

Les valeurs obtenues pour le magnésium d'eau traitée présentée dans la figure. (132), varient entre 3,82 et 4,37 mg/L. La majorité des valeurs sont identique.

Ces valeurs sont trop faibles par rapport à la valeur guide recommandée dans les normes de l'OMS qui est de 50 mg/L.

2.10. Bicarbonate

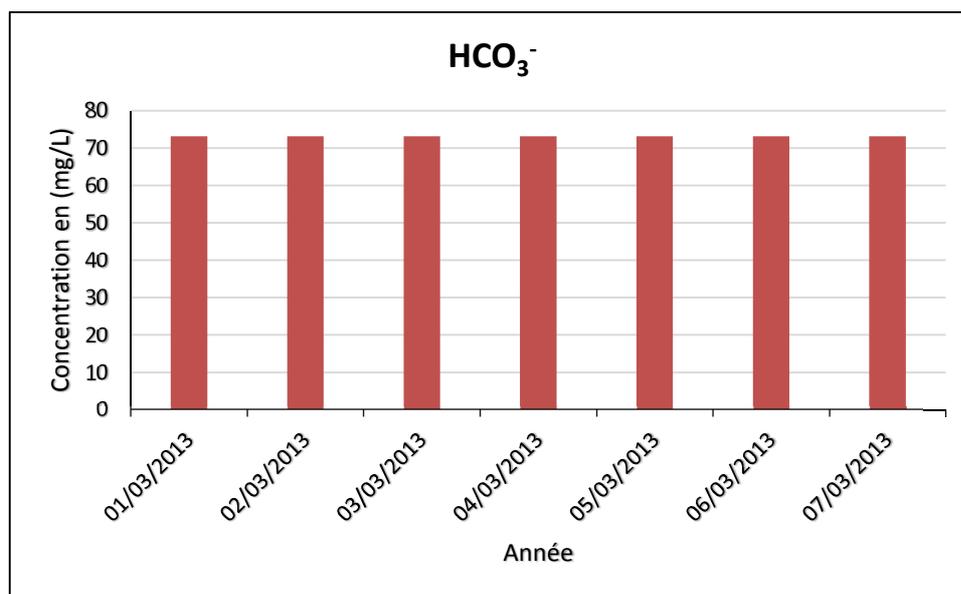


Fig. 133 : Variation des concentrations des bicarbonates dans l'eau traitée (Mars 2013)

Les valeurs des concentrations en bicarbonate de l'eau traitée enregistrées en fonction du temps sont stables et égale à 73,2 mg/L. L'OMS ne donne aucune valeur guide pour la teneur en bicarbonates dans l'eau potable.

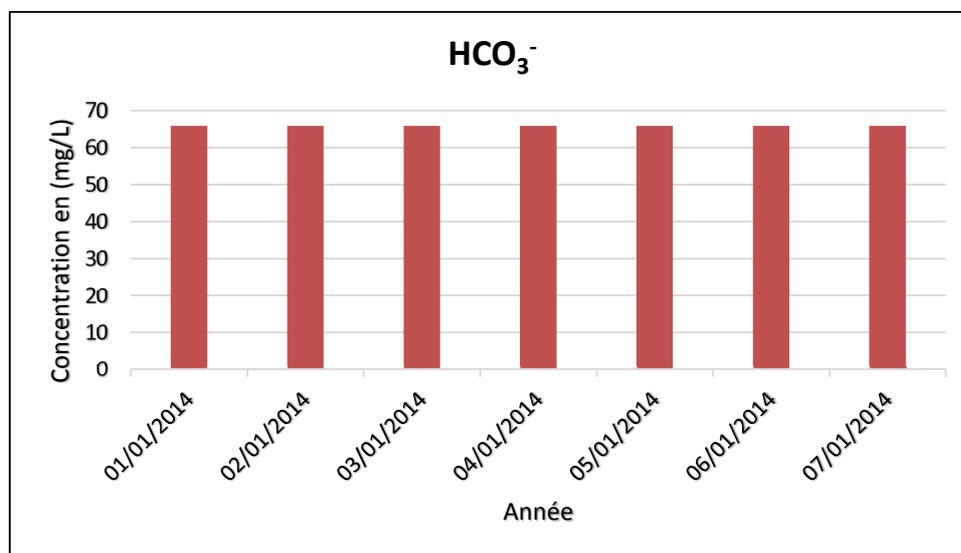


Fig. 134 : Variation des concentrations des bicarbonates dans l'eau traitée (Janvier 2014).

Les valeurs des concentrations en bicarbonate de l'eau traitée enregistrées en fonction du temps sont stables et égale à 65,88 mg/L. L'OMS ne donne aucune valeur guide pour la teneur en bicarbonates dans l'eau potable.

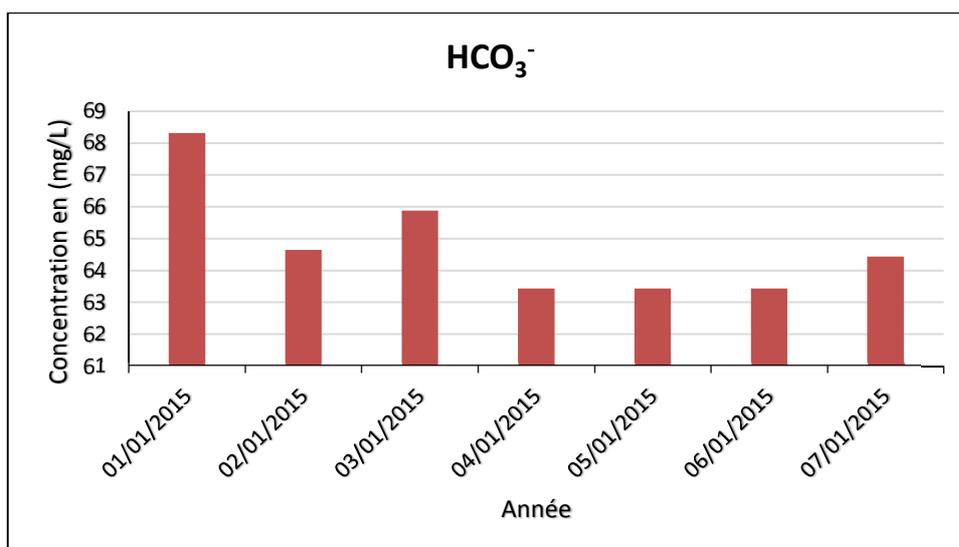


Fig. 135 : Variation des concentrations des bicarbonates dans l'eau traitée (Janvier 2015).

Les valeurs des concentrations en bicarbonate de l'eau traitée enregistrées en fonction du temps comprise entre 63,4 et 68,32 mg/L. L'OMS ne donne aucune valeur guide pour la teneur en bicarbonates dans l'eau potable.

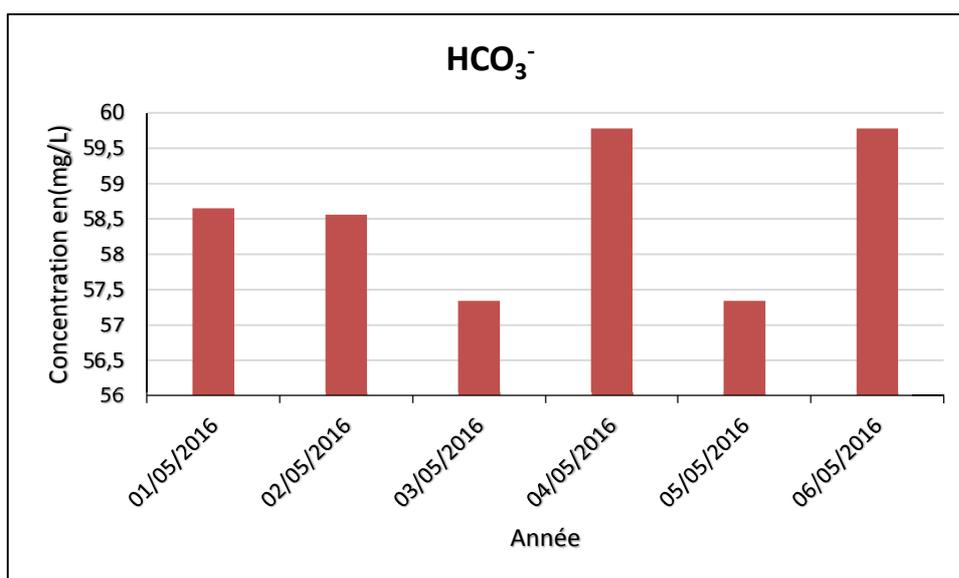


Fig. 136 : Variation des concentrations des bicarbonates dans l'eau traitée (Mai 2016).

Les valeurs des concentrations en bicarbonate de l'eau traitée enregistrées en fonction du temps comprise entre 57,3 et 59,78 mg/L. L'OMS ne donne aucune valeur guide pour la teneur en bicarbonates dans l'eau potable.

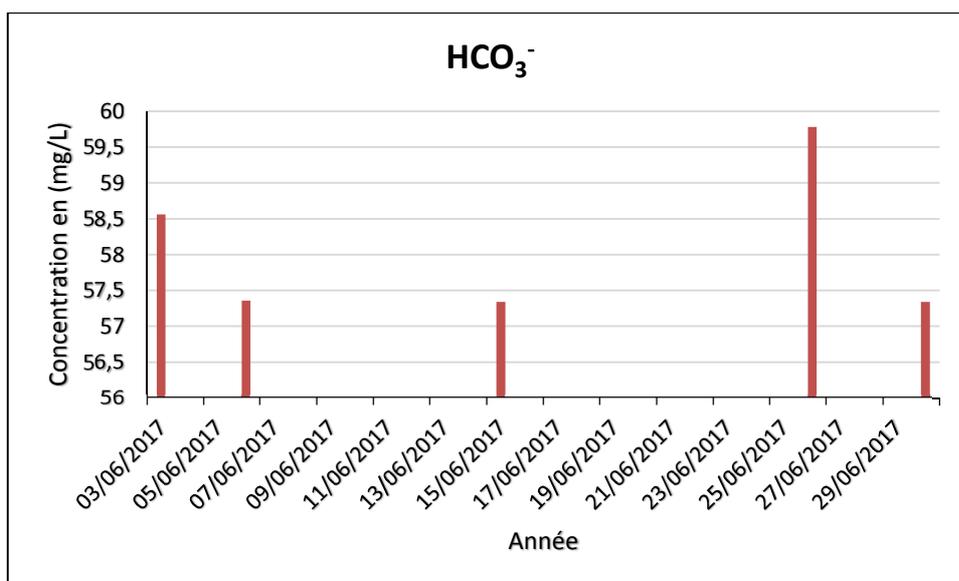


Fig. 137 : Variation des concentrations des bicarbonates dans l'eau traitée (Juin 2017).

Les valeurs des concentrations en bicarbonates (figure 137) des eaux traitées enregistrées varient dans un intervalle de 57,34 – 59,78 mg/L.

L'OMS ne donne aucune valeur guide pour la teneur en bicarbonates dans l'eau potable.

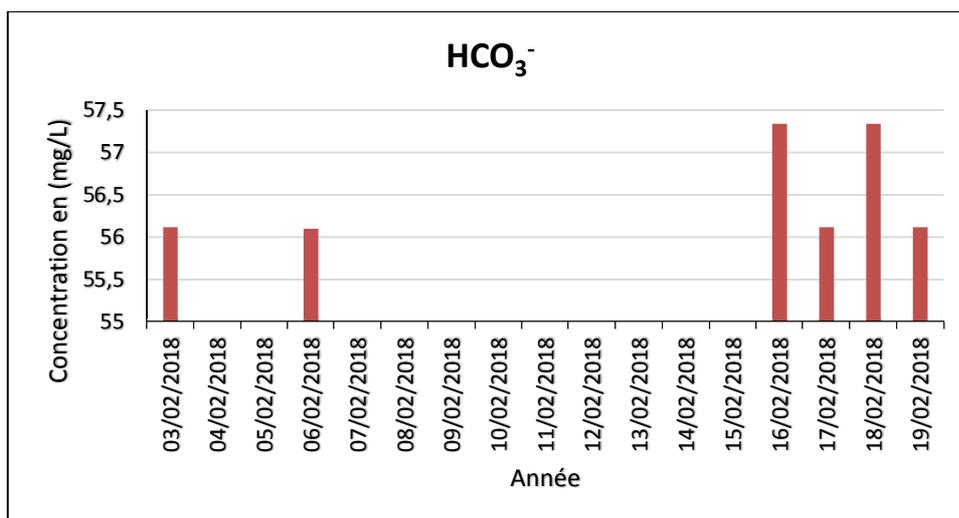


Fig. 138 : Variation des concentrations des bicarbonates dans l'eau traitée (Février 2018).

Les valeurs des concentrations en bicarbonate de l'eau traitée enregistrées en fonction du temps a une valeur maximale de 59,78 mg/L. L'OMS ne donne aucune valeur guide pour la teneur en bicarbonates dans l'eau potable.

2.11. Matière en suspension

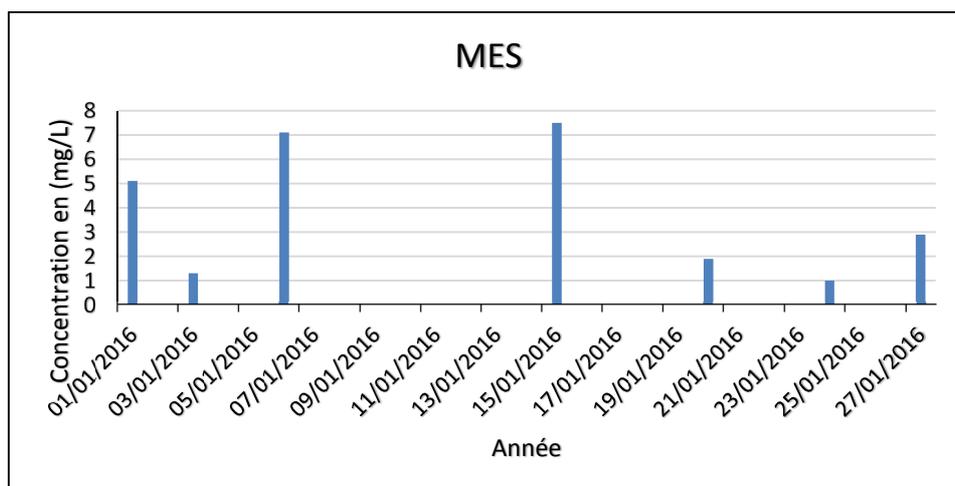


Fig. 139 : Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Mars 2013)

Les valeurs des concentrations en matière en suspension de l'eau traitée représenté sur la figure (139) sont respectivement comprises entre 1 et 7,1 mg/L. Ces valeurs sont également inférieures à la concentration maximale admissible recommandée (≤ 25 mg/L).

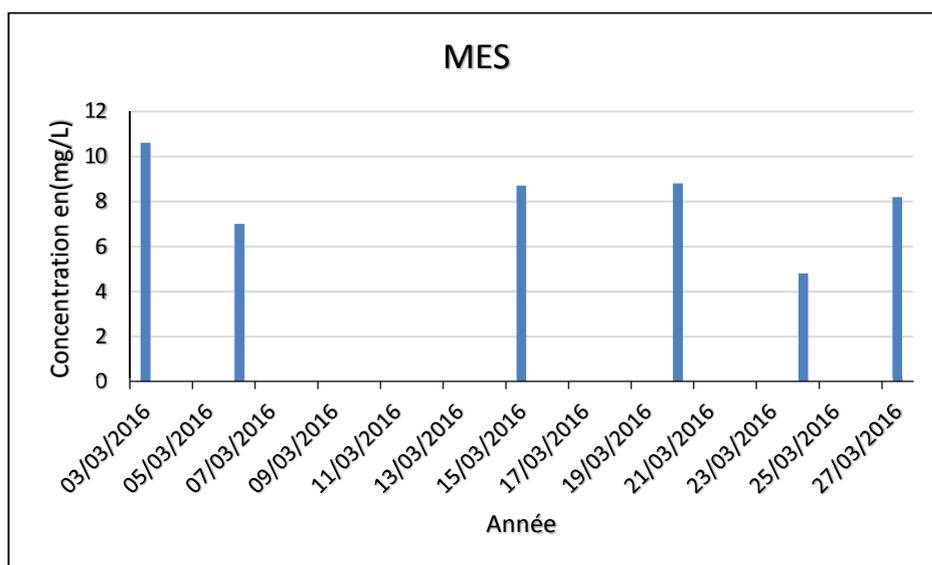


Fig. 140 : Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Mars 2013)

La figure de variations de la MES mesurée pour l'eau traitée (Fig.140) montre que les valeurs de celles-ci varient entre 4,8 et 10,6 mg/L. Les résultats des analyses sont conformes aux normes.

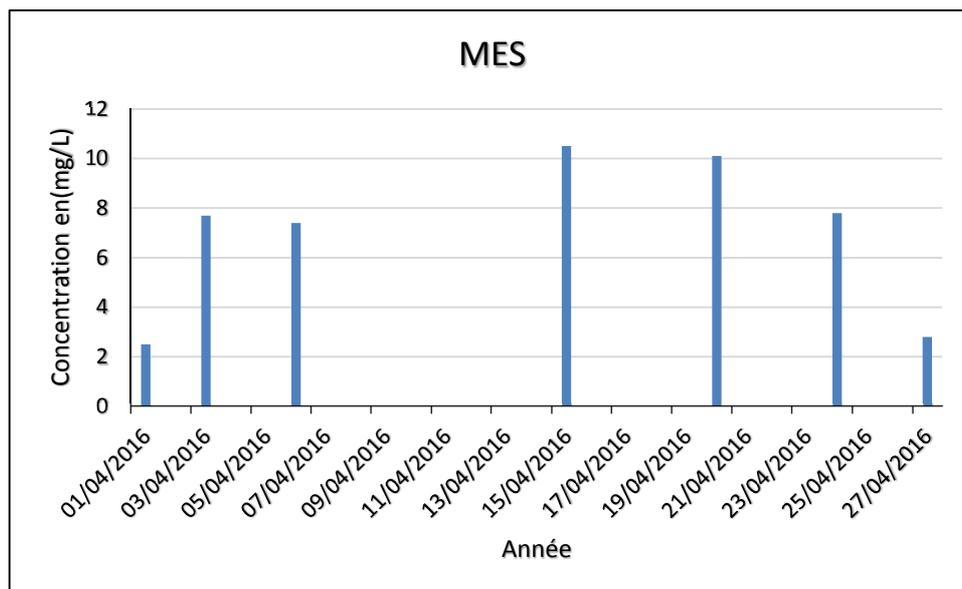


Fig. 141 : Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Avril 2016)

La figure. (141), représente les concentrations du MES dans le mois d'Avril qui fluctuent entre 2,5 et 10,5 mg/L. Ces valeurs sont toujours inférieures à la norme.

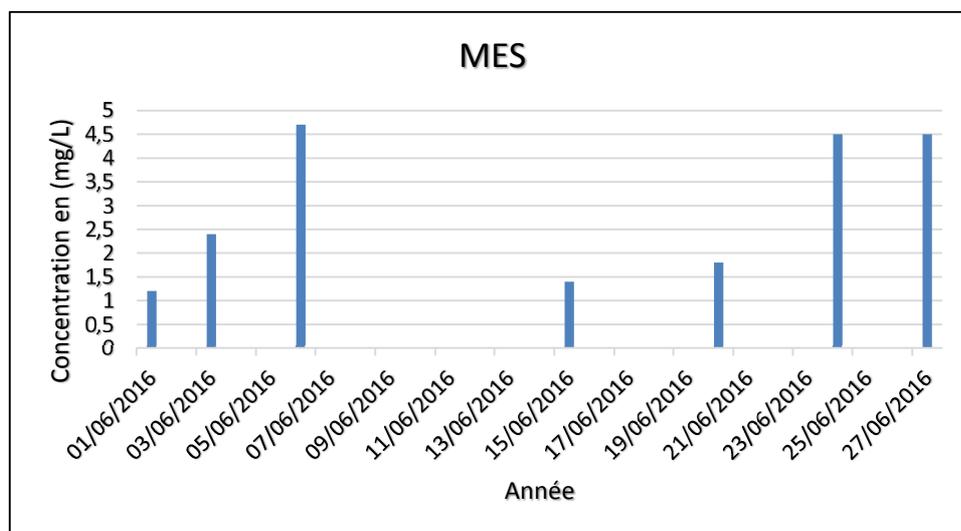


Fig. 142 : Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Juin 2016)

La figure de variations de la MES mesurée pour l'eau traitée (Fig.142) montre que les valeurs de celles-ci varient entre 1,2 et 4,7 mg/L. Les résultats des analyses sont conformes aux normes.

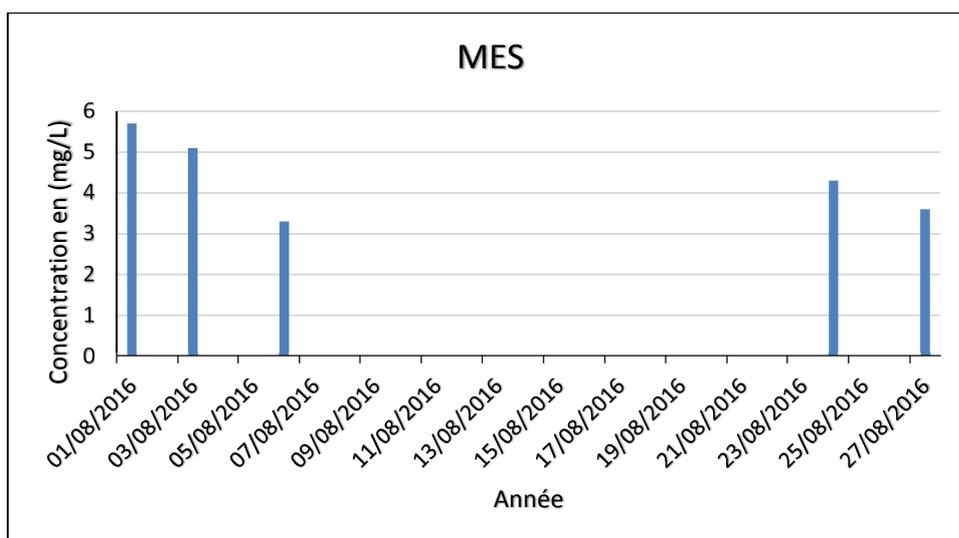


Fig. 143 : Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Août 2016)

Les valeurs des concentrations en matière en suspension de l'eau traitée représenté sur la figure (143) sont respectivement comprises entre 3,3 et 5,7 mg/L. Ces valeurs sont également inférieures à la concentration maximale admissible recommandée (≤ 25 mg/L).

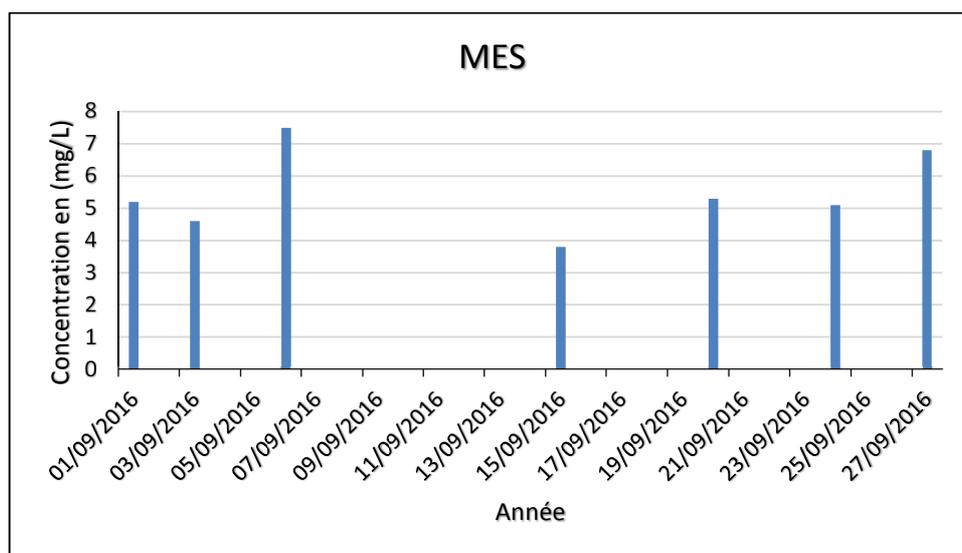


Fig. 144 : Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Septembre 2016)

Les valeurs des concentrations en matière en suspension de l'eau traitée représenté sur la figure (144) sont respectivement comprises entre 3,8 et 7,5 mg/L. Ces valeurs sont également inférieures à la concentration maximale admissible recommandée (≤ 25 mg/L).

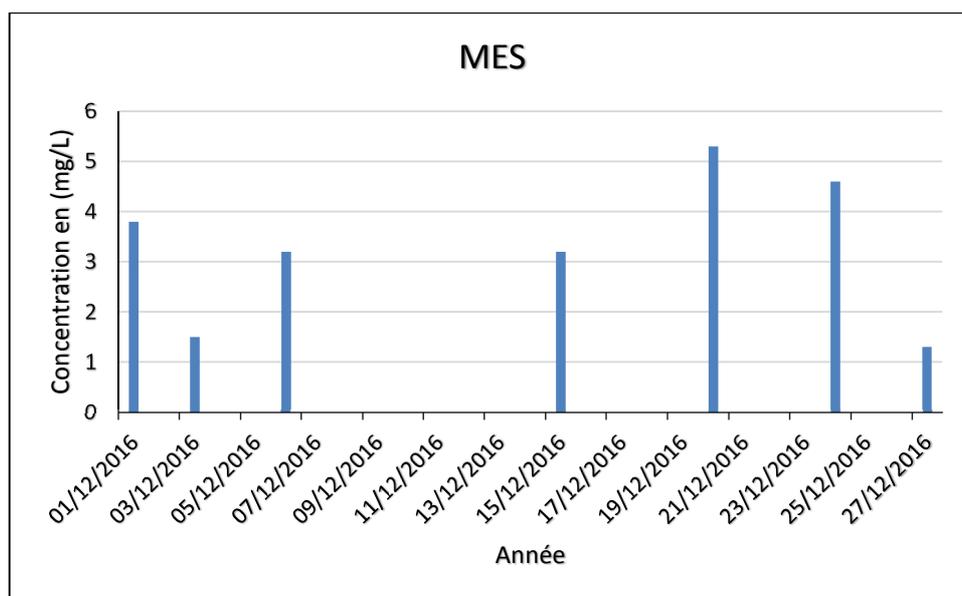


Fig. 145 : Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Décembre 2016)

La figure de variations de la MES mesurée pour l'eau traitée (Fig.145) montre que les valeurs de celles-ci varient entre 1,3 et 5,3 mg/L. Les résultats des analyses sont conformes aux normes.

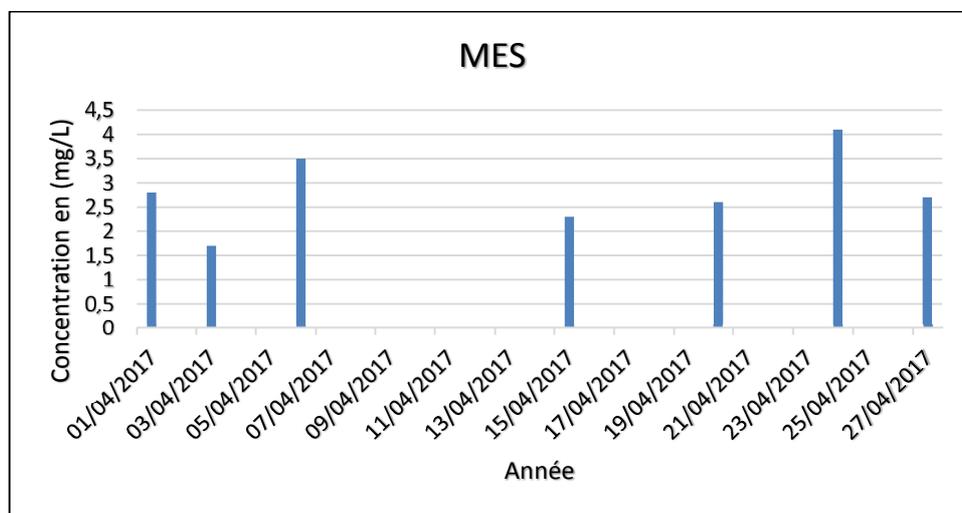


Fig. 146 : Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Avril 2017)

Les valeurs des concentrations en matière en suspension de l'eau traitée représenté sur la figure (146) sont respectivement comprises entre 1,7 et 4,1 mg/L. Ces valeurs sont également inférieures à la concentration maximale admissible recommandée (≤ 25 mg/L).

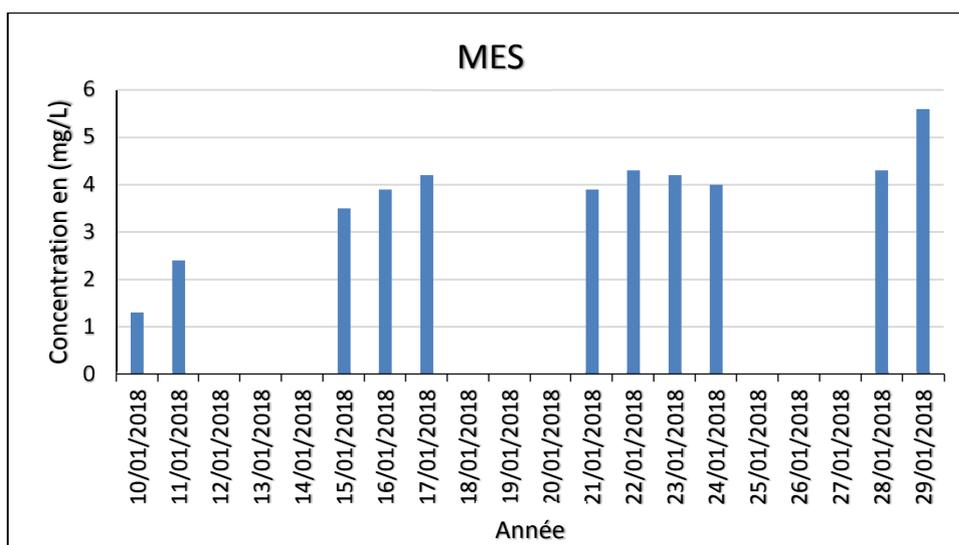


Fig. 147 : Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Janvier 2018)

La figure de variations de la MES mesurée pour l'eau traitée (Fig.147) montre que les valeurs de celles-ci varient entre 1,3 et 4,3 mg/L. Les résultats des analyses sont conformes aux normes.

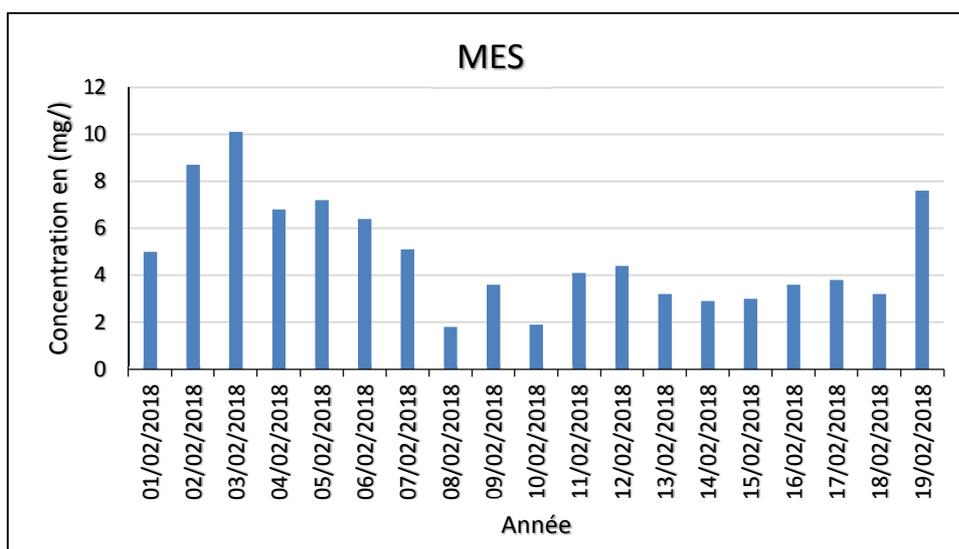


Fig. 148 : Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Février 2018)

La variation de concentration de matière en suspension représentée dans la figure (148) est très remarquable. Elles sont variées entre 1,8 et 10,1 mg/L.

2.12. Bore

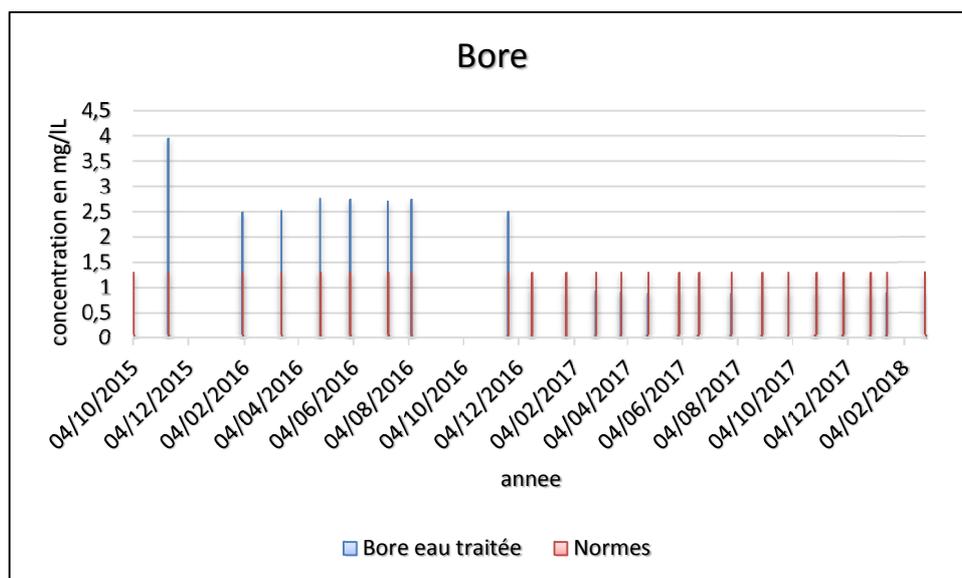


Fig. 149 : Variation des concentrations du Bore dans l'eau de mer et l'eau traitée de station de Honaine.

La figure(149) représentant les variations des concentrations en bore de l'eau destinée à la consommation indique que ces dernières varient entre 0,1 et 3,95 mg/L.

Les valeurs de concentrations en bore dépassent la valeur maximale admissible recommandée par les normes algériennes qui est de 1,3mg/L et celle de l'OMS qui est de 0,5 mg/L.

Remarque

Pour les variations de la turbidité de l'eau traitée dans la station de Honaine, les valeurs sont toujours nulles à cause du procédé d'osmose inverse.

II. CONCLUSION

A partir de l'analyse des échantillons des deux stations on conclut que :

✓ Les analyses physico-chimiques de la station de Souk-Tleta et de Honaine sont conformes aux normes algériennes et celle de l'OMS 2006.

✓ Pour les analyses de bore, la concentration est toujours supérieure aux normes qui sont 0.5 mg/L par rapport à l'OMS et conforme aux normes d'eau dessalée dans la station de Souk-Tleta mais au sein de la station de Honaine il y a un excès dans les années (Novembre 2015 à Novembre 2016). Par contre les autres années se conforment aux normes des eaux dessalées.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, une analyse de données a été faite sur le taux de bore et les paramètres physico-chimiques présent dans les eaux dessalées provenant des stations de dessalements de Souk Tleta et de Honaine dont nous pouvons noter les points suivants :

Les mesures effectuées pour le pH, température, chlore libre, alcalinité, turbidité ainsi que celles de la conductivité électrique donnent des valeurs conformes aux normes algériennes et de l'OMS.

Concernant les cations et anions, une attention particulière devrait être portée aux ions calcium, magnésium, potassium dont les teneurs de l'eau potable restent très faibles par rapport à la valeur guide préconisée par l'OMS. Notons qu'une telle carence pourrait engendrer, à l'avenir, des problèmes de santé importants chez le consommateur.

Les valeurs de concentrations en bore dans la station de dessalement de Souk Tleta dépassent légèrement la valeur maximale admissible recommandée par l'OMS qui est de 0.5 mg/L et elles respectent les valeurs limite fixée par les normes algériennes pour les eaux traitées dessalées du ministre des ressources en eau qui est 1.3 mg/L.

Pour la station de dessalement de Honaine les valeurs de la concentration en bore sont très élevées par rapport aux normes algériennes et celle de l'OMS qui peuvent engendrer des complications de santé du consommateur

Pour conclure, quelques recommandations sont données :

-Il faut ajuster les concentrations en calcium, potassium, magnésium, bore de l'eau traitée de façon qu'elles soient conformes aux normes algériennes et/ou à celles de l'OMS.

-Il faut vérifier périodiquement les membranes pour éviter le colmatage de ce dernier pour que LSI reste inférieur aux normes de potabilité.

Bibliographie

Références Bibliographiques

- **ABDERRAZAK A., (2014)** : Procède de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de Honaine. Projet de fin d'étude pour l'obtention d'un diplôme de Master en Biologie, Option : Alimentation et Nutrition.
- **AGGAB C., (2014)**; Caractéristiques physico chimiques des eaux de la station de dessalement de Souk-Tleta (NW, Algérie). Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état.
- **ALPHA S.M., (2005)** : Qualité organoleptique de l'eau de consommation produit et distribuer par l'EDMSA dans la ville de Bamako. Doctorat en pharmacie, université de Bamako.
- **ARZATE A., (2008)** : Procédé de séparation membranaire et leurs applications dans l'industrie alimentaire. Revue de littérature. Centre de recherche de développement et de transfert technologique acéricole inc.
- **AUBRIL CARHON L., (2013)** : Eau potable Normes. (www.wikiterritorial.cnfpt.fr/xwiki/wiki/econnaissances/view/Notions-Cles). Consulté le 10 Mars 2018.
- **BAŞKAN M.B., ATALAY N., (2014)**: Boron contamination in drinking - irrigation water and boron removal methods. Journal of Engineering Sciences, pages 78-84.
- **BENSALEMA M., (2013)** : Impact des stations de dessalement de l'eau de mer sur le littoral cas de la station Souk Tleta. Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Écologie et environnement, Université Abou BekrBelkaid, Tlemcen.
- **BODZEK M., (2015)**: The removal of boron from the aquatic environment state of the art. *Desalination and Water Treatment*, 25p.
- **BELGHITI M.L., CHAHLAOUI A., BENGOUMI D. & EL MOUSTAINE R., (2013)** : Etude de La qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Mknès, Maroc. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, Juin 2013, pp. 21-36.
- **BALDERACCHI R., (2009)** : L'eau dans l'organisme. Centre national de la recherche scientifique (CNRS).
- **BOUKLIKHA A., YELLES C. & MEHDI I., (2016)** : Étude sur le dessalement de l'eau saumâtre préparée à partir des eaux de mer issues du prétraitement de la station de 'Honaïne'. Projet de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme de Master en hydraulique.
- **BRANDS D.A. & al., (2005)**: Prevalence of *Salmonellaspp.* in Oysters in the United States. Applied and environmental microbiology journal. Doi: 10.1128/AEM.71.2.893-897.2005. February 2005, vol. 71, N°: 2893-897.
- **BRGM, (2010)** : Quelles techniques pour quels traitement- analyse coûts, bénéfiques. Rapport final. BRGM/ RP-58609-FR.
- **BINGHAM F.T., (1973)**: Boron in cultivated soils and irrigation waters. Adv. Chem., 123: 130.
- **BEN SALEM H., ZAIBET L. & BEN HAMMOUDA M., (2012)**: Perspectives de l'adoption du semi-direct en Tunisie. Une approche économique. Troisièmes rencontres méditerranéennes du semis direct: Montpellier : CIHEAM-IAMZ.
- **BERLANDJ.M. & JUERY C., (2002)** : Le procédé membranaire pour le traitement de l'eau. Office international de l'eau (SNIDE). Ministère de l'agriculture, de

l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales. Direction de l'espace rurale et des forêts, France.

- **BENAOUDA W., (2016)** : Étude qualitative physico-chimiques de l'eau de la ville de Tlemcen destinée à la consommation humaine et aux nourrissons. Mémoire en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master.
- **CASTAING J.B., (2011)** : Procédés de traitement de l'eau de mer en conchyliculture pour la sauvegarde et le maintien de la qualité des mollusques bivalves. Thèse de doctorat en génie des procédés. Université de Nantes.
- **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.
- **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.
- **CHENAOUI B., (2010)** : Dessalement de l'eau de mer à la station de MAINIS et son impact sur l'environnement. Séminaire Ouargla. Université de Chlef.
- **CLARKE W.B., WEBBER C.E., KOEKEBAKKER M. & BARR R.D., (1987)**: Lithium and boron in human blood. *J. Lab. Clin. Med.*, 109(2) : 155.
- **COSSARDEAUX J., (2016)** : L'accès à l'eau, l'autre guerre du Golf.
- **COL M. & COL C., (2003)**: *Food and chemical toxicology*, 41, 1417-1420.
- **CORSIN P. & CEDRIC M., (2003)** : Les pompes haute pression adaptées aux usines de dessalement d'eau de mer par osmose inverse, le thème du mois: les pompes. *La revue: l'eau, l'industrie, les nuisances*, n°265.
- **DANIS P., (2003)** : Dessalement de l'eau de mer. *Technique de l'ingénieur*, référence :d 2700.
- **DYDO P., TUREK M., CIBA J., TROJANOWSKA J. & KLUCZKA J., (2005)**: Boron removal from landfill leachate by means of nanofiltration and reverse osmosis. *Desalination Journal*, Elsevier, Volume 185, Issues 1-3, 1 November 2005, pages 131-137.
- **DITMAN M., (2009)** : L'eau introduction. <http://www.eth.cern.ch/~dittmar/thoiry/eau1juin2009.pdf>.
- **D F I, (2005)** : Département fédéral de l'intérieur, confédération suisse. Ordonnance sur l'eau potable, l'eau de source et l'eau minérale du 23 novembre 2005 (Etat le 1^{er} janvier 2014). N° 817.022.102.
- **D F I, (2005)** : Département fédéral de l'intérieur, confédération suisse. Ordonnance sur l'eau potable, l'eau de source et l'eau minérale du 23 novembre 2005 (Etat le 1^{er} janvier 2014). N° 817.022.102.
- **DUMOULIN L. & MANTHA M., (2009)** : Boire de l'eau pourquoi et combien ? Révision médicale : Dr Paul Lépine, M.D., D.O. Le 26 septembre 2005, Mise à jour : mai 2009.
- **DEVILLERS J., SQUILBIN M. & YOURASSOWSKY C., (2005)** : Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface. Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement, observation des données de l'environnement L'IBGE. L'eau à Bruxelles. Fiche 2.
- **DUROCHER N.L., (1969)**: Preliminary air pollution survey of boron and its compounds. A literature review prepared under Contract No. PH 22-68-25, Public Health Service, National Air Pollution Control Administration, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Raleigh, NC.

- **EL KHABBAZE H., (2008)** : Traitement des solutions modèles du lait par des membranes de nano filtration et d'osmose inverse. Thèse de doctorat. Université Mohamed v, AGDAL, faculté des sciences rabat, Département de Chimie, Maroc.
- **EI DESSOUKY H.T. & ETTOUNEY H.M., (2002)**: Fundamentals of Salt Water Desalination, *Elsevier Science B.V.*, 2002, p. 429.
- **FELLAH A., (2010)** : Contribution à l'étude des polluants métalliques dans l'eau et les sédiments de l'estuaire de la Tafna (Rachgoune, Tlemcen). Magister en chimie. Université de Tlemcen.
- **FAO, 2008**: Food Agency Organization. (www.cieau.com).
- **FRESENIUS W, QUENTIN K.E. & SCHNEIDER W., (1988)**: Water analysis: A practical guide to physico-chemical, chemical and microbiological water examination and quality assurance. Springer-Verlag, Berlin.
- **French ACF. 1** : *Qualité de l'eau*. Doc en ligne. (www.watersanitationhygiene.org/.../Water%20Quality/Water%20Quality. consulté le 10 mars 2018).
- **GREENBERG A.F., TRUSSELL R.R. & CLESCERI L.S., (1985)**: Standard methods for the examination of water and wastewater. 16^{ème} édition. American Public Health Association, Washington, DC.
- **GASSAWAY J.D., (1967)**: New method for boron determination in sea water and some preliminary results. *Int. J. Oceanol. Limnol.*, 1: 85.
- **HIMMI N., FEKHAOU M., FOUTLANE A., BOURCHIC H., EL MMAROUFY M., BENZAZZOUT T. & HASNAOUI M., (2003)**: Relazione plankton-parametri fisici chimici in un bacino dimaturazione (laguna mista Beni Slimane – Morocco. *Rivista Di Idrobiologia*. Universitadegli studi di perugia, Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia laboratorio Di Idrobiologia "G.B. Grassi", 110–111p.
- **HOWE P.D., (1998)**: A review of boron effects in the environment. *Biological Trace Element Research* 66: 153-166.
- **HARBEN P.W., (1995)**: The industrial Minerals Handybook", 2nd ed., in "Borates, Metal Bulletin PLC, London.

Webographie:

- <http://solitaire23.unblog.fr/2010/11/06/differents-systemes-de-dessalement>.
- <https://www.aquaportail.com/definition-7160-eau-potable.html>.
- <https://www.lenntech.fr>.
- **HUOT A., (2010)** : Eau et santé. La revue Bio-contact, N°200.
- **HACHEMAOUI B., (2014)** : Qualité physico-chimique de l'eau dessalée et traitée par la station de dessalement de l'eau de mer de Souk-Tleta. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention d'un diplôme de Master, Université de Tlemcen.
- **HASLAY C. & LECLERC H., (1993)** : Microbiologie des eaux d'alimentation .technique et documentation –Lavoisier édition, Paris.
- **KABAY N., BRYJAK M., SCHLOSSER S., KITIS M., AVLONITIS S., MATEJKA Z., AL-MUTAZ I. & YUKSEL M., (2008)** : Adsorption membrane filtration (AMF) hybrid process for boron removal from seawater: an overview. *Desalination Journal*, Elsevier, Volume 223, Issues 1-3, 1 March 2008, pages 38-48.
- **KABAY N., ARAR O., SAMATYA S., YÜKSEL U. & YÜKSEL M., (2008)** : Separation of fluoride from aqueous solution by electrodialysis: Effect of process parameters and other ionic species. *Journal of Hazardous Materials*, Elsevier, Volume 153, Issues 1-2, 1 May 2008, Pages 107-113.

- **KABAY N. & al., (2013):** Coupling ion exchange with ultra filtration for boron removal from geothermal water-investigation of process parameters and recycle tests. *Desalination*, 316, pp. 17-22.
- **KEMMER F.N., (1984) :** Manuel de l'eau. Technique & Documentation Lavoisier. ISBN 2-85206-220-8.
- **KLUCZKA J., TROJANOWSKA J., ZOLOTAJKIN M., TUREK M. & DYDO P., (2007):** Removal of boron dissolved in water. *Environmental progress & Sustainable energy Journal*, Volume 26, Issue 1, April 2007, Pages 71-77.
- **LEBLEU N., (2007) :** Désinfection des eaux par procédés membranaires, étude des mécanismes de transfert des bactéries. Thèse de doctorat, spécialité génie des procédés et de l'environnement. Université de Toulouse.
- **LEYRAL G. & VIERLING E., (2007) :** Alimentation, processus technologiques et contrôles. Microbiologie et toxicologie des aliments, 4^{ème} édition, Doin Éditions.
- **LONG N., GUENNADI K. & KALLE G., (2008):** Structure of *Escherichia coli* tetra hydrodipicolinate *N*-succinyl transfer ase reveals the role of a conserved C-terminal helix in cooperative substrate binding. *FEBS Journal*, DOI: 10.1016/j. febslet. 2008.01.032, Volume 582, Issue 5, March 05, 2008, pages 623–626.
- **LARBI A. & MEKKAOUI F., (2011) :** Contribution à l'étude de la qualité de l'eau de ville de Djelfa. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État en Biologie. Université Djelfa 87P.
- **MAUREL A., (2006) :** Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. 2nd édition. Lavoisier.
- **MAGOUR S., SCHRAMMEL P., OVCHAR J. & MASER H., (1982):** Uptake and distribution of boron in rats: interaction with ethanol and hexobarbitol in the brain. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 11: 521.
- **MANDRI Y., (2011) :** Étude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide. Thèse de doctorat, génie des procédés. Université Claude Bernard - Lyon I, France, N° d'ordre : CT12.
- **MAYA L., (1976):** Identification of polyborate and fluoropolyborate ions in solution by Raman spectroscopy. *Inorg. Chem.*, 15: 2179.
- **MERCIER J., (2000) :** Le grande livre de l'eau. Edition : renaissance du livre (la).ISBN :2-8046-0341-5.183P.
- **MAILLARD H. & MORILLON S., (2013) :** L'eau source de vie. Association française.
- **MONIQUE H., (1991) :** Les eaux naturelles et les eaux de consommation saint Laurent.
- **MEMOTEC N°2, (2004):** L'élimination du bore dans l'eau destinée à la consommation humaine 2004.
- **NIELSEN F.H., HUNT C.D., MULLEN L.M. & HUNT J.R., (1987):** Effect of dietary boron on minerals, estrogen, and testosterone metabolism in postmenopausal women. *FASEB J.*, 1: 394.
- **NIELSEN F.H., (1985):** Effects in rats of boron deprivation and of interactions between boron and fluoride, aluminum, magnesium, or calcium. *Proceedings of the 5th International Symposium on Trace Elements in Man and Animals*. Vol. 5.
- **OMS, (W.H.O.): WORLD HEALTH ORGANISATION, (2003):** Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva. World Health Organisation.

- **O.M.S., (2004):** Nutrient minerals in drinking-water and the potential health consequences of long-term consumption of demineralized and remineralized and altered mineral content drinking-waters.
- **O.R.E., (2013) :** Qu'est-ce qu'une eau potable, PDF en ligne. (www.eau-poitoucharentes.org/.../pdf/qu_est_ce_qu_une_eau_potable). Consulté le 10mars2018.
- **ÖZTÜRK N. & KAVAK D., (2008):** Boron removal from aqueous solutions by batch adsorption onto cerium oxide using full factorial design. *Desalination*, 223, 106–112.
- **RAPINAT M., (1982) :** L'eau. Presse universitaire de France. 1^{er} édition, 1982. ISBN 2130375626.127 p.
- **RAPPORT DE STAGE, 2012**
- **RODIER J., (2009) :** L'analyse de l'eau .9^{eme} édition© Dunod, Paris, 2009. ISBN 978-2-10-054179-9. 1526p.
- **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.
- **SAMAKÉ O., (2013) :** Analyse thermo économique d'un système de dessalement par thermo compression de vapeur et conception de l'éjecteur. Thèse de Doctorat, Université de Sherbrooke, Faculté de génie, Département de génie mécanique. 217p.
- **SAVARY P., (2010) :** Guide des analyses de la qualité de l'eau .territorial éditions .p75-115.
- **SENHADJI M., (2017);** Teneurs en bore, nitrites et métaux lourds dans l'eau dessalée traitée par osmose inverse dans la Station de dessalement de Souk-Tleta. Mémoire de fin d'études pour l'obtention d'un diplôme de Master. **SHRIVER D.F., ATKINS P., LANGFORD C.H. & FREEMAN W.H., (1994):** Inorganic Chemistry.
- **SIEGEL E. & WASON S., (1986):** Boric acid toxicity. *Pediatr. Clin. North Am.*, 33: 363.
- **TATA-DUCRU F., (2009) :** Dessalement de l'eau de mer, bilan des dernières avancées technologiques, bilan économique; analyse critique en fonction des contextes. Centre de Montpellier.
- **TAHRI T., BETTAHAR A., DOUANI M., ABDULWAHAB S.A., ALHINAI H. & ALMULLA Y., (2010):** Dessalement de l'eau de mer par l'énergie solaire en vue de l'irrigation d'une serre agricole, http://www.univ-chlef.dz/uhbc/seminaires_2010/Article_Tahri_C13.pdf.
- **TERMINALF, (2018) :** *Paramètres physico-chimiques*. En ligne : (terminalf.scicog.fr/cfm/fich-1.php?IDChercher=3728...eau.mdb). consulté le 10 mars 2018.
- **TANSAKUL C., (2009) :** Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse. Doctorat. Génie des procédés et de l'environnement Université de Toulouse.
- **TAHRAOUI DOUMA N., KETTAB A., ABDELALI M. & BOUGHRARA F., (2010) :** Qualité des eaux de mer après dessalement au niveau de la station de dessalement de la ville de Ténès, Chlef. Impact de dessalement sur l'environnement (milieu aquatique). Communication Internationale, WATMED 5, Lille, France, 26-28 Mai 2010.
- **U.S.Environmental Protection Agency, (1987):** Health effects assessment for boron and compounds. Environmental Criteria and Assessment Office.

- **UNDERWOOD E.J., (1977):** Trace elements in human and animal nutrition. Academic Press, New York, NY. p. 436.
- **W.H.O, (1978) :** Les effets sur la santé de l'élimination notamment par déminéralisation et dessalement de substances présentes à l'état naturel dans l'eau de boisson. Bruxelles.
- **WOLSKA J. & BRYJAK M., (2013):** Methods for boron removal from aqueous solutions, Desalination Journal, Elsevier, Volume 310, 1 February 2013, pages 18-24.
- **WOLSKA A. & BRYJAK M., (2013):** Methods for boron removal from aqueous solutions. Desalination Journal, Elsevier, Volume 310, 1 February 2013, pages 18-24.
- **ZOUAG B. & BELHADJ Y., (2017);** Analyse physico-chimique et bactériologique et parasitologique de l'eau de mer traitée par la station de dessalement de Souk-Tleta. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention d'un diplôme de doctorat en pharmacie, Université de Tlemcen.

Liste des Figures

Liste des Figures

<i>Fig. 1</i>	<i>Représentation en pourcentage des principaux constituants standard d'eau de mer</i>	<i>4</i>
<i>Fig. 2</i>	<i>Représentation en pourcentage des principaux constituants de la saumure d'eau de mer</i>	<i>4</i>
<i>Fig. 3</i>	<i>Disponibilité en eau douce par état en 2007 en m³/habitant/an</i>	<i>20</i>
<i>Fig. 4</i>	<i>Schéma général d'une installation de dessalement</i>	<i>21</i>
<i>Fig. 5</i>	<i>Forage côtier.</i>	<i>22</i>
<i>Fig. 6</i>	<i>Prise de l'eau de surface.</i>	<i>22</i>
<i>Fig. 7</i>	<i>Principaux procédés industriels de dessalement d'eau de mer.</i>	<i>24</i>
<i>Fig. 8</i>	<i>Distillation à simple effet.</i>	<i>25</i>
<i>Fig. 9</i>	<i>Procédés de dessalement par compression de vapeur.</i>	<i>25</i>
<i>Fig. 10</i>	<i>Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) à 3 étages.</i>	<i>26</i>
<i>Fig. 11</i>	<i>Principe d'électrodialyse (Source : Philippe Bandelier)</i>	<i>27</i>
<i>Fig. 12</i>	<i>Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse</i>	<i>28</i>
<i>Fig. 13</i>	<i>Module à membrane spiralée</i>	<i>29</i>
<i>Fig. 14</i>	<i>Diagramme de prédominance du bore en milieu aqueux en fonction du pH</i>	<i>33</i>
<i>Fig. 15</i>	<i>Schéma de principe de l'électrolyse</i>	<i>40</i>
<i>Fig. 16</i>	<i>Limite de quantification du bore (mg/L) dans les laboratoires agréés pour le contrôle sanitaire des eaux.</i>	<i>42</i>
<i>Fig. 17</i>	<i>Incertitudes intra-laboratoires élargies (2 x écart-type) du bore (%) dans les laboratoires agréés pour le contrôle sanitaire des eaux.</i>	<i>42</i>
<i>Fig. 18</i>	<i>Volume d'eau traitée par les stations de dessalements en Méditerranée</i>	<i>44</i>
<i>Fig. 19</i>	<i>Situation de la station de dessalement de Souk-Tleta</i>	<i>46</i>
<i>Fig. 20</i>	<i>Carte Topographique représentant le relief de la zone d'étude.</i>	<i>47</i>
<i>Fig. 21</i>	<i>Schéma représentant le processus du dessalement appliqué à la station de Souk-Tleta.</i>	<i>50</i>
<i>Fig. 22</i>	<i>Fonctionnement de la membrane de l'UF en production et en rétro-lavage.</i>	<i>54</i>
<i>Fig. 23</i>	<i>Situation de la zone d'étude.</i>	<i>63</i>
<i>Fig. 24</i>	<i>Diagramme de processus de dessalement de l'eau de mer par Osmose Inverse au niveau de la station de dessalement de l'eau de mer 'Honaine'</i>	<i>66</i>
<i>Fig. 25</i>	<i>Etapas du prétraitement avant l'osmose inverse</i>	<i>67</i>
<i>Fig. 26</i>	<i>La membrane spirale de l'osmose inverse</i>	<i>71</i>
<i>Fig. 27</i>	<i>la variation de PH au mois de Mars 2013</i>	<i>75</i>
<i>Fig. 28</i>	<i>la variation de PH au mois de Janvier 2014</i>	<i>76</i>
<i>Fig. 29</i>	<i>la variation de PH au mois de Novembre 2014</i>	<i>76</i>
<i>Fig. 30</i>	<i>la variation de température au mois de Mars 2013</i>	<i>77</i>

<i>Fig. 31</i>	<i>la variation de température au mois de Janvier 2014</i>	77
<i>Fig. 32</i>	<i>la variation de température au mois de Novembre 2014</i>	78
<i>Fig. 33</i>	<i>la variation de la conductivité au mois de Mars 2013</i>	78
<i>Fig. 34</i>	<i>la variation de la conductivité au mois de Janvier 2014</i>	79
<i>Fig. 35</i>	<i>la variation de la conductivité au mois de Novembre 2014</i>	79
<i>Fig. 36</i>	<i>la variation de Chlore libre au mois de Mars 2013</i>	80
<i>Fig. 37</i>	<i>la variation de Chlore libre au mois de Janvier 2014</i>	80
<i>Fig. 38</i>	<i>la variation de Chlore libre au mois de Novembre 2014</i>	81
<i>Fig. 39</i>	<i>la variation d'alcalinité totale au mois de Mars 2013</i>	81
<i>Fig. 40</i>	<i>la variation d'alcalinité totale au mois de Janvier 2014</i>	82
<i>Fig. 41</i>	<i>la variation d'alcalinité totale au mois de Novembre 2014</i>	82
<i>Fig. 42</i>	<i>la variation de LSI dans l'eau traitée au mois de Mars 2013</i>	83
<i>Fig. 43</i>	<i>la variation de LSI dans l'eau traitée au mois de Janvier 2014</i>	83
<i>Fig. 44</i>	<i>la variation de LSI dans l'eau traitée au mois de Novembre 2013</i>	84
<i>Fig. 45</i>	<i>La variation de la turbidité au mois de Mars 2013</i>	84
<i>Fig. 46</i>	<i>La variation de la turbidité au mois de Janvier 2014</i>	84
<i>Fig. 47</i>	<i>La variation de la turbidité au mois de Novembre 2014</i>	84
<i>Fig. 48</i>	<i>la variation de Calcium au mois de Mars 2013</i>	84
<i>Fig. 49</i>	<i>la variation de Calcium au mois de Janvier 2014</i>	86
<i>Fig. 50</i>	<i>la variation de Calcium au mois de Novembre 2014</i>	86
<i>Fig. 51</i>	<i>La variation de magnésium au mois de Mars 2013</i>	86
<i>Fig. 52</i>	<i>La variation de magnésium au mois de Janvier 2014</i>	87
<i>Fig. 53</i>	<i>La variation de magnésium au mois de Novembre 2014</i>	87
<i>Fig. 54</i>	<i>La variation de Potassium au mois de Mars 2013</i>	87
<i>Fig. 55</i>	<i>La variation de Potassium au mois de Janvier 2014</i>	88
<i>Fig. 56</i>	<i>La variation de Potassium au mois de Novembre 2014</i>	88
<i>Fig. 57</i>	<i>variation de Bicarbonate au mois de Mars 2014</i>	88
<i>Fig. 58</i>	<i>variation de Bicarbonate au mois de Janvier 2014</i>	89
<i>Fig. 59</i>	<i>variation de Bicarbonate au mois de Novembre 2014</i>	89
<i>Fig. 60</i>	<i>variation de la concentration de Bore au mois de Mars 2013</i>	89
<i>Fig. 61</i>	<i>variation de la concentration de Bore au mois de Janvier 2014</i>	90
<i>Fig. 62</i>	<i>variation de la concentration de Bore au mois de Novembre 2014</i>	90
<i>Fig. 63</i>	<i>variation d'alcalinité d'eau traitée (Mars 2013)</i>	91

Fig. 64	variation d'alcalinité d'eau traitée (Janvier 2014)	91
Fig. 65	variation d'alcalinité d'eau traitée (Novembre 2014)	92
Fig. 66	variation d'alcalinité d'eau traitée (Janvier 2015)	92
Fig. 67	variation d'alcalinité d'eau traitée (Mai 2016)	93
Fig. 68	variation d'alcalinité d'eau traitée (Novembre 2016)	93
Fig. 69	variation d'alcalinité d'eau traitée (Avril 2017)	94
Fig. 70	variation d'alcalinité d'eau traitée (Juin 2017)	94
Fig. 71	variation d'alcalinité d'eau traitée (juillet 2017)	95
Fig. 72	variation d'alcalinité d'eau traitée (février 2018)	95
Fig. 73	variation de la température d'eau traitée (Mars 2013)	96
Fig. 74	variation de la température d'eau traitée (Janvier 2014)	96
Fig. 75	variation de la température d'eau traitée (Novembre 2014)	97
Fig. 76	variation de la température d'eau traitée (Janvier 2015)	97
Fig. 77	variation de la température d'eau traitée (Mai 2016)	98
Fig. 78	variation de la température d'eau traitée (Novembre 2016)	98
Fig. 79	variation de la température d'eau traitée (Avril 2017)	99
Fig. 80	variation de la température d'eau traitée (Juin 2017)	99
Fig. 81	variation de la température d'eau traitée (Juillet 2017)	100
Fig. 82	variation de la température d'eau traitée (Février 2018)	100
Fig. 83	variation de pH d'eau traitée (Mars 2013)	101
Fig. 84	variation de pH d'eau traitée (Janvier 2014)	101
Fig. 85	variation de pH d'eau traitée (Novembre 2014)	102
Fig. 86	variation de pH d'eau traitée (Janvier 2015)	102
Fig. 87	variation de pH d'eau traitée (Mai 2015)	103
Fig. 88	variation de pH d'eau traitée (Novembre 2016)	103
Fig. 89	variation de pH d'eau traitée (Juillet 2017)	104
Fig. 90	variation de pH d'eau traitée (Février 2018)	104
Fig. 91	Variations de la conductivité électrique dans l'eau traitée (Mars 2013)	105
Fig. 92	Variations de la conductivité électrique dans l'eau traitée (Mars 2013)	105
Fig. 93	Variations de la conductivité électrique dans l'eau traitée (Janvier 2014)	106
Fig. 94	Variations de la conductivité électrique dans l'eau traitée (Novembre 2014)	106
Fig. 95	Variations de la conductivité électrique dans l'eau traitée (Janvier 2015)	107
Fig. 96	Variations de la conductivité électrique dans l'eau traitée (Novembre 2016)	107

Fig. 97	<i>Variations de la conductivité électrique dans l'eau traitée (Juillet 2017)</i>	108
Fig. 98	<i>Variations de la conductivité électrique dans l'eau traitée (Février 2018)</i>	108
Fig. 99	<i>Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Mars 2013)</i>	109
Fig. 100	<i>Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Janvier 2014)</i>	109
Fig. 101	<i>Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Novembre 2014)</i>	110
Fig. 102	<i>Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Janvier 2015)</i>	110
Fig. 103	<i>Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Mai 2015)</i>	111
Fig. 104	<i>Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Novembre 2016)</i>	111
Fig. 105	<i>Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Juillet 2017)</i>	112
Fig. 106	<i>Variations de Chlore libre dans l'eau traitée (Février 2018)</i>	112
Fig. 107	<i>Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Mars 2013)</i>	113
Fig. 108	<i>Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Janvier 2014)</i>	113
Fig. 109	<i>Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Novembre 2014)</i>	114
Fig. 110	<i>Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Janvier 2015)</i>	114
Fig. 111	<i>Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Mai 2016)</i>	115
Fig. 112	<i>Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Novembre</i>	115
Fig. 113	<i>Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Juillet 2017)</i>	116
Fig. 114	<i>Variations de Dureté totale dans l'eau traitée (Février 2018)</i>	116
Fig. 115	<i>Variations de l'indice de saturation dans l'eau traitée (Mars 2013)</i>	117
Fig. 116	<i>Variations de l'indice de saturation dans l'eau traitée (Janvier 2014)</i>	117
Fig. 117	<i>Variations de l'indice de saturation dans l'eau traitée (Janvier 2015)</i>	118
Fig. 118	<i>Variations de l'indice de saturation dans l'eau traitée (Mai 2016)</i>	118
Fig. 119	<i>Variations de l'indice de saturation dans l'eau traitée (Juin 2017)</i>	119
Fig. 120	<i>Variations de l'indice de saturation dans l'eau traitée (Février 2018)</i>	119
Fig. 121	<i>Variations de la concentration du Calcium dans l'eau traitée (Mars 2013)</i>	120
Fig. 122	<i>Variations de la concentration du Calcium dans l'eau traitée (Janvier 2014)</i>	120
Fig. 123	<i>Variations de la concentration du Calcium dans l'eau traitée (Janvier 2015)</i>	121
Fig. 124	<i>Variations de la concentration du Calcium dans l'eau traitée (Mai 2016)</i>	121
Fig. 125	<i>Variations de la concentration du Calcium dans l'eau traitée (Juin 2017)</i>	122
Fig. 126	<i>Variations de la concentration du Calcium dans l'eau traitée (Février 2018)</i>	122
Fig. 127	<i>Variations de la concentration du Magnésium dans l'eau traitée (Mars 2013)</i>	123
Fig. 128	<i>Variations de la concentration du Magnésium dans l'eau traitée (Janvier 2014)</i>	123
Fig. 129	<i>Variations de la concentration du Magnésium dans l'eau traitée (Janvier 2015)</i>	124

<i>Fig. 130</i>	<i>Variations de la concentration du Magnésium dans l'eau traitée (Mai 2016)</i>	<i>124</i>
<i>Fig. 131</i>	<i>Variations de la concentration du Magnésium dans l'eau traitée (Juin 2017)</i>	<i>125</i>
<i>Fig. 132</i>	<i>Variations de la concentration du Magnésium dans l'eau traitée (Février 2018)</i>	<i>125</i>
<i>Fig. 133</i>	<i>Variation des concentrations des bicarbonates dans l'eau traitée (Mars 2013)</i>	<i>126</i>
<i>Fig. 134</i>	<i>Variation des concentrations des bicarbonates dans l'eau traitée (Janvier 2014)</i>	<i>126</i>
<i>Fig. 135</i>	<i>Variation des concentrations des bicarbonates dans l'eau traitée (Janvier 2015)</i>	<i>127</i>
<i>Fig. 136</i>	<i>Variation des concentrations des bicarbonates dans l'eau traitée (Mai 2016)</i>	<i>127</i>
<i>Fig. 137</i>	<i>Variation des concentrations des bicarbonates dans l'eau traitée (Juin 2017)</i>	<i>128</i>
<i>Fig. 138</i>	<i>Variation des concentrations des bicarbonates dans l'eau traitée (Février 2018)</i>	<i>128</i>
<i>Fig. 139</i>	<i>Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Mars 2013)</i>	<i>129</i>
<i>Fig. 140</i>	<i>Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Mars 2013)</i>	<i>129</i>
<i>Fig. 141</i>	<i>Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Avril 2016)</i>	<i>130</i>
<i>Fig. 142</i>	<i>Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Juin 2016)</i>	<i>130</i>
<i>Fig. 143</i>	<i>Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Août 2016)</i>	<i>131</i>
<i>Fig. 144</i>	<i>Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Septembre 2016)</i>	<i>131</i>
<i>Fig. 145</i>	<i>Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Décembre 2016)</i>	<i>132</i>
<i>Fig. 146</i>	<i>Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Avril 2017)</i>	<i>132</i>
<i>Fig. 147</i>	<i>Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Janvier 2018)</i>	<i>133</i>
<i>Fig. 148</i>	<i>Variation des concentrations des matières en suspension dans l'eau traitée (Février 2018)</i>	<i>133</i>
<i>Fig. 149</i>	<i>Variation des concentrations du Bore dans l'eau de mer et l'eau traitée de station de Honaine.</i>	<i>134</i>

Liste des Tableaux

Liste des tableaux

<i>Tabl. 01</i>	<i>Composition standard d'eau de mer (d'après P. Danis, 2003)</i>	<i>4</i>
<i>Tabl. 02</i>	<i>Composition de la saumure après le diapor</i>	<i>4</i>
<i>Tabl. 03</i>	<i>Principaux effets associés aux métaux lourds</i>	<i>10</i>
<i>Tabl. 04</i>	<i>Principales maladies d'origine hydrique et agents microbiologiques responsables</i>	<i>10</i>
<i>Tabl. 05</i>	<i>Les Normes de Conductivité</i>	<i>12</i>
<i>Tabl. 06</i>	<i>Les différentes classes du pH</i>	<i>12</i>
<i>Tabl. 07</i>	<i>Classement de la Turbidité</i>	<i>12</i>
<i>Tabl. 08</i>	<i>DBO, DCO et oxydabilité</i>	<i>13</i>
<i>Tabl. 09</i>	<i>Les principales unités de dessalement en Algérie</i>	<i>21</i>
<i>Tabl. 10</i>	<i>Les types de colmatages</i>	<i>23</i>
<i>Tabl. 11</i>	<i>Principales caractéristiques physico-chimiques du Bore élémentaire et de l'acide borique non dissocié</i>	<i>33</i>
<i>Tabl. 12</i>	<i>Différentes méthodes de traitement pour l'élimination du bore dans les eaux</i>	<i>37</i>
<i>Tabl. 13</i>	<i>Caractéristiques de l'eau de mer de Souk-Tleta</i>	<i>48</i>
<i>Tabl. 14</i>	<i>Caractéristiques techniques de l'usine de dessalement d'eau de mer</i>	<i>64</i>
<i>Tabl. 15</i>	<i>Répartition de la superficie de la station de dessalement</i>	<i>64</i>
<i>Tabl. 16</i>	<i>Caractéristiques de l'eau de mer 'Honaïne' (Conditions de base du site).</i>	<i>65</i>

Liste des Photos

Liste des Photos

<i>Photo. 1 Photo de la plage de sel (plage d'El B'hira), Commune de Souk-Tleta, Tlemcen</i>	<i>45</i>
<i>Photo. 2 Présentation de la station de dessalement de Souk-Tleta</i>	<i>49</i>
<i>Photo. 3 Les dégrilleurs grossiers</i>	<i>51</i>
<i>Photo. 4 Les Tamis-dégrilleurs fin rotatifs</i>	<i>52</i>
<i>Photo. 5 Représentation d'un train de cartouches d'Ultrafiltration</i>	<i>53</i>
<i>Photo. 6 Représentation des membranes d'ultrafiltration</i>	<i>53</i>
<i>Photo. 7 Station de pompage de Souk-Tleta</i>	<i>55</i>
<i>Photo. 8 Photo Pompe à haute pression</i>	<i>56</i>
<i>Photo. 9 Unités d'osmose inverse</i>	<i>57</i>
<i>Photo. 10 Site de stockage et de préparation du CO₂</i>	<i>59</i>
<i>Photo. 11 Site de stockage et de préparation de la chaux</i>	<i>59</i>
<i>Photo. 12 Station de pompage de l'eau traitée</i>	<i>60</i>
<i>Photo. 13 Système de contrôle SCADA</i>	<i>61</i>
<i>Photo. 14 Vue satellitaire de site de la station de dessalement.</i>	<i>63</i>
<i>Photo. 15 Filtres à sables et anthracite (Station de dessalement 'Honaine').</i>	<i>74</i>
<i>Photo. 16 Filtres à cartouches au niveau de la station (Station de dessalement 'Honaine')</i>	<i>74</i>
<i>Photo. 17 Réservoir de stockage de l'eau produite</i>	<i>75</i>
<i>Photo. 18 L'étape de l'osmose inverse (Station de Dessalement 'Honaine')</i>	<i>75</i>
<i>Photo. 19 Réservoir de l'eau dessalée (Station de Dessalement 'Honaine')</i>	<i>77</i>
<i>Photo. 20 Les réservoirs de CO₂ (Station de Dessalement 'Honaine')</i>	<i>78</i>

Annexes

Annexes

Annexe.1 : LES NORMES DE L'OMS POUR L'EAU POTABLE

(Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable).

PARAMETRES AVEC VALEURS INDICATIVES

Groupe de parametre	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physiques	pH		Pas de valeur guide mais un optimum entre 6,5 et 9,5
	Conductivité		pas de norme
	Température		acceptable
	Turbidité	NTU (1NTU pour la désinfection)	5
Paramètres organoleptiques	Couleur		Pas de valeur guide
	Goût et odeur		acceptable

PARAMETRES AVEC VALEURS LIMITES

Groupe de paramètre	Paramètres	Unités	VALEURS LIMITES (CMA)
Eléments toxiques	Arsenic (As)	mg/L	0,01
	Cadmium (Cd)	mg/L	0,003
	Chrome Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	mg/L	chrome total : 0,05
	Cyanure (CN ⁻)	mg/L	0,07
	Mercure (Hg)	mg/L	inorganique: 0,006
	Sélénium (Se)	mg/L	0,01
	Plomb (Pb)	mg/L	0,01
	Antimoine (Sb)	mg/L	0,02
	Fer (Fe)		Pas de valeur guide
	Manganèse (Mn)	mg/L	0,4
Eléments indésirables	Aluminium(Al)	mg/L	0,2
	Cuivre (Cu ²⁺)	mg/L	2
	Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L	0,5
	Argent		Pas de valeur guide
	Fluorures	mg/L	1,5
	Zinc(Zn)	mg/L	3
	Bore(B)	mg/L	0,5
	Hydrocarbures aromatiques polynucléaires C ₂ H ₃ N ₁ O ₅ P ₁ 3	µg/L	0,1
	THM (Trihalométhanes) C Cl ₄	µg/L	4
Minéralisation globale	Calcium Ca ²⁺	mg/L	100
	Chlorures(Cl)	mg/L	250
	Magnésium Mg ²⁺	mg/L	50
	Dureté mg/l CaCO ₃	Ppm	200
	Sodium (Na)	mg/L	20

	Potassium (K⁺)	mg/L	12
	Sulfates (SO₄)	mg/L	500

PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES

Groupe de paramètre	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres microbiologiques	Coliformes totaux	nb/100ml	0
	Coliformes fécaux	nb/100ml	0
	Streptocoques fécaux	nb/100ml	0
	Clostridium Sulfito-Réducteurs	nb/100ml	0
	Staphylocoques pathogènes	nb/100ml	0
	Spores des bactéries	nb/20ml	0
	Vibrions cholériques	nb/10ml	Absence
	Salmonelles	nb/5L	Absence

Annexe.2 : LES NORMES ALGERIENNES DU MINISTRE DES RESSOURCES EN EAU (DEPUIS 22 MARS 2011)

(L'Algérie s'est basée sur les normes internationales, pour établir ses propres normes, on peut dire que c'est une combinaison de différentes normes qui existe sur le plan international).

PARAMETRES DE QUALITE DE L'EAU DE CONSOMMATION HUMAINE

PARAMETRES AVEC VALEURS INDICATIVES

Groupe des paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	pH	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9,5
	Conductivité	μS/cm à 20°C	2800
	Température	°C	25
	Dureté	mg/L en CaCO ₃	200
	Alcalinité	mg/L en CaCO ₃	500
	Calcium	mg/L en CaCO ₃	200
	Chlorures	mg/L	500
	Potassium	mg/L	12
	Résidu sec	mg/L	1500
	Sodium	mg/l	200
Sulfates	mg/L	400	
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/L Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur 12°C	Taux dilution	4
	Saveur 25°C	Taux dilution	4

PARAMETRES AVEC VALEURS LIMITEES

Groupe des paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs limites
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/L	0,2
	Ammonium	mg/L	0,5
	Baryum	mg/L	0,7
	Bore	mg/L	1
	Fer total	mg/L	0,3
	Fluorures	mg/L	1,5
	Manganèse	μg/L	50
	Nitrates	mg/L	50
	Nitrites	mg/L	0,2
	Oxydabilité	mg/L O ₂	5
	Phosphore	mg/L	5
	Acrylamide	μg/L	0,5
	Antimoine	μg/L	20
	Argent	μg/L	100
	Arsenic	μg/L	10
	Cadmium	μg/L	3
Chrome total	μg/L	50	

	Cuivre	mg/L	2
	Cyanure	µg/L	70
	Mercure	µg/L	6
	Nickel	µg/L	70
	Plomb	µg/L	10
	Sélénium	µg/L	10
	Zinc	mg/L	5
	Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H,P,A) totaux	µg/L	0,2
	Phénols	µg/L	0,5
	Pesticides (Totaux)	µg/L	0,5
	Bromates	µg/L	10
	Chlore	mg/L	5
	Chlorite	mg/L	0,07
	Trihalométhanes (THM) (Total)	µg/L	100
Radionucléides	Particules alpha	Picocurie/L	15
	Particules bêta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequerel/L	100
	Uranium	µg/L	15
	Dose totale indicative (DTI)	(mSv/an)	0,1

PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs limites
Paramètres microbiologiques	Escherichia Coli	nb /100ml	0
	Entérocoques	nb /100ml	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	nb/20ml	0

**Annexe.3 : LES NORMES ALGERIENNES POUR LES EAUX
TRAITEES DESSALEES DU MINISTRE DES RESSOURCES EN EAU
(JOURNAL OFFICIEL DU 04 MARS 2014)**

(Décret exécutif N°14-96 du 2 Joumada El Oula 1435, correspondant au 4 mars 2014
modifiant et complétant le décret exécutif N° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432,
correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine).

PARAMETRES AVEC VALEURS LIMITES

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs limites
Paramètres Chimiques	Aluminium	mg/L	0,2
	Ammonium	mg/L	0,5
	Baryum	mg/L	0,7
	Bore	mg/L	- Eaux conventionnelles = 1 - Eaux dessalées ou déminéralisées = 1,3
	Fluorures	mg/L	1,5
	Nitrates	mg/L	50
	Nitrites	mg/L	0,2
	Oxydabilité	mg/L O ₂	5
	Acrylamide	µg/L	0,5
	Antimoine	µg/L	20
	Argent	µg/L	100
	Arsenic	µg/L	10
	Cadmium	µg/L	3
	Chrome total	µg/L	50
	Cuivre	mg/L	2
	Cyanure	µg/L	70
	Mercurure	µg/L	6
	Nickel	µg/L	70
	Plomb	µg/L	10
	Sélénium	µg/L	10
	Zinc	mg/L	5
	- Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H,P,A) totaux, - Fluranthène - Benzo (3, 4) fluoranthène - Benzo (11, 12) fluoranthène - Benzo (3, 4) pyrène - Benzo (1, 12) pérylène - Indéno (1, 2, 3-cd) pyrène - Benzo (3, 4) pyrène	µg/L	0,2 0,01
	Benzène	µg/L	10
	Toluène	µg/L	700
	Ethylbenzène	µg/L	300
	Xylènes	µg/L	500
	Styrène	µg/L	100
	Agents de surface régissant au bleu de méthylène	mg/L	0,2
	Epychlorehydrine	µg/L	0,4
	Microcystine L,R	µg/L	1
	Pesticides par substance individualisée		

	- Insecticides organochlorés persistants	µg/L	0,1
	- Insecticides organophosphorés et carbomates	µg/L	0,1
	- Herbicides	µg/L	0,1
	- Fongicides	µg/L	0,1
	- P,C,B	µg/L	0,1
	- P,C,T	µg/L	0,1
	- Aldrine	µg/L	0,03
	- Dieldrine	µg/L	0,03
	- Heptachlore	µg/L	0,03
	- Heptachlorépoxyde	µg/L	0,03
Paramètres Chimiques	Pesticides (Totaux)	µg/L	0,5
	Bromates	µg/L	10
	Chlorite	µg/L	0,07
	Trihalométhanes par substance individualisée :	µg/L	
	- Chloroforme	µg/L	200
	- Bromoforme	µg/L	100
	- Dibromochlorométhane	µg/L	100
	- Bromodichlorométhane	µg/L	60
	Chlorure de vinyle	µg/L	0,3
	1, 2- Dichloroéthane	µg/L	30
	1, 2- Dichlorobenzène	µg/L	1000
1, 4- Dichlorobenzène	µg/L	300	
Trichloroéthylène	µg/L	20	
Tetrachloroéthylène	µg/L	40	
Radionucléides	Particules alpha	Picocurie/L	15
	Particules beta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequere/L	100
	Uranium	µg/L	30
	Dose totale indicative (DTI)	mSv/an	0,15
Paramètres Microbiologiques	Escherichia Coli	n/100ml	0
	Entérocoques	n/100ml	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	n/20ml	0

PRAMETRES AVEC VALEURS INDICATIVES

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres Organoleptiques	Couleur	mg/L platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 25°C	Taux dilution	4
	Saveur à 25°C	Taux dilution	4
	Alcalinité	mg/L CaCO ₃	65 Pour les eaux déssalées ou déminéralisées (valeur minimale)
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux,	Calcium	mg/L	200
	Chlorure	mg/L	500
	Concentration en ions	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9

	hydrogène		
	Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
	Dureté (TH)	mg/L en CaCO ₃	500
	Fer total	mg/L	0,3
	Manganèse	mg/L	50
	Phosphore	mg/L	5
	Potassium	mg/L	12
	Sodium	mg/L	200
	Sulfates	mg/L	400
	Température	°C	25

**Annexe.4 : BULLETIN DES ANALYSES DES MATIERES EN SUSPENSION DANS LES EAUX DE CAPTAGE
DE LA STATION DE HONAINE (eau de mer) (2016/2017/2018)**

Date	MES (mg/L)	Norme									
01/01/2016	5,1	≤25	01/08/2016	5,7	≤25	06/01/2017	2,6	≤25	17/01/2018	4,2	≤25
03/01/2016	1,3	≤25	03/08/2016	5,1	≤25	15/01/2017	1,9	≤25	21/01/2018	3,9	≤25
06/01/2016	7,1	≤25	06/08/2016	3,3	≤25	20/01/2017	2	≤25	22/01/2018	4,3	≤25
15/01/2016	7,5	≤25	24/08/2016	4,3	≤25	24/01/2017	7,8	≤25	23/01/2018	4,2	≤25
20/01/2016	1,9	≤25	27/08/2016	3,6	≤25	01/04/2017	2,8	≤25	24/01/2018	4	≤25
24/01/2016	1	≤25	01/09/2016	5,2	≤25	03/04/2017	1,7	≤25	28/01/2018	4,3	≤25
27/01/2016	2,9	≤25	03/09/2016	4,6	≤25	06/04/2017	3,5	≤25	29/01/2018	5,6	≤25
03/03/2016	10,6	≤25	06/09/2016	7,5	≤25	15/04/2017	2,3	≤25	01/02/2018	5	≤25
06/03/2016	7	≤25	15/09/2016	3,8	≤25	20/04/2017	2,6	≤25	02/02/2018	8,7	≤25
15/03/2016	8,7	≤25	20/09/2016	5,3	≤25	24/04/2017	4,1	≤25	03/02/2018	10,1	≤25
20/03/2016	8,8	≤25	24/09/2016	5,1	≤25	27/04/2017	2,7	≤25	04/02/2018	6,8	≤25
24/03/2016	4,8	≤25	27/09/2016	6,8	≤25	01/05/2017	4,1	≤25	05/02/2018	7,2	≤25
27/03/2016	8,2	≤25	03/11/2016	3,6	≤25	03/05/2017	1,6	≤25	06/02/2018	6,4	≤25
01/04/2016	2,5	≤25	06/11/2016	5,1	≤25	06/05/2017	3,8	≤25	07/02/2018	5,1	≤25
03/04/2016	7,7	≤25	15/11/2016	4,6	≤25	20/05/2017	3,7	≤25	08/02/2018	1,8	≤25
06/04/2016	7,4	≤25	20/11/2016	3,2	≤25	24/05/2017	4,1	≤25	09/02/2018	3,6	≤25
15/04/2016	10,5	≤25	24/11/2016	4,2	≤25	27/05/2017	1,9	≤25	10/02/2018	1,9	≤25
20/04/2016	10,1	≤25	27/11/2016	1,1	≤25	01/06/2017	2,2	≤25	11/02/2018	4,1	≤25
24/04/2016	7,8	≤25	01/12/2016	3,8	≤25	03/06/2017	5,3	≤25	12/02/2018	4,4	≤25
27/04/2016	2,8	≤25	03/12/2016	1,5	≤25	06/06/2017	4,1	≤25	13/02/2018	3,2	≤25
01/06/2016	1,2	≤25	06/12/2016	3,2	≤25	15/06/2017	4,3	≤25	14/02/2018	2,9	≤25
03/06/2016	2,4	≤25	15/12/2016	3,2	≤25	20/06/2017	1,8	≤25	15/02/2018	3	≤25
06/06/2016	4,7	≤25	20/12/2016	5,3	≤25	24/06/2017	3,5	≤25	16/02/2018	3,6	≤25
15/06/2016	1,4	≤25	24/12/2016	4,6	≤25	10/01/2018	1,3	≤25	17/02/2018	3,8	≤25
20/06/2016	1,8	≤25	27/12/2016	1,3	≤25	11/01/2018	2,4	≤25	18/02/2018	3,2	≤25
24/06/2016	4,5	≤25	01/01/2017	3,1	≤25	15/01/2018	3,5	≤25	19/02/2018	7,6	≤25
27/06/2016	4,5	≤25	03/01/2017	1,5	≤25	16/01/2018	3,9	≤25			

**Annexe.5 : BULLETIN DES ANALYSES DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
DE LA STATION DE HONAINE (eau traitée) (2016/2017/2018)**

Date	pH	T (°C)	Cond (µS/cm)	Turbidité (NTU)	D T (mg/L)	LSI	Alcalinité (mg/L)	Chlore libre (mg/L)	Calcium (mg/L)	Magnésium (mg/L)	Bicarbonate (mg/L)
01/03/2013	8,41	16,13	450	0	60	0,18	64	0,5	21,64	1,42	73,2
02/03/2013	8,42	16,7	454	0	60	0,21	64	0,4	22,44	0,93	73,2
03/03/2013	8,39	16,7	450	0	62	0,18	64	0,4	22,44	1,42	73,2
04/03/2013	8,38	16,6	470	0	62	0,19	64	0,5	22,44	0,93	73,2
05/03/2013	8,40	16,4	478	0	60	0,18	64	0,7	23,24	0,93	73,2
06/03/2013	8,39	16,7	438	0	60	0,17	64	0,5	21,64	1,42	73,2
07/03/2013	8,37	17	462	0	62	0,17	64	0,3	22,44	1,42	73,2
01/01/2014	8,3	17,6	530	0	60	0,16	58	0,5	20,84	1,89	65,88
02/01/2014	8,42	17,7	552	0	62	0,18	58	0,5	22,44	1,42	65,88
03/01/2014	8,4	17,6	556	0	60	0,14	58	0,5	21,64	1,42	65,88
04/01/2014	8,42	17,9	558	0	60	0,16	58	0,5	21,64	1,42	65,88
05/01/2014	8,41	17,7	560	0	60	0,15	58	0,5	21,64	1,42	65,88
06/01/2014	8,42	17,8	566	0	60	0,16	58	0,6	21,64	1,42	65,88
07/01/2014	8,41	18	558	0	60	0,16	58	0,5	21,64	1,42	65,88
24/11/2014	8,4	19,1	728	0	60	0,18	58	0,63	21,64	1,42	63,44
25/11/2014	8,34	20,4	704	0	60	0,15	57	0,56	22,44	0,93	62,22
26/11/2014	8,4	17,4	720	0	64	0,12	57	0,61	20,84	2,86	63,44
27/11/2014	8,38	19	726	0	62	0,13	57	0,6	21,64	1,89	63,44
28/11/2014	8,41	18,7	722	0	62	0,18	60	0,6	21,64	1,89	67,1
29/11/2014	8,39	18,7	750	0	62	0,16	60	0,65	20,84	2,38	65,88
30/11/2014	8,42	18,8	720	0	62	0,15	57	0,63	20,84	2,38	63,44
01/01/2015	8,4	18,6	711	0	62	0,2	62	0,68	21,64	1,94	68,32
02/01/2015	8,37	17,5	700	0	60	0,12	59	0,69	20,84	1,84	64,65
03/01/2015	8,34	17,9	762	0	60	0,11	60	0,68	21,64	1,46	65,88
04/01/2015	8,43	18,1	666	0	62	0,21	58	0,68	21,64	1,89	63,44
05/01/2015	8,39	18,1	692	0	62	0,16	58	0,65	21,64	1,89	63,44
06/01/2015	8,39	18,3	714	0	60	0,12	59	0,7	21,64	1,42	63,44
07/01/2015	8,35	18,3	668	0	60	0,07	58	0,67	20,04	2,43	64,44
01/05/2016	8,43	20	880	0	64	0,09	53	0,53	18,43	4,37	58,65
02/05/2016	8,42	19,2	878	0	66	0,13	54	0,52	20,04	3,8	58,56
03/05/2016	8,4	19,4	864	0	64	0,1	53	0,50	19,23	3,8	57,34
04/05/2016	8,42	18,8	852	0	66	0,13	55	0,47	20,04	3,8	59,78
05/05/2016	8,39	19,4	856	0	64	0,08	53	0,5	19,23	3,8	57,34
06/05/2016	8,41	19	860	0	64	0,11	55	0,55	19,23	3,88	59,78
01/11/2016	8,40	21,9	900	0	62	0,13	54	0,53	18,43	3,34	56,12

Date	PH	T (°C)	Cond (µS/cm)	Turbidité (NTU)	D T (mg/L)	LSI	Alcalinité (mg/L)	Chlore libre (mg/L)	Calcium (mg/L)	Magnésium (mg/L)	Bicarbonate (mg/L)
03/11/2016	8,39	22,4	922	0	60	0,09	52	0,67	19,23	3,4	58,56
06/11/2016	8,4	22,4	900	0	62	0,14	54	0,63	19,23	4,3	57,34
15/11/2016	8,37	20,6	910	0	66	0,07	53	0,49	19,23	3,4	57,34
20/11/2016	8,4	20,2	832	0	62	0,11	53	0,52	19,23	3,34	57,34
24/11/2016	8,39	20,1	812	0	62	0,1	53	0,42	20,04	2,37	59,78
27/11/2016	8,41	19,8	794	0	60	0,11	25	0,55	20,04	2,37	59,78
01/04/2017	8,41	18,7	868	0	64	0,12	55	0,54	19,23	4,3	56,12
03/04/2017	8,41	18,7	864	0	66	0,15	56	0,55	20,04	3,82	59,78
06/04/2017	8,42	18,8	858	0	64	0,11	54	0,55	19,23	3,82	58,56
15/04/2017	8,42	19,1	822	0	64	0,12	55	0,61	19,23	3,82	59,78
20/04/2017	8,43	18,9	904	0	66	0,13	53	0,55	19,23	4,3	57,34
24/04/2017	8,42	18,7	846	0	64	0,12	56	0,52	19,23	3,82	61
27/04/2017	8,41	18,5	944	0	68	0,11	56	0,4	18,43	3,82	58,56
03/06/2017	8,42	23,1	998	0	62	0,16	55	0,46	18,43	3,88	57,36
06/06/2017	8,39	23,1	1000	0	62	0,1	53	0,63	20,04	3,82	57,34
15/06/2017	8,4	22,3	986	0	66	0,14	53	0,69	19,23	3,34	59,78
20/06/2017	8,39	23	980	0	62	0,11	54	0,57	18,43	3,88	57,34
26/06/2017	8,39	25,9	1096	0	62	0,14	55	0,57	18,43	4,3	56,12
30/06/2017	8,4	26,6	1260	0	64	0,16	54	0,49	18,43	4,3	57,34
01/07/2017	8,39	26,2	1214	0	64	0,14	53	0,6	18,43	4,3	57,34
02/07/2017	8,39	25,7	1176	0	64	0,15	54	0,55	18,43	4,37	56,12
03/07/2017	8,4	23,9	1074	0	64	0,14	54	0,57	20,04	3,82	58,56
06/07/2017	8,39	24,4	1088	0	64	0,1	52	0,51	20,04	3,82	56,12
20/07/2017	8,39	27,2	1198	0	66	0,18	54	0,5	19,23	3,82	56,1
03/02/2018	8,45	17,1	770	0	64	0,14	53	0,56	18,43	4,3	57,34
06/02/2018	8,45	16,8	742	0	64	0,11	52	0,56	18,43	3,88	56,12
16/02/2018	8,42	16,9	772	0	64	0,07	53	0,5	19,23	4,37	57,34
17/02/2018	8,43	17,2	766	0	62	0,08	52	0,57	18,43	4,37	56,12
18/02/2018	8,42	17,1	874	0	66	0,08	53	0,59	19,23	3,82	57,34
19/02/2018	8,43	17	806	0	64	0,07	52	0,57	18,43	4,37	56,12
29/04/2018	8,43	20	748	0	64	0,14	53	0,62	18,28	4,37	56,10

Annexe.6 : BULLETIN DES ANALYSES DU BORE DE LA STATION DE HONAINE (2016/2017/2018)

Date	Bore eau de mer (mg/L)	Bore eau traitée (mg/L)	Normes
04/10/2015	4,15	0,1	1,3
12/11/2015	4,16	3,95	1,3
02/02/2016	4,16	2,49	1,3
16/03/2016	4,1	2,52	1,3
31/05/2016	4,01	2,76	1,3
12/07/2016	4	2,74	1,3
07/08/2016	4,1	2,7	1,3
22/11/2016	4,3	2,74	1,3
18/12/2016	4,12	2,5	1,3
25/01/2017	4,1	0,99	1,3
27/02/2017	4,06	0,93	1,3
27/03/2017	4,2	0,95	1,3
26/04/2017	4,3	0,92	1,3
30/05/2017	4,2	0,9	1,3
21/06/2017	4,1	0,95	1,3
27/07/2017	4,2	0,92	1,3
30/08/2017	4,1	0,9	1,3
28/09/2017	4	0,91	1,3
29/10/2017	4,1	0,92	1,3
28/11/2017	4,2	0,93	1,3
28/12/2017	4,01	0,9	1,3
28/12/2017	4,3	0,9	1,3
15/01/2018	4,1	0,91	1,3
27/02/2018	4,2	0,92	1,3

**Annexe.7 : BULLETIN DES ANALYSES DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
DE LA STATION DE SOUK-TLETA (eau traitée) (2013/2014)**

Date	pH	T (°C)	Cond (µS/cm)	Turb (NTU)	LSI	Alcalinité (mg/L)	Chlore libre (mg/L)	Calcium (mg/L)	Magnésium (mg/L)	Potassium (mg/L)	Bicarbonate (mg/L)
01/03/2013	8,45	16,9	886	0,25	0,23	63,27	0,68	31,97	2,022	4,13	77,19
02/03/2013	8,40	8,40	876	0,42	0,22	65,17	0,47	33,264	1,948	4,076	79,51
03/03/2013	8,37	17,3	905	0,78	0,16	64,22	0,43	32,072	1,936	4,22	78,35
04/03/2013	8,47	17,4	913	0,72	0,25	64,12	0,11	31,278	2,374	4,276	78,23
05/03/2013	8,39	18,1	907	0,17	0,19	63,84	0,78	32,036	2,276	4,32	77,88
06/03/2013	8,36	18,5	911	0,15	0,08	62,31	0,44	26,967	2,276	4,36	76,02
07/03/2013	8,36	18	912	0,6	0,1	60,41	0,62	29,399	2,353	3,691	73,7
08/03/2013	8,23	19,1	912	0,9	0,05	60,6	0,35	34,523	2,235	4,358	73,93
09/03/2013	8,38	18,3	907	0,59	0,18	62,5	0,48	32,39	2,331	3,732	76,26
10/03/2013	8,45	18,7	920	0,32	0,25	62,7	0,43	31,986	2,51	3,734	76,49
11/03/2013	8,32	19	917	0,3	0,14	62,31	0,45	33,642	2,17	4,426	76,02
12/03/2013	8,40	18,5	893	0,45	0,17	61,93	0,39	30,586	2,322	3,701	75,56
13/03/2013	8,40	18,4	895	0,33	0,16	61,93	0,51	29,889	2,074	3,751	75,56
14/03/2013	8,31	19,5	877	0,38	0,11	61,74	0,45	31,242	2,183	3,605	75,33
15/03/2013	8,37	18,4	865	0,55	0,14	61,55	0,51	30,319	2,102	3,541	75,09
16/03/2013	8,44	17,9	870	0,71	0,23	62,5	0,35	31,857	2,056	3,541	76,26
17/03/2013	8,41	17,9	873	0,58	0,2	62,89	0,53	31,591	2,11	3,26	76,72
18/03/2013	8,35	18,4	860	0,37	0,15	61,55	0,44	32,285	1,995	3,418	75,09
19/03/2013	8,39	18,3	864	0,65	0,2	64,22	0,45	32,21	1,299	4,133	78,35
20/03/2013	8,39	18,2	854	0,66	0,2	63	0,46	32,428	2,666	4,561	76,72
21/03/2013	8,43	18,1	877	0,47	0,3	63	0,34	34,339	2,088	5,838	76,72
22/03/2013	8,40	18	876	0,65	0,2	68	0,44	33,002	1,028	4,291	83
23/03/2013	8,35	17,9	889	0,22	0,2	65	0,48	33,673	2,077	5,404	79,28
24/03/2013	8,47	18,2	862	0,24	0,26	66,7	0,49	19,371	1,137	4,41	81,37
25/03/2013	8,39	19,0	900	0,45	0,14	63,46	0,46	27,668	2,013	4,239	77,42
26/03/2013	8,35	18,5	909	0,85	0,1	61	0,41	30,412	1,943	5,119	73,93
27/03/2013	8,33	18,5	903	0,73	0,1	60	0,42	31,905	2,706	4,705	73,7
28/03/2013	8,31	18,3	899	3,3	0,2	66	0,65	33,485	1,815	4,634	80,21
29/03/2013	8,29	19,5	903	0,39	0,1	64	0,21	33,806	1,1	3,757	78,58
30/03/2013	8,36	18,4	895	0,52	0,2	62	0,38	33,298	2,122	5,188	76,02
31/03/2013	8,33	18,8	895	0,19	0,1	61	0,33	29,876	2,038	4,165	74,16
01/01/2014	8,31	17,9	782	0,96	0,09	63,08	0,47	29,975	2,007	4,657	76,96
02/01/2014	8,29	17,8	783	0,85	0,06	62,5	0,45	29,94	1,971	4,664	76,25
03/01/2014	8,31	17,9	731	0,08	0,07	59,79	0,45	30,051	2,154	4,889	72,95
04/01/2014	8,33	17,8	742	0,37	0,1	61,34	0,66	29,935	2,104	5,206	74,83
05/01/2014	8,38	18,1	746	0,44	0,13	61,34	0,27	28,359	2,102	5,033	74,83
06/01/2014	8,29	18,3	754	0,64	0,06	60,57	0,49	29,983	2,149	4,988	73,89
07/01/2014	8,27	18,3	753	0,32	0,03	59,79	0,37	29,597	2,118	4,919	72,95
08/01/2014	8,31	18,0	725	0,22	0,09	61,92	0,4	30,212	2,047	4,749	75,54
09/01/2014	8,33	18,0	750	1,87	0,13	64,34	0,69	30,564	1,772	4,306	78,49
10/01/2014	8,46	18,1	747	1,55	0,29	64,73	0,42	32,007	1,739	4,304	78,96
11/01/2014	8,33	18,0	743	0,5	0,09	61,73	0,45	29,047	2,207	4,917	75,31
12/01/2014	8,37	18,0	760	0,56	0,16	61,63	0,32	31,159	2,315	5,868	75,19
13/01/2014	8,34	17,8	780	0,69	0,19	68,89	0,4	32,13	2,19	5,127	84,04
14/01/2014	8,35	17,5	764	0,4	0,14	62,79	0,36	31,059	2,125	4,908	76,6
15/01/2014	8,22	17,8	746	0,86	0,04	62,69	0,35	32,777	2,233	5,138	76,49

Date	pH	T (°C)	Cond (µS/cm)	Turb (NTU)	LSI	Alcalinité (mg/L)	Chlore libre (mg/L)	Calcium (mg/L)	Magnésium (mg/L)	Potassium (mg/L)	Bicarbonate (mg/L)
16/01/2014	8,28	17,9	763	0,72	0,12	66,47	0,4	32,528	2,25	4,995	81,09
17/01/2014	8,37	17,7	765	1,05	0,22	66,47	0,35	33,519	1,83	4,393	81,09
18/01/2014	8,36	17,5	801	1,18	0,17	63,18	0,29	32,7	1,902	4,679	77,08
19/01/2014	8,29	17,0	888	2,53	0,06	62,11	0,5	31,928	2,65	5,431	75,78
20/01/2014	8,42	17,3	887	0,15	0,17	60,18	0,5	30,921	2,476	6,047	73,42
21/01/2014	8,27	17,0	857	0,49	0,07	65,02	0,56	32,233	2,722	5,656	79,32
22/01/2014	8,28	17,0	840	0,49	0,01	58,82	0,38	29,785	2,819	5,817	71,76
23/01/2014	8,34	17,1	813	0,32	0,12	61,15	0,47	32,174	2,668	5,67	74,6
24/01/2014	8,36	16,9	826	1,35	0,08	58,44	0,46	30,011	2,562	5,752	71,29
25/01/2014	8,48	17,1	855	0,53	0,25	62,5	0,36	31,313	2,81	5,224	76,25
26/01/2014	8,31	17,2	857	0,87	0,08	61,34	0,58	31,648	3,063	5,284	74,83
27/01/2014	8,33	17,4	852	1,83	0,13	62,69	0,35	32,892	3,114	5,214	76,49
28/01/2014	8,32	17,3	846	0,88	0,09	60,37	0,41	32,074	3,601	6,328	73,65
29/01/2014	8,32	17,5	847	0,3	0,15	66,37	0,6	32,888	2,666	5,601	80,97
30/01/2014	8,36	17,2	828	0,71	0,14	61,92	0,23	32,236	2,558	5,601	75,54
31/01/2014	8,34	17,4	830	0,3	0,12	61,92	0,39	31,692	2,542	5,538	75,54
01/11/2014	8,41	23	1005	0,53	0,23	58	0,42	31,841	2,686	5,577	70,87
02/11/2014	8,25	24	1064	0,54	0,05	57	0,42	30,588	1,914	5,904	69,66
03/11/2014	8,26	23,9	1051	0,53	0,06	58	0,4	30,162	2,992	6,498	70,39
04/11/2014	8,30	23,5	1032	0,34	0,05	55	0,38	28,393	3,168	6,403	67,36
06/11/2014	8,43	21,5	1056	1,06	0,33	65	0,58	36,75	3,169	6,46	79,34
07/11/2014	8,23	22,2	980	0,25	0,11	65	0,46	33,379	2,857	5,971	79,78
08/11/2014	8,28	22,7	963	0,29	0,19	68	0,38	33,695	1,959	5,239	82,36
09/11/2014	8,24	22,4	974	0,45	0,1	66	0,41	30,823	2,756	5,821	80,83
10/11/2014	8,33	21,8	935	0,59	0,15	63	0,42	30,173	2,741	5,638	76,26
11/11/2014	8,25	22,1	916	0,71	0,08	64	0,26	29,395	2,897	6,034	78,6
12/11/2014	8,2	21,7	959	1,34	0,02	63	0,46	30,438	3,248	6,246	76,96
13/11/2014	8,31	22	908	0,51	0,16	66	0,31	30,723	2,88	5,887	80,01
14/11/2014	8,11	23,7	941	0,64	0	64	0,44	31,708	2,498	5,532	78,13
15/11/2014	8,23	21,9	929	0,62	0,08	64	0,51	31,97	2,555	5,444	78,13
16/11/2014	8,25	21,8	910	0,47	0,08	64	0,4	30,113	2,271	6,032	77,9
20/11/2014	8,24	20,6	994	0,95	0,07	67	0,81	31,07	3,669	6,659	81,42
21/11/2014	8,43	20,9	1014	1,19	0,24	66	0,35	29,825	3,429	6,562	80,24
22/11/2014	8,35	19	967	1,25	0,06	60	0,42	27,561	3,085	6,41	73,44
23/11/2014	8,36	20,9	992	1,09	0,21	67	0,45	31,67	2,461	5,904	81,42
24/11/2014	8,25	22	950	0,57	0,07	63	0,48	29,742	2,565	5,61	76,96
25/11/2014	8,28	20,9	939	0,76	0,08	62	0,39	30,019	1,882	4,965	75,55
26/11/2014	8,28	20,9	904	0,69	0,09	62	0,45	30,331	2,554	4,974	76,14
27/11/2014	8,31	20,4	878	0,72	0,08	62	0,4	28,598	2,732	5,766	74,85
28/11/2014	8,35	21	861	0,88	0,18	64	0,4	30,77	4,417	5,732	78,13
29/11/2014	8,34	20	862	0,92	0,14	64	0,34	29,214	2,831	5,555	78,37
30/11/2014	8,29	20,3	849	0,39	0,12	65	0,3	30,448	2,765	5,523	79,31

**Annexe.8 : BULLETIN DES ANALYSES DU BORE
DE LA STATION DE SOUK-TLETA (eau traitée) (2013/2014)**

Date	Bore mg/L	Normes	Date	Bore mg/L	Normes	Date	Bore mg/L	Bore mg/L (moyenne annuelle)	Normes
02/03/2013	1,158	1,3	11/01/2014	1,014	1,3	20/11/2014	0,964	1,144	1,3
03/03/2013	1,181	1,3	12/01/2014	1,069	1,3	21/11/2014	0,984	1,144	1,3
04/03/2013	1,189	1,3	13/01/2014	1,047	1,3	22/11/2014	1,01	1,143	1,3
05/03/2013	1,137	1,3	14/01/2014	0,931	1,3	23/11/2014	0,985	1,143	1,3
06/03/2013	1,138	1,3	15/01/2014	0,957	1,3	24/11/2014	0,998	1,143	1,3
07/03/2013	1,15	1,3	16/01/2014	0,946	1,3	25/11/2014	0,983	1,142	1,3
08/03/2013	1,192	1,3	17/01/2014	0,987	1,3	26/11/2014	0,938	1,141	1,3
09/03/2013	1,183	1,3	18/01/2014	0,984	1,3	27/11/2014	0,947	1,141	1,3
10/03/2013	1,165	1,3	19/01/2014	1,076	1,3	28/11/2014	0,932	1,14	1,3
11/03/2013	1,169	1,3	20/01/2014	1,067	1,3	29/11/2014	0,916	1,139	1,3
12/03/2013	1,172	1,3	21/01/2014	1,078	1,3	30/11/2014	0,928	1,139	1,3
13/03/2013	1,192	1,3	22/01/2014	1,083	1,3				
14/03/2013	1,178	1,3	23/01/2014	1,082	1,3				
15/03/2013	1,178	1,3	24/01/2014	1,099	1,3				
16/03/2013	1,173	1,3	25/01/2014	1,088	1,3				
17/03/2013	1,165	1,3	26/01/2014	1,105	1,3				
18/03/2013	1,099	1,3	27/01/2014	1,126	1,3				
19/03/2013	1,13	1,3	28/01/2014	1,049	1,3				
20/03/2013	1,162	1,3	29/01/2014	1,032	1,3				
21/03/2013	1,158	1,3	30/01/2014	1,035	1,3				
22/03/2013	1,166	1,3	31/01/2014	1,058	1,3				
23/03/2013	1,165	1,3	01/11/2014	1,188	1,3				
24/03/2013	1,114	1,3	02/11/2014	1,187	1,3				
25/03/2013	1,103	1,3	03/11/2014	1,174	1,3				
26/03/2013	1,151	1,3	04/11/2014	1,093	1,3				
28/03/2013	1,049	1,3	06/11/2014	1,059	1,3				
29/03/2013	1,134	1,3	07/11/2014	1,123	1,3				
30/03/2013	1,112	1,3	08/11/2014	0,929	1,3				
31/03/2013	1,118	1,3	09/11/2014	0,976	1,3				
01/01/2014	0,879	1,3	10/11/2014	0,971	1,3				
02/01/2014	1,055	1,3	11/11/2014	1,005	1,3				
03/01/2014	1,011	1,3	12/11/2014	0,992	1,3				
04/01/2014	0,995	1,3	13/11/2014	1,028	1,3				
05/01/2014	0,998	1,3	14/11/2014	1,038	1,3				
06/01/2014	0,976	1,3	15/11/2014	1,015	1,3				
07/01/2014	0,974	1,3	16/11/2014	1,013	1,3				