

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE
Département : HYDRAULIQUE
Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
Filière : HYDRAULIQUE
Spécialité : HYDRAULIQUE URBAINE

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

**ETUDE DES PROCÉDES DE LA STATION DE
DEMINÉRALISATION OUED SOUF - CARACTÉRISATION
ET APTITUDE DES EAUX- DESSALÉES**

Présenté par : AZEB Soumia / BOUHEMILA Aya

Encadrant : BOUSLAH Soraya Dr.Univ.Badji Mokhtar, Annaba

Jury de Soutenance :

Benouara Nawel	Docteur	UBMA	Président
Bouslah Soraya	Docteur	UBMA	Encadrant
Boudiaf Besma	Docteur	UBMA	Co-encadrant
Djedaoune Amel	Docteur	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

REMRCIEMENTS :

Nous remercierons **ALLAH** pour nous voir donné la force et le courage, la patience et la volonté d'élaborer ce travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner toute notre gratitude.

Nous voudrions tout d'abord adresser toute notre reconnaissance à la directrice de ce mémoire, **Mme. BOUSLAH Soraya** enseignante à la faculté de technologie à l'université Badji Mokhtar ANNABA, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nous désirons aussi remercier les professeurs de département d'hydraulique, qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires.

Nos vifs remerciements vont également à **M. SMOUHI Laid** et **M. LEBIHI Tarek** et plus particulièrement à **M. HABA Youcef** « Responsable du laboratoire de la station 19 mars » qui ne nous a pas épargné de ses précieux conseils et de ses précieuses indications, qui nous ont aidés à mener à bien ce travail, que Dieu le protège et le préserve.

Egalement un fort remerciement à :

Tous les fonctionnaires de la station de dessalement Guediri Outhmen 19 mars.

Tous les responsables de la direction de l'ADE.

En fin nous serons vraiment reconnaissant en vue tous ceux qui ont aidé de près ou loin de la réalisation de ce travail Sans oublier le remerciement de notre promotion 2022-2023.

اهراء

الحمد لله وكفى والصلاة على النبي المصطفى وآله، ومن في

الحمد لله الذي وفقنا لنتمين هذه الخطوة في مسيرتنا التعليمية بمذكرتنا هذه ثمرة الجهد والنجاح التي اهدىها الى :

الى الذين قال فيحيم الله عز وجل

﴿ وَارْخِفْضْ لَهُمَا جَنَاحَ الذُّبَابِ مِنَ الرَّحْمَةِ وَقَدْ رِئِبَ مِنْهُمَا كَمَا رَبَّيْتَنِى صَغِيرًا ﴾

[24 : الإسرائء]

الى صاحب السيرة العطرة والفكر المستنير الى من كان له الفضل في بلوغي التعليم العالى الى الموقر

الى من تحت اقدارها الجنة الى من وضعتني على طريق الحياة الى معنى الحب والحنان وهي البيبة

الى اخوتي بلال ورحاب وحمي الذين كان لهم الاثر البالغ في الكثير من العقبات والصعاب

الى جميع عائلة عزوب الى اصبتي واصدقائي واقابلي الى كل من ساندني ومددني يد العون في كل مسيرتي العلمية

والى صديقة وهي بوهيميلة اية

الى جميع الاساتذة الذين علموني منذ نعومة اظفاري من اجل العلم والمعرفة.

سحمية

اهداء

من قال انا لها نالها وانا لها وان ابنت رغبنا عنهما اتيت بها.

الى من رسموا لي المستقبل بخطوط من الثقة والحب... الى من رميا بسهام لييلهما فأصابت اقداري. وظلا يتعهدان حللي حتى صار الحلم واقعا جميلا

احتسي اليوم ضياء... ايكما يا اجدل اقداري...

ايكم عائلتي...

اهدي فرحة تخرجي لي من اختصت بلينة لتكون تحت اقدارها. منبع العطف والحنان اطل الله عمرها ابي الغالية.

الى من احمده اسمه بكل فخر واعتزاز سندي ومنبع امانتي ابي الغالي اتمك الله وحفضك من كل سوء..

الى من شدوت عضدي به. وسانني بكل حب عند ضعفي... اخي علاء الدين

الى هبة السماء. زهور بيتنا وسر سعواتي... اخواتي الفاضلات وعاء وامنة

الى جدتي رحمك الله واسكنك فسيح جناته... عميدة

الى رفيقة رحلة النجاح... سميرة عزاب

الى من لم تربطني بحم علاقة النسب... بل عطر الصداقة... وورد المحبة صدقاني

واخييرا وليس اخرا اهدي هذا العمل المتواضع

الى كل من تكبر عناء قراءته سواء لتقريبه او لنقده او لزيادة علمه او لإشباع فضوله.

RESUME:

La station de dessalement des eaux saumâtres à Oued Souf, constitue l'un des plus grands projets réalisés en matière d'approvisionnement en eau potable, avec une capacité de 30000 m³/jour. Ce travail a pour objectif de faire un suivi de l'évolution de la qualité physico-chimique de l'eau obtenue par le dessalement de l'eau saumâtre par la technique d'osmose inverse. Dans ce contexte, des prélèvements ont été effectués au cours des mois février et mars 2023. A la lumière des résultats obtenus, les eaux issues de dessalement des eaux de 19 Mars présentent une qualité physico-chimique bonne vis-à-vis de la réglementation algérienne et à celle de l'OMS. Pour déterminer l'aptitude des eaux dessalées en AEP on a utilisé l'IQE NSF et arithmétique pondérée, les résultats de l'application de l'IQE NSF montre que les eaux ont une bonne qualité pour l'AEP, d'autre part l'IQE arithmétique pondérée montre que la qualité les eaux est excellente. L'aptitude des eaux traitées sont testés à des fins de l'irrigation par le biais du diagramme, les résultats sont regroupées toutes dans la classe C3S1 d'après Wilcox et pour le risque de salinité les résultats montre que les eaux de la station ont un forte a très forte salinité d'après le diagramme de Riverside, donc on peut dire que l'eau de la région d'étude est mauvaise qualité, présente risque sur l'irrigation en domaine agricole. Les techniques de dessalement peuvent présenter un risque environnemental : les rejets de saumure, d'eau chaude, de produits chimiques ne doivent pas contaminer l'écosystème. Le plus urgent est la gestion de ces impacts vu les montants d'investissements pour ces projets. Les stations de dessalement doivent désormais inclure les couts des traitements de ces rejets en amont.

Mots clé : Aptitude, dessalement, impact, irrigation, osmose inverse, qualité physicochimique.

ABSTRACT:

The brackish water desalination plant in Oued Souf is one of the largest projects in terms of providing drinking water, with a capacity of 30,000 m³/day. The objective of this work is to monitor the evolution of the physicochemical quality of the water obtained through desalination of brackish water using reverse osmosis technology. In this context, samples were collected during the months of February and March 2023. Based on the results obtained, the desalinated water from the 19 Mars plant exhibits good physicochemical quality according to Algerian regulations and WHO standards. To determine the suitability of the desalinated water for drinking water supply, the NSF IWQ and weighted arithmetic indices were used. The results of the NSF IWQ index indicate that the water has good quality for drinking water supply, while the WA index shows that the water quality is excellent. The suitability of the treated water for irrigation purposes was assessed using the classification diagram, and the results indicate that all the water samples fall into the C3S1 class according to Wilcox. However, the salinity risk assessment using the Reverside diagram shows that the water from the plant has high to very high salinity, indicating poor quality and a potential risk for agricultural irrigation. Desalination techniques can pose environmental risks, such as brine discharge, hot water discharge, and chemical discharge, which should not contaminate the ecosystem. It is urgent to address these impacts considering the significant investments in these projects. Desalination plants should now include the costs of treating these discharges in their planning and operations.

Key words: Aptitude, desalination, impact, irrigation, reverse osmosis, physicochemical quality.

ملخص:

تعد محطة تحلية المياه المالحة في واد سوف من أكبر المشاريع من حيث التزويد بمياه الشرب، بسعة 30.000 م³/يوم. يهدف هذا العمل إلى مراقبة تطور الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه التي يتم الحصول عليها عن طريق تحلية المياه بتقنية التناضح العكسي. في هذا السياق، تم أخذ عينات خلال شهري فيفري ومارس 2023. في ضوء النتائج التي تم الحصول عليها، فإن المياه المحلّات الناتجة من محطة 19 مارس تتمتع بجودة فيزيائية-كيميائية جيدة فيما يتعلق باللوائح الجزائرية ومنظمة الصحة العالمية. لتحديد مدى ملاءمة المياه المحلّات بالنسبة لمياه الشرب استخدمنا مؤشرات خاصة وظهرت النتائج ان المياه ذات جودة ملائمة للشرب، تم اختبار مدى ملاءمة المياه المعالجة لأغراض الري من خلال برنامج الرسم التخطيطي، ووفقاً لويل كوكس فإن جودة المياه مقبولة بشكل عام، بالنسبة لخطر الملوحة، تظهر النتائج أن مياه المحطة تتمتع بدرجة ملوحة قوية إلى قوية جداً وفقاً لمخطط ريفرسايد، لذلك يمكن القول إن مياه منطقة الدراسة ذات نوعية رديئة، وتشكل خطراً على الري في المجال الزراعي. يمكن أن تشكل تقنيات تحلية المياه مخاطر بيئية: يجب ألا تلوث تصريف المياه المالحة والمياه الساخنة والمواد الكيميائية النظام البيئي. الأمر الأكثر إلحاحاً هو إدارة هذه الآثار بالنظر إلى حجم الاستثمار لهذه المشاريع. يجب أن تتضمن محطات تحلية المياه الآن تكاليف معالجة هذه التصريفات في الدراسات الأولية.

الكلمات المفتاحية: الكفاءة، التحلية، التأثير، الري، التناضح العكسي، الجودة الفيزيائية والكيميائية.

TABLE DES MATIERES

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé français	
Résumé anglais	
Résumé arabe	
Table de matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1
Chapitre I : généralités sur les caractéristiques des eaux marines et saumâtres et les différentes techniques de dessalement.	
1. Introduction	4
2. Source d'eau.....	4
2.1. L'eau douce de surface	4
2.2.L'eau de mer	5
2.3.Eaux souterraines	5
3. Caractéristiques des eaux marines et saumâtres	6
3.1.Les eaux marines	6
3.2.Les eaux saumâtres	6
3.3.Eau déminéralisée	7
3.4.Propriété Physico-Chimique	7
3.4.1. Concentration en ions hydrogène (pH)	7
3.4.2. Conductivité électrique	8
3.4.3. Température	8
3.4.4. Dureté (TH).....	8

TABLE DES MATIERES

3.4.5. Alcalinité	9
3.4.6. Les Matières en suspension	10
3.5.Paramètres organoleptiques	10
3.5.1. Couleur	10
3.5.2. Goûts et odeurs	10
3.5.3. Turbidité	10
3.6.Caractéristiques microbiologiques	10
4. Les techniques de dessalements	11
4.1.Procédés de distillation	12
4.2.Procédés membranaires	12
4.2.1. Définition d'une membrane	12
4.2.2. L'électrodialyse	13
4.2.3. Osmose Inverse	14
4.3.Avantages et inconvénients de chaque procédé	17
5. Conclusion	17
Chapitre II : Zone d'études unité de dessalement Oued Souf et estimation des besoins en eau.	
1. Introduction	19
2. Présentation de la station de déminéralisation 19 mars	19
3. Description de la nappe de l'Albien	20
4. Description du processus de dessalement dans la station	21
4.1.Procédé de traitement	21
4.1.1. Postes auxiliaires	23
4.2.Processus appliqué dans à la station de la déminéralisation	23
4.2.1. Le captage de l'eau saumâtre	23
4.2.2. Le prétraitement	24
4.2.2.1.L'objectif de prétraitement	24

TABLE DES MATIERES

4.2.2.2.Le refroidissement d'eau	24
4.2.2.3.Système de filtration	25
4.2.2.3.1. Filtres à sable	25
4.2.2.3.2. Pompe de mélange	27
4.2.2.3.3. Pompes d'alimentation basse pression	27
4.2.2.3.4. Filtres à cartouches	28
4.2.2.3.5. Pompes d'alimentation haut pression	29
4.2.2.3.6. L'osmose inverse	29
4.2.2.3.7. Le nettoyage des membranes	30
4.3.Le post-traitement	30
4.3.1. Le Principe de mélange	30
4.3.2. Station de pompage d'eau traitée	31
4.4.Station d'évacuation de rejet	32
5. Matériels et méthodes	33
5.1.Prélèvement et échantillonnage	33
5.1.1. Sites de prélèvements	33
5.1.2. Mode de prélèvement	33
5.2.Méthodes d'analyse	34
5.2.1. Paramètres organoleptiques	34
5.2.1.1.Test de la couleur	34
5.2.1.2.Test de l'odeur	34
5.2.1.3.Mesure de la turbidité	34
5.2.2. Les analyses physico-chimiques	35
5.2.2.1.Mesure de la conductivité	35
5.2.2.2.Mesure du pH	35
5.2.2.3.Mesure de l'Alcalinité	36
5.2.2.3.1. Détermination des bicarbonates (HCO ₃)	36
5.2.2.4.Mesure du chlore	37

TABLE DES MATIERES

5.2.2.5.Mesure de la Dureté Total (TH)	38
5.2.2.5.1. Mesure du Calcium (Ca^{2+})	40
5.2.2.5.2. Mesure de magnésium (Mg^{2+})	41
5.2.2.6.Mesure de TDS	41
5.2.2.7.Détermination du résidu sec	41
5.2.3. Paramètres chimiques	42
5.2.3.1.Mesure de nitrite (NO_2^-)	43
5.2.3.2.Mesure de nitrate (NO_3^-)	43
5.2.3.3.Mesure de fer (Fe)	43
5.2.3.4.Mesure de sulfate (SO_4^{-2})	44
5.2.3.5.Mesure de silice (SiO_2)	44
5.2.3.6.Mesure de chlorure (Cl)	44
5.2.3.7.Le densimètre portable	46
6. Conclusion	46
Chapitre III : contrôle de la qualité et aptitudes des eaux traitées.	
1. Introduction	48
2. Résultats de l'analyse de l'eau brute et de l'eau produite par la station de dessalement.....	48
2.1.Paramètres organoleptiques	48
2.1.1. Turbidité	48
2.2.Paramètres physico-chimique	49
2.2.1. La conductivité électrique	50
2.2.2. La température	51
2.2.3. Potentiel d'hydrogène (pH)	53
2.2.4. Chlore libre	54
2.2.5. Total des solides dissous TDS	56
2.2.6. Le résidu sec RS	57
2.2.7. Titre alcalimétrique complet TAC	58
2.2.8. Dureté totale TH	59

TABLE DES MATIERES

2.3.Minéralisation Globale	60
2.3.1. Le calcium Ca	61
2.3.2. Le Magnésium Mg	62
2.3.3. Nitrite NO ₂	63
2.3.4. Nitrate NO ₃	64
2.3.5. Le fer Fe	66
2.3.6. Sulfates SO ₄	67
2.3.7. La silice SiO ₄	68
2.3.8. Les chlorures Cl	69
2.3.9. Bicarbonate HCO ₃	70
3. La répartition graphique des analyses chimiques	71
3.1.Le diagramme de Piper	71
4. Les indices de qualité de l'eau	73
4.1.Aptitude des eaux en AEP	73
4.1.1.National Sanitation Foundation Indice de la qualité de l'eau (NSFWQI)	74
4.1.2.Calcul de l'Indice de qualité de l'eau (IQE) Moyenne arithmétique pondérée...	76
4.2. Aptitude des eaux à L'irrigation	80
4.2.1.Le Diagramme de Riverside et wilcox	80
4.2.2.Le risque de SAR (Sodium Adsorption Ratio)	81
4.2.3.Le risque de salinité	83
5. Conclusion	85
Chapitre IV : suivi de le SDI.	
1. Introduction	87
2. Définition de l'indice de colmatage « SDI »	87

TABLE DES MATIERES

3. Le but de mesure de l'SDI	87
4. Mesure de SDI	87
4.1.La sortie filtre à sable	87
4.2.L'entre filtre à cartouche (sortie bâche a eau filtrée)	89
4.3.Les résultats de mesure	89
5. Nettoyages de filtre à sable	89
5.1.La première étape	89
5.1.1. L'étape aérobie qui élimine les impuretés	89
5.1.2. La deuxième étape	90
6. Nettoyages de bassin d'eau filtrée	91
7. Contrôle de SDI	91
8. Conclusion	93

Chapitre V : L'impact du dessalement et les rejets sur l'environnement.

1.Introduction	95
2. Impacte du dessalement et les rejets sur l'environnement	95
2.1.Déchets salins	95
2.1.1.Élimination de la vie marine	95
2.1.2. Déséquilibre écologique	96
2.1.3. Impacte sur la qualité de l'eau (les produits chimiques)	97
2.1.4. Impact sur les écosystèmes côtiers	97
2.2. Perte de la biodiversité	97
2.3. Consommation énergétique	97
2.4. Impacte de Bruit	98
2.4.1. Perturbation de la faune marine	99

TABLE DES MATIERES

2.4.2. Impacte sur les écosystèmes côtiers	99
2.4.3. Impact sur la vie marine locale	99
2.4.4. Gêne pour les communautés locales	99
2.4.5. Impact sur la vie humaine	99
2.5. Émissions de gaz à effet de serre	100
2.6. Contamination des sols et des aquifères	100
2.6.1. Rejets de saumures	100
2.6.2. Utilisation de produits chimiques	101
2.6.3. Intrusion saline	101
2.7. Impacts sur le paysage	101
2.7.1. Modification de la ligne côtière	102
2.7.2. Impact visuel	102
2.7.3. Utilisation des terres	102
3. Les rejets du dessalement de station 19 mars El Oued	103
3.1. Les caractéristiques de rejet	103
3.1.1. Le rejet du 15/06/2021	103
3.3.2. Le rejet sur le jour 3/5/2023	103
3.2. Utilisation des rejets	104
3.2.1. Salinité	104
3.2.2. Le Sodium	106
3.2.3. Alcalinité et Dureté	107
3.2.3.1. Alcalinité	107
3.2.3.2. Eau dure : Calcium et magnésium	107

TABLE DES MATIERES

2.3.4. Concentration en éléments qui peuvent être toxiques	108
2.3.5. pH de l'eau d'irrigation	109
3. Observation sur la tolérance aux sels	110
3.1. Des plantes cultivées	110
3.1.1. Cultures maraîchères	110
3.1.2. Arbres fruitiers	111
3.2. Considérations sur la pratique des irrigations	111
4. Conclusion	112
Conclusion générale	115
Liste des références	

LISTE DES REFERENCES

Chapitre I : généralités sur les caractéristiques des eaux marines et saumâtres et les différentes techniques de dessalement.

Figure I.1 : Répartition de l'eau sur la planète. (OIEau, 2017).....	4
Figure I.2 : pH d'eau potable.....	8
Figure I.3 : Evaluation de la dureté de l'eau par le titre hydrotimétrique.....	9
Figure I.4 : Schéma général des différents procédés de dessalement	11
Figure I.5 : Schéma de La distillation.(Pajon-Perrault, 2008)	12
Figure I.6 : Membrane sélective	13
Figure I.7 : Schéma de la méthode de l'électrolytique.....	14
Figure I.8 : Schéma de l'osmose inverse.....	15
Figure I.9 : Membranes d'osmose inverse.....	16

Chapitre II : zone d'études unité de dessalement oued souf et estimation des besoins en eau.

Figure II.1 : La station de déminéralisation 19 mars	19
Figure II.2 : Image satellitaire de la station	20
Figure II.3 : Le forage Albien de la station (ELCHOHADA)	21
Figure II.4 : Schéma de principe de la station de 19 mars	22
Image II.5 : Schéma synoptique de la station d'El Oued 19 mars.....	22
Figure II.6 : Tours de refroidissement.....	25
Figure II.7 : Filtres à sable.....	26
Figure II.8 : Schéma synoptique de filtres à sable.....	26
Figure II.9 : Pompes de mélange.....	27
Figure II.10 : Pompes d'alimentation base pression (BP).....	27
Figure II.11 : Les filtres à cartouche.....	28
Figure II.12 : Points d'injection.....	28
Figure II.13 : Pompes d'alimentation haut pression (HP).....	29
Figure II.14 : Le placement des membranes par étage de l'osmose inverse.....	30

LISTE DES REFERENCES

Figure II.15 : Pompes d'eau traitée.....	31
Figure II.16 : Les châteaux d'eau alimentés par la station.....	32
Figure II.17 : pompes de rejet.....	32
Figure II.18 : Turbidimètre (TL2350, HACH)	34
Figure II.19 : Conductimètre (WTW-2CA101)	35
Figure II.20 : PH mètre (WTW 7110)	36
Figure II.21 : Détermination des bicarbonates (HCO_3)	37
Figure II.22 : Chlorimètre	38
Figure II.23 : Détermination de la dureté (TH)	39
Figure II.24 : détermination du calcium (Ca^{2+}).....	40
Figure II.25 : TDS mètre	41
Figure II.26 : étuve de laboratoire.....	42
Figure II.27 : spectrophotomètre (HACH DR3900).....	43
Figure II.28 : Mesure de fer (Fe)	44
Figure II.29 : Dosage de chlorure	45
Figure II.30 : l'échantillon d'eau avant et après le dosage.....	45
Figure II.31 : Densimètre (DMA 35).....	46
Chapitre III : contrôle de la qualité et aptitudes des eaux traitées.	
Figure III.1 : Variation de turbidité des eaux brutes et traitées.....	49
Figure III.2 : Variation de turbidité des eaux traitées.....	49
Figure III.3 : Variations de la Conductivité électrique des eaux brutes et traitées.....	51
Figure III.4 : Variations de la Conductivité électrique des eaux traitée.....	51
Figure III.5 : La variation de température des eaux brutes et traitées.....	52

LISTE DES REFERENCES

Figure III.6 : La variation de température des eaux traitées.....	52
Figure III.7 : La variation pH des eaux brutes et traitées.....	53
Figure III.8 : La variation du pH des eaux traitées et brutes.....	54
Figure III.9 : La variation du chlore libre des eaux traitées.....	55
Figure III.10 : La variation de TDS des eaux brutes et traitée.....	57
Figure III.11 : La variation de TDS des eaux traitée.....	57
Figure III.12 : La variation du résidu sec des eaux traitées.....	58
Figure III.13 : La variation de TAC des eaux brutes et traitées.....	59
Figure III.14 : La variation de TAC des eaux et traitées.....	59
Figure III.14 : La variation de la dureté totale TH des eaux brutes et traitées.....	60
Figure III.15 : La variation de la dureté totale TH des eaux traitées.....	60
Figure III.16 : La variation calcium des eaux brutes et traitées.....	61
Figure III.17 : La variation calcium des eaux traitées.....	62
Figure III. 18 : La variation de magnésium des eaux brute et traitées.....	62
Figure III.19 : La variation de magnésium des eaux traitées.....	63
Figure III.20 : La variation du nitrite des eaux brutes et traitées.....	64
Figure III.21 : La variation du nitrite des eaux traitées.....	64
Figure III.22 : La variation des nitrates des eaux brutes et traitées.....	65
Figure III.23 : La variation des nitrates des eaux traitées.....	65
Figure III.24 : La variation du fer des eaux brutes et traitées.....	66
Figure III.25 : La variation du fer des eaux traitées.....	66
Figure III.26 : La variation du sulfate des eaux brutes et traitées.....	67
Figure III.27 : La variation du sulfate des eaux traitées.....	68

LISTE DES REFERENCES

Figure III.28 : La variation de la silice des eaux traitées.....	68
Figure III.29 : La variation du chlorure des eaux brutes et traitées.....	69
Figure III.30 : La variation de chlorure des eaux traitées.....	70
Figure III.31 : La variation des bicarbonates des eaux brutes et traitées.....	70
Figure III.32 : La variation des bicarbonates d'eaux traitées.....	71
Figure III.33 : Représentation des analyses chimiques des eaux brute et traitées de la station par le diagramme de Piper.....	72
Figure III.34 : La variation de l'indice de qualité NFS pour les mois (Janvier, Février et Mars) de l'année 2023.....	76
Figure III.35 : La variation de l'indice de qualité pour les mois (Janvier, Février et Mars) de l'année 2023.....	80
Figure III.36 : Diagramme de Wilcox pour les eaux traitées de la station 19 mars.....	83
Figure III.37 : Diagramme de Riverside pour les eaux traitées de la station 19 mars.....	84
Chapitre IV : suivi de le SDI.	
Figure IV.1 : Compteur SDI.....	88
Figure IV.2 : Filtre à membrane (MCE MF-Milipore 0,45 µm).....	88
Figure IV.3 : Schéma représentant la technique de lavage des filtres.....	90
Figure IV.4 : Schéma synoptique de lavage de filtre à sable.....	90
Figure IV.5 : La variation SDI du mois de février de l'année 2023.....	91
Figure IV.6 : La variation SDI du mois de mars de l'année 2023.....	93
Chapitre V : L'impact du dessalement et les rejets sur l'environnement.	
Figure V.1 : Etat de l'écosystème de la mer avant et après le rejet de saumure	96
Figure V.2 : Répartition de la consommation d'énergie sur une installation de dessalement par osmose inverse (AIGR, 2009)	98
Figure V.3 : Les gaz à l'effet de serre	100

LISTE DES REFERENCES

Figure V.4 : Salinisation des aquifères	101
Figure V.5 : Une grande surface d'une usine de dessalement en Egypte	102
Figure V.6 : La salinité totale du rejet.....	104
Figure V.7 : La minéralisation du 15/06/2021	105
Figure V.8 : La minéralisation du 03/05/2023	105
Figure V.9 : La valeur de sulfate du 15/06/2021	109
Figure V.10 : les valeurs du ph	109

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : généralités sur les caractéristiques des eaux marines et saumâtres et les différentes techniques de dessalement.

Tableau I.1 : Salinité des eaux de mer6

Tableau I.2 : Les origines des bactéries trouvées dans l'eau (Haslay and Leclerc, 1993).....11

Tableau I.3 : Avantages et inconvénients des procédés (Jariri, 2009) 17

Chapitre II : zone d'études unité de dessalement oued souf et estimation des besoins en eau.

Tableau II.1 : Caractéristiques techniques de trois forages21

Tableau II.2 : Les caractéristiques de l'eau brute23

Chapitre III : contrôle de la qualité et aptitudes des eaux traitées.

Tableau III.1 : Les concentrations des paramètres physico-chimiques des échantillons analysés de l'eau brute et l'eau produite (05/02/2023).....50

Tableau III.2 : Les concentrations des paramètres minéral des échantillons analysés de l'eau brute et produite (05/02/2023).....60

Tableau III.3 : Classification des eaux.(Brown et al., 1972).....75

Tableau III.4 : Les résultats de l'application de l'IQE du NFS.....76

Tableau III.5 : Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE (Brown et autres, 1972)...79

Tableau III.6 : Les résultats de l'application de l'IQE Moyenne arithmétique pondérée.....79

Tableau III.7 : Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR (M, Louvier, 1976- BRGM)82

Tableau III.8 : Les classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation.....84

Chapitre IV : suivi de le SDI.

Tableau IV.1 : Les résultats de mesure de l'SDI.....92

Tableau IV.2 : La variation SDI du mois de février.....91

Tableau IV.4 : La variation SDI de mois de mars.....92

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre V : L'impact du dessalement et les rejets sur l'environnement.

Tableau V.1 : Bulletin D'analyses de 15/06/2021103

Tableau V.2 : Bulletin D'analyses de 03/05/2023103

LISTE DES ABREVIATION

OMS : Organisation mondial de la santé

N.A : les normes algériennes

OI : osmose inverse

I T R O D U C T O I N
G E N E R A L E

Introduction générale

L'accès à une source d'eau potable propre et sécurisée est un défi majeur dans de nombreuses régions du monde. Avec la croissance démographique rapide, l'urbanisation et les changements climatiques, la demande en eau douce dépasse souvent l'approvisionnement disponible. Les ressources en eau de la région méditerranéenne sont limitées, fragiles et menacées. Elles font déjà l'objet d'une exploitation intensive, notamment dans le Sud et à l'Est où la saison sèche se caractérise par sa longueur, avec une pluviométrie annuelle faible (UNEP, 2001). Dans ce contexte, le dessalement de l'eau émerge comme une solution prometteuse pour répondre à cette demande croissante.

Le dessalement de l'eau, également connu sous le nom de déminéralisation, est le processus de conversion de l'eau de mer, de l'eau saumâtre ou de l'eau salée en eau douce utilisable. Ce procédé permet de surmonter la limitation des ressources en eau douce en exploitant les vastes réserves d'eau salée présentes dans les océans, les mers et les nappes souterraines. Le dessalement de l'eau offre ainsi une opportunité cruciale pour augmenter l'approvisionnement en eau dans les régions arides et les zones côtières. L'expérience Algérienne dans le domaine de la déminéralisation remonte aux années soixante, c'est à partir de l'an 2000 et suite aux nombreux cycles de sécheresses sévères, que l'Algérie a intégré dans sa nouvelle politique de l'eau le dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres, comme moyen de mobilisation d'eau complémentaire, pour faire face aux différents plans de développement (UNEP, 2001)

Ce travail se focalise sur une étude approfondie du procédé de dessalement ainsi que des caractéristiques chimiques et physico-chimiques de l'eau potable traitée et dessalée par la station de dessalement de l'eau saumâtre du 19 mars d'El Oued. Cet objectif principal se décline en deux sous-objectifs qui définissent ces axes d'études :

- ✚ Une étude du procédé de dessalement dans la station de dessalement 19 mars d'El Oued.
- ✚ Une exploration des caractéristiques physico-chimiques selon les normes de l'OMS et l'aptitude des eaux traitées.

En outre, ce mémoire se compose principalement de deux parties :

La première partie : qui est relatif à l'étude bibliographique, contient deux chapitres :

Dans le premier chapitre nous allons tout d'abord défini les différents types d'eaux salées (eau saumâtre et eau de mer), les propriétés physico-chimiques d'une eau, Puis présenté les

différentes techniques de déminéralisation des eaux en décrivant le phénomène d'osmose inverse.

Dans le deuxième chapitre nous allons présenter la station de dessalement 19 mars et les matériels et méthodes utiliser dans la station.

La deuxième partie : est présentée dans les chapitres III, IV, elle est relative à la partie pratique qui porte sur l'exploitation et l'interprétation des données et résultats, et l'impact de dessalement sur l'environnement.

Nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale.

CHAPITRE I

Généralités sur les caractéristiques des eaux marines et saumâtres et
les techniques de dessalement

1. Introduction

L'eau est un élément vital pour la vie et est utilisée pour diverses activités, telles que l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable, l'industrie, le tourisme, la pêche, etc.

Selon les Nations Unies, 97,5% du stock d'eau de la planète est salée et seulement une fraction correspondant à 2,5 % se compose d'eau douce. Environ 70% de cette eau douce est fixée dans les calottes glaciaires des pôles et une partie importante des 30% restants est constituée par des nappes aquifères souterraines (Figure I.1). Seule une fraction minuscule de l'eau douce (moins de 1% de l'eau douce totale, soit 0,007 % du stock d'eau mondial) est alors disponible dans les cours d'eau, les lacs et les réservoirs et est facilement accessible à l'homme pour son utilisation directe. (Organisation Mondiale de la Santé, 2005)

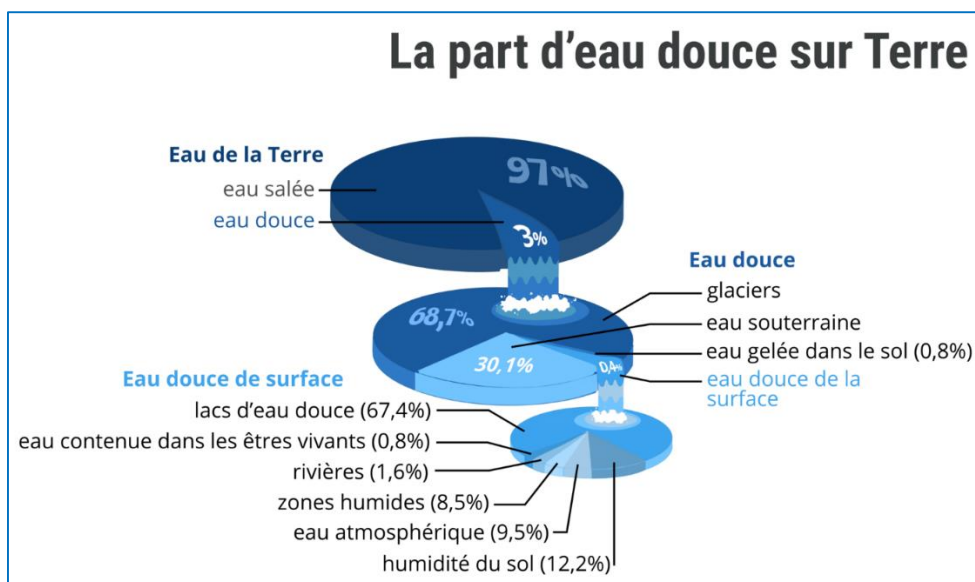


Figure I.1 : Répartition de l'eau sur la planète. (OIEau, 2017)

2. Source d'eau

Les sources d'eau sont des réservoirs naturels de liquide, Il existe plusieurs types de sources d'eau, notamment :

2.1.L'eau douce de surface

Désigne toutes les eaux qui se trouvent à la surface de la Terre, telles que les rivières, les lacs, les étangs, les canaux, les marais, etc. Leur volume total est très faible : il représente 0,18 millions de km³, soit 0,013 % de l'hydrosphère. Cette eau est considérée comme douce parce qu'elle contient très peu de sels dissous comparé à l'eau de mer.

Les eaux douces de surface sont soumises à de nombreux types de stress environnementaux, tels que la pollution, la surpêche, la surexploitation, la modification des habitats naturels et les changements climatiques.

2.2.L'eau de mer

Les sources d'eau de mer sont des réservoirs d'eau salée, tels que les océans, les mers qui recouvrent environ 71% de la surface de la Terre. Elles sont en grande partie formées par la fusion des eaux douces provenant de rivières et de lacs avec l'eau salée dissoute dans les fonds marins.

L'hémisphère sud est le principal réservoir d'eau de mer. Dans l'hémisphère nord on trouve plusieurs mers salées qui communiquent pour certaines avec l'océan (mer Méditerranée, mer Baltique, etc.)

Les sources d'eau de mer sont une source importante de nourriture pour de nombreuses espèces marines et sont également utilisées pour la production de sel, l'extraction de minéraux et la production d'énergie éolienne et hydroélectrique. Cependant, elles peuvent également être menacées par la pollution, la surpêche et les changements climatiques.

2.3.Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont des réservoirs d'eau situés sous la surface de la Terre, qui peuvent être accessibles par des puits ou des forages. Elles se forment lorsque l'eau de pluie et d'autres précipitations pénètrent dans le sol et se déplacent à travers les couches de roche et de sol jusqu'à ce qu'elles atteignent une couche imperméable où elles peuvent s'accumuler.

Les eaux souterraines sont très importantes pour les communautés humaines, car elles fournissent une source fiable et durable d'eau potable et sont utilisées pour l'irrigation, la production d'énergie hydroélectrique, les activités industrielles et les activités de refroidissement.

Cependant, les eaux souterraines peuvent également être menacées par la pollution, la surutilisation, la modification de l'habitat naturel et les changements climatiques. Il est donc important de les gérer de manière durable pour préserver leur qualité et leur disponibilité pour les générations futures.

Les aquifères représentent un réservoir d'eaux souterraines correspondant à un volume d'environ 8 millions de km³, soit 0,6 % de l'hydrosphère. Elles constituent notre principale ressource en eau douce (Bakalowicz, 1999).

3. Caractéristiques des eaux marines et saumâtres

3.1. Les eaux marines

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g.l⁻¹ et c'est cette valeur qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitations– évaporations. La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques (Tableau 1) :

Tableau I.1 : Salinité des eaux de mer

Mer	Salinité (g.l ⁻¹)
Mer Méditerranée	36 à 39
Mer Rouge	40
Mer Caspienne	13
Mer Morte	270
Golfe Arabo-Persique	36 à 39
Mer Baltique	7
Mer Noire	20

Le pH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 et 8,4, l'eau de mer est un milieu légèrement basique. (Renaudin and Champion, 2003)

3.2. Les eaux saumâtres

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend

donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl .

3.3.Eau déminéralisée

Il est connu 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 nécessaire. 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. (Atallah, 2014)

3.4.Propriété Physico-Chimique

3.4.1. Concentration en ions hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau en d'autre terme de la concentration en ions d'hydrogène (H^+).

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+].$$

Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des Terrains traversés.

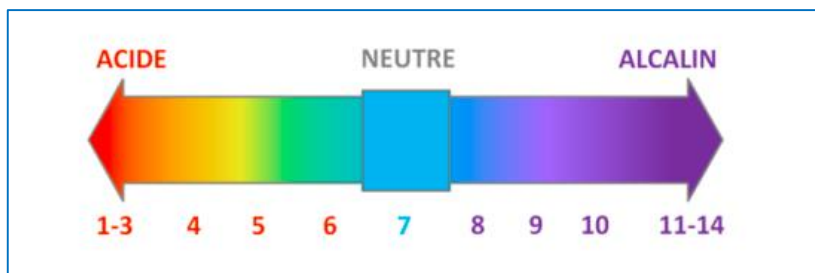


Figure I.2 : pH d'eau potable.

3.4.2. Conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution, il n'existe pas de procédé de modification de la conductivité. Par contre, en production d'eau industrielle ou en dessalement des eaux de mers ou des eaux saumâtres, l'élimination des ions ne se fera pas des traitements d'échange ionique ou de séparation membranaire.

3.4.3. Température

La température de l'eau est l'une des caractéristiques physiques importantes qui influence sa qualité et ses utilisations. Elle est mesurée en degrés Celsius (°C) et peut varier en fonction de divers facteurs tels que la saison, l'emplacement géographique, l'heure de la journée, les conditions météorologiques, etc.

La température de l'eau peut avoir des impacts significatifs sur différents aspects. Par exemple, pour l'eau destinée à la consommation humaine, une température excessive peut rendre l'eau moins agréable à boire, tandis qu'une température trop basse peut causer une sensation de froid désagréable. De plus, la température de l'eau peut influencer la croissance des microorganismes et la formation de biofilms dans les systèmes de distribution d'eau.

3.4.4. Dureté (TH)

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.

Dans l'eau, sont déterminées :

- 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.

Les eaux Algériennes sont mi-dures avoisinant les 30F° en dureté dans le nord (Achour and Moussaoui, 1993) et sont considérées comme dures (TH supérieurs à 40 et 50F°) au Sud du pays (Seghairi, 1998).



Figure I.3 : Evaluation de la dureté de l'eau par le titre hydrotimétrique.

3.4.5. Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité de réagir avec les ions H^+ qui est due à la présence des constituants alcalins HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- . On distingue deux types d'alcalinité :

-Alcalinité totale (ou titre alcalimétrique totale complet) :

$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$$

-Alcalinité composite (ou titre alcalimétrique) :

$$TA = [OH^-] + (1/2) [CO_3^{2-}]$$

-Le TA est déterminé par neutralisation avec un acide fort (H_2SO_4) en présence d'un indicateur coloré (phénophtaléine, coloration rose après titrage devient incolore).

pH < 8,3 alors le TA = 0 ; TAC = $[HCO_3^-]$

pH > 8,3 alors le TA \neq 0

De la même façon que TA, le TAC est déterminé par neutralisation de tout l'alcalinité avec un acide fort en présence d'hélianthine coloration rouge.

3.4.6. Les Matières en suspension

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui sont insolubles dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux (Tfeila et al., 2016).

3.5. Paramètres organoleptiques

3.5.1. 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. Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire. (Rodier et al., 2009)

3.5.2. 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. (Rodier et al., 2009)

3.5.3. 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 eaux superficielles et souterraines selon leur origine. (Rodier et al., 2009)

3.6. Caractéristiques 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 par les propriétés de l'agent infectieux. 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 (Tableau 2) tels que le choléra, la dysenterie bacillaire ou les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes. (Rodier et al., 2009)

Tableau I.2 : Les origines des bactéries trouvées dans l'eau (Haslay and Leclerc, 1993)

Origine	Maladies	Agents pathogènes
Parasitaire	Dysenterie amibienne	Entamoeba histolyca
	Gastro-entérites	Giardia lamblia Cryptosporidium parvum
Bactérienne	Fievres, typhoïde et paratyphoïde	Salmonella typhi Salmonella paratyphi A et B
	Dysenterie bacillaire	Shigella
	Cholera	Vibrio cholera
	Gastro-entérites	Escherichia coli Yersinaenterocolitica
Virale	Hépatites A et E	Virus hépatite A et E
	Gastro-entérites	Rota virus, Entérovirus Calicivirus, Adénovirus

4. Les techniques de dessalements

La totalité des installations actuellement en service fait appel à deux grandes familles de procédés :

Les procédés de distillation (par évaporation) et les procédés de séparation par membranes qui sont plus récents (**Figure I.4**).

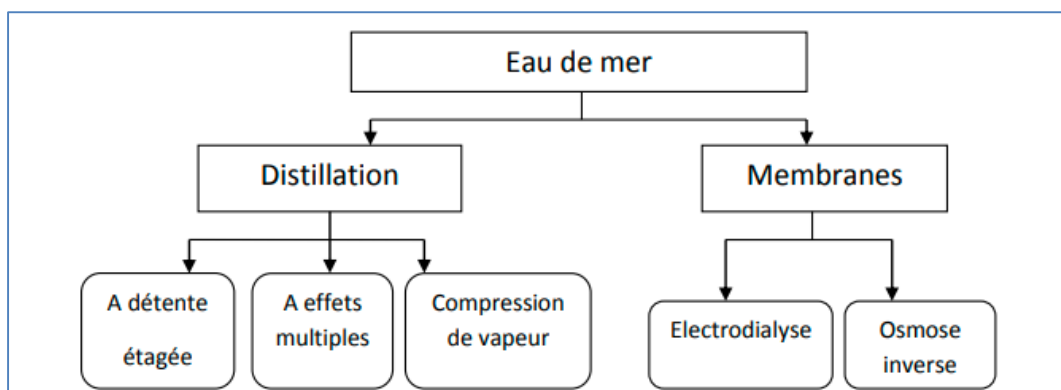


Figure I.4 : Schéma général des différents procédés de dessalement

4.1. Procédés de distillation

Cette technique fut la première à être employée et concerne encore 60 à 85 % des installations. Elle repose sur un principe de changement de phase eau liquide - vapeur. Pour cela, on chauffe l'eau salée jusqu'à évaporation et la vapeur d'eau condensée est récupérée en refroidissant. (Pajon-Perrault, 2008)

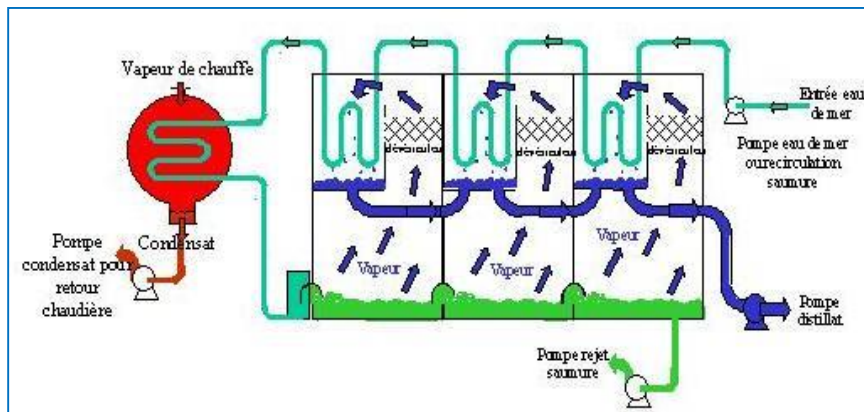


Figure I.5 : Schéma de La distillation.(Pajon-Perrault, 2008)

C'est la méthode la plus simple mais aussi la plus consommatrice en énergie (le coût énergétique représente environ un tiers du coût total). Elle n'est donc rentable que dans les pays où l'énergie est très bon marché. C'est ainsi que les deux tiers des capacités mondiales de dessalement se situent dans les pays du Golfe, qui ont à la fois beaucoup de pétrole et quasiment pas de ressources d'eau douce. Si cette eau est destinée à la consommation, son goût de l'eau est généralement peu satisfaisant et une déminéralisation est nécessaire. (Pajon-Perrault, 2008)

4.2. 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.

4.2.1. Définition d'une membrane

Une membrane est définie comme étant une couche mince de matière, qui permet l'arrêt ou le passage sélectif de substances dissoutes ou non, sous l'action d'une force motrice de transfert (Tamas, 2004). Une membranes semi- sélectives est une membrane permettant certains transferts de matière entre deux milieux qu'elle sépare, en interdisant d'autres, ou plus généralement, en favorisant certains par rapport à d'autres (Figure I.6) (Wagner, 2001).

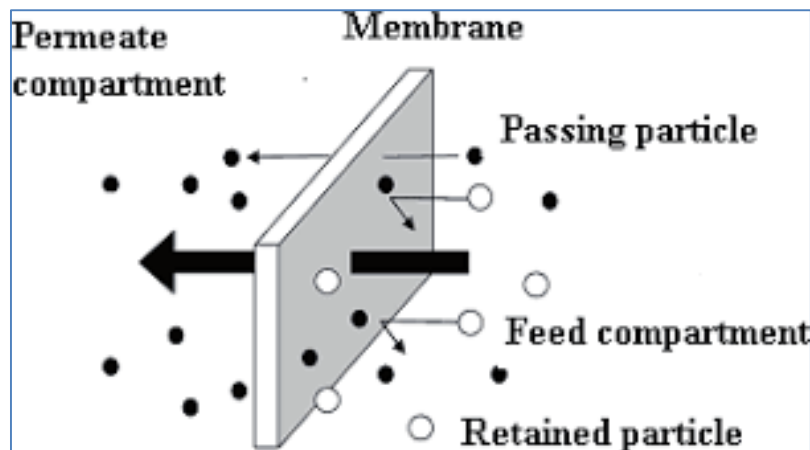


Figure I.6 : Membrane sélective

Les membranes d'OI sont composées d'une couche mince (couche active : peau) de faible épaisseur comprise entre 0,1 μ m et 1,5 μ m, composant des micropores. Cette couche active est supportée par une ou plusieurs couches, plus poreuses et mécaniquement plus résistantes à la fois (AUDINOS, 2000).

4.2.2. L'électrodialyse

Cette méthode repose, sur une séparation sels-eau en faisant appel à une membrane semi-perméable mais le principe physique utilisé est différent. L'électrodialyse désigne le transfert des ions à travers une membrane qui leur est perméable, sous l'effet d'un champ électrique. Ainsi, les ions d'un sel dissous dans l'eau, (Na^+ et Cl^- , pour l'eau de mer) peuvent se déplacer sous l'action d'un champ électrique créé par deux électrodes trempant dans le liquide. Les ions positifs ou cations (Na^+) sont attirés par l'électrode négative (ou cathode) tandis que les ions négatifs (Cl^-) sont attirés par l'électrode positive.

Dans l'électrodialyse, on intercale alternativement des membranes filtrantes soit imperméables aux anions et perméables aux cations, soit imperméables aux cations et perméables aux anions. On obtient ainsi une série de compartiments à forte concentration de sels et d'autres à faible concentration. (Pajon-Perrault, 2008)

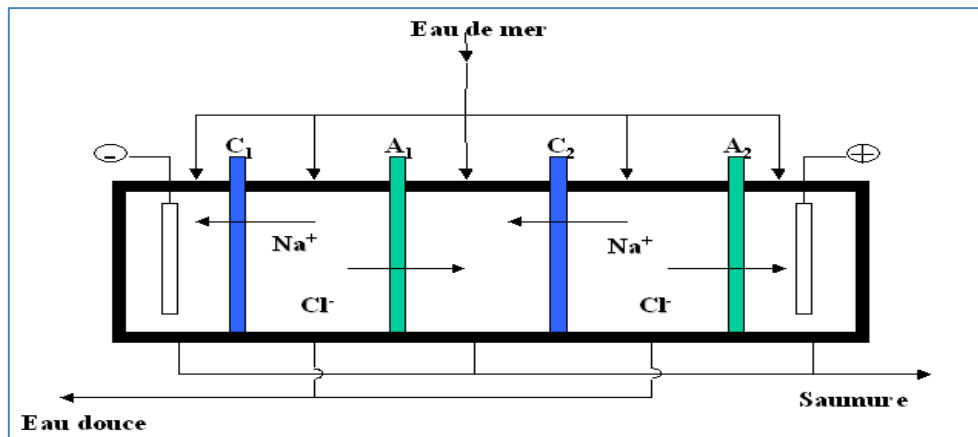


Figure I.7 : Schéma de la méthode de l'électrolytique.

L'électrodialyse est bien adaptée aux eaux saumâtres dont la salinité est assez faible, inférieure à celle de l'eau de mer. C'est une technique assez peu consommatrice en énergie mais elle ne convient qu'à la faible préparation de liquide.

De plus, elle est productrice de résidus polluants, assez "encombrants", notamment d'eau de Javel. (Pajon-Perrault, 2008)

4.2.3. Osmose Inverse

L'osmose inverse est un procédé de filtration tangentielle qui permet l'extraction d'un solvant, le plus souvent l'eau, par perméation sélective à travers une membrane dense sous l'action d'un gradient de pression. Elle s'oppose au phénomène naturel d'osmose qui tend à transférer le solvant d'une solution diluée vers une solution concentrée mises en contact par une membrane sélective sous l'action du gradient de concentration (Figure I.8).

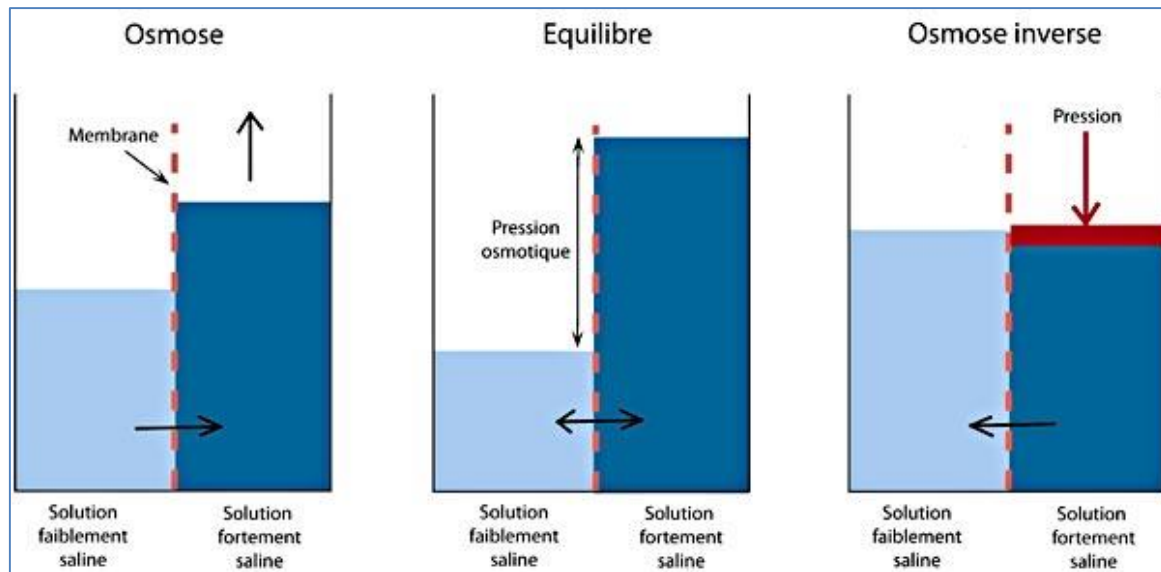


Figure I.8 : Schéma de l'osmose inverse

Lorsqu'une pression est appliquée sur le compartiment le plus concentré, le flux de solvant diminue jusqu'à s'annuler pour une pression égale à la pression osmotique de la solution. Lorsque la pression appliquée est supérieure à cette pression osmotique, le flux s'inverse c'est le phénomène d'osmose inverse. La pression efficace correspond donc à la pression de part et d'autre de la membrane (pression transmembranaire, P_{tm}) diminuée de la différence de pression osmotique ($\Delta\Pi$) de part et d'autre de la membrane (Sagne, 2008).

Pour les solutions diluées, considérées comme thermodynamiquement idéales, la pression osmotique est calculée à partir de l'équation de Van't Hoff (Maurel, 2006):

$$\Pi = C R T$$

Π : pression osmotique de la solution, Pa

C : concentration de la solution, mol.m^{-3}

R : constante des gaz parfait, $8,31 \text{ J.mol}^{-1} .\text{K}^{-1}$

T : température, K

Les membranes d'OI sont des membranes denses et pour obtenir des flux de transfert élevés et vaincre la pression osmotique des solutions traitées, des pressions relativement élevées doivent être utilisées. Les applications principales de l'Osiose inverse sont l'élimination de sels organiques ou inorganiques ou des molécules dans l'eau.

Les membranes d'osmose inverse se présentent aujourd'hui presque exclusivement sous forme des modules spiralés qui sont des cylindres multicouches constitués d'une superposition de feuillets de membranes enroulés autour d'un tube percé qui collecte le perméat (Figure I.9). (ZAIDI, 2019)

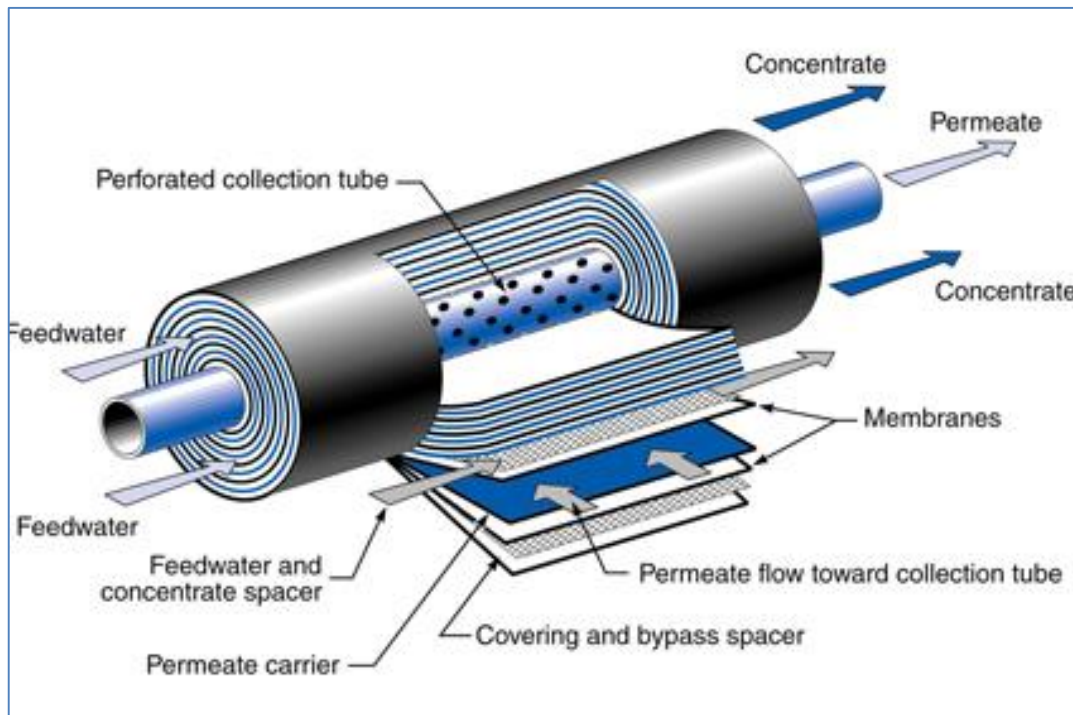


Figure I.9 : Membranes d'osmose inverse.

Ce dernier s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube central tandis que le retentât circule le long de l'axe dans les canaux formés par les feuillets de membranes. Il existe également des modules en fibres creuses. Les membranes sont en général en polyamide, aromatique déposée sur un support poly sulfone sur polyester, présentant une meilleure tenue mécanique, chimique et thermique et générant des densités de flux plus élevées (Sagne, 2008).

Elles sont donc en général composées de 3 couches :

- La base ($\sim 100 \mu\text{m}$), formée d'un matériau inerte type textile tissé ou non (ex : polyester téréphtalique), assure la résistance physique du film. Elle est trop grossière pour permettre le dépôt en couche mince de la partie active ;
- Le support ($\sim 50 \mu\text{m}$) est une membrane d'ultrafiltration aux pores plus fins, calibrés (ex : poly sulfone). Il assure la résistance mécanique de l'ensemble ;

- La couche active superficielle ($\sim 0,1$ à $0,2 \mu\text{m}$) permet la séparation des espèces. Elle est déposée sur le support. Le polymère le plus employé est le polyamide aromatique. Il est traité différemment selon les fabricants et les modèles employés.

4.3. Avantages et inconvénients de chaque procédé

Tableau I.3 : Avantages et inconvénients des procédés (Jariri, 2009)

	Avantages	Inconvénients
Distillation	<ul style="list-style-type: none"> -Indépendance à la variation de la qualité d'eau brute. -Utilisation pour des grandes capacités de production d'eau. -Exploitation relativement aisée. -Une eau produite présentant un TDS faible requis particulièrement pour les besoins industriels. 	<ul style="list-style-type: none"> - Un taux de conversion bas (inférieur à 35%). -Une consommation spécifique d'énergie relativement élevée (8 à 25 KWh/m³ selon le procédé). - Une non flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau. -Un coût d'investissement élevé.
Osiose inverse	<ul style="list-style-type: none"> -Un taux de conversion élevé (supérieur à 55%). -Une consommation spécifique d'énergie basse (3 à 5Kwh/m³). -Une flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau. -Un coût d'investissement relativement bas. -Une durée de mise en œuvre réduite. 	<ul style="list-style-type: none"> -Sensibilité à la variation de la qualité d'eau brute et surtout aux pollutions. -Nécessité d'un personnel qualifié. -Exploitation relativement difficile surtout au niveau du prétraitement. -Un coût de maintenance élevé dû aux frais de renouvellement des membranes d'une durée de vie ne dépassant pas 7 ans à présent.

5. Conclusion

Le dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre est une solution urgente pour répondre à l'approvisionnement en eau des villes côtières ou sahariennes surpeuplées. Ces dernières années, la consommation d'eau a augmenté pour répondre à la demande de ressources en eau générée par la situation de sécheresse dans le monde au cours de la dernière décennie. La décision de construire des usines de dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre pour fournir de l'eau potable à la population était une solution intelligente.

CHAPITRE II

Zone d'étude unité de dessalement Oued Souf

1. Introduction

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

La technologie a changé ces dernières années, tout comme les types de contrats. Dans cette partie, nous présentons l'application du procédé d'osmose inverse à la station de déminéralisation de la Wilaya d'el Oued Souf.

2. Présentation de la station de déminéralisation 19 mars

La station 19 MARS OTHMEN GUEDIRI est une station de déminéralisation\dessalement situé dans la willaya d'El Oued (Figure II.2).

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

La mise en service finale de la station de déminéralisation de 19 MARS OTHMEN GUEDIRI (Figure II.1) était en Avril 2020 dont la capacité de production est de $30\,000\ m^3/j$ par la technique d'osmose inverse, assurant l'approvisionnement en eau potable de la commune d'EL OUED, soit une population d'environ 198 700 habitants.



Figure II.1 : La station de déminéralisation 19 mars



Figure II.2 : Image satellitaire de la station

La station de déminéralisation a pour but de réduire la TDS entre 0.3 et 0.6 g/l et adapter les paramètres physico-chimiques de l'eau aux exigences contractuelles et les normes Algériennes et mondiales.

La station est alimentée par trois forages (Figure II.4) de la nappe Albienne.

3. Description de la nappe de l'Albien

La nappe de l'Albien se trouve en grande partie dans le Sahara Algérien, elle est la plus grande réserve d'eau douce au monde. Elle contient plus de 50 000 milliards de mètres cubes d'eau douce, l'équivalent de 50 000 fois le barrage de Béni Haroun qui se trouve à l'Est du pays et qui alimente six wilayas limitrophes. Cette eau est le résultat de l'accumulation qui s'est effectuée au cours des périodes humides qui se sont succédé depuis 1 million d'années.

Cette nappe d'eau de l'Albien est une nappe phréatique aquifère, est une nappe d'eau que l'on rencontre à faible profondeur. Elle alimente traditionnellement les forages et les sources en eau potable sans utiliser des pompes à haute pression pour faire remonter l'eau à la station. Elle est exposée à la pollution lors de l'exploitation de la zone pétrolière et de la zone gazière. (ZAIDI, 2019)

Tableau II.1 : Caractéristiques techniques de trois forages

Le forage	Profondeur	Température	Débit	TDS
ELCHOUHADA	1800 km	60°C	490 m ³ /h	2 g/l
ROUTE TOUGGOURT	1800 km	60°C	485 m ³ /h	2 g/l
19 MARS	1800 km	58°C	300 m ³ /h	2 g/l



Figure II.4 : Le forage Albien de la station (ELCHOUHADA)

4. Description du processus de dessalement dans la station

4.1.Procédé de traitement

Les principales composantes de la chaîne de traitement des eaux sont expliquées dans les figures 4 et 5 :

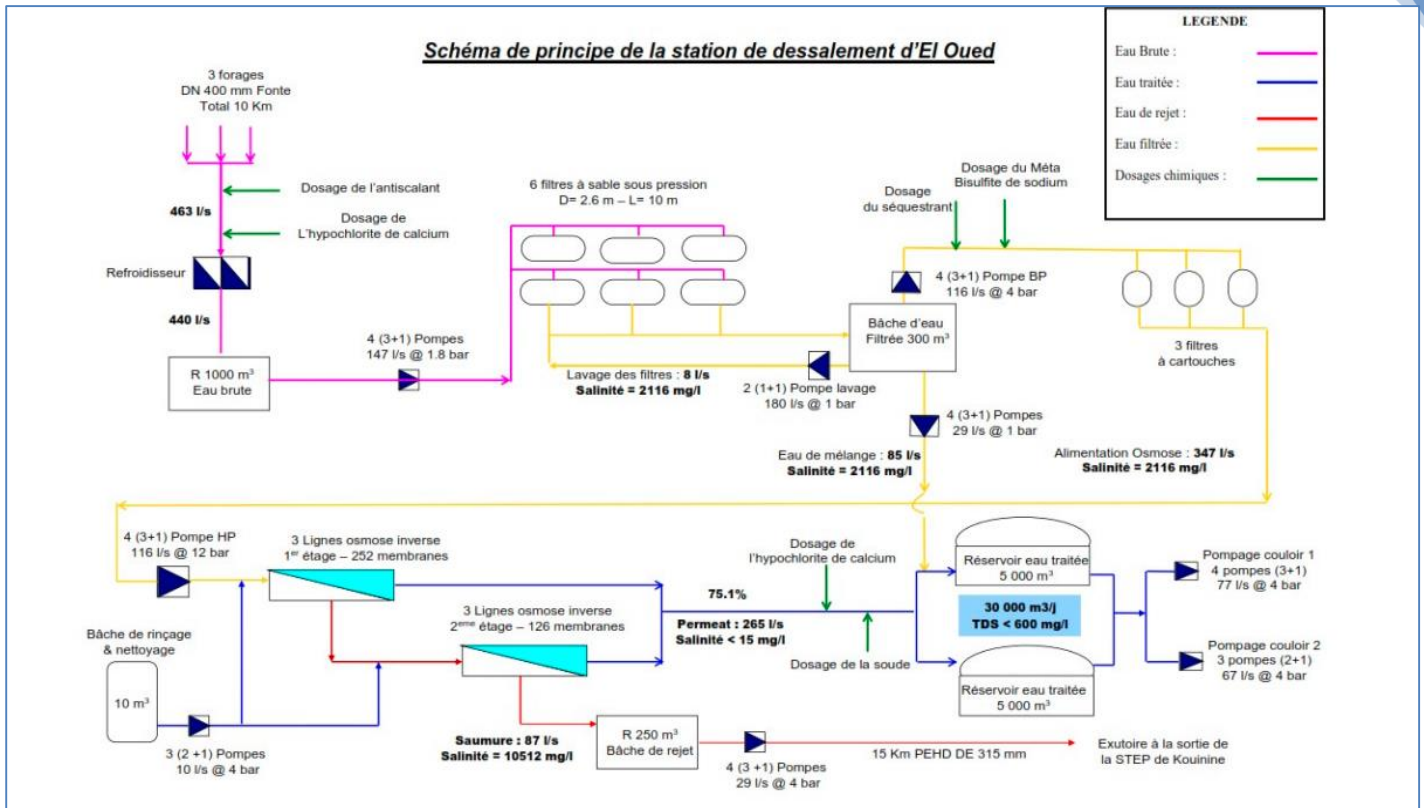


Figure II.4 : Schéma de principe de la station de 19 mars

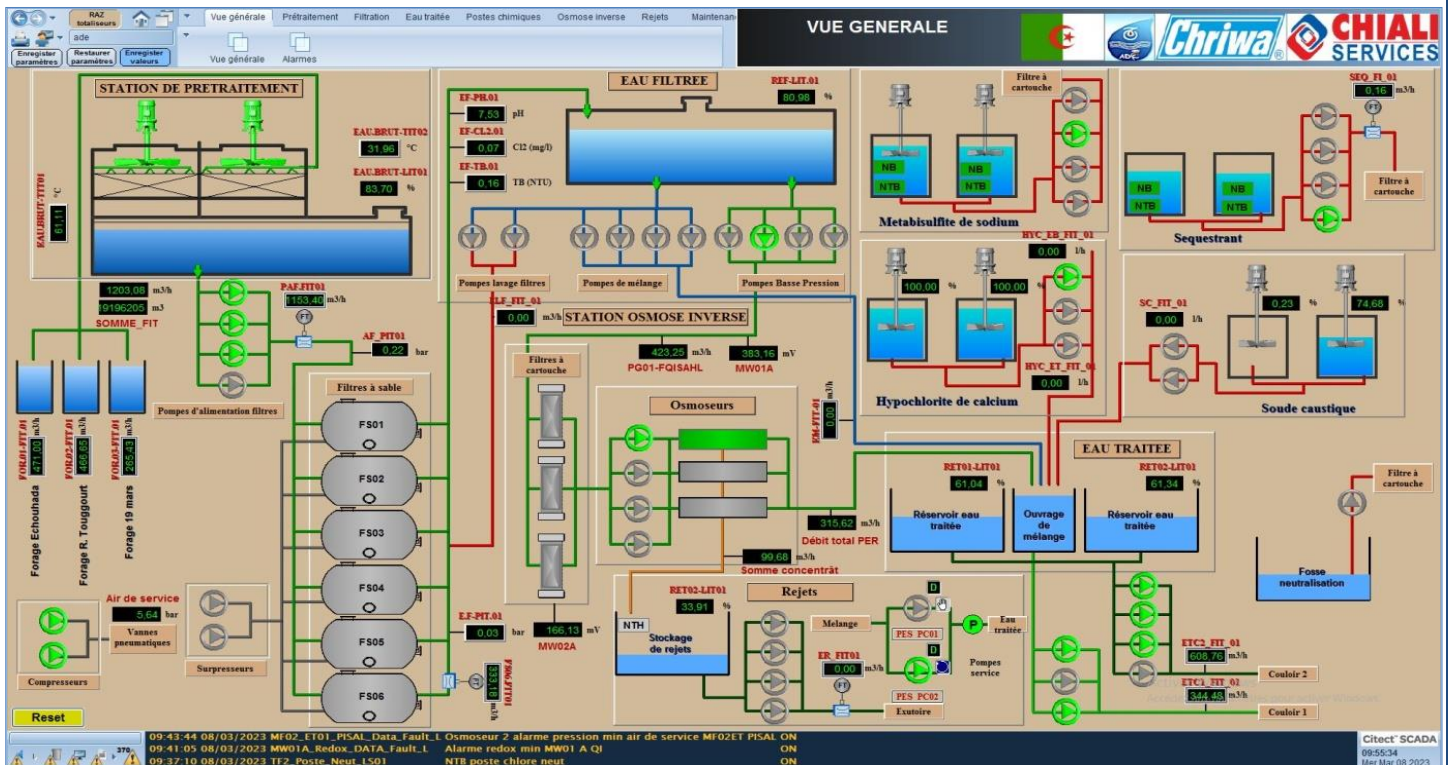


Image II.5 : Schéma synoptique de la station d'El Oued 19 mars.

4.1.1. Postes auxiliaires

En outre, les unités auxiliaires suivantes sont prévues pour l'exploitation la station de traitement :

- Poste de rinçage à l'eau des filtres à sable.
- Poste de nettoyage de membranes.
- Poste de pompage des eaux potable.
- Poste de préparation et de dosage des produits chimiques.
- Poste d'eau de service.

4.2. Processus appliqué dans à la station de la déminéralisation

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

4.2.1. Le captage de l'eau saumâtre

L'eau brute est captée de ces trois forages : ELCHOHADA (figure II.4), ROUTE TOUGGERT, et 19 MARS.

Les caractéristiques de l'eau brute pour les trois forages presque la même :

Tableau II.2 : Les caractéristiques de l'eau brute

Constituants	Unité	Concentration
Température	°C	60
pH	/	7.5
Conductivité	µs/cm	2920
Turbidité	NTU	/
Calcium	mg/l	245
Magnésium	mg/l	83
Sodium	mg/l	292
Potassium	mg/l	49
Bicarbonates	mg/l	165
Sulfates	mg/l	642
Chlorides	mg/l	538
Silice SiO ₂	mg/l	29
Résidu sec	mg/l	2106

4.2.2. Le prétraitement

4.2.2.1.L'objectif de prétraitement

Le prétraitement de l'eau saumâtre avant l'osmose inverse est absolument nécessaire car ces membranes sont très sensibles au colmatage.

Les étapes de prétraitement :

Cette étape est composée de (02) deux opérations :

1^{ère} opération : le refroidissement d'eau.

2^{ème} opération : système de filtration.

4.2.2.2.Le refroidissement d'eau

L'eau est refroidie de 60°C à 30°C par une tour de refroidissement (Figure II.6). Se compose de deux unités de ventilation à contre-courant. La sortie de la tour sera équipée d'un débitmètre à pression différentielle capable de mesurer le débit d'eau sortant.

Tour de refroidissement contient suffisamment de sel (tel que les chlorures, les sulfates et les carbonates), de gaz dissous et d'ions métalliques. L'existence de ces polluants cause encrassement des diffuseurs et des systèmes de ruissellement ainsi que corrosion et développement biologique, les bactéries et autres micro-organismes pathogènes sont courants et souvent présents dans l'eau des tours de refroidissement.

Contient un système de recirculation ouvert, Les micro-organismes peuvent passer de l'air à l'eau.

Pour remédier à ces deux phénomènes, des agents séquestrant sont injectés pour prévenir ou réduit la formation de CaCO_3 et d'hypochlorite de calcium pour la stérilisation en colonne.

Ces deux réactifs seront injectés sur le collecteur général de l'eau avant le mélangeur statique.



Figure II.6 : Tours de refroidissement.

4.2.2.3. Système de filtration

4.2.2.3.1. Filtres à sable

Pour la filtration de l'eau brute Refroidie, six (06) filtres à sable (Figures II.6 et II.7) seront fournis élimination des matières en suspension. Chaque filtre est en fait composé de plusieurs couches de gravier, Sable et charbon.

Le filtre est horizontal sous pression avec 3 couches de graviers, de sable et charbon. Ces charges filtrées sont placées sur un sol métallique tapissé de buses distribué.

La vitesse de filtration utilisée en fonctionnement normal est de 10 à 15 mm/h des filtres à sable, qui assureront un indice de colmatage relativement faible pour l'alimentation de l'osmose inverse.

Le lavage à contre-courant du filtre à sable est assuré par de l'eau filtrée stockée à une vitesse de 25 m/h dans le bassin d'eau du filtre.

Lavage à l'eau et à l'air à l'aide d'une pompe de lavage et d'un souffleur air, pour laver à contre-courant les matériaux du filtre en introduisant de l'air en surpression, le reflux permet un meilleur lavage à contre-courant avec de l'eau.



Figure II.7 : Filtres à sable.

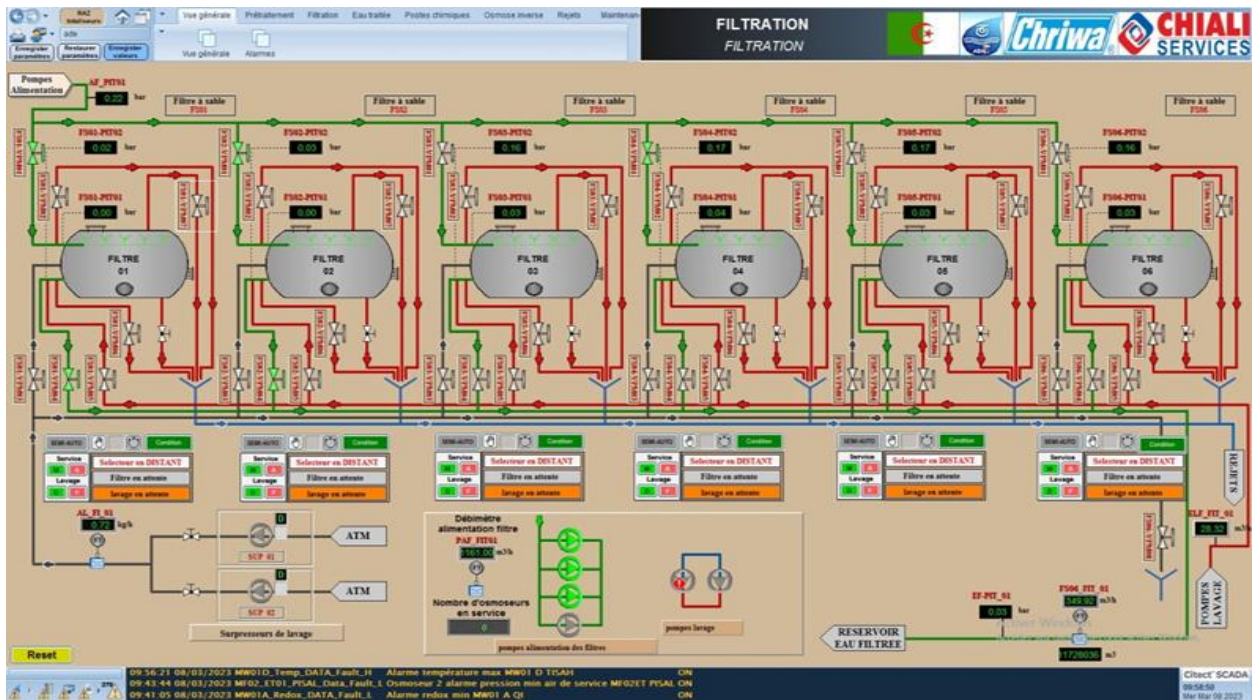


Figure II.8 : Schéma synoptique de filtres à sable.

4.2.2.3.2. Pompe de mélange

Son rôle est d'ajouter de l'eau à partir des filtres à sable pour corriger les paramètres de l'eau produite, leur mode de fonctionnement est (3+1 c à d 3 en marche et une en standby) comme suit :



Figure II.9 : Pompes de mélange.

4.2.2.3.3. Pompes d'alimentation basse pression

Quatre (3+1) pompes d'alimentation basse pression 420 m³/h permettent d'alimenter des filtres à cartouche par de l'eau filtrée.



Figure II.10 : Pompes d'alimentation base pression (BP).

4.2.2.3.4. Filtres à cartouches

Sont composés de 6 unités et 39 éléments dans chaque filtre (Figure II.11).

Pour éviter le passage de grosses particules ou de sable fin dans le système membranes, fournissant des systèmes de filtres à cartouche jetables. Les cartouches sont basées sur fil de polypropylène enroulé en spirale avec une limite d'élasticité nominale de 5 Microns.

En aval du micro filtre, il existe des points de mesure pour certains paramètres de fonctionnement (par exemple le potentiel redox, le pH et la température).

Avant les filtres à cartouche il y a deux points d'injections :

Injection du métabisulfite de sodium (SMBS) pour éliminer le chlore libre et l'injection de l'anti-scalant afin d'éviter la formation de calcaire et d'algues dans l'osmose (Figure 12)



Figure II.11 : Les filtres à cartouche.



Figure II.12 : Points d'injection.

4.2.2.3.5. Pompes d'alimentation haut pression

Quatre (3+1) pompes d'alimentation haute pression vers l'unité d'osmose inverse ($420 \text{ m}^3/\text{h}$).



Figure II.13 : Pompes d'alimentation haut pression (HP).

4.2.2.3.6. L'osmose inverse

L'osmose inverse (Figure II.14) fonctionne en appliquant une pression sur la solution à dessaler. Supérieure à la pression osmotique de la solution sous l'action du débit d'eau en sens inverse à travers la membrane semi-perméable (depuis eau salée à la chambre d'eau douce). Un système d'osmose inverse se compose de trois lignes, ventilé par la position aux températures moyennes, c'est une capacité de production totale de $22500 \text{ m}^3/\text{j}$ le taux de conversion était de 75,1%.

Chaque ligne d'osmose inverse est configurée en deux étapes en fonction de la proportion de tuyaux.

L'équilibre entre la première et la deuxième phase est déterminé par valve anti-implosion de premier ordre.

Produit final avec trois lignes d'osmose inverse mélangées à l'eau filtrée il est situé sur une cuvette d'une capacité de $2 \times 5000 \text{ m}^3$. Après minéralisation le mélange ne dépasse pas 600 mg/l .

Prévoit d'infuser de la soude caustique pour ajustement du pH et hypochlorite de calcium pour injection désinfecteur. Le procédé est simple mais présente un vrai problème en termes de colmatage membranes, qui nécessitent un prétraitement important de l'eau saumâtre.



Figure II.14 : Le placement des membranes par étage de l'osmose inverse.

4.2.2.3.7. Le nettoyage des membranes

Le nettoyage de la membrane dans la station est un nettoyage chimique, il se fait une à deux fois par an (selon l'augmentation de la pression différentielle des membranes), dans notre cas il ne doit pas dépasser les 8 bars, cela nécessite un arrêt périodique de fonctionnement de la station, et pour les matières de nettoyage on utilise des produits acides et basiques selon le type de colmatage (organique ou minéral). Le système de nettoyage des membranes est un système CIP (clean in place) ça veut dire un système de nettoyage automatique des installations sans démontage, la durée de CIP est entre 3 heures à 6 heures, le nettoyage des membranes a pour but de limiter le colmatage irréversible de la membrane, et par le fait même, à prolonger la durée de vie des membranes(ZAIDI, 2019).

4.3.Le post-traitement

4.3.1. Le Principe de mélange

La consommation humaine d'eau osmosée n'est pas recommandée car elle ne respecte pas les normes de qualité de l'eau potable. Pour cette raison, les sels dissous partiellement éliminés doivent être récupérés. Cette étape s'appelle la re-minéralisation.

Principalement, cette re-minéralisation peut être mise en œuvre de deux façons différentes :

- ✓ À partir d'un ajout de sels (chaux, carbonate de calcium, etc.) à l'eau osmosée.
- ✓ En mélangeant une partie de l'eau prétraitée avec l'eau osmosée.

4.3.2. Station de pompage d'eau traitée

Constat :

- Station composée de 2 bras.
- Le premier bras est constitué de trois groupes KSB.
- Le deuxième bras composé de quatre groupes KSB qui refoule vers les châteaux d'eau de la ville d'Oued Souf.
- L'ensemble des groupes est équipé de variateur de fréquence.
- Fréquence de fonctionnement prédéfinie à 40 Hz (ajoutez l'abréviation dans la liste) pour tous les groupes
- Groupe N°01, bras N°01 non aligné.



Figure II.15 : Pompes d'eau traitée.

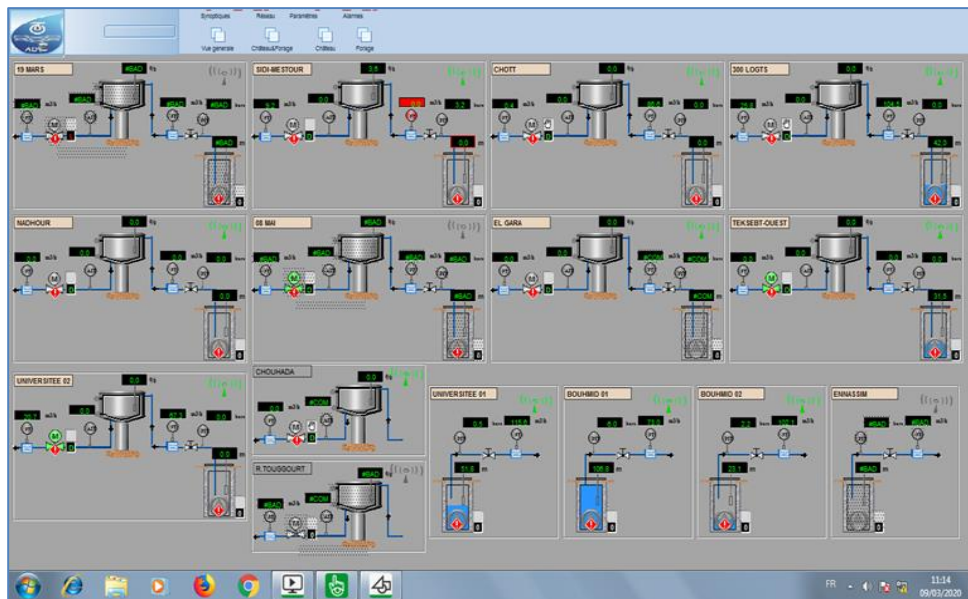


Figure II.16 : Les châteaux d'eau alimentés par la station.

4.4. Station d'évacuation de rejet

Description de la station d'évacuation de rejet :

La station d'évacuation de rejet est composée de (3+1) pompes.

D'une bache de rejet 250 m³.



Figure II.17 : pompes de rejet.

5. Matériels et méthodes

Durant le stage (26/02/2023 au 17/03/2023) nous avons prélevé plusieurs échantillons pour l'analyse physico-chimique en plusieurs points de la station spatiale, dont :

- A l'entrée de la station (l'eau brute).
- A la sortie de la station (l'eau traitée).

Nous avons donc mesuré des paramètres physico-chimiques tels que : pH, température, conductivité, TDS, Cl₂, ainsi que d'autres paramètres tels que : Nitrite, Sulfate, Fer, Nitrates, chlorure.

L'étude a été réalisée au laboratoire de contrôle qualité de l'usine de dessalement.

5.1. Prélèvement et échantillonnage

5.1.1. Sites de prélèvements

La station de dessalement de l'eau saumâtre 19 mars est dotée de plusieurs sites de prélèvements, à savoir :

- Au niveau du réservoir de l'eau brute
- A la sortie filtre à sable.
- A la sortie filtre à cartouche.
- A l'entrée osmoseur.
- A la sortie osmoseur.
- Au niveau du réservoir de l'eau traitée.

5.1.2. Mode de prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau pour l'analyse physico-chimique est soumis à la procédure suivante :

- Le contenant doit être propre, mais pas forcément stérile, nous avons utilisé des flacons plastiques de 500 ml et 1 litre.
- Laisser couler l'eau au débit maximum pendant 5 à 10 secondes avant l'échantillonnage.
- Déballer, remplir et refermer immédiatement.

5.2.Méthodes d'analyse

5.2.1. Paramètres organoleptiques

5.2.1.1.Test de la couleur

Vérifier la couleur de l'échantillon prélevé dans le réservoir, cette caractéristique a été dérivée en observant simplement l'eau.

5.2.1.2.Test de l'odeur

L'odeur a été évaluée par olfaction lors du prélèvement d'eau.

5.2.1.3.Mesure de la turbidité

+ L'appareil

Turbidimètre (Figure II.18) comparaison de la lumière diffusée et la lumière transmise par l'échantillon d'eau et par une gamme étalon constituée de solutions de foraine.

+ Mode opératoire

La mesure de la turbidité a été effectuée à l'aide d'un Turbidimètre (TL2350, HACH) (Figure II.18).



Figure II.18 : Turbidimètre (TL2350, HACH)

L'échantillon sera analysé en utilisant capsules en verre bien nettoyées et bien séchées, remplis de l'eau à analyser turbidité contenant des substances qui ne diffusent pas.

5.2.2. Les analyses physico-chimiques

5.2.2.1. Mesure de la conductivité

+ L'appareil

La mesure de la conductivité se fait à l'aide d'un appareil multi-paramètres Conductimètre (WTW-2CA101) Figure II.19.



Figure II.19 : Conductimètre (WTW-2CA101)

+ Mode opératoire

Allumez l'appareil (Figure II.19), calibrez avec de l'eau distillée, puis plongez la sonde dans un bécher d'environ 100 ml d'échantillon en agitant doucement pour stabiliser et lire la conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$. La sonde doit également être rincée après chaque mesure.

Cet appareil nous permet de mesurer la température en utilisant la même méthode.

5.2.2.2. Mesure du pH

+ L'appareil

La mesure du pH est faite avec un autre appareil pH mètre WTW 7110 (Figure II.20).

Le PH mètre WTW 7110 C'est l'indice de pH qui exprime la concentration d'ions hydronium dans l'eau.



Figure II.20 : PH mètre (WTW 7110)

Mode opératoire

- Etalonnage de l'appareil
- Allumer le pH mètre
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée.
- Prendre dans un petit bécher, la solution tampon pH= 7
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard 2
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée
- Ré étalonné de la même manière avec les solutions tampon pH= 4

5.2.2.3. Mesure de l'Alcalinité

5.2.2.3.1. Détermination des bicarbonates (HCO_3)

Mode opératoire

- Prendre 100 ml d'eau à analyser.
- Noter le pH puis titrer avec HCL à 0,1 N jusqu'à obtention d'un pH de 4,3 (Figure II.21).

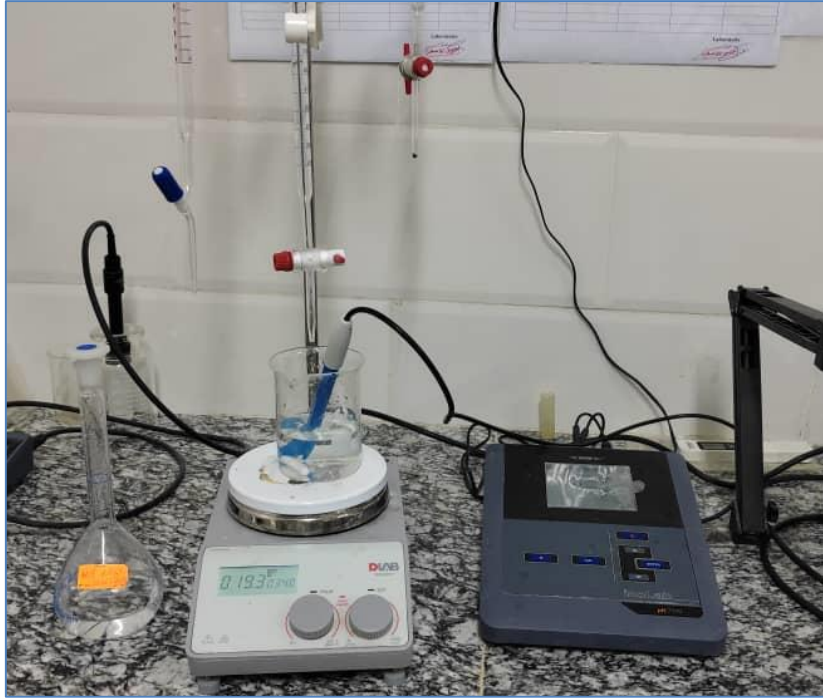


Figure II.21 : Détermination des bicarbonates (HCO_3^-)

✚ Expression de résultats

$$\text{HCO}_3^- (\text{mg/l}) = V1 \times 61$$

V1 : volume de HCL versé.

✚ Remarque

Si le pH de l'échantillon est supérieur à 8,3 ; titrer jusqu'à cette valeur (VA1 : Volume d'HCL obtenu correspond au CO_3^{2-}) puis continuer le dosage jusqu'à pH de 4,3 et noter le volume de VA2 : Volume d'HCL correspond au HCO_3^- .

$$\text{CO}_3^{2-} (\text{mg/l}) = \text{VA1} \times 60.$$

5.2.2.4. Mesure du chlore

La concentration de chlore peut être exprimée en chlore libre, chlore combiné et chlore résiduel totale. Dans la plupart des applications possibles, la mesure du chlore libre est généralement la plus importante. La méthode DPD mesure le chlore libre, combiné et total.

Les réactifs de cette méthode sont fournis sous forme de pastilles pour simplifier la manipulation. Le chlore libre réagit avec les molécules de DPD (diéthyl-p-phénylène-diamine) pour produire une couleur rose.

L'intensité de cette couleur produite est proportionnelle à la concentration en chlore libre recherchée.



Figure II.22 : Chlorimètre

✚ Matériels et Réactifs

- Cuve propre
- Colorimètre (Figure II.22)
- Pastille DPD (chlore).

✚ Mode opératoire (Méthode Colorimétrique)

A l'aide d'un colorimètre (Figure II.22), sélectionner la mesure du paramètre chlore libre. Mettre 10 ml d'échantillon dans une cuve propre, le mettre dans le colorimètre et calibrer ce dernier à 0 mg/l ; et 10 ml de l'échantillon dans une autre cuve propre et ajouter une pastille de DPD, mettre la cuve est insérée dans le colorimètre et la lecture est prise immédiatement.

Le résultat (concentration en chlore libre) est exprimé en mg/l.

5.2.2.5.Mesure de la Dureté Total (TH)

Appelée aussi le titre hydrométrique (TH), elle détermine la concentration en sel de calcium et de magnésium dissout dans l'eau. Elle se détermine par titrage par l'EDTA, à pH=10, en utilisant le N.E.T (noir d'Eriochrome T), comme indicateur de fin de réaction. La méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

TH= calcium (Ca^{2+}) + magnésium (Mg^{2+})

✚ Matériels et Réactifs

- Fiole
- Burette
- Solution de NaOH
- d'Eriochrome T (N.E.T)
- Murexide
- Solution d'E.D.T.A

✚ Mode opératoire

Mettre dans un erlenmeyer 50 ml d'eau à analyser et ajouter 2 ml de la solution tampon de NH_4OH (pH = 10.1) et l'indicateur coloré N.E.T (Noir d'Eriochrome). La solution se colore en rouge ou violet, à ce stade, un titrage par la solution d'E.D.T.A (0,02 N), sous agitation jusqu'au virage au bleu permet de mesurer la TH. (Figure II.24)

$$\text{TH} = (\text{N}_{\text{E.D.T.A}} \times \text{V}_{\text{E.D.T.A}}) \times 1000 / \text{V}_0$$

N_{EDTA} : La normale de la solution EDTA

V_{EDTA} : Volume en millilitres, de la solution EDTA, utilisé pour le dosage

V_0 : Volume en millilitres, d'échantillon dosé



Figure II.23 : Détermination de la dureté (TH)

5.2.2.5.1. Mesure du Calcium (Ca^{2+})

Le calcium est présent dans les eaux de manière naturelle. Pour déterminer la dureté calcique on utilise l'EDTA comme complexant, le dosage se fait à un pH élevé (12-13). L'indicateur utilisé est le Murexide qui est sensible aux seuls ions Ca^{2+} pour former un complexe rouge.

✚ Matériels et Réactifs

- Erlenmeyer
- Burette
- Solution de NaOH
- Murexide
- solution d'EDTA. 0.02 N

Prélever 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, et ajouter 2 ml de la solution NaOH (0.1N) et une pincée de Murexide, puis remuer soigneusement pour homogénéiser la solution, une couleur rose apparaît. Un titrage par l'EDTA (0.02N) a lieu jusqu'au virage rose au mauve. (Figure II.25)

$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = (N_{\text{EDTA}} \times V_{\text{EDTA}}) \times 1000 / V_0 \times 20$$

N_{EDTA} : La normale de la solution EDTA

V_{EDTA} : Volume en millilitres, de la solution EDTA, utilisé pour le dosage

V_0 : Volume en millilitres, d'échantillon dosé



Figure II.24 : détermination du calcium (Ca^{2+}).

5.2.2.5.2. Mesure de magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium peut être estimé par la différence entre la dureté de l'eau et le calcium exprimé en $CaCO_3$ $TH = D (Ca^{2+}) + D (Mg^{2+})$

La dureté magnésienne est calculée par la formule suivante

$$D (Mg^{2+}) = TH - D (Ca^{2+})$$

5.2.2.6. Mesure de TDS

Les sels dissous totaux représentent une évaluation totale des sels minéraux contenus dans l'eau (en solution).

Matériels et réactifs

- Un Becher.
- TDS mètre.



Figure II.25 : TDS mètre

5.2.2.7. Détermination du résidu sec

C'est un procédé simple permettant d'évaluer la teneur en matières dissoutes ou en matières totales (dissoutes et en suspension dans l'eau) sur un étuve 24h.

L'étuve (figure II.27) est un équipement de laboratoire permettant de chauffer à température régulée des éléments par pression sous vide.

Les applications courantes lorsque l'on utilise une étuve sont le séchage, la stérilisation et la conservation à chaud.



Figure II.26 : étuve de laboratoire.

Mode opératoire

- Tarer une capsule propre et sèche.
- Relever 100 ml d'eau à analyser et déverser ce volume dans la capsule.
- Porter cette dernière à l'étuve pendant 24h.
- Laisser refroidir au dessiccateur.
- Peser la capsule.

Expression des résultats

$$RS \text{ (mg/l)} = (P_S - P_V) \times 10 \times 1000$$

P_S : Poids séché de la capsule.

P_V : Poids vide de la capsule.

Remarque

Les eaux contenant des matières en suspension doivent être filtrées.

5.2.3. Paramètres chimiques

Le dosage des paramètres chimiques au niveau du laboratoire de la station de dessalement 19 mars a été effectué à l'aide d'un spectrophotomètre (HACH DR3900). (Figure II.28)

Les paramètres mesurés sont :

- Nitrite NO_2^-
- Nitrates NO_3^-
- Fer Fe
- Sulfate SO_4^{2-}
- Silica SiO_2

Le spectrophotomètre (HACH DR3900) (figure II.28) peut accueillir des tubes de taille standard (1 cm, 13 mm, 1pouce rond ou carrée) et comprend 220 méthodes préprogrammées liées aux analyses d'eau conventionnelles et 50 méthodes personnalisables.

Son grand écran et son interface conviviale permettent une utilisation simple et personnalisée.



Figure II.27 : spectrophotomètre (HACH DR3900)

5.2.3.1. Mesure de nitrite (NO_2^-)

Dans un flacon nous mettons un échantillon d'eau et ajoutons une dose de (NITRITE LR F10) et laissons pendant 20 minutes puis le mettons dans le spectrophotomètre.

5.2.3.2. Mesure de nitrate (NO_3^-)

Dans un flacon nous mettons un échantillon d'eau et ajoutons une dose de (HR NITRATE) et laissons pendant 5 minutes puis le mettons dans le spectrophotomètre.

5.2.3.3. Mesure de fer (Fe)

Dans un tube spécial pour la détection du fer (Figure II.29), nous mettons un échantillon de l'eau (2 ml) et le laissons pendant 15 min, puis le mettons dans le spectrophotomètre.



Figure II.28 : Mesure de fer (Fe)

5.2.3.4. Mesure de sulfate (SO_4^{-2})

Dans un flacon nous mettons un échantillon d'eau et ajoutons une dose de (SULFATE F10) et laissons pendant 5 minutes puis le mettons dans le spectrophotomètre.

5.2.3.5. Mesure de silice (SiO_2)

Dans un flacon nous mettons un échantillon d'eau et ajoutons la MOLYBDATE et L'ACIDE RGT et laissons pendant 10 min, puis ajoutons l'ACIDE CITRIQUE et le laissons pendant deux minutes puis le mettons dans le spectrophotomètre.

5.2.3.6. Mesure de chlorure (Cl^-)

La méthode consiste à doser les chlorures avec du nitrate d'argent en présence de chromate de potassium (Figure II.30). En présence de nitrate d'argent, les ions Cl^- sont mobilisés pour former du chlorure d'argent. Lorsque tous les ions chlorures ont précipité sous forme d' AgCl , le nitrate d'argent réagit avec le chromate de potassium et un précipité rouge brique apparaît.



Figure II.29 : Dosage de chlorure

✚ Mode opératoire

- prendre 5 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 gouttes de Chromate de potassium (coloration jaunâtre), puis agiter.
- Titrer avec nitrate d'argent à 0,01 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

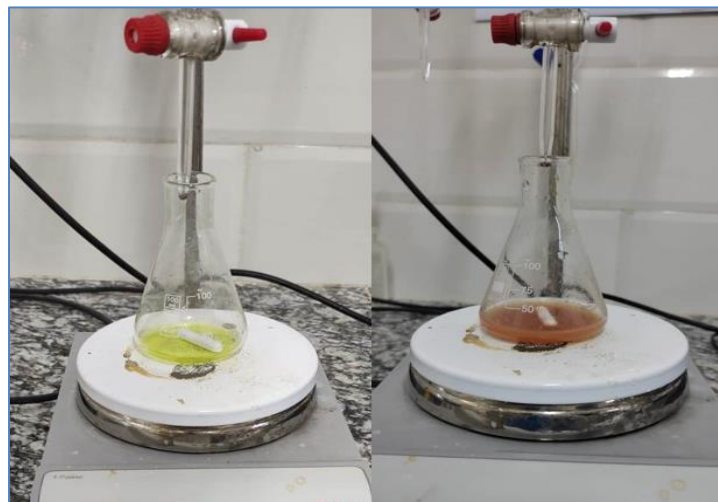


Figure II.30 : l'échantillon d'eau avant et après le dosage.

✚ Expression des résultats

$$\text{Cl}^- (\text{mg/l}) = V_{\text{AgNO}_3} \times 71 \times F$$

V_{AgNO_3} : Volume de nitrate d'argent nécessaire pour le dosage.

F : Facteur de correction du titre de nitrate d'argent.

5.2.3.7. Le densimètre portable

Il existe une autre analyse que nous faisons chaque fois que nous apportons du chlore à la station afin de garantir sa qualité et la concentration avec un appareil Portable densimètre (DMA 35).

Le densimètre portable fournissant des résultats précis, même dans des conditions difficiles, il mesure la densité et la concentration d'un échantillon directement sur site.

Le densimètre portable n'utilise que 2 millilitres d'échantillon et permet de gagner beaucoup de temps car il n'est pas nécessaire de transporter l'échantillon au laboratoire.



Figure II.31 : Densimètre (DMA 35).

6. CONCLUSION

Dans ce chapitre on a présenté la station de déminéralisation 19 MARS OTHMEN GEDIRI et la commune d'El Oued et on a parlé sur le processus de déminéralisation de la station et les analyses qui on a fait durant notre stage.

CHAPITRE III

Contrôle de la qualité et aptitude des eaux traitées.

1. Introduction

La qualité d'une eau est fortement influencée par sa composition chimique, ce qui détermine son aptitude à être utilisée pour la consommation humaine ou d'autres usages tels que l'irrigation ou l'industrie. L'hydrochimie est couramment utilisée pour obtenir des informations sur la qualité d'une eau et son origine chimique. Les éléments chimiques présents dans l'eau sont formés à travers des réactions avec l'environnement, ce qui signifie que leur composition peut fournir des informations sur les environnements à travers lesquels l'eau a circulé.

Dans le cadre de cette étude, les données relatives aux eaux analysées ont été collectées à partir de deux sources différentes. Tout d'abord, des échantillons d'eaux souterraines ont été prélevés dans la nappe albienne de la wilaya d'El Oued, trois forages (19 Mars, Chohada et Tougourt) située dans le Sud-Est de l'Algérie. Ensuite, des échantillons d'eaux produites ont été obtenus à partir de la station de dessalement du 19 mars. Ces deux sources d'eau sont soumises à un suivi régulier, avec des analyses complètes effectuées quotidiennement. Les opérateurs de la station de dessalement et l'Algérienne des Eaux (ADE) ont assuré l'échantillonnage et le dosage des éléments pour la période allant de Janvier 2023 à Mars 2023.

2. Résultats de l'analyse de l'eau brute et de l'eau produite par la station de dessalement

2.1. Paramètres organoleptiques

2.1.1. Turbidité

La turbidité fait référence à la mesure de la clarté ou de la transparence de l'eau. Elle est causée par la présence de particules en suspension, telles que des sédiments, des matières organiques ou des microorganismes.

La concentration maximale admissible de turbidité, établie par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et les normes Algériennes, est de 5 mg/l. Dans notre situation, les valeurs mesurées n'excèdent pas cette norme. (Figures III.1 et III.2)

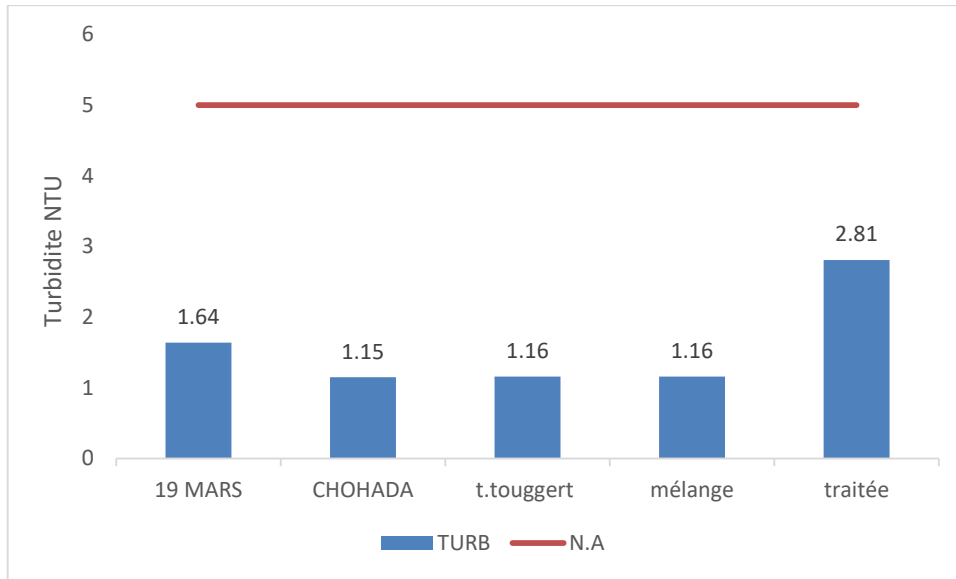


Figure III.1 : Variation de turbidité des eaux brutes et traitées.

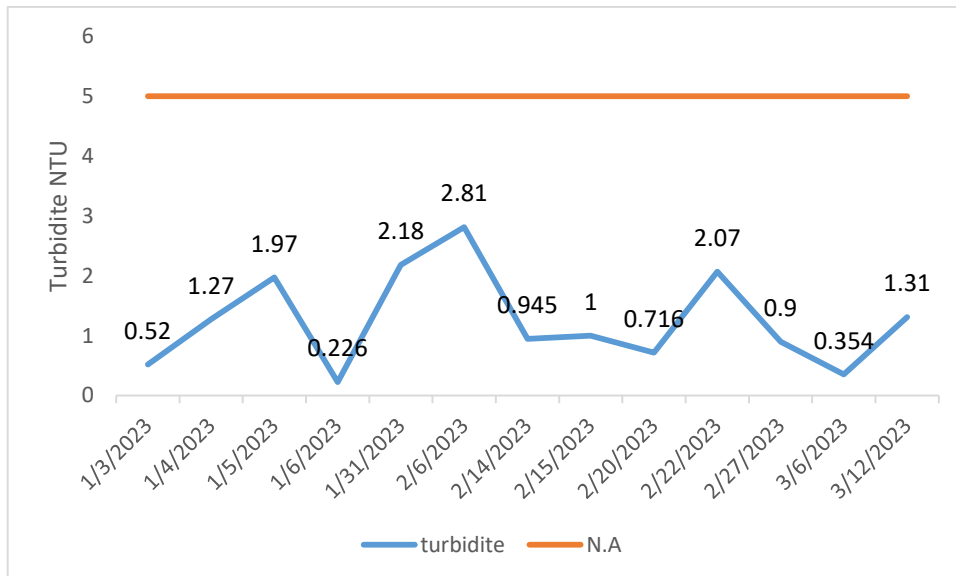


Figure III.2 : Variation de turbidité des eaux traitées.

2.2. Paramètres physico-chimique

Les résultats obtenus pour les différents éléments physico-chimiques, qui seront utilisés dans le cadre de cette étude, sont récapitulés dans le tableau III.1.

Tableau III.1 : Les concentrations des paramètres physico-chimiques des échantillons analysés de l'eau brute et l'eau produite (05/02/2023).

Les éléments	L'unité	Brute	Traitée	N.A		OMS	
Conductivité	μS/cm	2780	2800	2800		1500	
Température	°C	51.2	23.1	25		25	
pH	-	7.3	8.04	6.5	9	6.5	8.5
Chlore libre	mg/l	-	0.85	0.2	0.6	0.2	0.5
TDS	mg/l	1957	1959	-		600	
Résidu sec	mg/l	-	1877	2000		600	1200
TAC	(°F)CaCO ₃	23	56.5	-		50	65
TH	mg/l CaCO ₃	956	952	500		500	

2.2.1. La conductivité électrique

La conductivité joue un rôle essentiel dans la validation des analyses physico-chimiques de l'eau. En effet, les différences de conductivité mesurées dans un milieu permettent de détecter la présence de polluants et de zones de mélange. De plus, la conductivité varie en fonction de la température de l'eau, augmentant à mesure que la température augmente. Elle permet également d'estimer la quantité de sels dissous présents dans l'eau.

Les valeurs de conductivité électrique pour l'eau de consommation et l'eau brute sont conformes à la norme Algérienne, dont les concentrations maximales admissibles sont respectivement inférieures à 2800 μS/cm, et dépassent la norme OMS (Figures III.3 et III.4).

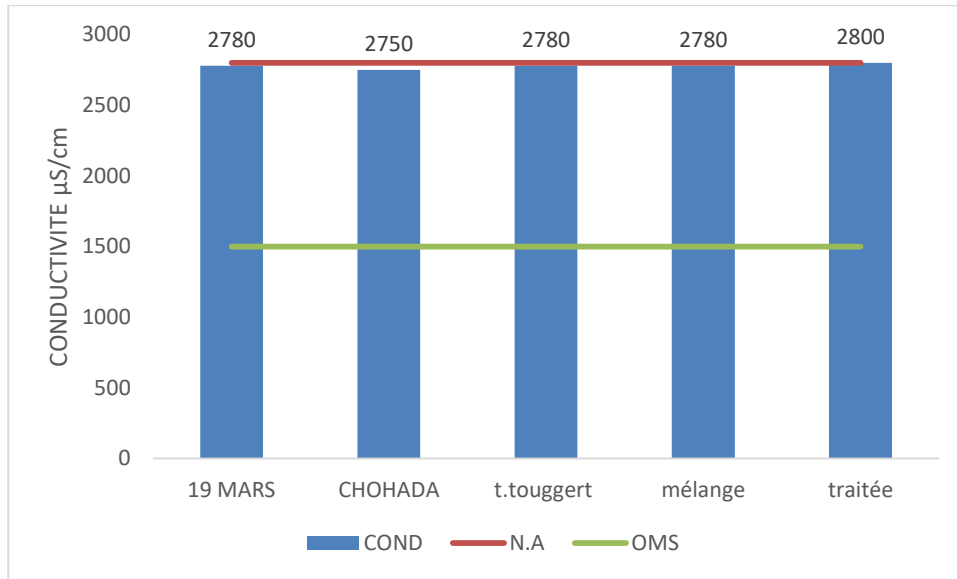


Figure III.3 : Variations de la Conductivité électrique des eaux brutes et traitées.

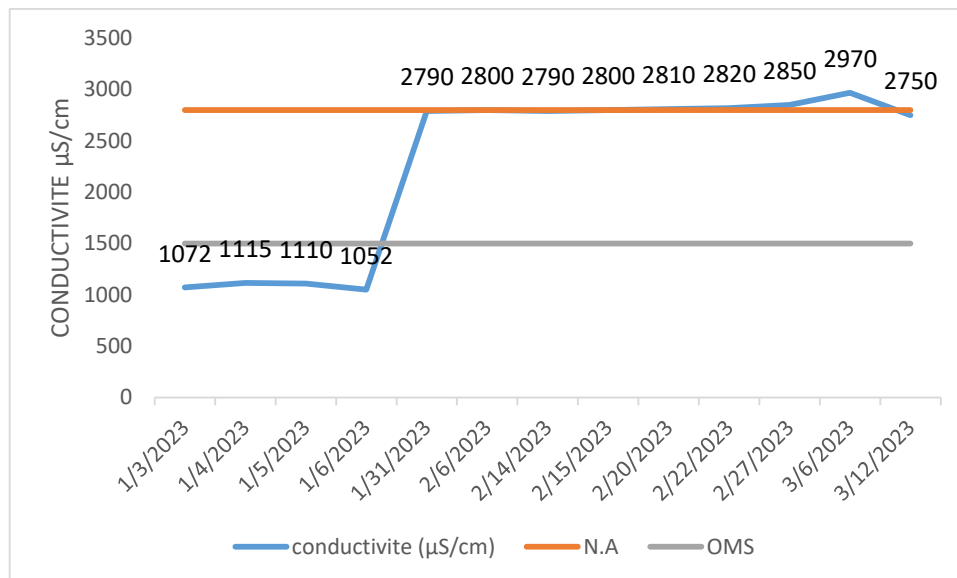


Figure III.4 : Variations de la Conductivité électrique des eaux traitée.

2.2.2. La température

Il est essentiel d'obtenir une mesure précise de la température de l'eau, car celle-ci influence plusieurs aspects. La température joue un rôle dans la solubilité des gaz dissous dans l'eau, la dissociation des sels dissous et la détermination du pH. En connaissant la température de l'eau, on peut également déduire des informations sur son origine.

En résumé, la connaissance précise de la température de l'eau est importante pour comprendre et analyser différents processus chimiques et environnementaux liés à l'eau.

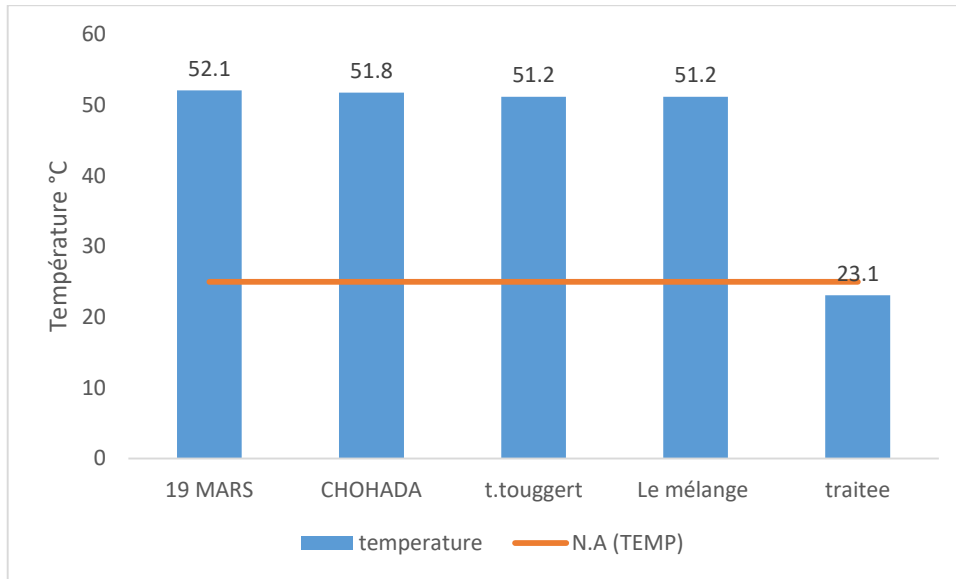


Figure III.5 : La variation de température des eaux brutes et traitées.

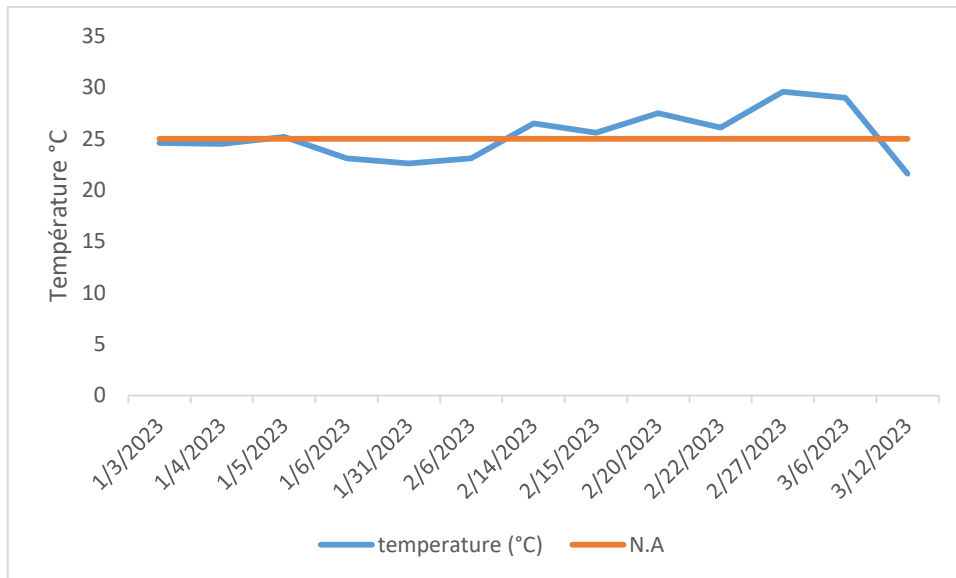


Figure III.6 : La variation de température des eaux traitées.

Selon les graphiques présentés dans la figure III.5 et III.6, il est observé que la température des eaux brutes (les forages et le mélange) dépasse les normes de potabilité, qui sont généralement fixées à environ 25°C. Cela s'explique par le fait que la température de la nappe albienne peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la localisation géographique, la profondeur de la nappe et les caractéristiques géologiques de la région. En revanche, les eaux produites par la station (c'est-à-dire les eaux traitées) ne respectent pas toujours les normes en termes de température.

2.2.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH, qui représente le potentiel hydrogène, est une mesure de la concentration en ions H^+ dans l'eau. Il reflète l'équilibre entre les acides et les bases sur une échelle allant de 0 à 14, où 7 correspond au pH neutre.

Ce paramètre est crucial pour de nombreux équilibres physico-chimiques et dépend de plusieurs facteurs, tels que la température et l'origine de l'eau. Le pH fournit des indications importantes sur l'agressivité de l'eau.

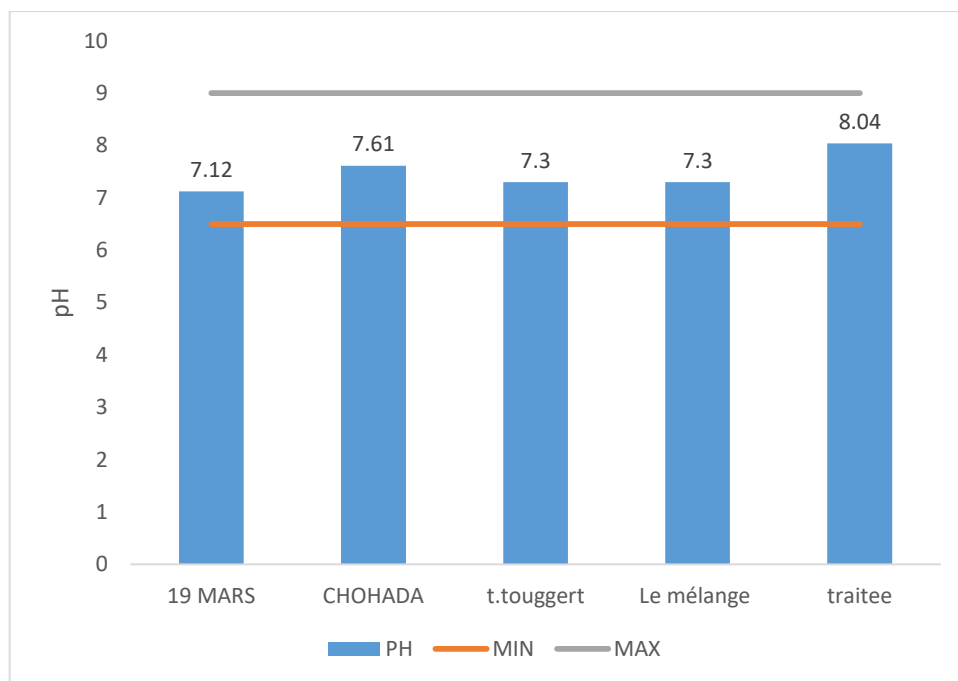


Figure III.7 : La variation pH des eaux brutes et traitées.

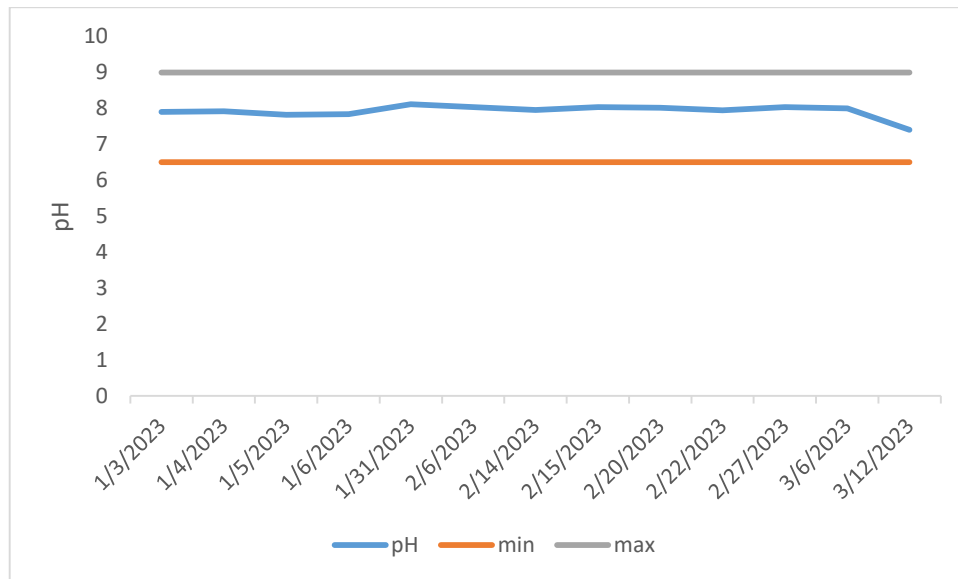


Figure III.8 : La variation du pH des eaux traitées et brutes

Selon les données présentées dans la Figure III.7, les valeurs du potentiel Hydrogène (pH) des eaux brutes se situent entre 7,12 et 7,61. Quant à l'eau traitée, la valeur du pH est de 8,04.

En référence aux normes de qualité de l'eau potable, les valeurs du pH tant pour les eaux brutes que pour les eaux traitées sont conformes aux normes établies par OMS ainsi qu'aux normes Algériennes, qui fixent les valeurs de pH acceptables entre 6,5 et 9.

2.2.4. Chlore libre

Le chlore résiduel correspond à la quantité de chlore qui reste libre dans l'eau après un contact de 30 minutes. Il sert de mesure de sécurité pour traiter de petites contaminations éventuelles dans l'eau. Le taux de chlore libre varie entre 0,11 et 0,97 ppm Figure III.9, ses valeurs est considérablement supérieure à la recommandation de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) qui fixe la limite maximale de chlore libre à 0.6 ppm.

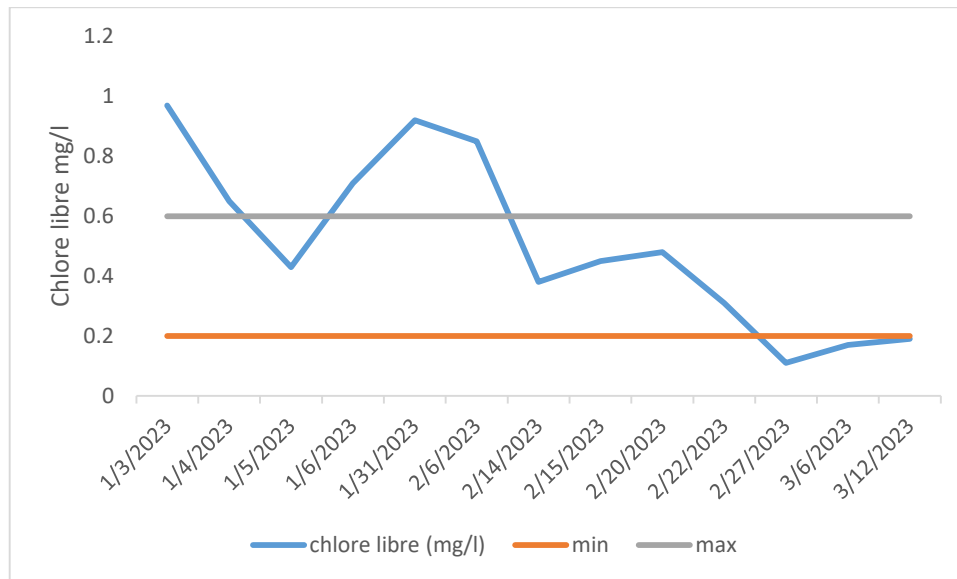


Figure III.9 : La variation du chlore libre des eaux traitées.

Le chlore est un oxydant puissant qui produira des dommages au niveau de tout le système respiratoire :

- Le chlore peut également affecter la voie cutanée, en particulier les zones humides (les aisselles, l'aîne, etc.)
- Brûlures chimique et par le froid (frostbite)
- Ces effets sont liés à la formation de différentes substances,

Soit :

- Oxygène
- Acide chlorhydrique (HCl)
- Acide hypochloreux (HClO)
- Hypochlorite (OCl)
- Chlore libre

L'effet de la dose du chlore sur la santé humaine :

0,2-3,5 ppm : Seuil de détection olfactive

- **1-3 ppm :** Irritation légère des muqueuses qui peut être toléré pour un maximum d'une heure

- **5 ppm** : Irritation modérée au niveau des yeux, larmoiement, blépharospasme, sensation de brûlure au niveau du nez, de la gorge, éternuement, toux. Démangeaisons au niveau de la peau et sensation de brûlure. Intolérable après quelques minutes
- **14-21 ppm** : Irritation immédiate au niveau de la gorge
- 30 ppm** : Irritation sévère au niveau des voies respiratoires supérieures. Douleur immédiate au niveau rétro sternale, dyspnée, toux et vomissement
- **35-50 ppm** : Mortel si l'exposition est de 60-90 minutes
- **40-60 ppm** : Œdème pulmonaire pouvant évoluer vers la mort par suffocation, pneumonie et bronchite chimique et dommage au niveau pulmonaire
- **430 ppm** : Mortel en 30 minutes
- **1000 ppm** : Mortel en quelques minutes

2.2.5. Total des solides dissous TDS

Le total des solides dissous (TDS) fait référence à la concentration globale des substances dissoutes dans l'eau. Il comprend les sels inorganiques ainsi que certaines matières organiques présentes dans l'eau.

Les résultats de l'analyse des eaux traitées ont révélé que le taux de solides dissous totaux (TDS) varie entre 590 et 2081 ppm, comme illustré dans la Figure III.11. Ces valeurs de TDS ne conformes pas aux normes recommandées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour les eaux traitées par dessalement.

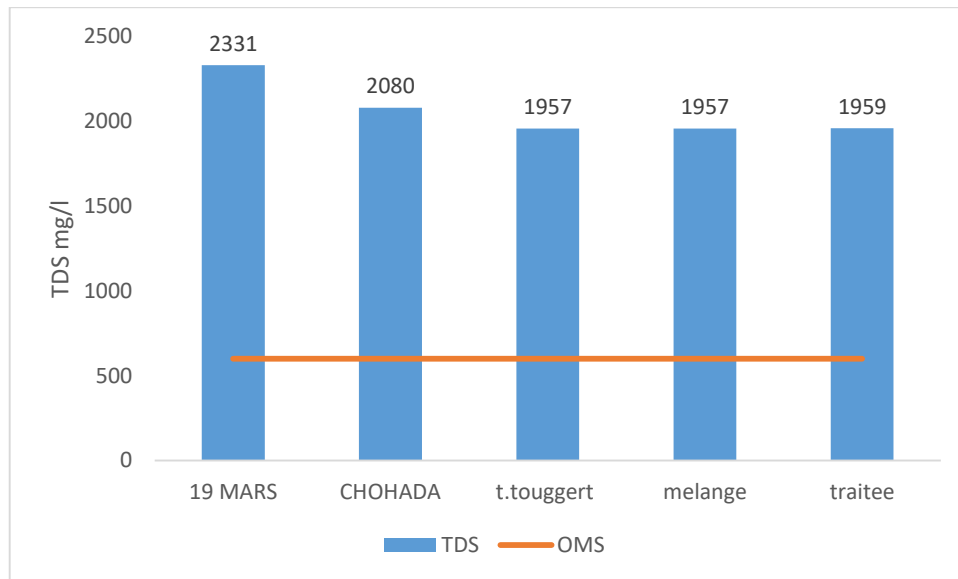


Figure III.10 : La variation de TDS des eaux brutes et traitée.

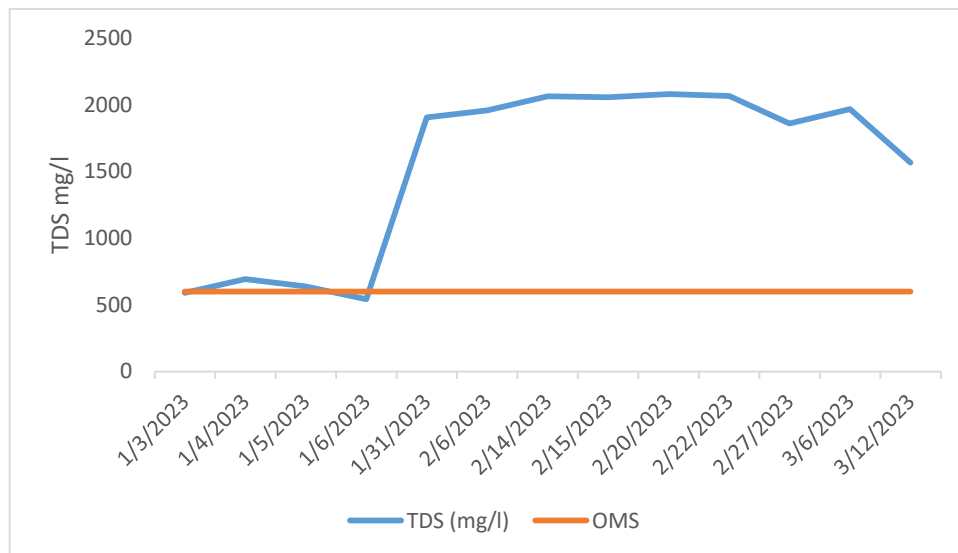


Figure III.11 : La variation de TDS des eaux traitée.

2.2.6. Le résidu sec RS

Le résidu sec est défini comme la somme des éléments solides dissous dans l'eau. Sa détermination dans les eaux non filtrées permet d'évaluer la teneur en matière dissoute et en suspension, tandis que la mesure après filtration correspond aux matières dissoutes uniquement.

Les valeurs obtenues (Figure III.12) permettent d'évaluer le degré de minéralisation de l'eau : des valeurs inférieures à 2000 mg/l sont généralement bien acceptées par les consommateurs, tandis que des valeurs supérieures à 2000 mg/l rendent l'eau désagréable à consommer.

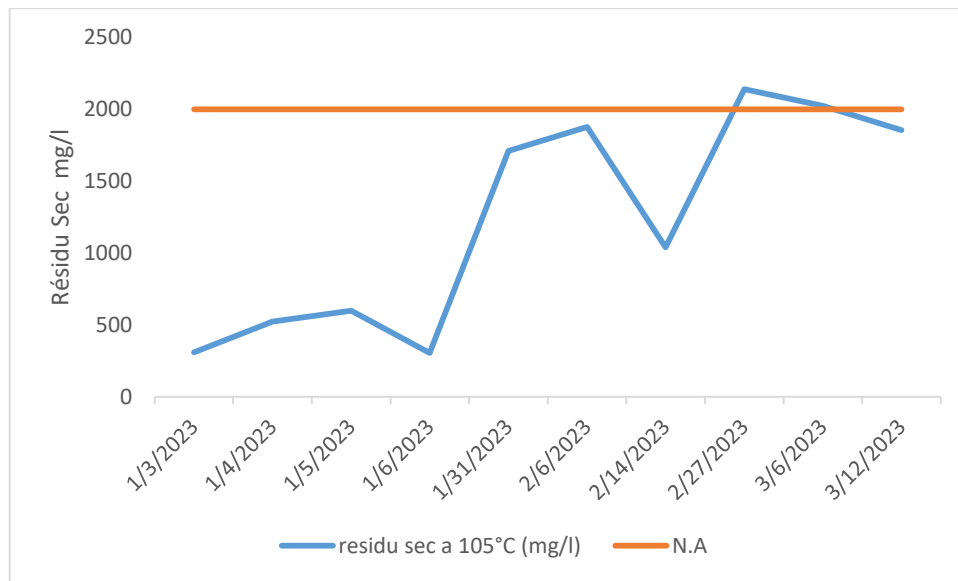


Figure III.12 : La variation du résidu sec des eaux traitées.

2.2.7. Titre alcalimétrique complet TAC

L'alcalinité correspond à la présence d'espèces basiques telles que les ions hydroxyde (OH^-), les ions carbonate (CO_3^{2-}), et les ions bicarbonate (HCO_3^-).

Nos résultats d'analyse montrent une présence de titre alcalimétrique complet dans les eaux brutes, avec une variation entre 25,5 et 25,5 ppm (Figure III.13), tandis que dans les eaux traitées, la valeur est de 15,5 ppm. Ces valeurs sont conformes aux normes de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), qui fixent la limite de titre alcalimétrique complet pour les eaux de consommation entre 50 et 65 ppm en CaCO_3 .

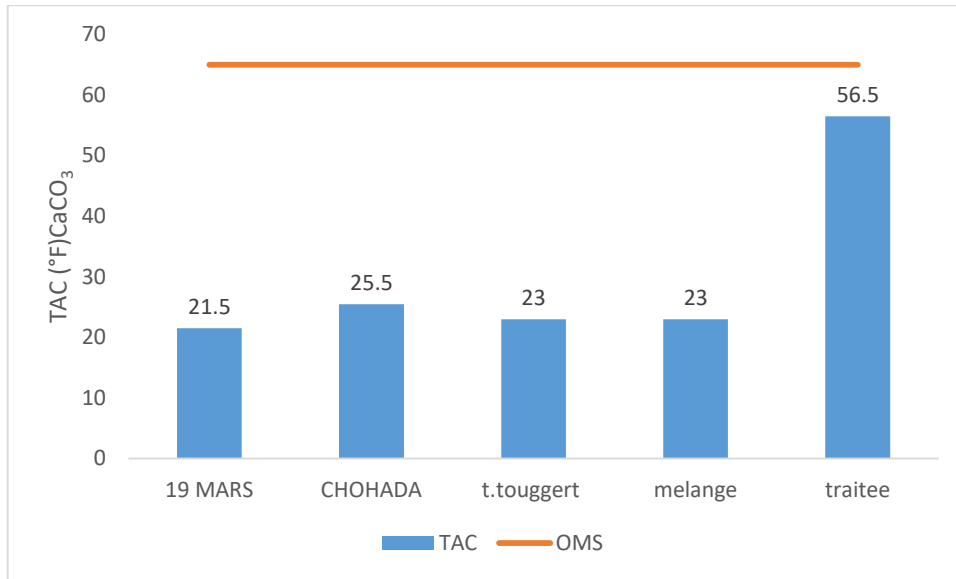


Figure III.13 : La variation de TAC des eaux brutes et traitées.

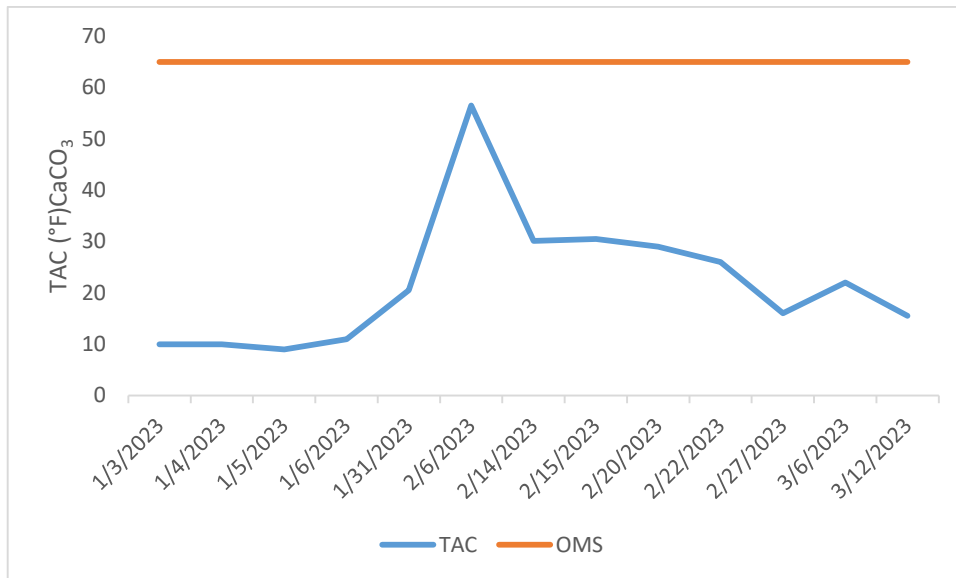


Figure III.14 : La variation de TAC des eaux et traitées.

2.2.8. Dureté totale TH

La dureté de l'eau fait partie des paramètres utilisés pour déterminer la qualité générale d'une eau, causée par la présence de minéraux comme le calcium et le magnésium.

Dans les eaux étudiées Figure III.15, cet élément présente une dureté allant de 854 à 956 mg/l en CaCO₃ des eaux brutes avec une valeur des eaux traitées de 952 mg/l.

Les valeurs enregistrées s'avèrent supérieures à la valeur minimale admissible recommandée par les normes algériennes qui est 500 mg/l.

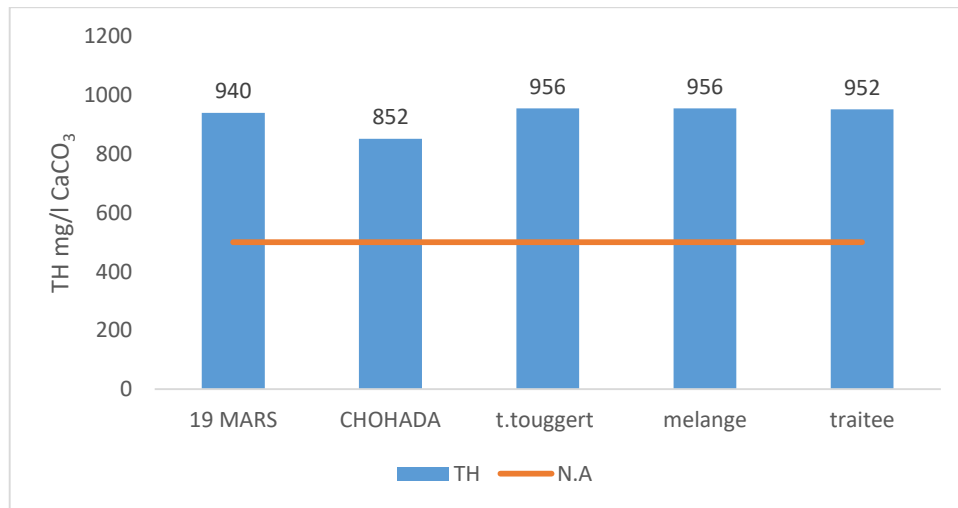


Figure III.14 : La variation de la dureté totale TH des eaux brutes et traitées.

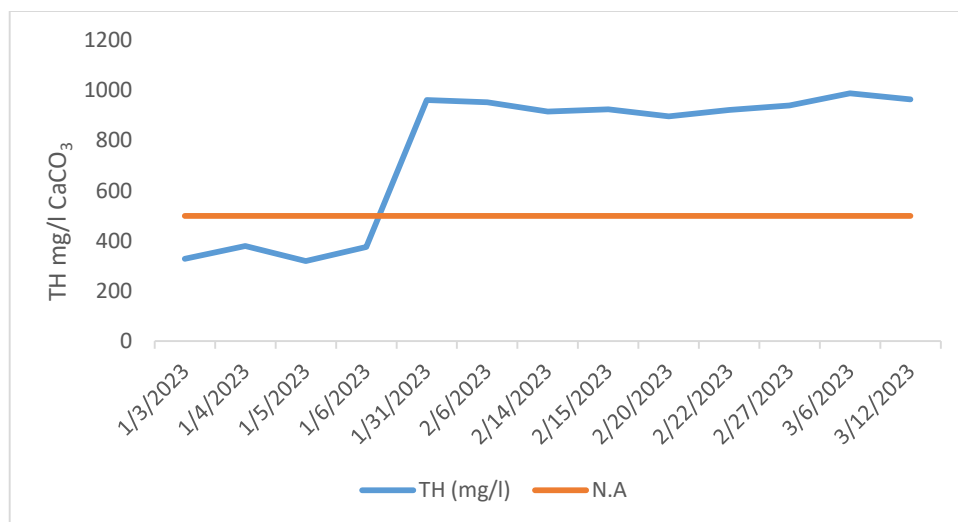


Figure III.15 : La variation de la dureté totale TH des eaux traitées.

2.3. Minéralisation Globale

Les résultats obtenus pour les différents éléments physico-chimiques, qui seront utilisés dans le cadre de cette étude, sont récapitulés dans le tableau III.2

Tableau III.2 : Les concentrations des paramètres minéral des échantillons analysés de l'eau brute et produite (05/02/2023).

Les éléments	L'unité	Brute	Traitee	N.A	OMS
Calcium	mg/l	246.893	234.06	200	200

Magnésium	mg/l	82.55	89.37	-	150
Nitrite	mg/l	0.014	0.016	0.2	3
Nitrate	mg/l	1.1	1.2	50	50
Fer	mg/l	0.014	0.016	0.3	-
Sulfate	mg/l	460	468	400	500
Silice	mg/l	-	6.5	50	30
Chlorure	mg/l	695.6	802.3	250	250
Bicarbonate	mg/l	280.6	230.3	-	250

2.3.1. Le calcium Ca

Le calcium est un élément alcalino-terreux présent dans l'eau sous forme d'ions calcium (Ca^{2+}). Sa présence est principalement liée à deux sources naturelles : la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3) et la dissolution des formations gypsifères (CaSO_4).

Les résultats indiquent que les valeurs de calcium dans les eaux brutes varient entre 214.829 et 246.893 mg/l de CaCO_3 (Figure III.16), tandis que dans les eaux traitées, la valeur est de 234.06 mg/l de CaCO_3 . Ces valeurs ne sont pas conformes aux normes algériennes, qui fixent des concentrations maximales admissibles inférieures à 200 mg/l.

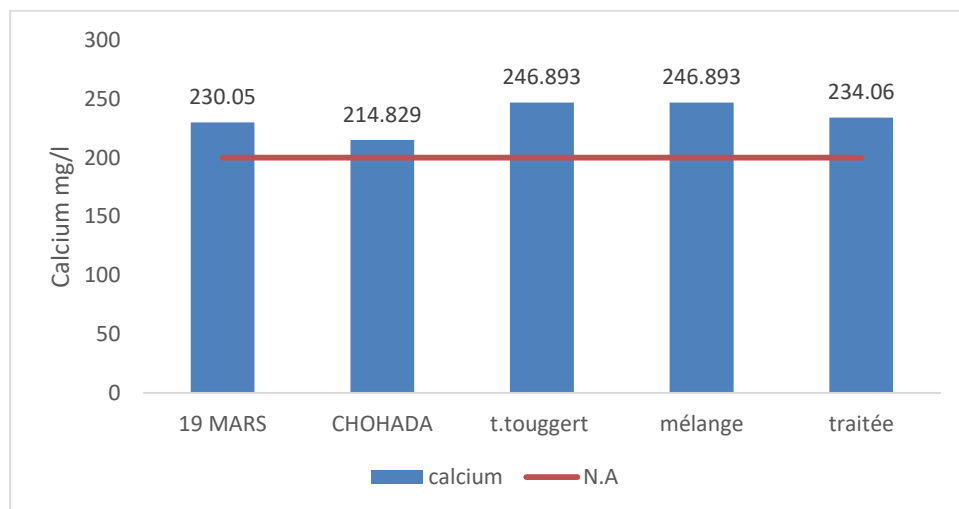


Figure III.16 : La variation calcium des eaux brutes et traitées.

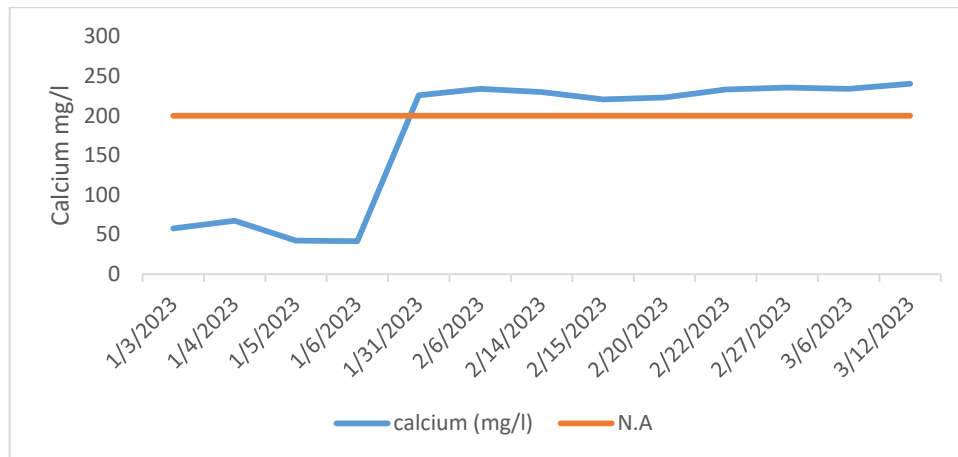


Figure III.17 : La variation calcium des eaux traitées.

2.3.2. Le Magnésium Mg

Le magnésium est naturellement présent dans toutes les eaux. C'est un élément essentiel en petite quantité pour tous les organismes vivants. Le magnésium contribue significativement à la dureté de l'eau. Une eau dure peut avoir des effets néfastes sur le fonctionnement et la durée de vie des systèmes de plomberie et des appareils ménagers.

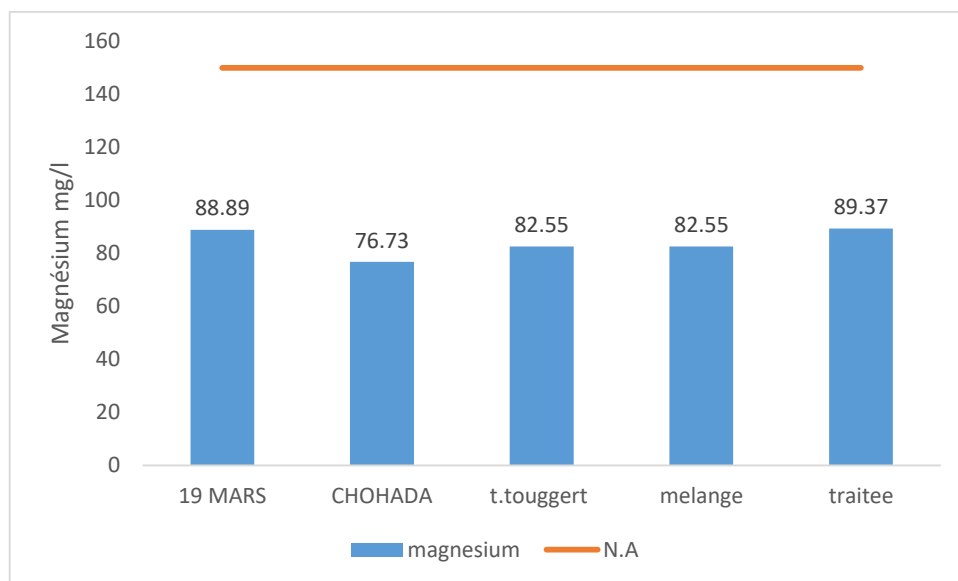


Figure III. 18 : La variation de magnésium des eaux brute et traitées.

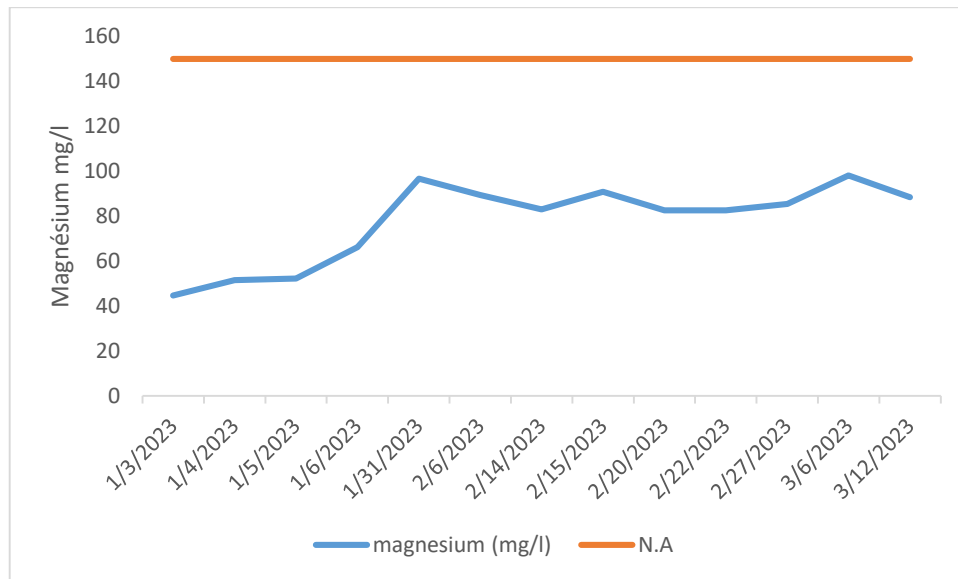


Figure III.19 : La variation de magnésium des eaux traitées.

Les résultats des analyses des eaux brutes ont montré des valeurs de magnésium comprises entre 76,73 et 88,89 mg/l, avec une valeur de 89,37 mg/l pour les eaux traitées.

Ces valeurs de magnésium pour l'eau de consommation sont conformes à la norme de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), qui fixe des concentrations maximales admissibles inférieures à 150 mg/l. (Figures III.18 et III.19)

2.3.3. Nitrite NO₂

Les nitrites, ou azotes nitreux, représentent une forme moins oxygénée et moins stable de l'azote. Ils agissent comme une forme de transition entre les nitrates et l'ammonium, et sont considérés comme toxiques. Les nitrates sont sujets à des processus biochimiques instables, et une dégradation significative peut se produire pendant le transport entre le prélèvement des échantillons et leur analyse en laboratoire. En présence de fortes concentrations d'ammonium, les nitrites peuvent également se former par nitrification. C'est pourquoi il est recommandé de réfrigérer les échantillons (<4 °C) et de les analyser rapidement après leur prélèvement.

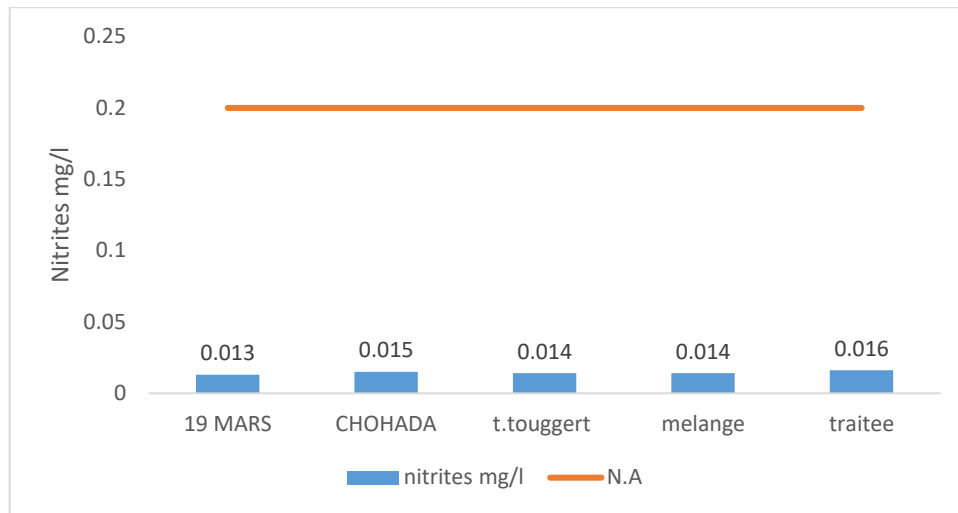


Figure III.20 : La variation du nitrite des eaux brutes et traitées.

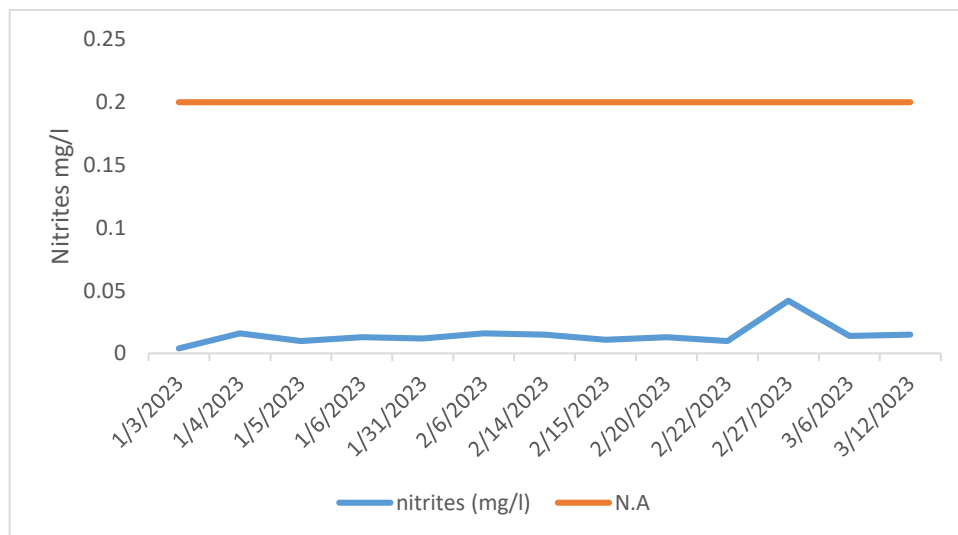


Figure III.21 : La variation du nitrite des eaux traitées.

La mesure des teneurs en nitrites d'eaux brutes montre des valeurs de 0.013 à 0.014 mg/l, soit une valeur d'eau traitée de 0.014 mg/l (Figure III.20).

Les valeurs d'eau traitée restent relativement inférieures à la valeur recommandée en nitrites selon les normes algériennes, fixée à 0.2 mg/l (Figure III.21).

2.3.4. Nitrate NO_3

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote et sont très solubles. En cas de manque d'oxygène, les nitrates agissent néanmoins comme des accepteurs d'électrons (oxydants) et se transforment en composés azotés réduits, tels que les nitrates et l'ammonium, qui sont toxiques.

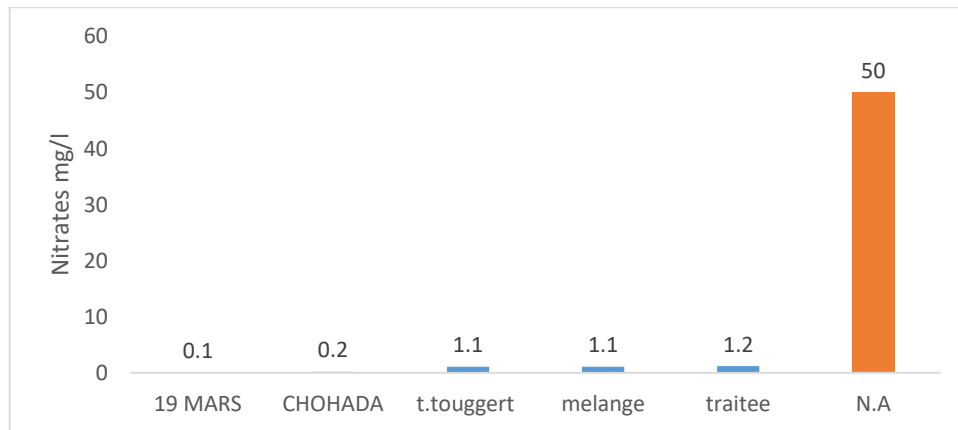


Figure III.22 : La variation des nitrates des eaux brutes et traitées.

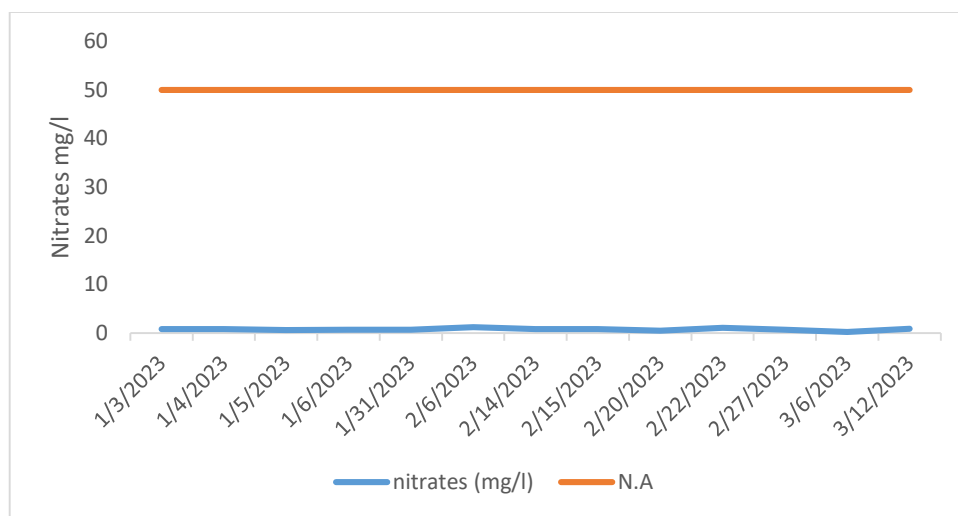


Figure III.23 : La variation des nitrates des eaux traitées.

Les nitrates, une fois transformés en nitrites par l'organisme, peuvent entraîner la conversion de l'hémoglobine en "méthémoglobine", ce qui perturbe le transfert d'oxygène vers les cellules. Cette condition peut affecter les nourrissons de moins de 6 mois, et le risque associé est difficile à déterminer avec précision. Par mesure de précaution, la norme de potabilité de l'eau a été établie à 50 mg/l de nitrates. Au-delà de 100 mg/l, l'eau ne doit pas être consommée.

Cependant, les eaux traitées ne présentent pas de risque de pollution par les nitrates, car les valeurs enregistrées lors des analyses varient entre un minimum de 0.2 mg/l et un maximum de 1.2 mg/l (Figure III.23), ce qui reste inférieur à la valeur admissible selon les normes de l'OMS et les normes algériennes.

2.3.5. Le fer Fe

Le fer est un élément lourd et potentiellement toxique qui peut avoir une origine naturelle, notamment par le lessivage des sols ou la dissolution des roches et minerais. Il peut également provenir d'une origine industrielle.

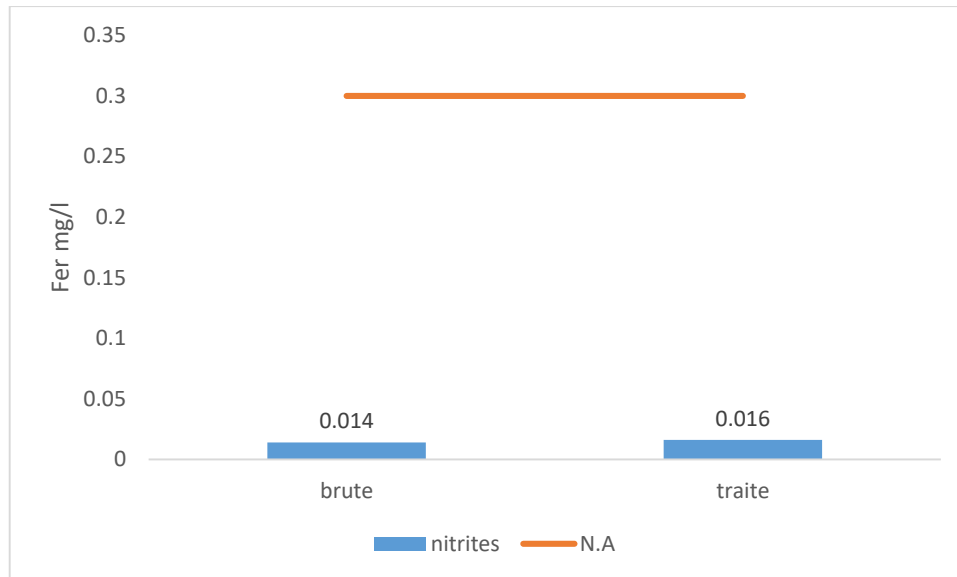


Figure III.24 : La variation du fer des eaux brutes et traitées.

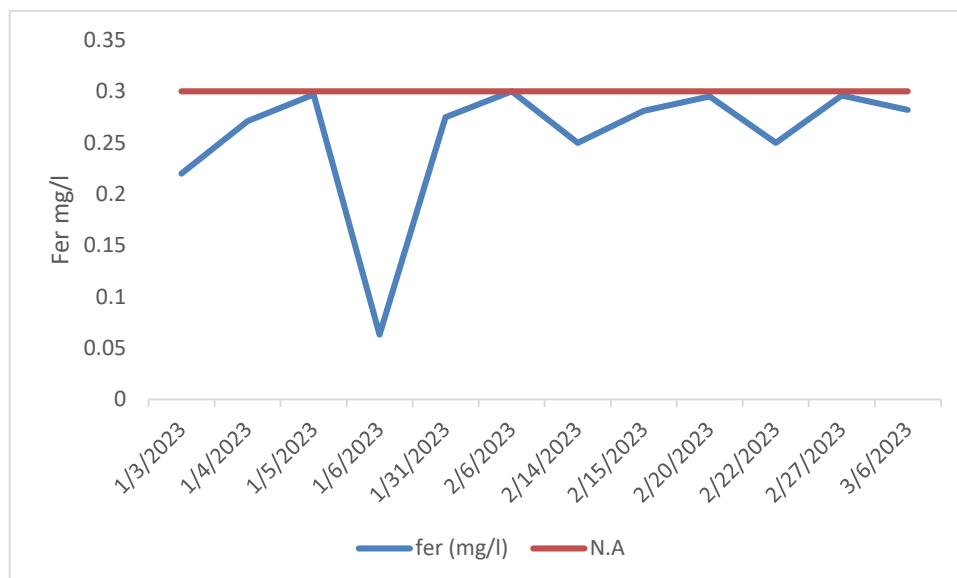


Figure III.25 : La variation du fer des eaux traitées.

Les concentrations en fer des eaux brutes et traitées varient entre 0,014 et 0,016 mg/l, selon les résultats obtenus (Figures III.24 et III.25). L'Organisation mondiale de la santé (OMS) ne fournit pas de référence spécifique quant à la valeur admissible de fer dans l'eau potable.

Toutefois, ces valeurs se situent en dessous de la norme de potabilité de l'eau en Algérie, qui fixe la limite maximale de fer à 0,3 mg/l.

2.3.6. Sulfates SO_4

L'eau destinée à la consommation humaine peut présenter certains problèmes particuliers qui peuvent causer des désagréments pour le consommateur, tels que des altérations de goût ou de la corrosion. Selon les recommandations de l'OMS et les normes algériennes, une valeur limite inférieure de 500 mg/l et 400 mg/l successivement est recommandée pour éviter ces désagréments. En effet, une concentration élevée de ces éléments dans l'eau potable peut entraîner des nuisances tant sur le plan organoleptique que sanitaire. Ils peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux et donner un goût désagréable à l'eau de boisson.

Les sulfates présents dans l'eau proviennent de l'oxydation des sulfures présents dans les roches. Dans notre cas, la teneur en sulfates dans l'eau varie entre 460 et 468 mg/l (Figure III.26). Ces valeurs dépassent les normes établies par les autorités algériennes par contre ces valeurs se situent en dessous de la norme au contraire de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable.

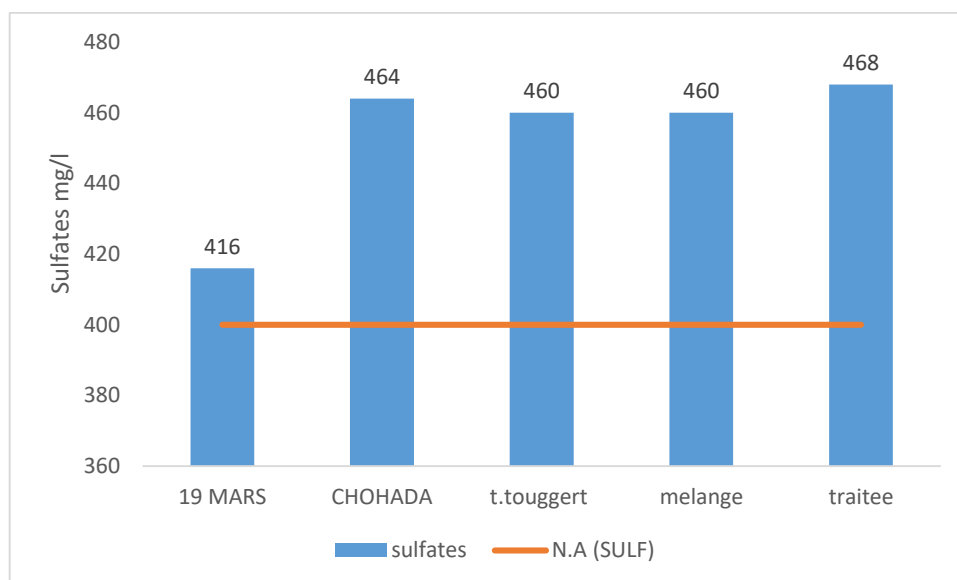


Figure III.26 : La variation du sulfate des eaux brutes et traitées.

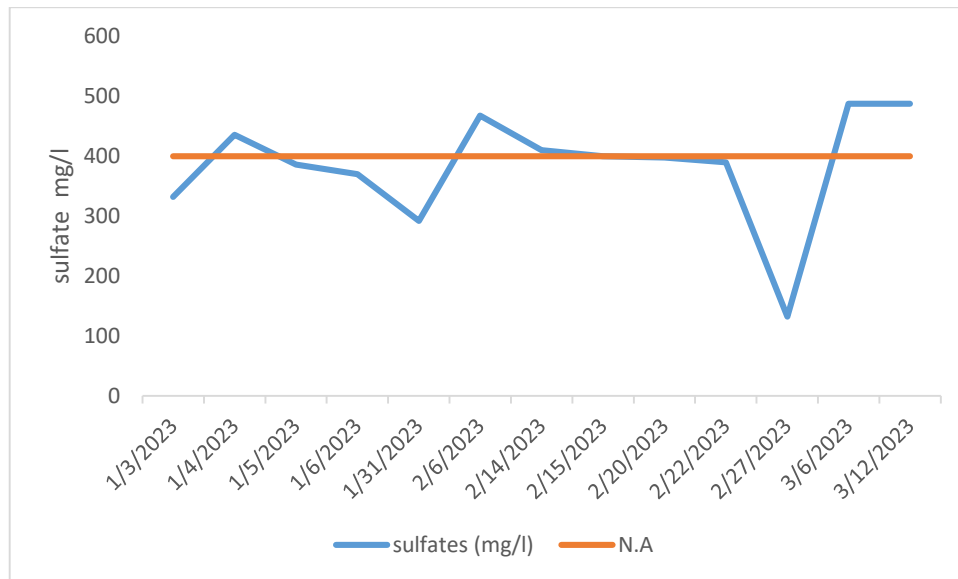


Figure III.27 : La variation du sulfate des eaux traitées.

2.3.7. La silice SiO₄

La silice est une composante naturelle de l'eau et peut être présente sous forme dissoute. La concentration de silice dans l'eau dépend de la source de l'eau et des caractéristiques géologiques de la région. La silice dans l'eau peut avoir des effets indésirables, notamment la formation de dépôts et d'incrustations dans les systèmes de distribution d'eau et les équipements industriels. Par conséquent, il est souvent nécessaire de contrôler et de traiter la silice présente dans l'eau afin de maintenir la qualité de l'eau et d'éviter les problèmes techniques.

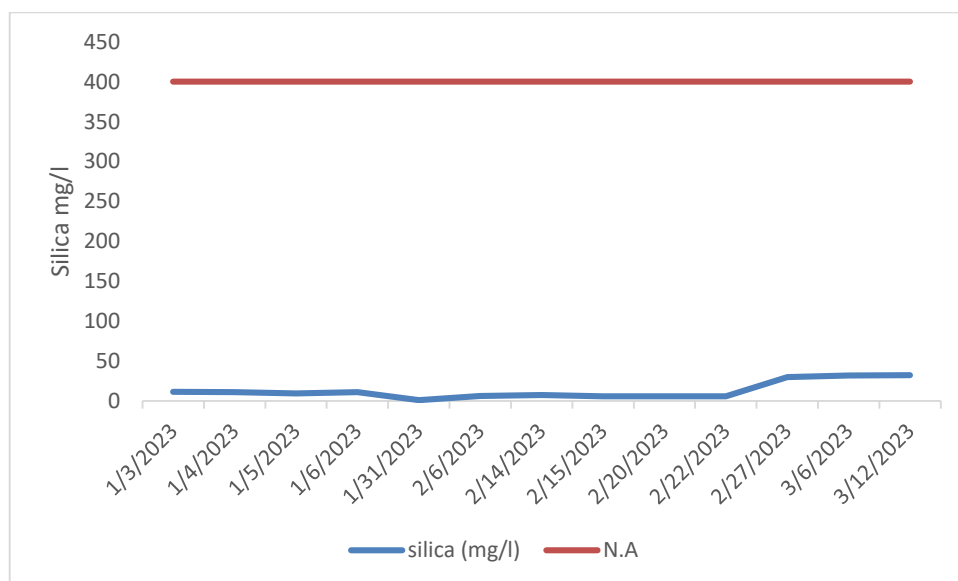


Figure III.28 : La variation de la silice des eaux traitées.

Les valeurs sont toujours conformes aux normes algériennes, qui fixent des concentrations maximales admissibles inférieures à 400 mg/l. (Figure III.28)

2.3.8. Les chlorures Cl

Les chlorures sont présents naturellement dans la plupart des eaux et leurs concentrations peuvent varier considérablement, allant de quelques milligrammes par litre à plus d'un millier de milligrammes par litre. Les sources de chlorures peuvent inclure le passage de l'eau à travers des roches sédimentaires, l'infiltration d'eau salée dans les nappes souterraines et l'épandage de chlorure de sodium et de calcium sur les routes. La concentration maximale admise en chlorures est généralement de 250 mg/l, car des concentrations plus élevées peuvent donner un goût salé à l'eau. De plus, à des concentrations élevées, les chlorures peuvent également être corrosifs et avoir un impact sur les infrastructures et les systèmes de plomberie.

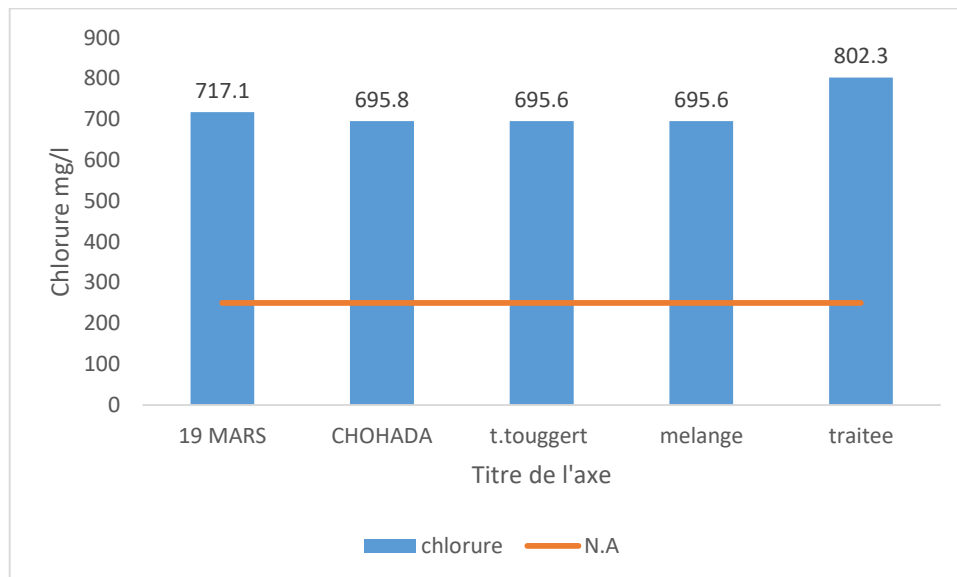


Figure III.29 : La variation du chlorure des eaux brutes et traitées.



Figure III.30 : La variation de chlorure des eaux traitées.

Les résultats des analyses des eaux brutes révèlent une concentration de chlorure variant entre 695,6 et 717,1 mg/l (Figure III.29). Pour les eaux traitées, les valeurs fluctuent entre 276,9 et 802,3 mg/l (Figure III.30). Cette variation est attribuable à l'étape de post-chloration, qui entraîne également une augmentation de la concentration en chlorures dans l'eau traitée.

2.3.9. Bicarbonate HCO_3

Les bicarbonates sont des ions dérivés des hydrogénocarbonates et ils sont principalement responsables de l'alcalinité des eaux naturelles. Leur présence dans l'eau est le résultat de la dissolution de formations carbonatées telles que le cipolin et le calcaire, sous l'action d'eaux chargées en gaz carbonique.

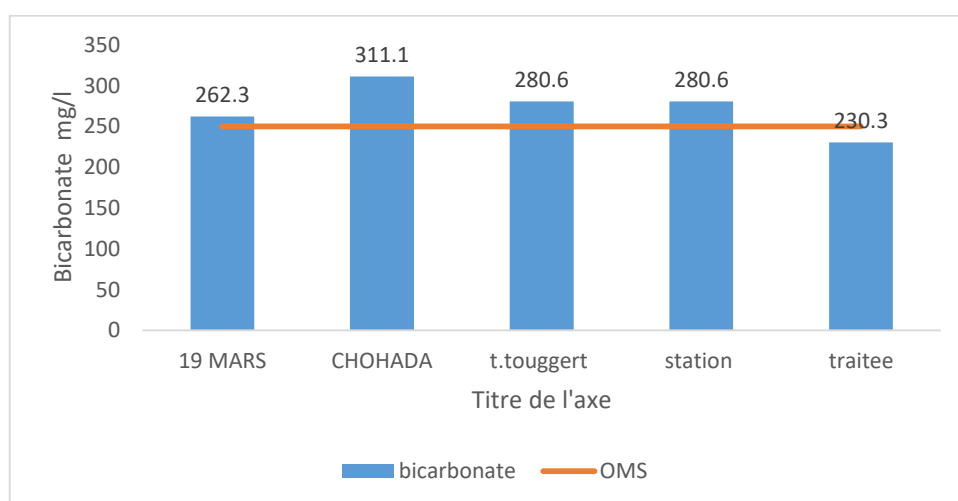


Figure III.31 : La variation des bicarbonates des eaux brutes et traitées.

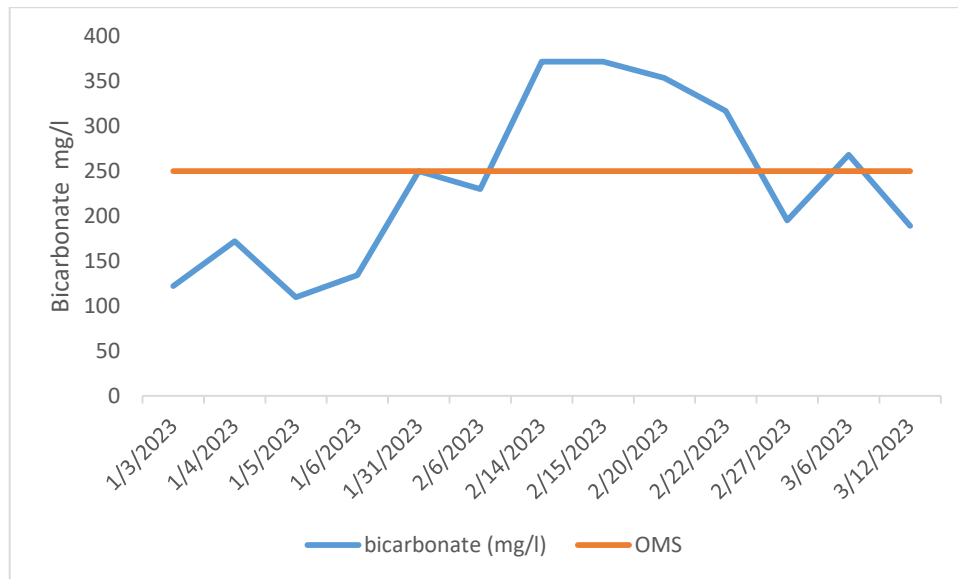


Figure III.32 : La variation des bicarbonates d’eaux traitées.

Les résultats des analyses des eaux brutes révèlent une concentration de bicarbonate variant entre 262.3 et 311.1 mg/l (Figure III.31). Pour les eaux traitées, les valeurs fluctuent entre 109.8 et 372.1 mg/l (Figure III.30).

Les valeurs ne sont pas toujours conformes à la norme de l’OMS, qui fixe des concentrations maximales admissibles inférieures à 250 mg/l.

3. La répartition graphique des analyses chimiques

Les résultats des analyses chimiques, exprimés sous forme ionique, peuvent être représentés graphiquement à l'aide de différents types de diagrammes. Ces diagrammes permettent de comparer les caractéristiques chimiques des différentes eaux entre elles et de les regrouper en familles chimiques similaires. Parmi les représentations les plus couramment utilisées, on a utilisé le diagramme de Piper il permet de visualiser la composition chimique des eaux en termes de concentrations relatives des ions majeurs (calcium, magnésium, sodium, potassium) et des ions bicarbonates, sulfates, chlorures et nitrates.

3.1. Le diagramme de Piper

Le diagramme de Piper est un outil graphique utilisé pour représenter la composition chimique des eaux en termes de pourcentages d'ions. Il est constitué de trois triangles équilatéraux superposés, formant un losange central. Chaque triangle représente les pourcentages d'ions pour les cations (Ca^+ , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et les anions (HCO^{3-} , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^-).

Pour représenter la composition chimique de l'eau sur le diagramme de Piper, un point est placé dans chaque triangle, un point pour les cations et un autre point pour les anions. La position de ces deux points et leurs intersections convergentes vers un point unique dans le losange central, ce qui permet de déterminer le type d'eau.

Le diagramme de Piper offre une visualisation claire de la composition chimique de l'eau et permet de suivre l'évolution du chimisme des eaux au fil du temps ou entre différents sites. Il permet également de comparer plusieurs analyses chimiques et de regrouper les eaux en fonction de leur composition chimique similaire.

Cet outil est largement utilisé dans les études hydrogéologiques, la gestion des ressources en eau et l'évaluation de la qualité de l'eau. Il permet de détecter les variations dans la composition chimique de l'eau, d'identifier les sources potentielles de contamination et d'évaluer les interactions entre l'eau souterraine et les formations géologiques environnantes. Pour ce travail on représente les analyses des trois mois janvier, février et mars 2023.

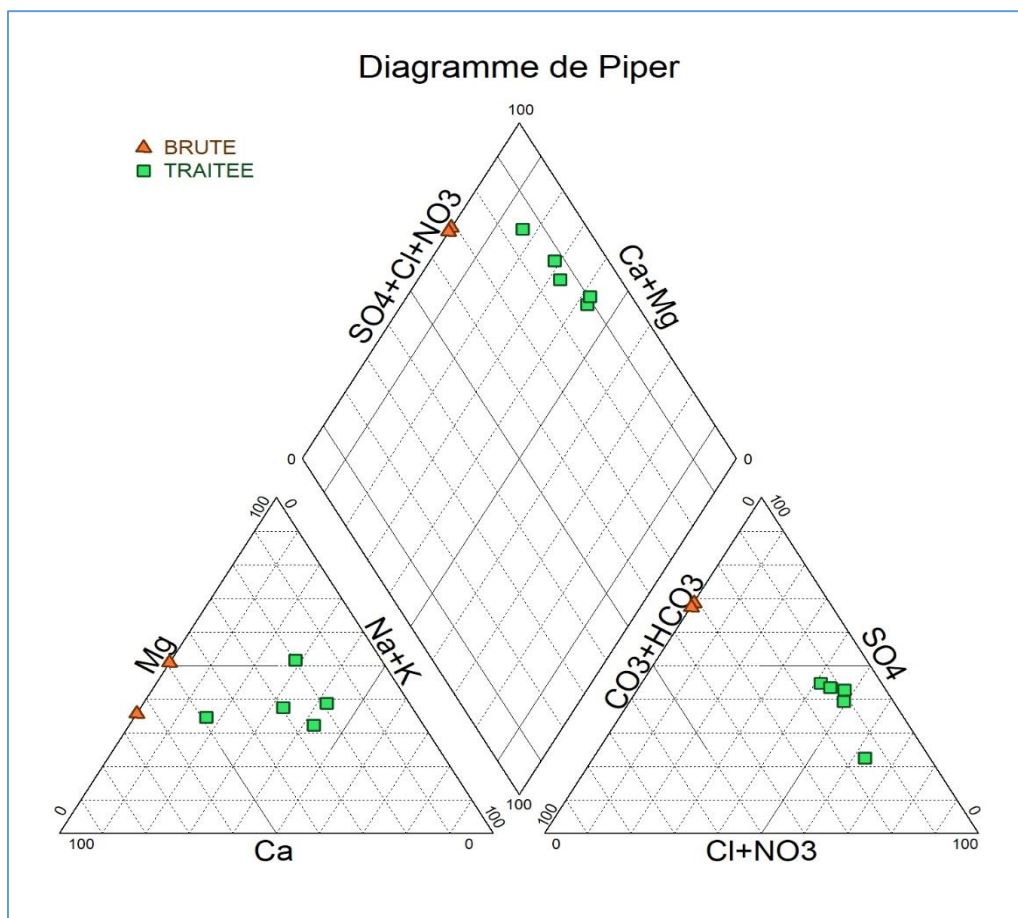


Figure III.33 : Représentation des analyses chimiques des eaux brute et traitées de la station par le diagramme de Piper.

La représentation des analyses chimiques de l'eau sur le diagramme de piper permet de déterminer le faciès chimique du l'eau brute et traitées de la station : hyper chlorurée calcique et hyper sulfatée calcique.

4. Les indices de qualité de l'eau

Les indices de qualité de l'eau sont des outils utilisés pour évaluer et surveiller la santé et la sécurité de l'eau dans différents contextes, tels que l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation agricole, la protection de l'environnement et la gestion des ressources en eau. Ces indices fournissent des informations sur divers paramètres physiques, chimiques et biologiques de l'eau, ce qui permet de déterminer si elle répond aux normes et aux exigences spécifiques pour une utilisation donnée.

Ces indices permettent de comparer les résultats des analyses d'eau à des normes de référence ou des seuils prédéfinis, afin de déterminer si l'eau est propre à la consommation humaine, à l'irrigation des cultures, à la vie aquatique ou à d'autres utilisations spécifiques. Ils jouent un rôle essentiel dans la prise de décisions en matière de gestion des ressources en eau, de politique environnementale et de protection de la santé publique.

4.1. Aptitude des eaux en AEP

Les indices de qualité de l'eau visent à donner une valeur unique à la qualité d'une source sur la base de l'un ou l'autre système qui se traduit par la liste des constituants et leurs concentrations présentes dans un échantillon dans une seule valeur de l'eau. On peut alors comparer les différentes qualités des échantillons sur la base de la valeur d'indice de chaque échantillon.

Dans un premier temps, IQE a été développé par Horton (1965)(Horton, 1965) en États-Unis en sélectionnant les 10 variables de qualité de l'eau plus couramment utilisées comme l'oxygène dissous (DO), le pH, Coliformes, conductance spécifique, alcalinité et etc. chlorure et a été largement appliquée et acceptée dans les pays européens, africains et asiatiques. Le poids affecté réfléchié signification d'un paramètre pour une utilisation particulière et a un impact considérable sur l'indice. En outre, une nouvelle IQE semblable à l'indice de Horton a également été mis au point par le groupe de Brown en 1970 (Brown et al. 1970), qui était basée sur des poids à des paramètres individuels. Récemment, de nombreuses modifications ont été envisagées pour concept de IQE par divers scientifiques et experts (Bhargava & Saxena 1990; Dwivedi et al. 1997).

Une approche IQE générale (Fernández et al. 2004) est fondée sur des facteurs les plus courants qui sont décrits dans les trois étapes suivantes :

1. Sélection des paramètres : Ceci est réalisé par un jugement d'experts professionnels, des organismes ou des institutions gouvernementales qui est déterminé dans le domaine législatif. La sélection des variables des 5 classes à savoir au niveau de l'oxygène, l'eutrophisation, les aspects de la santé, les caractéristiques physiques et les substances dissoutes, qui ont l'impact considérable sur la qualité de l'eau, il est recommandé (Dunnette 1979).
2. Détermination de la fonction de la qualité (courbe) pour chaque paramètre considéré comme sous-indice : Les sous-indices de transformation des valeurs d'échelle non dimensions à partir des variables de ses différentes unités (ppm, pourcentage de saturation, le nombre / volume, etc.).
3. L'agrégation sous-indices de l'expression mathématique : Ceci est fréquemment utilisé par les moyennes arithmétiques ou géométriques.

Cependant, un grand nombre d'indices de qualité de l'eau à savoir :

L'indice de qualité de l'eau arithmétique pondérée, la National Sanitation Foundation Indice de la qualité des Eaux (NSFWQI), Conseil canadien des ministres de l'Environnement Indice de la qualité de l'eau (CCMEWQI), Oregon eau Indice de qualité (OWQI), etc. ont été formulées par plusieurs nationaux et internationaux organisations. Ces IQE ont été appliquées pour l'évaluation de la qualité de l'eau dans une zone particulière (Lumb et al. 2002 ; Chaturvedi & Bassin 2010). De plus, ces indices sont souvent basés sur le nombre et les types différents de paramètres de qualité de l'eau par rapport aux normes respectives d'une région particulière. Les indices de qualité de l'eau sont accrédités pour démontrer les cycles annuels, les variations spatiales et temporelles de la qualité de l'eau et les tendances de la qualité de l'eau, même à des concentrations faibles d'une manière efficace et rapide. Pour notre étude notre choix c'est porté sur l'indice NSF et moyenne arithmétique pondérée.

4.1.1. National Sanitation Foundation Indice de la qualité de l'eau (NSFWQI)

Un indice largement utilisé pour évaluer la qualité de l'eau (IQE) a été créé en 1970 par la National Sanitation Foundation (NSF) (Brown et autres, 1970). L'objectif de l'IQE de la NSF était de proposer une méthode normalisée permettant de comparer la qualité de différentes sources d'eau.

Neuf paramètres de qualité de l'eau ont été choisis de manière à inclure dans l'index, Ces paramètres sont les suivants :

- oxygène dissous (OD)
- coliformes fécaux
- pH
- demande biochimique en oxygène (DBO) (5 jours)
- changement de température (de 1 mile en amont)
- phosphate total
- nitrate
- turbidité
- solides totaux

A chaque paramètre une courbe de qualité est définie avec une échelle sans dimension (0 à 100). Egalement, des coefficients spécifiques sont affectés à chaque paramètre. Les étapes du calcul sont les suivantes :

- Détermination des sous indices Q pour chaque paramètre à l'aide des courbes de qualité.
- Pour chaque paramètre des coefficients spécifiques sont définis

L'indice global est obtenu par agrégation des sous indices affectés de leurs coefficients.

$$I = \sum Q_{\text{phosphate}} * Weight_{\text{phosphate}} + Q_{\text{pH}} * Weight_{\text{pH}} + Q_{\text{DO}} * Weight_{\text{DO}} \dots$$

- la Grille de lecture de la qualité de l'eau : (Brown et al., 1972)

Tableau III.3 : Classification des eaux.(Brown et al., 1972)

GAME	QUALITE
90 – 100	Excellente
70 – 90	Bonne
50 – 70	Bonne
25 – 50	Mauvaise
0 - 25	Très mauvaise

Tableau III.4 : Les résultats de l'application de l'IQE du NFS

Les dates	IQE NFS	Classement
1/3/2023	76.21	Bonne
1/4/2023	76.70	Bonne
1/5/2023	76.97	Bonne
1/6/2023	77.35	Bonne
1/31/2023	75.66	Bonne
2/6/2023	73.29	Bonne
2/14/2023	75.55	Bonne
2/15/2023	75.34	Bonne
2/20/2023	76.97	Bonne
2/22/2023	74.00	Bonne
2/27/2023	75.48	Bonne
3/6/2023	78.35	Bonne
3/12/2023	73.79	Bonne

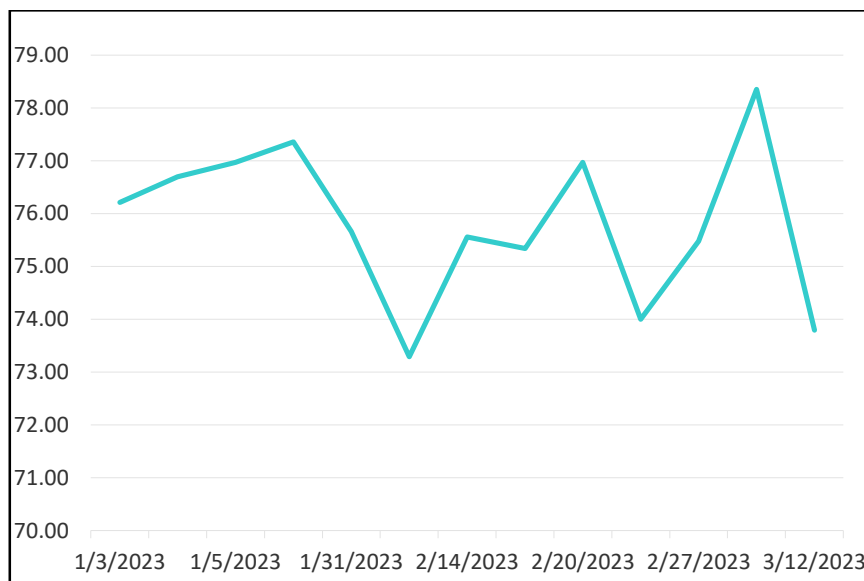


Figure III.34 : La variation de l'indice de qualité NFS pour les mois (Janvier, Février et Mars) de l'année 2023.

Le tableau III.4 et le graphe (Figure III.34) présentent les résultats des eaux traitées de la station de dessalement 19 mars. La qualité des eaux est bonne pendant les trois mois de l'année 2023.

4.1.2. Calcul de l'Indice de qualité de l'eau (IQE) Moyenne arithmétique pondérée

L'indice arithmétique pondéré de l'eau est un outil utilisé pour évaluer la qualité globale de l'eau en prenant en compte plusieurs paramètres importants. Cet indice combine différentes mesures

pondérées pour fournir une évaluation globale de la qualité de l'eau. L'indice arithmétique pondéré de l'eau est généralement calculé en attribuant des poids spécifiques à différents paramètres de qualité de l'eau, tels que la turbidité, la concentration en oxygène dissous, le pH, les nutriments, les métaux lourds, les pesticides, etc. Chaque paramètre reçoit un poids en fonction de son importance relative dans l'évaluation globale de la qualité de l'eau. Une fois que les poids sont attribués, les mesures de chaque paramètre sont combinées à l'aide d'une formule mathématique pour calculer l'indice arithmétique pondéré de l'eau. Cet indice fournit une valeur numérique qui représente la qualité globale de l'eau, et il peut être utilisé pour comparer la qualité de différentes sources d'eau, suivre les changements au fil du temps ou évaluer l'efficacité des mesures de gestion de l'eau.

L'avantage de l'indice arithmétique pondéré de l'eau est qu'il prend en compte plusieurs paramètres de qualité de l'eau, permettant ainsi d'avoir une vision globale de la santé de l'écosystème aquatique ou de la sécurité de l'eau potable. Cependant, il est important de noter que les pondérations utilisées dans le calcul peuvent varier en fonction du contexte spécifique et des objectifs de l'évaluation de la qualité de l'eau.

Dix paramètres de qualité de l'eau ont été choisis de manière à inclure dans l'index, Ces paramètres sont les suivants :

- pH
- température
- conductivité
- turbidité
- chlorure
- nitrate
- nitrite
- calcium
- sulfate
- fer

Cet indice est une technique de classification de la qualité de l'eau qui repose sur la comparaison des paramètres de qualité de l'eau avec les normes internationales ou nationales algérienne dans le cadre de cette étude. L'IQE résume de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en termes simples (Excellente, Bonne, Mauvaise, Très mauvaise, etc.). Cet indice est calculé en suivant la méthode de l'indice arithmétique pondéré (Brown et al., 1970 ; Brown et al., 1972 ; Chatterji et Raziuddin, 2002 ; Yidana et Yidana, 2010).

Dans cette approche, une valeur numérique appelée poids relatif (W_i), spécifique à chaque paramètre, est calculée (Tableau III.5) selon la formule suivante :

$$W_i = \frac{k}{S_i}$$

Où :

$$k = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{S_i}\right)}$$

k : constante de proportionnalité et peut également être calculée à l'aide de l'équation suivante :

n : nombre de paramètres

S_i : valeur maximale de la norme standard marocaine des eaux de surface (Norme Marocaine de qualité des eaux, 2002) de chaque paramètre en mg/l sauf pour le pH, la T°C et la conductivité électrique.

Ensuite, une échelle d'évaluation de la qualité (Q_i) est calculée pour chaque paramètre en divisant la concentration par la norme dudit paramètre et en multipliant l'ensemble par 100 comme dans la formule suivante :

$$Q_i = (C_i / S_i) \times 100$$

Q_i : échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre.

C_i : la concentration de chaque paramètre en mg/l

Finalement l'indice global de la qualité de l'eau est calculé par l'équation suivante :

$$IQE = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i W_i)}{W_i}$$

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau IQE (Tableau III.5).

Tableau III.5 : Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE (Brown et autres, 1972)

Valeur IQE	Evaluation de la qualité de l'eau	Classement
0-25	excellente qualité de l'eau	Excellente
26-50	bonne qualité de l'eau	Bonne
51-75	mauvaise qualité de l'eau	Mauvaise
76-100	très mauvaise qualité de l'eau	Très mauvaise
>100	inadapté à des fins de consommation	Eau non potable

Tableau III.6 : Les résultats de l'application de l'IQE Moyenne arithmétique pondérée.

La date	IQE OMS	Classement	IQE ALG	Classement
1/3/2023	7.89	Excellente	33.64	Bonne
1/4/2023	19.31	Excellente	43.43	Bonne
1/5/2023	13.32	Excellente	44.8	Bonne
1/6/2023	16.55	Excellente	16.21	Excellente
1/31/2023	15.63	Excellente	42.72	Bonne
2/6/2023	19.34	Excellente	46.89	Bonne
2/14/2023	18.69	Excellente	40.68	Bonne
2/15/2023	14.92	Excellente	43.5	Bonne
2/20/2023	16.9	Excellente	45.95	Bonne
2/22/2023	13.68	Excellente	38.96	Bonne
2/27/2023	44.77	Bonne	54.38	Mauvaise
3/6/2023	17.95	Excellente	44.68	Bonne
3/12/2023	18.61	Excellente	54.84	Mauvaise

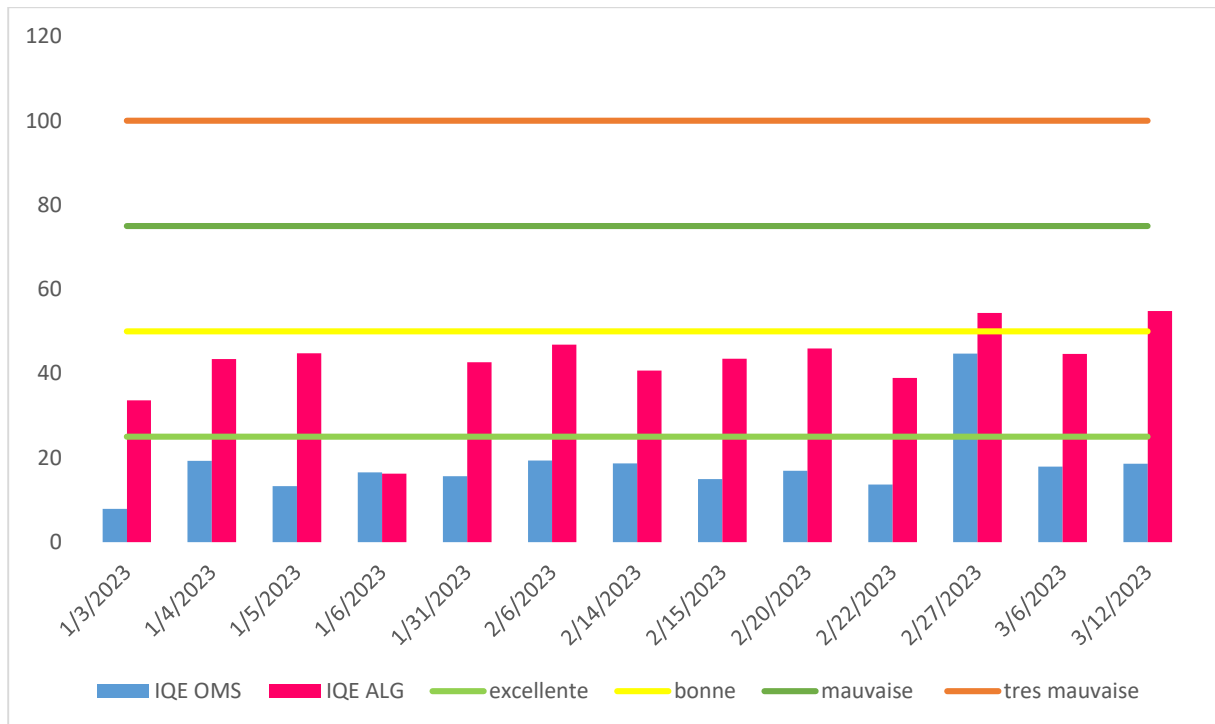


Figure III.35 : La variation de l'indice de qualité pour les mois (Janvier, Février et Mars) de l'année 2023.

Le tableau III.6 et le graphe figure III.35 présentent les résultats des eaux traitées de la station de dessalement. La qualité des eaux est excellente généralement selon les normes OMS et bonne selon les normes Algérienne. La dégradation de L'IQE peut être à cause de taux élevé de Chlorure.

4.2. Aptitude des eaux à L'irrigation

Il est nécessaire de réaliser une analyse chimique des eaux utilisées pour l'irrigation afin de mettre en évidence les risques potentiels liés à certains éléments chimiques. Pour les plantes sensibles aux sols riches en sodium et en sel, il est important de classer les eaux en fonction de deux critères : le pourcentage de sodium, évalué à l'aide du diagramme de Wilcox, et le pourcentage de sel, évalué à l'aide du diagramme de Riverside.

4.2.1. Le Diagramme de Riverside et wilcox

Le diagramme de Riverside et Wilcox sont des outils utilisés pour classer les eaux en fonction de leur contenu en sodium et en sel, respectivement, dans le contexte de l'irrigation. Ils permettent d'évaluer les risques potentiels pour les plantes qui sont sensibles à ces éléments chimiques.

4.2.2. Le risque de SAR (Sodium Adsorption Ratio)

Le Sodium Adsorption Ratio (SAR), ou le risque de SAR, est un paramètre utilisé pour évaluer le potentiel de danger du sodium dans l'eau d'irrigation. Il est souvent utilisé en conjonction avec le diagramme de Wilcox pour évaluer la qualité de l'eau en termes de sodium.

Le SAR est calculé en prenant en compte les concentrations de sodium, de calcium et de magnésium dans l'eau. Il permet d'évaluer la quantité de sodium disponible pour être adsorbée par les particules du sol. Un SAR élevé indique une proportion élevée de sodium par rapport au calcium et au magnésium, ce qui peut entraîner des problèmes de structure du sol et affecter la croissance des plantes.

L'indice de qualité des eaux d'irrigation couramment utilisé est le Sodium Adsorption Ratio (SAR), qui représente l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice permet de mesurer la concentration relative de sodium par rapport au calcium et au magnésium. La SAR (Sodium Adsorption Ratio) défini par cette équation :

$$SAR = \frac{(Na + K)}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Afin d'évaluer le risque associé à une conductivité donnée, il est important de prendre en compte le rapport S, A, R (Sodium, Adsorption, Résidu) ainsi que la conductivité électrique de l'eau. Pour ce faire, nous avons utilisé un diagramme de classification qui permet de regrouper les différentes eaux en fonction de ces paramètres.

Les résultats ont été obtenus à l'aide d'un logiciel d'hydrochimie multi-langage développé par Simler au Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon en 2004, dans sa version 2.00 (diagramme). Ce logiciel permet de calculer automatiquement les activités ioniques dans une solution aqueuse, ce qui est essentiel pour déterminer la composition chimique de l'eau et évaluer son potentiel risque.

En outre, une classification plus détaillée des eaux destinées à l'irrigation a été établie par M. Louvier en 1976. Cette classification prend en compte plusieurs facteurs spécifiques à l'irrigation et offre une analyse plus approfondie des caractéristiques des eaux utilisées dans ce contexte.

L'utilisation de ces outils de classification et de calcul des activités ioniques nous permet d'évaluer de manière précise les propriétés chimiques des eaux et de déterminer leur aptitude à

des fins spécifiques telles que l'irrigation. Cela nous aide à prendre des décisions éclairées quant à l'utilisation appropriée des ressources en eau et à minimiser les risques potentiels pour les cultures et l'environnement.

Pour cela on a utilisé des résultats d'un «calcul automatique des activités ioniques dans une solution aqueuse», effectuée à l'aide d'un logiciel d'hydrochimie multi-langage établi par Simler au Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon en 2004, version 2,00, Une classification plus détaillée des eaux destinées à l'irrigation a été établie par M, Louvier, (1976).

Tableau III.7 : Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR (M, Louvier, 1976- BRGM) :

	Qualité	Classe	Possibilité d'utilisation
1	Excellente	C1S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures.
2	Bonne	C2S1 C2S1	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels, sur sols ayant une bonne perméabilité.
3	Admissible	C2S3 C3S1	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes aux sels sur les sols drainés, L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	Médiocre	C3S3 C4S1 C4S2	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à certaines espèces bien tolérantes aux sels sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C4S3 C3S4	Eau ne convenant pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions.

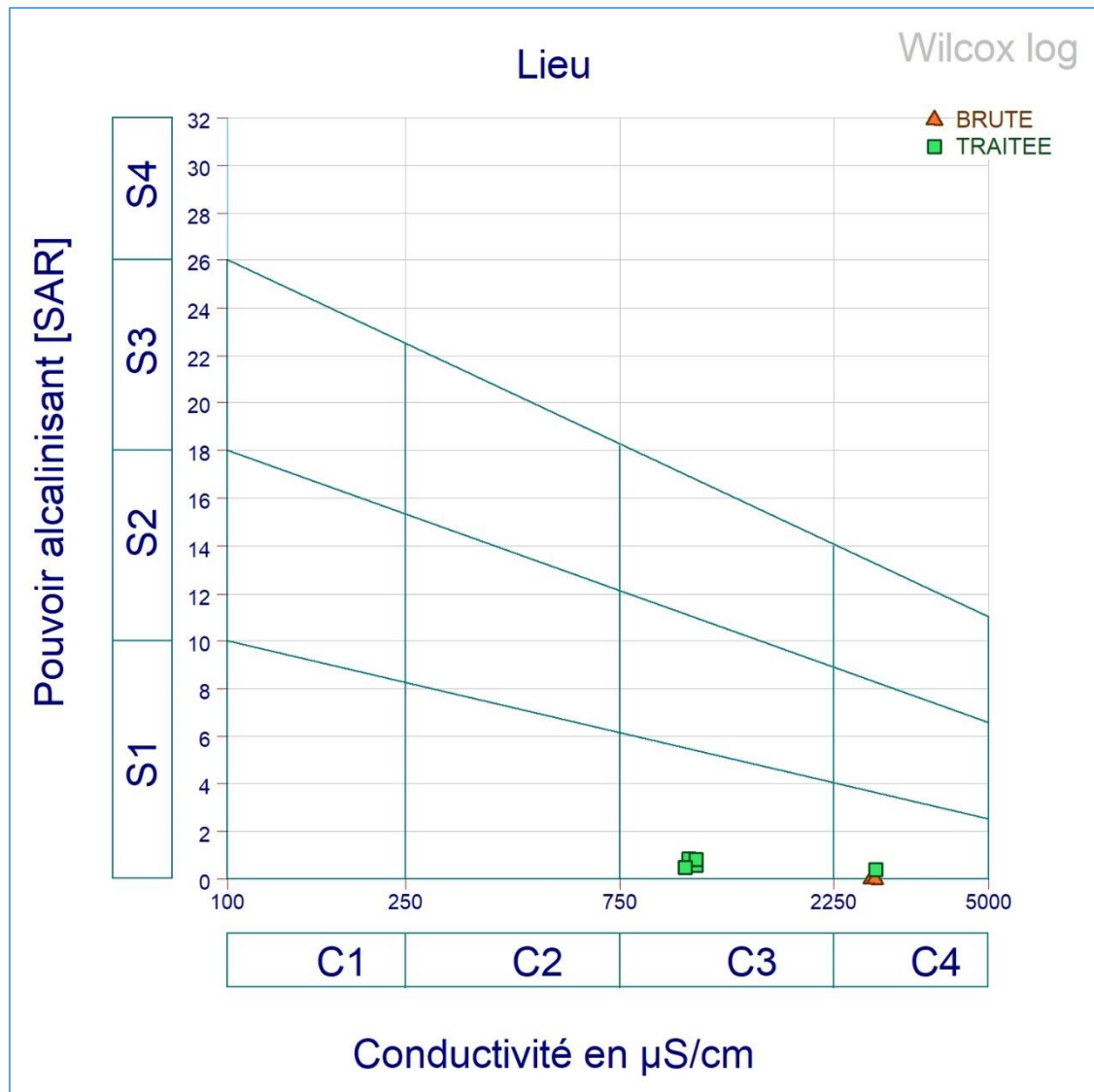


Figure III.36 : Diagramme de Wilcox pour les eaux traitées de la station 19 mars.

Après avoir appliqué le diagramme de Wilcox (Figure III.36) aux données de la station de dessalement 19 mars pour les trois premiers mois de l'année 2023, nous avons constaté que les résultats se concentrent dans la 3ème classe (C3-S1) et la 4ème classe (C4-S1). Cela indique que la qualité de l'eau est généralement admissible. En général, ces eaux conviennent à l'irrigation des plantes qui ont une tolérance élevée aux sels, comme indiqué dans le Tableau III.7.

4.2.3. Le risque de salinité

La présence de sel dans l'eau d'irrigation est une préoccupation majeure. Un excès de sel dans l'eau utilisée pour l'irrigation peut avoir des effets négatifs sur le rendement des cultures, entraîner la dégradation des sols et la pollution des eaux souterraines.

Tableau III.8 : Les classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation

Qualité de l'eau	Conductivité de l'eau ($\mu\text{S}, \text{cm}^{-1}$)	sels solubles correspondants estimés en NaCl (mg, l^{-1})
1-Excellente	<250	<160
2-Faible salinité	250-750	160-500
3-Forte salinité	750-2250	500-1500
4- Très forte salinité	2250-5000	1500-3600

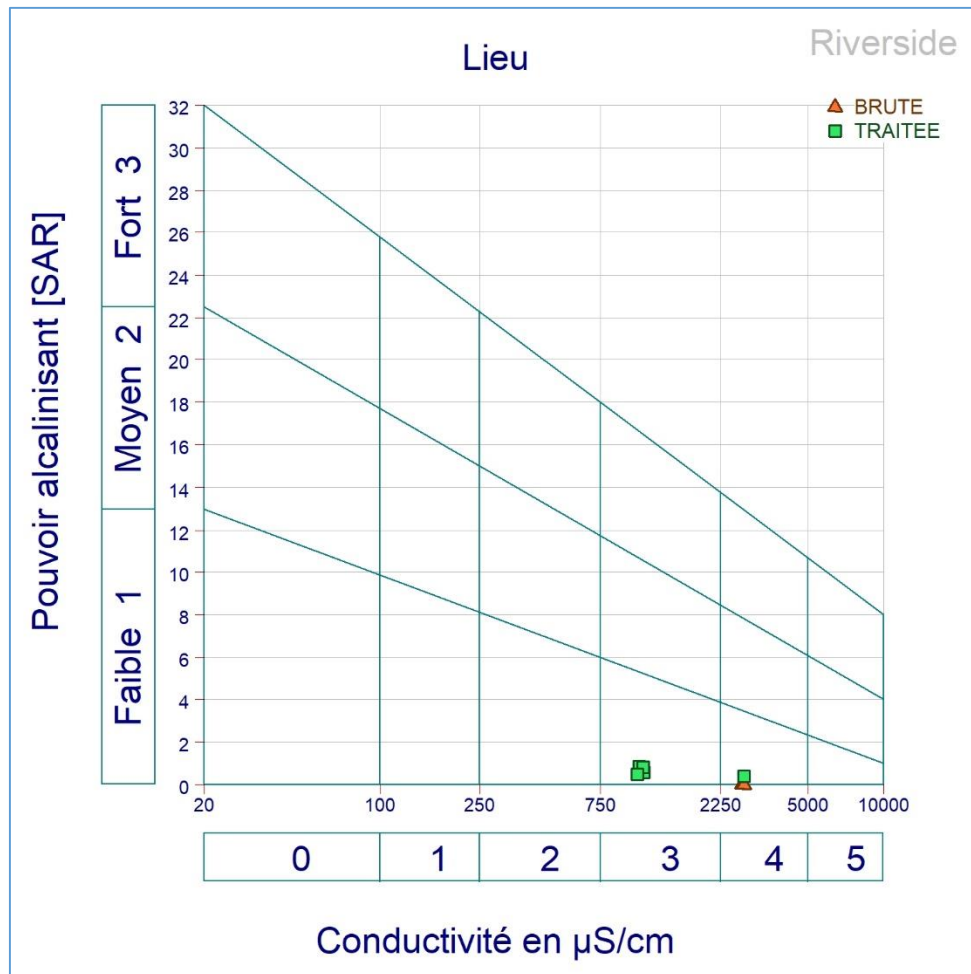


Figure III.37 : Diagramme de Riverside pour les eaux traitées de la station 19 mars.

D'après l'application de diagramme de Riverside (Figure III.37) sur les données de la station de dessalement 19 mars pour les trois mois (janvier, février et mars) l'année 2023. On constate que la Conductivité des eaux traitées de la station, c'est entre 750 et 5000 ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) donc la qualité est forte à très forte salinité tableau III.8.

5. Conclusion

La qualité des eaux traitées de la station de dessalement 19 mars est influencée par divers paramètres physiques, chimiques et biologiques. Ces facteurs jouent un rôle essentiel dans la détermination de la qualité globale de l'eau produite.

L'interprétation des résultats des analyses chimiques des eaux brutes et traitées de la station révèle un faciès de type hyper chlorurée calcique et hyper sulfatée calcique.

Selon l'indice de qualité de l'eau IQE NSF (National Sanitation Foundation), les eaux produites par la station 19 mars sont de bonne qualité pour la consommation humaine. Elles répondent aux normes de qualité établies et sont considérées comme excellentes en termes de santé publique selon l'indice de qualité de l'eau IQE.

Cependant, en ce qui concerne l'irrigation, l'eau de la région étudiée est considérée comme de qualité admissible à médiocre. Cela signifie qu'elle peut être utilisée pour l'irrigation, mais présente un risque potentiel pour les cultures en raison de certains paramètres chimiques présents dans l'eau. Il est important de prendre en compte ces facteurs lors de l'utilisation de cette eau pour l'irrigation afin de minimiser les effets négatifs sur les plantes et les sols.

CHAPITRE IV

Suive de l'SDI

1. Introduction

Il est important de souligner que la qualité de l'eau brute peut avoir un impact sur les performances des usines de dessalement. Si l'eau contient des particules en suspension, y compris des particules de la taille du limon, cela peut entraîner une charge de travail accrue et une détérioration des membranes utilisées dans les processus de dessalement, tels que l'osmose inverse ou d'autres méthodes. Dans de tels cas, des prétraitements sont généralement nécessaires pour éliminer les particules en suspension.

2. Définition de l'indice de colmatage « SDI »

L'indice de colmatage, également appelé SDI (pour Silt Density Index en anglais), est une mesure utilisée pour évaluer la propension d'un échantillon d'eau à provoquer le colmatage ou l'obstruction d'un système de filtration. Il permet de quantifier la concentration et la taille des particules pouvant entraîner un colmatage. Ce paramètre revêt une grande importance pour évaluer l'efficacité du système de filtration.

3. Le but de mesure de l'SDI

Le contrôle régulier de l'indice de colmatage (SDI) est essentiel pour garantir un fonctionnement optimal des filtres et maintenir la qualité de l'eau traitée. En surveillant le SDI, il est possible de déterminer le moment où le filtre doit être nettoyé ou bien la bêche à eau doit être nettoyé, régénéré ou remplacé pour maintenir des performances optimales.

4. Mesure de SDI

Le calcul de l'Indice de Salinité de l'Eau (SDI) se déroule en deux étapes pendant le processus de dessalement :

4.1. La sortie filtre à sable

Le calcul de SDI implique généralement les étapes suivantes :

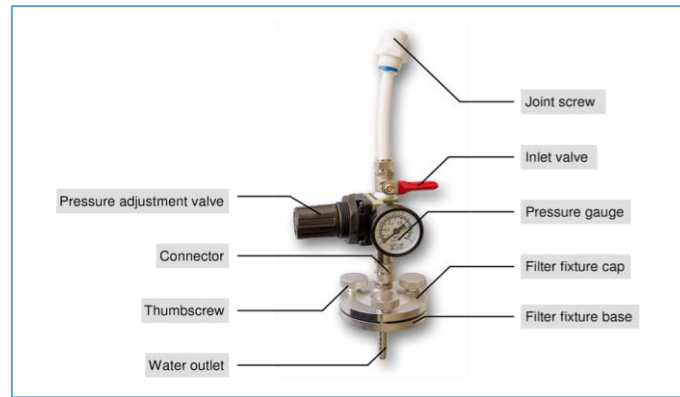


Figure IV.1 : Compteur SDI.



Figure IV.2 : Filtre à membrane (MCE MF-Milipore 0,45 μm)

- On place un filtre à membrane (MCE MF-Milipore 0,45 μm) (Figure IV.2) dans le compteur SDI (Figure IV.1) sur la base du luminaire Filtre.
- On ouvre la vanne de l'eau provenant du la sortie de filtre à sable, puis on remplit une éprouvette graduée avec 500 ml au même temps que on démarre le chronomètre, et on mesure le temps.
- Puis on attend 15 minutes et on remplit l'éprouvette jusqu'à 500 ml encore une fois au même temps que on démarre le chronomètre, et on remesure le temps.
- Nous fermons l'eau puis prenons le filtre.
- Nous calculons la valeur de SDI avec la formule suivante :

$$SDI = \frac{(t^1/t^2) - 1}{6.66}$$

t : le temps

4.2. L'entre filtre à cartouche (sortie bêche a eau filtrée)

Les mêmes étapes de filtre à sable mais nous ouvrons l'eau provenant du vanne de bêche a eau filtrée.

4.3. Les résultats de mesure

Les résultats présentés dans le tableau IV.1

Tableau IV.1 : Les résultats de mesure de l'SDI

Valeur	Remarque
SDI < 3	N'Y a pas de nettoyage de filtre à sable/bêche à eau filtrée.
SDI > 3	Il faut nettoyer le filtre à sable/bêche à eau filtrées.

Un indice de colmatage (SDI) plus élevé indique une plus grande tendance du liquide à colmater le filtre. Cela signifie que l'eau contient une quantité plus importante de particules ou de matières en suspension susceptibles d'obstruer les pores de la membrane filtrante.

5. Nettoyages de filtre à sable

Le filtre est lavé en sens inverse en deux étapes :

5.1.La première étape

5.1.1. L'étape aérobie qui élimine les impuretés

La station est équipée de deux compresseurs d'air qui alimentent les filtres à air (chaque amortisseur est associé à une pompe), chaque pompe ayant un débit 750 Nm³/h et une pression de 0,5 bar.

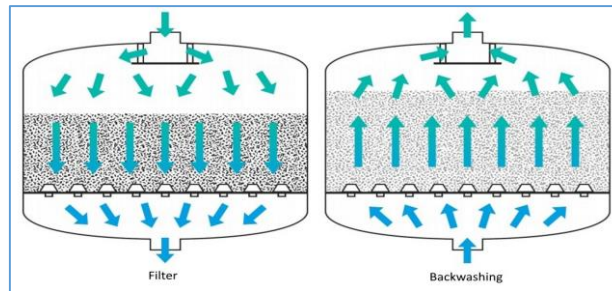


Figure IV.3 : Schéma représentant la technique de lavage des filtres.

5.2.La deuxième étape

La phase d'eau pour l'évacuation des matières en suspension et le reclassement des couches de media mélangées lors de la phase air :

-L'eau utilisée pour le lavage est une eau filtrée, On alimente les filtres de l'eau par 3 pompes. Chaque pompe a un débit de $75 \text{ m}^3/\text{h}$ et une pression de 1.5 bar.

-Le filtre est soumis à un contre lavage, le lavement se fait du bas vers le haut du filtre, l'eau de lavement est récupérée dans la bêche d'eau brute.

-Séquence de lavage (temps totale approximé= 30 min/filtre).

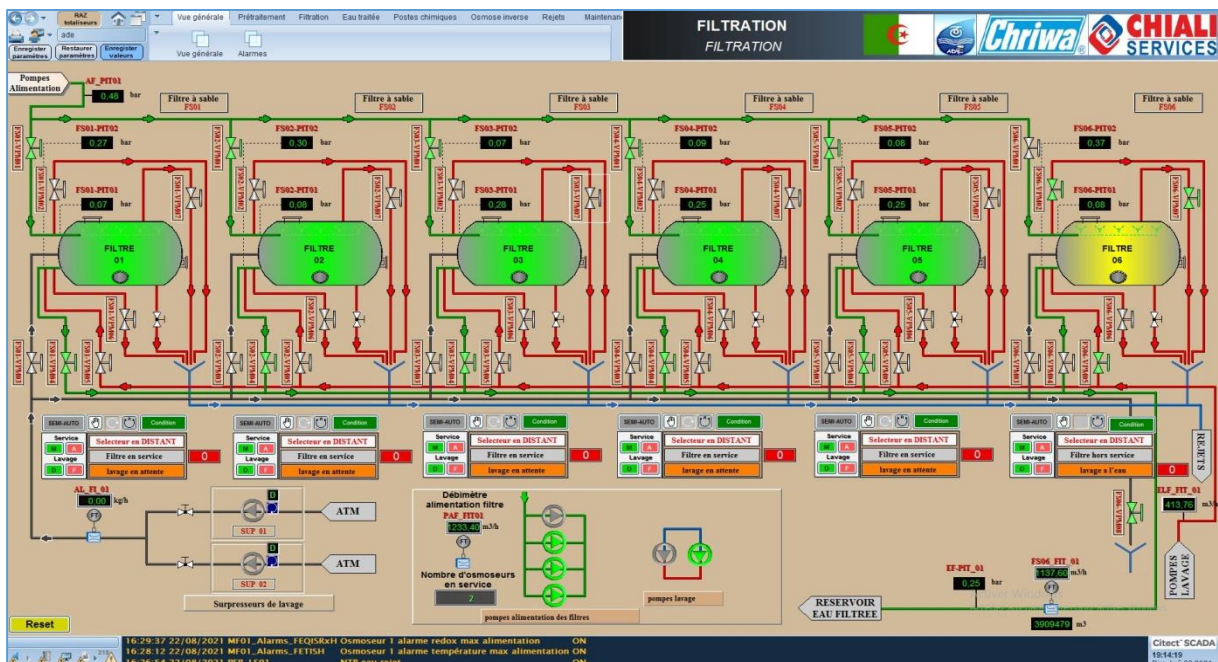


Figure IV.4 : Schéma synoptique de lavage de filtre à sable.

6. Nettoyages de bassin d'eau filtrée

Le processus de nettoyage du bassin d'eau du filtre à sable consiste à vider le bassin puis à le nettoyer de manière manuelle traditionnelle.

7. Contrôle de SDI

Dans cette partie, nous étudions la variation SDI pendant notre période de stage (février et mars 2023) à la station de dessalement 19 Mars.

Tableau IV.2 : La variation SDI du mois de février.

Dates	SDI filtre à sable	SDI bêche à eau filtrée
1/2/2023	2.75	1.20
2/2/2023	2.15	1.19
13/2/2023	1.70	1.20
14/2/2023	1.86	0.86
15/2/2023	1.75	1.07
16/2/2023	2.12	0.95
22/2/2023	1.35	1.67
23/2/2023	2.05	2.48
27/2/2023	1.92	2.55
28/2/2023	1.24	0.97

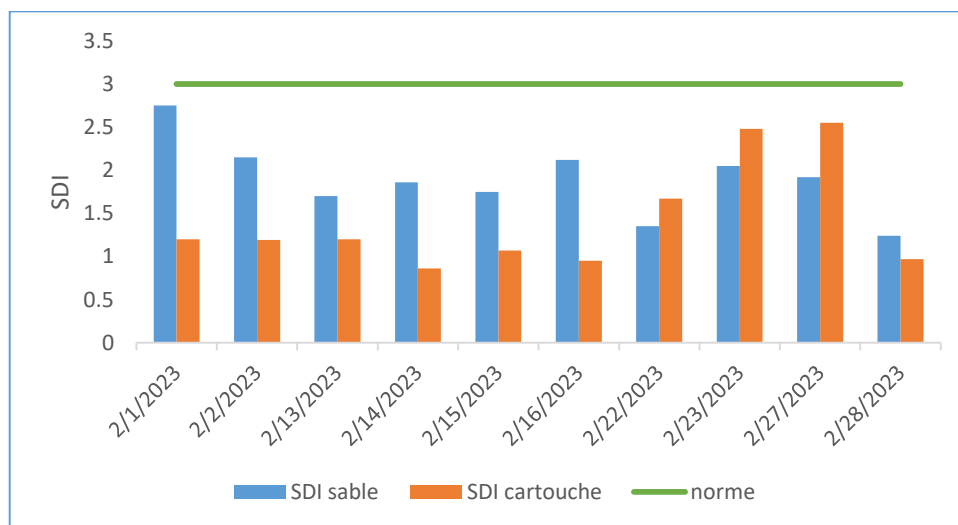


Figure IV.5 : La variation SDI du mois de février de l'année 2023.

Selon les données de tableau IV.2 et la figure IV.5, les valeurs de SDI du mois de février de filtre à sable et du d'eau filtrée entre 0,86 et 2,75.

Les valeurs SDI pour l'eau filtrée (la sortie filtre à sable et l'eau de la bache filtrée) est conforme aux normes fixées par le cahier des charges Algérien qui a été précisé les valeurs SDI acceptables sont comprises entre 0 et 3.

Tableau IV.4 : La variation SDI de mois de mars.

Dates	SDI filtre à sable	SDI bache à eau filtrée
1/3/2023	0.95	1.5
2/3/2023	1.36	1.66
5/3/2023	1.25	1.66
6/3/2023	1.25	1.64
7/3/2023	3.24	2.64
8/3/2023	1.69	1.14
9/3/2023	0.54	1.26
12/3/2023	2.08	2.69
13/3/2023	0.93	1.64
14/3/2023	0.88	0.99
15/3/2023	0.51	1.02
16/3/2023	0.92	1.75
19/3/2023	1.87	2.85
20/3/2023	1.25	1.28
21/3/2023	1.27	1.35
27/3/2023	1.8	2
28/3/2023	1.2	0.87
29/3/2023	0.87	0.52
30/3/2023	0.91	0.72

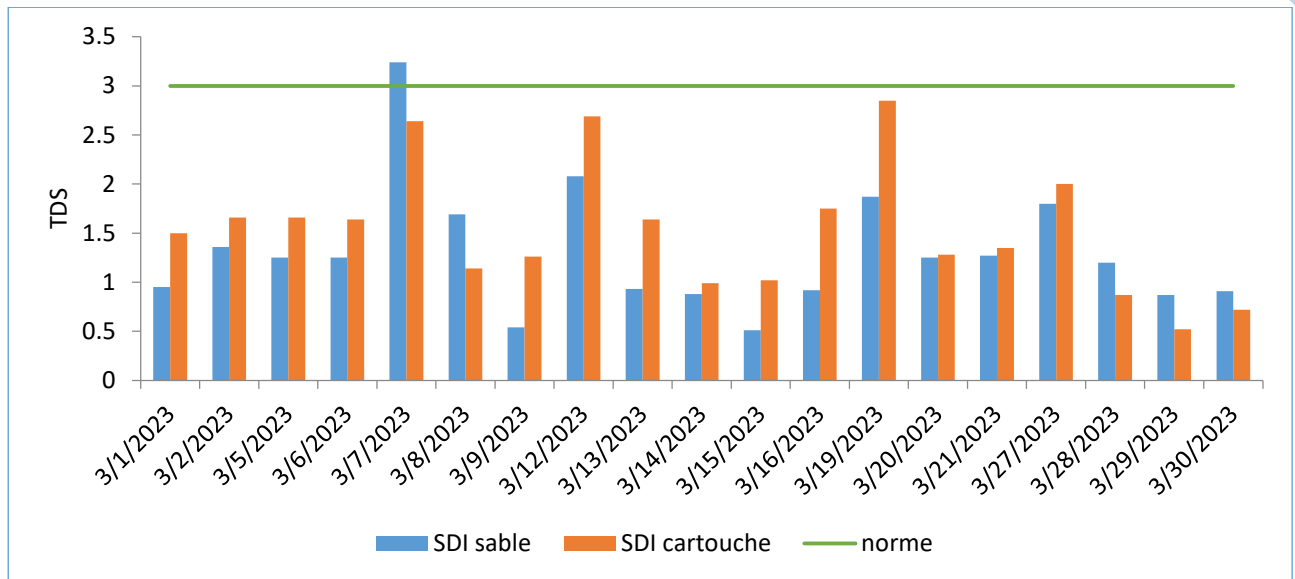


Figure IV.6 : La variation SDI du mois de mars de l'année 2023.

Selon les données de tableau IV.3 et le graphe de figure IV.6, les valeurs SDI du filtre à sable et du bûche d'eau filtrée sont comprises entre 0,51 et 3,24.

La plupart des valeurs SDI pour l'eau filtrée sont conformes aux normes fixées par les spécifications Algériennes qui ont été définies, et les valeurs SDI acceptables varient entre 0 et 3, sauf le jour 03/07/2023 la valeur de SDI du filtre à sable était de $3.24 > 3$ qui dépassant la norme Algérienne, cette valeur signifie qu'il faut faire un nettoyage de filtre à sable.

8. Conclusion

En résumé, il a été conclu qu'il est important de calculer l'indice de densité de limon afin de déterminer le moment opportun pour nettoyer les filtres à sable ou la bûche à eau filtrée. Un contrôle régulier de cet indice est essentiel pour éviter l'encrassement des membranes. Cette mesure permet de maintenir l'efficacité du système de dessalement, de prolonger la durée de vie des membranes et de réduire les coûts de maintenance et d'exploitation.

CHAPITRE V

Impacte de dessalement sur l'environnement

1.Introduction

Le dessalement de l'eau peut avoir des impacts négatifs importants sur l'environnement et les écosystèmes, notamment en ce qui concerne les rejets de saumures. Les saumures sont les sous-produits salins générés lors du processus de dessalement et sont souvent rejetées dans l'océan ou les cours d'eau.

Lorsque les saumures sont déversées dans les écosystèmes marins, elles peuvent entraîner une augmentation de la salinité de l'eau environnante. Cette augmentation de salinité peut avoir des effets dommageables sur les organismes marins, en particulier sur les espèces sensibles aux variations de salinité. Les saumures peuvent entraîner une détérioration de la qualité de l'eau, perturber l'équilibre écologique et nuire à la biodiversité marine.

Il est important de noter que les impacts des saumures dépendent de divers facteurs, car la composition chimique des saumures, la quantité de rejetée, la profondeur et le degré des eaux réceptrices, est la sensibilité des écosystèmes locaux.

2. Impacte du dessalement et les rejets sur l'environnement

Les principaux impacts environnementaux du dessalement sont liés aux rejets de saumure. La saumure est le produit résiduel qui est créé lorsque le sel et les minéraux sont extraits de l'eau de mer. Elle est souvent rejetée dans l'océan ou dans les cours d'eau dans le futur, ce qui peut avoir les conséquences rapides de l'écosystème.

Les principaux impacts environnementaux du rejet de saumure sont les suivants :

2.1 .Déchets salins

Les déchets salins, ou saumures, sont des sous-produits générés lors du processus de dessalement de l'eau, que ce soit à partir de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre. La gestion des déchets salins constitue un défi majeur lié au dessalement, et leur impact sur l'environnement peut être significatif. Voici quelques-uns des impacts associés aux déchets salins :

2.1.1 .Élimination de la vie marine

Lorsque les déchets salins sont rejetés dans la mer, cette augmentation de salinité peut avoir des effets négatifs sur les organismes marins, Certains organismes marins peuvent avoir du mal à s'adapter aux niveaux de salinité élevés, car après l'accumulation continue de ces déchets, Le rejet de saumure dans la mer est un système stratifié descendant de couches de plus en plus

salines. Ce phénomène peut être conduit à l'hypoxie ou friand de vie pour la présence d'espèces affamées d'oxygène à plus une faible luminosité, qui en présence d'eau saumâtre entraînent la formation de brouillard, qui rendent difficile le passage de la lumière, celle qui affecte la photosynthèse des espèces végétales marines. Cela peut entraîner une perturbation de leur physiologie, de leur reproduction et de leur survie.

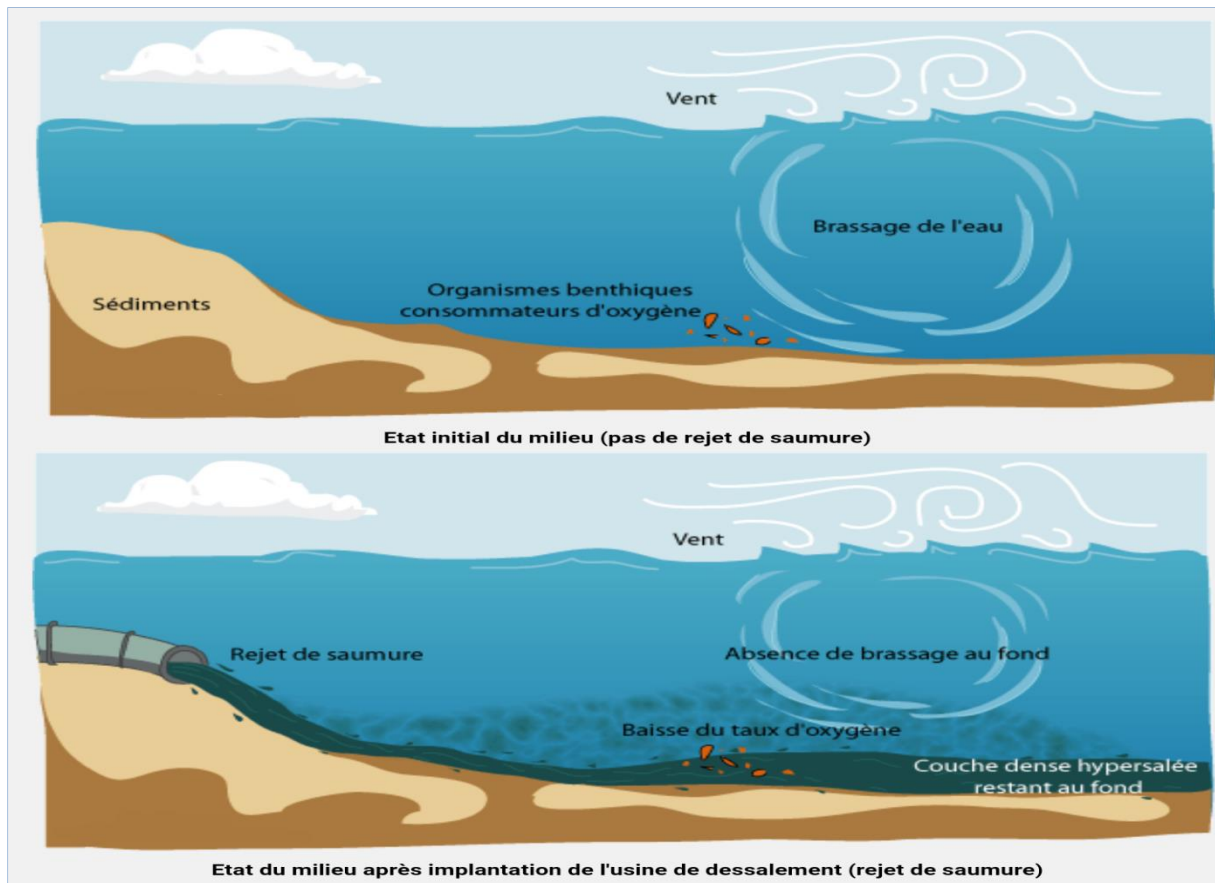


Figure V.1 : Etat de l'écosystème de la mer avant et après le rejet de saumure.

2.1.2. Déséquilibre écologique

Lorsque la salinité atteinte dans un écosystème atteint des niveaux critiques, ce qui entraîne des changements significatifs dans la composition des communautés d'organismes et les interactions entre les espèces.

Lorsque la salinité peut augmenter, certaines espèces peuvent être favorisées tandis que d'autres peuvent être désavantagées. Les organismes qui tolèrent mieux les environnements salins peuvent prospérer, tandis que ceux qui sont sensibles à la salinité peuvent être éliminés ou réduits en nombre. Cela peut entraîner des changements dans la biodiversité de l'écosystème,

avec une diminution des espèces sensibles à la salinité et une augmentation des espèces tolérantes.

De plus, la salinité s'accumule peut modifier les interactions entre les espèces. Par exemple, certains organismes herbivores peuvent préférer éviter les plantes qui poussent dans des sols salins, ce qui réduit la pression de pâturage sur ces plantes. Cela peut entraîner une augmentation de la densité végétale dans certaines zones de l'écosystème, ce qui à son tour peut affecter la disponibilité des ressources alimentaires pour d'autres organismes.

2.1.3. Impacte sur la qualité de l'eau (les produits chimiques)

Les déchets salins peuvent contenir des produits chimiques utilisés dans le processus de dessalement, tels que des produits de nettoyage, des agents de traitement ou des produits chimiques anti-encrassement. Lorsqu'ils sont rejetés dans l'environnement, ces produits chimiques peuvent contaminer l'eau et entraîner une pollution chimique. Cela peut être fait sans avoir des effets néfastes sur la santé des organismes aquatiques, perturber les écosystèmes et potentiellement contaminer les ressources en eau utilisées par les humains.

2.1.4. Impact sur les écosystèmes côtiers

Les déchets salins rejetés dans les écosystèmes côtiers peuvent avoir des conséquences particulières. Les écosystèmes côtiers abritent souvent une biodiversité riche et sont sensibles aux changements de salinité. Les déchets salins peuvent donc perturber ces écosystèmes, endommager les habitats côtiers sensibles tels que les marais salés, les mangroves ou les estuaires, et affecter les espèces qui en dépendent.

2.2. Perte de la biodiversité

L'extraction de l'eau pour le dessalement tue de nombreux petits organismes marins animaux et végétaux tels que le phytoplancton et le zooplancton (petits invertébrés, bactéries, etc.).

Cet effet peut être réduit en réduisant la vitesse d'aspiration et en retirant l'eau de la surface ou des zones biologiquement inactives telles que les eaux profondes.

2.3. Consommation énergétique

La comparaison du coût énergétique du dessalement avec d'autres dépenses énergétiques est importante pour mieux évaluer son importance. Pour illustrer cela, prenons un exemple concret. Supposons que nous utilisions une usine de dessalement sur un site de 25 000 mètres carrés par

jour. Cette usine consomme 100 000 kilowattheures d'électricité par jour. Si l'on considère qu'une personne utilise en moyenne 130 litres d'eau par jour, une telle usine pourrait fournir de l'eau à 48 000 familles de quatre personnes par jour.

Il convient de souligner que les techniques utilisées pour le dessalement de l'eau ont évolué, notamment avec le développement de l'osmose inverse. Cependant, il est important de noter que malgré ces améliorations, le dessalement de l'eau reste généralement une méthode énergivore. Le processus de dessalement nécessite une quantité significative d'énergie pour pomper l'eau, la prétraiter, la forcer à traverser des membranes semi-perméables et traiter les saumures résultantes. Cette consommation d'énergie est généralement fournie par des sources traditionnelles telles que les centrales électriques alimentées par des combustibles fossiles.

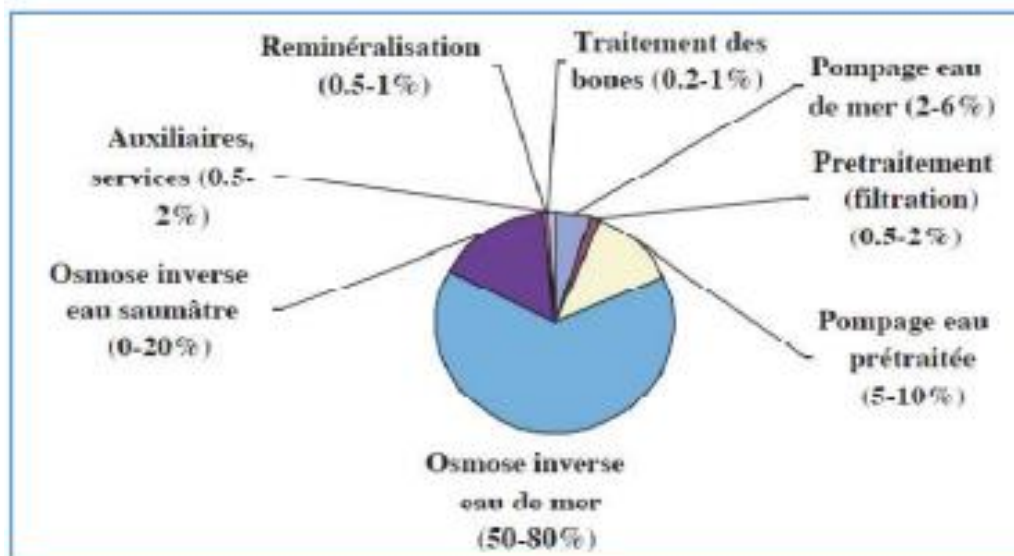


Figure V.2 : Répartition de la consommation d'énergie sur une installation de dessalement par osmose inverse (AIGR, 2009).

2.4. Impacte de Bruit

Les stations de dessalement de l'eau peuvent générer du bruit, ce qui peut avoir des impacts négatifs sur l'environnement et les communautés avoisinantes. Voici quelques-uns des effets du bruit des stations de dessalement :

2.4.1. Perturbation de la faune marine

Le bruit généré par les activités de dessalement peut perturber les écosystèmes marins. Les espèces marines, en particulier les mammifères marins tels que les dauphins et les baleines, sont sensibles au bruit sous-marin. Le bruit excessif peut perturber leur comportement, leur communication, leur reproduction et leur alimentation, et peut même entraîner un évitement des zones où se trouvent les stations de dessalement.

2.4.2. Impacte sur les écosystèmes côtiers

Les stations de dessalement sont souvent situées près des zones côtières, qui abritent des écosystèmes sensibles tels que les mangroves, les marais salés et les récifs coralliens. Le bruit émis par les installations peut perturber ces écosystèmes côtiers, affectant la faune, la flore et les interactions écologiques qui s'y produisent.

2.4.3. Impact sur la vie marine locale

Le bruit des stations de dessalement peut avoir des effets directs sur la vie marine locale. Les poissons et d'autres organismes marins peuvent être sensibles au bruit et peuvent être perturbés dans leurs schémas de migration, leur reproduction et leur comportement alimentaire. Cela peut avoir des conséquences sur les populations de poissons et sur les activités de pêche locales.

2.4.4. Gêne pour les communautés locales

Les stations de dessalement peuvent être situées à proximité de zones résidentielles et touristiques. Le bruit généré par ces installations peut causer des nuisances sonores pour les communautés locales, perturbant leur qualité de vie et leur bien-être. Le bruit constant peut entraîner des problèmes de sommeil, de stress et d'autres problèmes de santé liés à l'exposition au bruit.

2.4.5. Impact sur la vie humaine

Il est recommandé de situer les usines de dessalement à une distance suffisante des zones résidentielles et des zones sensibles sur le plan environnemental. Cela permet de réduire l'exposition des populations locales au bruit et de minimiser les impacts sur leur qualité de vie.

En général, le bruit dans les stations de dessalement est généré par des pompes à haute pression et des turbines utilisées pour la récupération d'énergie, ce qui peut entraîner des niveaux sonores supérieurs à 90 dB(A).

2.5. Émissions de gaz à effet de serre

Le dessalement de l'eau peut avoir un impact sur les émissions de gaz à effet de serre principalement en raison de la consommation d'énergie nécessaire au processus. En effet, la production d'énergie pour l'alimentation des pompes, les systèmes de filtration et les équipements de traitement du dessalement entraînent des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) de la manière dont d'autres gaz effet de serre tels que les oxydes de soufre et d' azote. Ces émissions sont émises par les centrales électriques qui utilisent des combustibles fossiles tels que le charbon ou le gaz naturel.



Figure V.3 : Les gaz à l'effet de serre.

2.6. Contamination des sols et des aquifères :

Le dessalement de l'eau peut également avoir un impact sur la contamination des sols et des aquifères. Voici quelques-uns des effets potentiels liés à la contamination :

2.6.1. Rejets de saumures

Le processus de dessalement produit une saumure concentrée en sels et en impuretés, qui doit être gérée de manière appropriée. Si la saumure est rejetée directement dans l'environnement sans traitement adéquat, elle peut contaminer les sols et les aquifères. Les sels et les produits chimiques présents dans la saumure peuvent altérer la qualité des sols et des eaux souterraines, rendant difficile leur utilisation ultérieure.

2.6.2. Utilisation de produits chimiques

Certains procédés de dessalement nécessitent l'utilisation de produits chimiques, tels que des agents de nettoyage, des agents de prétraitement ou des agents de désinfection. Si ces produits chimiques ne sont pas correctement gérés, ils peuvent contaminer les sols et les aquifères environnants. Des mesures appropriées doivent être prises pour prévenir les fuites, les déversements ou les rejets accidentels de ces produits chimiques.

2.6.3. Intrusion saline

L'exploitation de sources d'eau salée pour le dessalement peut entraîner une intrusion saline dans les aquifères d'eau douce adjacents. L'extraction excessive d'eau salée peut perturber l'équilibre hydraulique naturel, provoquant l'infiltration d'eau salée dans les aquifères d'eau douce. Cela peut rendre ces ressources en eau inutilisables pour d'autres usages, tels que l'irrigation agricole ou la consommation humaine.

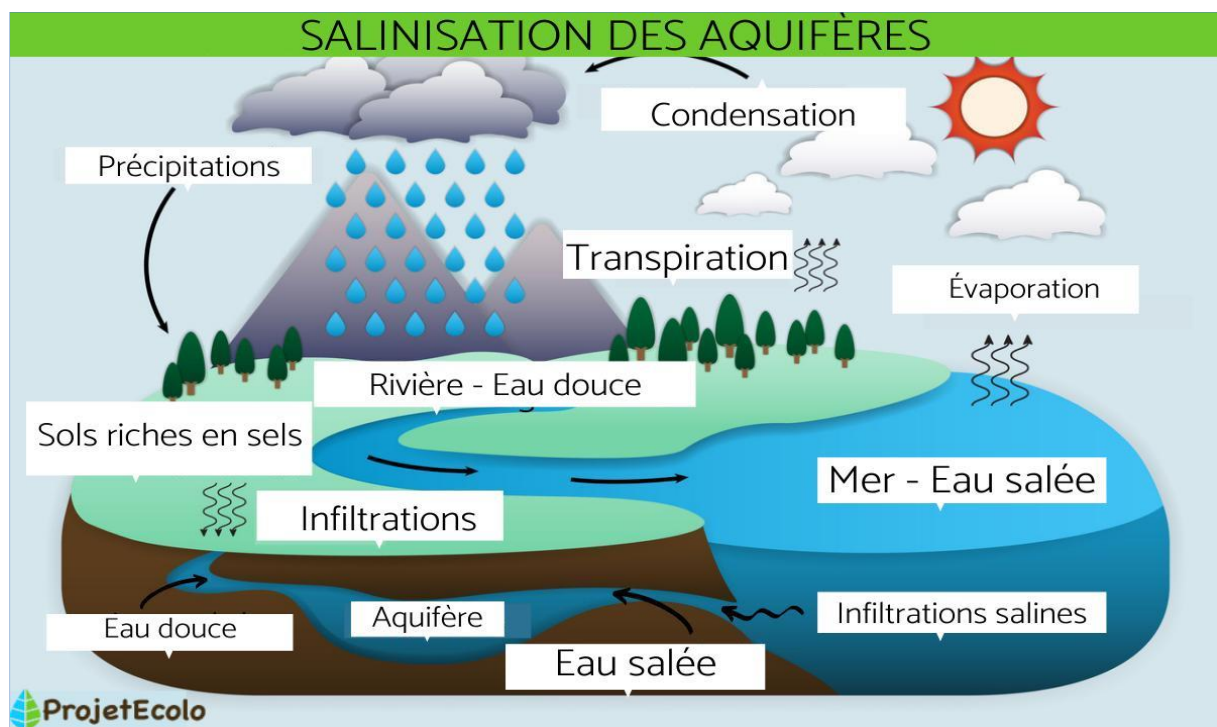


Figure V.4 : Salinisation des aquifères.

2.7. Impacts sur le paysage

Le dessalement de l'eau peut également avoir des impacts sur le paysage environnant. Voici quelques-uns des effets potentiels sur le paysage :

2.7.1. Modification de la ligne côtière

Les installations de dessalement sont souvent situées près des zones côtières en raison de l'accès à l'eau de mer. La construction de ces installations peut entraîner des modifications de la ligne côtière, notamment la création de digues, de jetées ou d'autres structures nécessaires pour prélever l'eau de mer. Ces modifications peuvent altérer l'apparence naturelle du paysage côtier.

2.7.2. Impact visuel

Les grandes structures et équipements utilisés dans les installations de dessalement peuvent avoir un impact visuel sur le paysage environnant. Les tours de refroidissement, les réservoirs, les conduites et les systèmes de filtration peuvent se démarquer dans le paysage, notamment dans les zones où la nature est préservée ou dans les zones touristiques. Cela peut affecter l'appréciation esthétique du paysage par les résidents locaux et les visiteurs.

2.7.3. Utilisation des terres

Les installations de dessalement nécessitent un espace considérable pour accueillir les équipements, les réservoirs de stockage, les conduites et autres infrastructures connexes. Cela peut entraîner une utilisation des terres significative et peut nécessiter la conversion de terres précédemment non développées ou agricoles. Cette transformation peut altérer la structure et la fonctionnalité des écosystèmes terrestres et avoir un impact sur la biodiversité et la productivité agricole.



Figure V.5 : Une grande surface d'une usine de dessalement en Egypte.

3. Les rejets du dessalement de station 19 mars El Oued

3.1. Les caractéristiques de rejet

3.1.1. Le rejet du 15/06/2021

Tableau V.1 : Bulletin D'analyses de 15/06/2021

Paramètres	Résultat	N.A	
pH	7.87	6.5	8.5
Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	9190	2800	
Turbidité (NTU)	0.630	5	
Température ($^{\circ}\text{C}$)	29.1	30	
TDS (mg/l)	7719.6	-	
Résidu sec (mg/l)	7858	-	
NO_2 (mg/l)	0.077	0.2	
Ca^{2+} (mg/l)	855.57	200	
Mg^{2+} (mg/l)	85.5	-	
TH (mg/l CaCO_3)	2562	500	
Cl^- (mg/l)	1689	500	
SO_4^{-2} (mg/l)	1760	400	
NO_3^- (mg/l)	2.5	50	
HCO_3^- (mg/l)	512.4	30	50
TAC ($(^{\circ}\text{F}) \text{CaCO}_3$)	420	-	
Salinité (mg/l)	5.5	Inférieur à 1.5	

3.3.2. Le rejet sur le jour 3/5/2023

Tableau V.2 : Bulletin D'analyses de 03/05/2023

Paramètres	Résultat	N.A
pH	7.74	6.5
Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	9307	2800
Température ($^{\circ}\text{C}$)	28.6	25
Turbidité (NTU)	0.339	5
TDS (mg/l)	5956	-
Résidu sac (mg/l)	7420	-

NH₄ (mg/l)	0.444	0.5	
NO₂ (mg/l)	0.059	0.2	
Ca⁺² (mg/l)	845.688	200	
Mg⁺² (mg/l)	313.534	-	
TH (mg/l CaCO₃)	3410	500	
Cl⁻ (mg/l)	1283.398	500	
HCO₃⁻ (mg/l)	406.26	30	50
TAC ((°F) CaCO₃)	333	-	
Salinité (mg/l)	6	Inférieur à 1.5	

3.2. Utilisation des rejets

Le drainage de l'usine de dessalement d'eau de mer du 19 mars est utilisé pour irriguer les arbres sur les routes. Nous faisons ce qui suit pour examiner la validité de ce processus.

Il y a Cinq principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation :

- 1- Salinité.
- 2- Sodium : Proportion relative des cations sodium (Na⁺) par rapport aux autres.
- 3- Alcalinité et la Dureté : Concentration d'anions Carbonate (CO₃⁻²) et bicarbonate (HCO₃⁻) en relation avec la concentration en calcium (Ca⁺²) et en magnésium (Mg⁻²).
- 4- Concentration en éléments qui peuvent être toxiques.
- 5- pH de l'eau d'irrigation.

3.2.1. Salinité

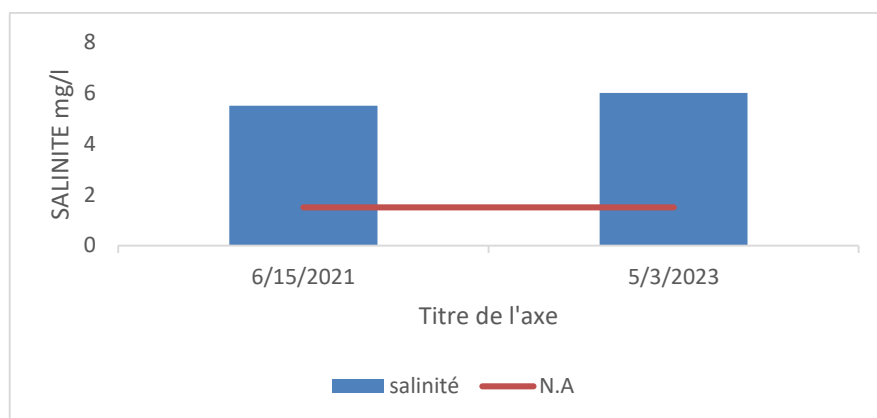


Figure V.6 : La salinité totale du rejet.

Il y a une très grande quantité de salinité totale (fig.6) dépassant les normes algériennes spécifiées dans (tab 1 et 2), ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments et minéraux par la plante.

Il provoque également une salinité du sol difficile à traiter par la suite.

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), chlorures (Cl^-), moins de sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-).

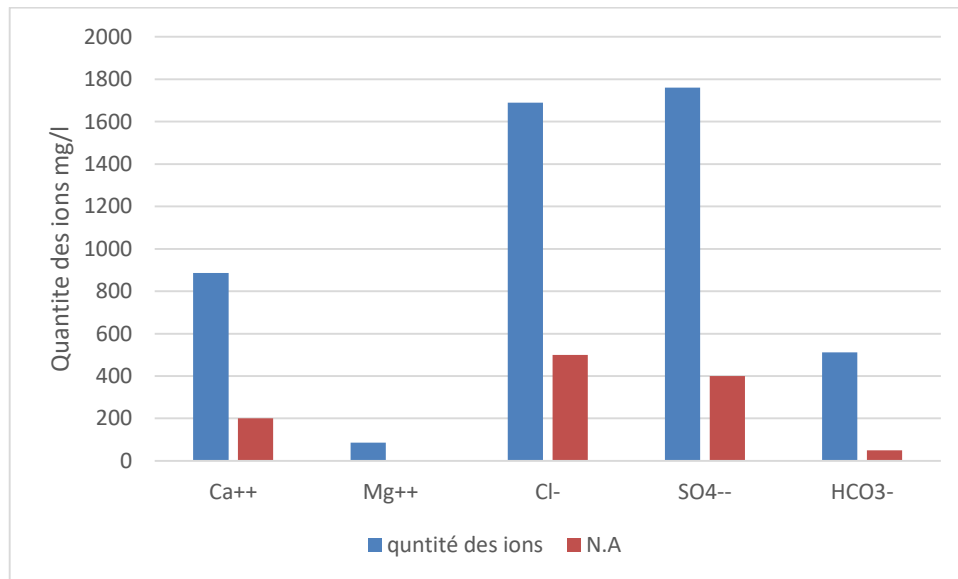


Figure V.7 : La minéralisation du 15/06/2021

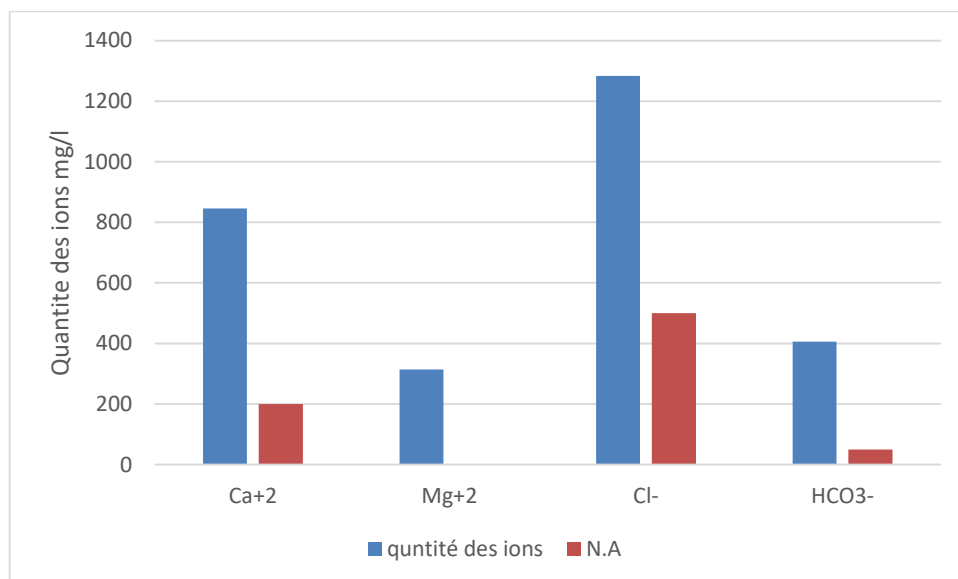


Figure V.8 : La minéralisation du 03/05/2023

Il y a une très grande quantité d'ions (figure V.7 et V.8) dépassant les normes Algériennes, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments et minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité de l'eau peut avoir un effet néfaste sur la croissance et le développement des arbres et des plantes. Lorsque l'eau d'irrigation utilisée a une concentration élevée en sels, elle peut perturber l'équilibre osmotique des plantes, c'est-à-dire leur capacité à absorber l'eau à travers leurs racines.

Lorsque les plantes sont exposées à une eau salée, elles peuvent avoir du mal à extraire l'eau du sol. Cela entraîne un stress hydrique, ce qui se traduit par une diminution de la croissance, un flétrissement des feuilles et éventuellement la mort de la plante.

De plus, la salinité peut affecter la structure et la fonction des racines. Les racines des plantes soumises à une eau salée peuvent se développer de manière anormale, avec des racines plus courtes et moins ramifiées. Cela limite leur capacité à absorber efficacement l'eau et les nutriments du sol, ce qui conduit à une croissance réduite.

En outre, l'accumulation de sels dans le sol peut provoquer une augmentation de la salinité du sol lui-même. Cela crée un environnement hostile pour les plantes, car les sels peuvent endommager les tissus végétaux et affecter l'équilibre des nutriments dans la plante. Certaines plantes sont plus sensibles à la salinité que d'autres, et les cultures irriguées avec de l'eau salée peuvent subir des rendements réduits, une diminution de la qualité des fruits ou des feuilles brûlées.

3.2.2. Le Sodium

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément provient de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation.

Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau. La perméabilité des sols sableux peut ne pas se détériorer aussi vite que

les sols plus lourds lorsqu'irrigués avec une eau de forte teneur en sodium, cependant un problème potentiel existe.

Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour des cultures sensibles comme les carottes, les haricots, les fraises, les framboises, les oignons, pour en nommer quelques-unes.

De grande quantité de sodium combiné avec du chlorure donne à l'eau un goût salé. Si l'eau passe par un système d'aspersion et que le calcium et le magnésium sont bas, des teneurs moyennes à élevées de sodium peuvent défolier les plantes sensibles.

3.2.3. Alcalinité et Dureté

3.2.3.1. Alcalinité

L'alcalinité mesure la capacité de l'eau à neutraliser les acides. Elle est principalement attribuée à la présence de bicarbonates, carbonates et hydroxydes dans l'eau.

Tant que l'acide n'a pas maîtrisé les ions responsables de l'alcalinité. Une fois le processus d'acidification enclenché, la réaction produit alors de l'eau (H_2O), du dioxyde de carbone (CO_2) qui est libéré dans l'air ainsi que le cation accompagnateur (soit le calcium ou le magnésium).

Sinon, restent emprisonnés par le carbonate. Vous comprendrez alors qu'il est très important de «casser» cette alcalinité qui empêche le calcium et le magnésium d'être disponibles à la plante.

L'alcalinité de l'eau est importante car elle aide à maintenir le pH de l'eau relativement stable, ce qui est essentiel pour de nombreux processus biologiques et chimiques. Elle joue également un rôle dans la régulation de l'équilibre acido-basique du sol lors de l'irrigation. Des niveaux d'alcalinité élevés peuvent avoir un impact sur la disponibilité des nutriments pour les plantes et peuvent influencer la croissance végétale.

3.2.3.2. Eau dure : Calcium et magnésium

La dureté fait référence à la quantité de calcium et de magnésium contenue dans l'eau. Ces deux éléments proviennent de l'altération de la roche-mère. La teneur en calcium est habituellement plus élevée que le magnésium dans les eaux souterraines.

Le calcium et le magnésium sont les deux principaux éléments qui causent des problèmes d'eau incrustante et qui peuvent progressivement obstruer les goutteurs par des dépôts calcaires.

Il arrive toutefois que la dureté de l'eau soit élevée sans pour autant que son alcalinité le soit. C'est le cas lorsque le calcium et le magnésium de l'eau sont sous forme de sulfates et de chlorures.

La dureté est généralement exprimée sous forme d'équivalents de carbonate de calcium (CaCO_3) en ppm ou en mg/l.

En résumé, l'alcalinité mesure la capacité de l'eau à neutraliser les acides, tandis que la dureté mesure la concentration de sels de calcium et de magnésium dissous dans l'eau. L'alcalinité est liée à la stabilité du pH de l'eau et peut influencer les processus biologiques et chimiques, tandis que la dureté de l'eau peut causer des problèmes tels que la formation de dépôts calcaires dans les systèmes de plomberie.

2.3.4. Concentration en éléments qui peuvent être toxiques

Les usines de dessalement d'eau saumâtre peuvent produire des rejets qui contiennent certains produits chimiques :

Les produits chimiques utilisés dans le dessalement de l'eau saumâtre, tels que les anticalcaires, les algicides et les décolorants précédents, peuvent être présents dans les rejets. Les concentrations de ces produits chimiques peuvent varier considérablement en fonction de traits de traitement spécifiques utilisés dans le dessalement.

Substances organiques : Certaines usines de dessalement peuvent rejeter des substances organiques dans leurs effluents, telles que les résidus d'agents de nettoyage ou d'autres produits chimiques organiques utilisés dans le processus de maintenance.

Sulfates : le soufre peut parfois être toxique pour les plantes

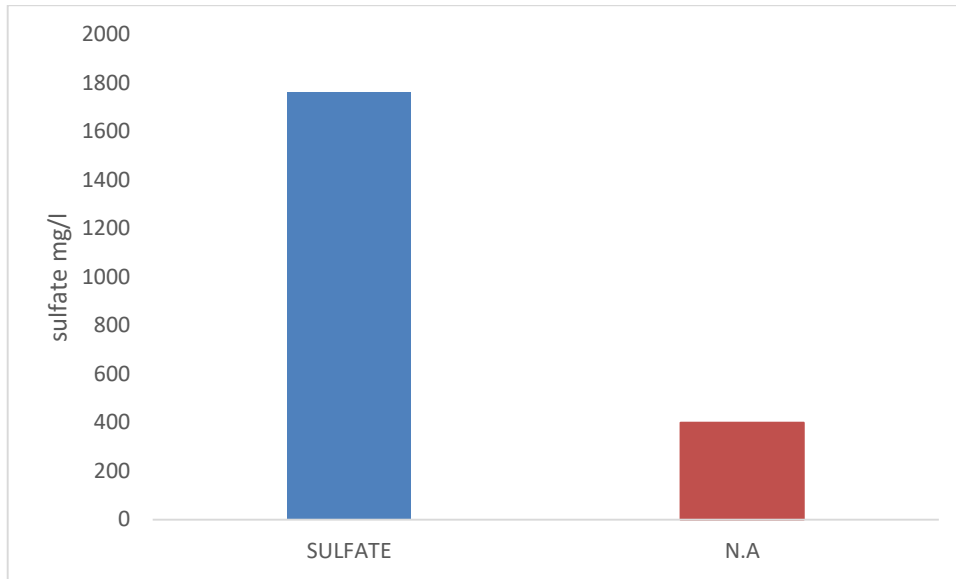


Figure V.9 : La valeur de sulfate du 15/06/2021

Selon les données présentées dans la Figure V.9, les valeurs de sulfate dans les eaux de rejet sont de 1760 et en se référant aux normes Algériennes (tableau V.1) de détermination de la qualité de l'eau d'irrigation, on constate que cette valeur est loin d'être adaptée à l'irrigation.

2.3.5. pH de l'eau d'irrigation

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogène de la solution (H^+).

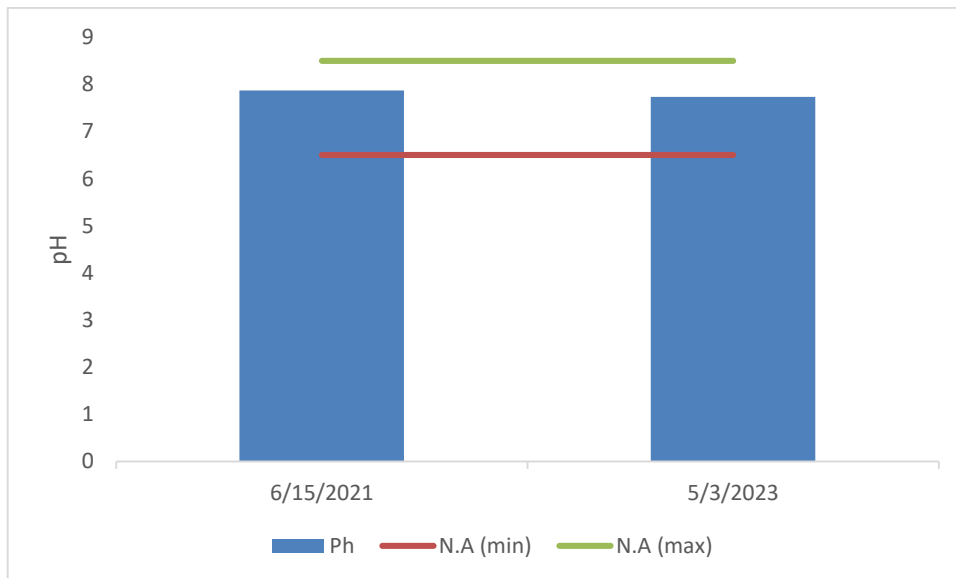


Figure V.10 : les valeurs du ph

Selon les données de la Figure V.10 Les valeurs de pH dans les eaux des rejets sont entre 7,87 et 7,74. En se référant aux normes Algériennes pour déterminer la qualité de l'eau d'irrigation, on constate que cette valeur est confirmée aux normes spécifiées.

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 6,5 et 8,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des microéléments est optimale.

Afin de baisser le pH, il est possible d'injecter de l'acide. L'acide phosphorique et l'acide nitrique peuvent être utilisés mais l'acide sulfurique reste l'acide le plus populaire (l'acide sulfurique à 35% est de l'acide à batterie).

3. Observation sur la tolérance aux sels

3.1. Des plantes cultivées

3.1.1. Cultures maraîchères

1) Plantes supportant mal les concentrations faibles comprises en moyenne entre 1 et 2 g de chlorures totaux par litre : Fraisier, Haricot.

2) Plantes ayant une tolérance moyenne, c'est-à-dire s'adaptant à des concentrations salines de 3 à 5 g de chlorures totaux par litre : Fève, Melon, Patate douce, Petits pois, Courgette, Courge, salade (Laitue - Chicorée - Romaine).

3) Plantes ayant une résistance élevée, supportant des concentrations salines comprises entre 6 et 8 g de chlorures totaux par litre : Aubergine, Artichaut, Carde, Chou, Chou-fleur, Carotte, Navet, Bette, a pinard, Piment, Poivron, Pomme de terre, Tomate, Maïs.

4) Plantes très résistantes au salant et tolérant, quoique assez mal, les concentrations salines variant de 9 à 11 g de chlorures totaux par litre : Asperge, Betterave rouge, Ail, Oignon, Radis, Poireau.

Lorsque la concentration saline des solutions du sol varie entre des teneurs en Cl⁻ correspondant à 6 et 9 g ClNa par litre, des maladies apparaissent sur les fruits des tomates, des piments et des poivrons.

Les aubergines peuvent aussi être atteintes. Enfin les tubercules de pomme de terre et les racines des patates douces et des betteraves sont alors toujours de très mauvaise conservation.

3.1.2. Arbres fruitiers

Dans ce cas, les observations ont été effectuées dans les plantations des oasis, car les vergers, établis dans les Centres d'études d'Irrigation, sont encore beaucoup trop jeunes, pour permettre de tirer des conclusions.

Au Sahara, il semble que les arbres fruitiers puissent être classés ainsi par ordre décroissant de tolérance aux sels : Palmier-dattier, Grenadier, Figuier, Olivier,

Oranger, Citronnier.

En particulier, le palmier-dattier supporte des salures élevées, mais le rendement et la qualité des fruits - dans le cas de la variété Deglet Nour - diminuent déjà lorsqu'en terrain sableux il est irrigué avec des eaux à 5 g de résidu sec ; l'olivier est assez résistant (3 à 5 g de résidu sec dans la solution du sol en surface, et un peu plus en profondeur) ; l'oranger et le citronnier sont, au contraire très sensibles.

3.2. Considérations sur la pratique des irrigations

La pratique des irrigations avec des eaux salées (3 à 6 g par litre) en sols salins et sous climat désertique a permis de faire un certain nombre de constatations:

Au point de vue technique de l'arrosage, elle a confirmé que :

a) l'utilisation des eaux fortement minéralisées n'est possible qu'en sols perméables, à sous-sols naturellement bien drainés (sableux à limono-sableux). Dès que la perméabilité diminue, en terrains argileux (tinn) par exemple, les irrigations provoquent des phénomènes de salinisation secondaire, très intenses, qui, dans les cas étudiés, parviennent à se stabiliser, mais à un taux élevé, en deux ou trois campagnes d'arrosages.

En sols argileux] une richesse moyenne en gypse ($< 30 \text{ p. } 100 \text{ SO}_4\text{Ca, } 2 \text{ H}_2\text{O}$) permet le maintien d'une meilleure perméabilité, et améliore ainsi les conditions culturales.

b) les arrosages doivent toujours être fréquents afin de régulariser la concentration saline des solutions du sol : 10 g de résidu sec par litre constitue à Igli la limite supérieure tolérée par les cultures maraîchères les plus résistantes (asperge, tomate, aubergine, piment, betterave rouge).

Le drainage naturel du sol doit presque toujours être amélioré par un drainage artificiel de façon à limiter la remontée de la nappe phréatique. Cette précaution est particulièrement difficile à

réaliser lorsque l'abaissement de son niveau est freiné par un obstacle en aval : masse d'eau d'un chott, de la mer etc. ... Le maintien de la nappe à une certaine profondeur nécessite aussi d'éviter la déperdition des eaux dans les canaux d'irrigation.

c) les irrigations doivent être moins nombreuses et moins copieuses pendant la saison chaude (juin à septembre inclus) pour éviter l'augmentation des accumulations salines par évaporation. Cela impose :

- l'arrêt des cultures pendant l'été, particulièrement celles qui sont les plus exigeantes en eau : cultures maraîchères, cotonnier.

- l'organisation de la production en vue d'obtenir : soit des cultures précoces : les récoltes doivent être terminées au début de mai à Adrar ou de juin à Igli au moment où les efflorescences salines, parfois même des croûtes cristallines, commencent à se manifester à la surface du sol; soit des cultures tardives : les semis, effectués de fin août à fin septembre, [ont toujours donné les meilleurs résultats dans les deux aires d'irrigation.

d) l'utilisation des eaux salées est toujours moins dangereuse en hiver en raison efficacement contre l'action néfaste des solutions salines.

e) Chaque fois que cela est possible, le degré de salure des eaux d'irrigation doit correspondre à celui de la solution du sol.

4. Conclusion

En conclusion, le dessalement de l'eau présente certains impacts sur l'environnement qui doivent être pris en compte et atténués pour garantir une approche durable. Certains des principaux impacts incluent la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, la contamination des sols et des aquifères, le bruit et les modifications du paysage.

Pour minimiser ces impacts, plusieurs mesures peuvent être prises. Cela comprend l'utilisation d'énergies renouvelables pour alimenter les installations de dessalement, l'amélioration de l'efficacité énergétique, le traitement adéquat de la saumure produite et la gestion responsable des produits chimiques utilisés. De plus, une planification minutieuse de l'emplacement des installations de dessalement, la surveillance régulière de la qualité des sols et des eaux souterraines, ainsi que l'implication des parties prenantes locales sont essentiels pour réduire les impacts négatifs.

Il est également important de souligner que le dessalement de l'eau est une solution technique précieuse pour répondre à la demande croissante en eau douce dans de nombreuses régions du monde. Cependant, il ne devrait pas être considéré comme la seule solution. Il est essentiel de mettre en œuvre une approche intégrée de gestion des ressources en eau, qui comprend la conservation de l'eau, l'utilisation efficace de l'eau, la protection des écosystèmes aquatiques et la recherche de sources d'eau alternatives durables.

En adoptant une approche équilibrée et en prenant en compte les impacts environnementaux, sociaux et économiques, il est possible de minimiser les effets négatifs du dessalement de l'eau tout en garantissant l'accès à une eau douce de qualité pour les populations et en préservant les écosystèmes naturels. Une planification rigoureuse, des technologies innovantes et des pratiques responsables sont essentielles pour atteindre ces objectifs et assurer un avenir durable pour le dessalement de l'eau.

Sans oublier le retrait immédiat de l'irrigation avec des solutions salines, second résultat du processus de dessalement, car il n'est pas du tout compatible avec les normes Algériennes et internationales en matière d'irrigation.

CONCLUSION

Conclusion générale

La déminéralisation de l'eau par osmose inverse est une méthode prometteuse pour faire face aux pénuries d'eau et assurer un accès à l'eau potable. Lors de notre étude, nous avons pris la station du 19 mars comme exemple, la déminéralisation de l'eau par osmose inverse utilise une membrane semi-perméable pour filtrer les minéraux et les impuretés de l'eau, permettant ainsi d'obtenir de l'eau déstalinisée.

L'eau traitée de la station du 19 mars a fait ses preuves et imposé sa place dans la ville d'El Oued, car elle est considérée comme de bonne qualité pour la consommation et l'irrigation selon les normes Algériennes et internationales.

La déminéralisation de l'eau par osmose inverse présente plusieurs avantages. Sur le plan environnemental, ce procédé fonctionne à basse température, ce qui en fait une option plus écologique. Dans la station de déminéralisation les étapes de prétraitement utilisées (filtre à sable et filtre à cartouche) garantissent le bon entretien de l'équipement de la station, produisant une eau douce de bonne qualité et présente une conformité aux normes OMS.

Les saumures sont les solutions résiduelles contenant une concentration élevée de sels dissous, résultant du processus d'osmose inverse utilisé pour la désalinisation de l'eau. Dans la station 19 mars d'El Oued elles sont utilisées pour l'irrigation des arbres urbains. Suite à notre étude, nous en déduisons que ces saumures présentent une toxicité aiguë et chronique, qui peut entraîner des effets délétères sur la physiologie végétale, la santé des sols et la qualité des eaux souterraines. Il est donc impératif de cesser cette pratique immédiatement afin de prévenir toute détérioration supplémentaire de l'écosystème (tels que la mortalité des arbres et l'accentuation de la salinité des sols et des eaux souterraines).

LISTE DES REFERENCES

- ACHOUR, S. & MOUSSAOUI, K. 1993. La chloration des eaux de surface algériennes et son incidence sur la formation de composés organohalogénés. *Environmental technology*, 14, 885-890.
- ATALLAH, A. 2014. *Procédé De Dessalement Et Qualité Physico-Chimique De l'eau Dessalée Par La Station De Dessalement De l'eau De Mer De Honaine-Teneurs: Cations, Anions Et Métaux Lourds*.
- AUDINOS, R. 2000. Membranes semi-perméables. Membranes d'osmose inverse. *Techniques de l'ingénieur. Constantes physico-chimiques*, 2, K362. 1-K362. 14.
- BAKALOWICZ, M. 1999. Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques: Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. *Natural tracing in karst aquifers*, 1, 13.
- BROWN, R. M., MCCLELLAND, N. I., DEININGER, R. A. & O'CONNOR, M. F. A water quality index—crashing the psychological barrier. *Indicators of Environmental Quality: Proceedings of a symposium held during the AAAS meeting in Philadelphia, Pennsylvania, December 26–31, 1971, 1972*. Springer, 173-182.
- HASLAY, C. & LECLERC, H. 1993. Microbiologie des eaux d'alimentation.
- HORTON, R. K. 1965. An index number system for rating water quality. *J Water Pollut Control Fed*, 37, 300-306.
- JARIRI, S. 2009. Expérience de l'ONEP en matière de dessalement d'eau. *Revue HTE*, 87-91.
- MAUREL, A. 2006. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. *Libr Lavoisier*, 286.
- OIEAU 2017. La part d'eau douce sur Terre.
- ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ 2005. célébration de la décennie internationale d'action l'eau, source de vie (2005-2015). *Guide de sensibilisation*, 34.
- PAJON-PERRAULT, N. 2008. *Les techniques de désalinisation* [Online]. [Accessed].
- RENAUDIN, V. & CHAMPION, G. 2003. Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. *CNRS, Nancy*.
- RODIER, J., BAZIN, C., BOURTIN, J., CHAMBON, P. & CHAMPSAUR, H. 2009. *et Rodi L. L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*.
- SAGNE, C. 2008. *Etude des mécanismes de transfert de molécules organiques en osmose inverse. Application au recyclage des condensats issus de la concentration des vinasses de distilleries*. AgroParisTech.
- SEGHAIRI, N. 1998. *Possibilités de rétention des matières organiques par adsorption sur la bentonite*. Thèse de Magister, Université de Biskra (Algérie).
- TAMAS, A. P. 2004. *Étude comparée du colmatage en nanofiltration et en ultrafiltration d'eau de surface* Adrian Paul Tamas.
- TFEILA, M., MOSA KO, S. S., ABOULHASSAN, M., TALEB, A. & BOUEZMARNI, M. 2016. Suivi de la qualité physicochimique de l'eau du fleuve Sénégal: Cas du captage du Beni Nadjji alimentant en eau potable les wilayas de Nouakchott. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7, 148-160.
- UNEP, U. N. E. P. 2001. Dessalement de mer dans les pays méditerranéens, Plan d'action pour laméditerranée, Réunion des Points Focaux duPAMAthènes 11-14 septembre 2001
- WAGNER, J. 2001. *Membrane filtration handbook: practical tips and hints*, Osmonics Cambridge.
- ZAIDI, Y. 2019. *Etude de procédé de déminéralisation des eaux saumâtre—station de déminéralisation de DJAMAA wilaya d'Oued Souf*.