



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar – El OUED

Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique et de Génie Civil

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme du Master en Hydraulique

Option: Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement

THEME

**Diagnostic de la qualité physicochimique des
eaux de la station de traitement par osmose
inverse cas de la station de 19 Mars d'El Oued.**

Dirigé par :

Dr. BOUCHEMAL Fattoum

Présenté par :

KHEZZANI Saber

BELGOT Mouad

Promotion : Juin 2024

إهداء

إلى منبع الحب والعطاء، والديّ الكريمين،
الذين علماني أن النجاح يُبنى بالعزيمة والإصرار،
إلى أخوتي وأخواتي، الذين كانوا لي السند في
مسيرتي،

وإلى أصدقائي الأعزاء، الذين أضاءوا دربي بالمودّة
والإخلاص،

أهدي هذا العمل، عرفاناً بجميل صنيعكم ودعمكم المستمر،
وأملًا في أن يكون إضافة قيمة لعالم العلم والمعرفة.

"صابر خزانبي"

إهداء

إلى نبع الحنان ومصدر الأمان، إلى من زرع فيّ روح

الطموح والإصرار،

أمي الغالية وأبي العزيز،

إلى من شاركتني أحلامي ووقفت بجانبني في كل خطوة،

زوجتي الحبيبة،

وإلى من كنّ لي السند والعون،

أخواتي العزيزات،

وإلى أصدقائي الأوفياء، الذين وقفوا إلى جانبي وساندوني

في رحلتي العلمية

أهدي هذا العمل المتواضع، متمنياً أن يكون عند حسن ظنكم،

وأن يسهم في إضافة لبنة صغيرة في جدار العلم والمعرفة.

"معاذ بالقط"



Remerciements

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant qui nous a donné le courage et la force d'accomplir ce travail.

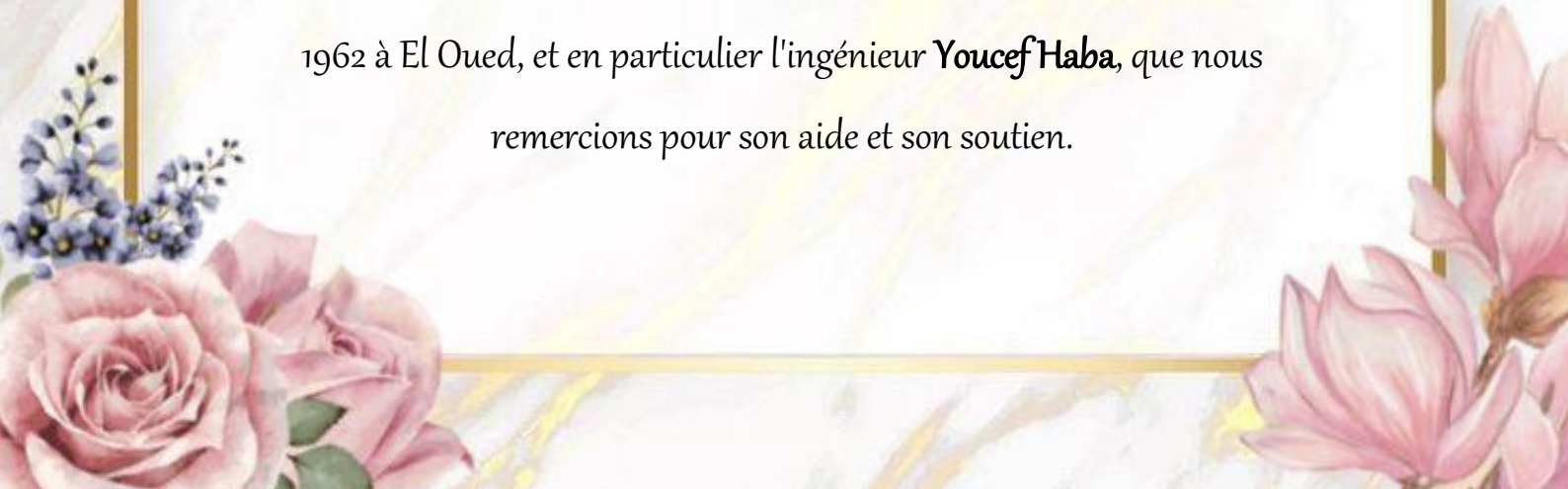
Nous exprimons notre profonde reconnaissance et adressons nos sincères remerciements à notre superviseure, Dr. **Bouchemal Fattoum**, pour avoir suggéré ce sujet et pour son suivi et sa gestion de ce travail.

Nous la remercions infiniment pour son aide, ses conseils, ses orientations ainsi que pour ses remarques et critiques qui ont été d'une grande valeur pour nous.

Nos remerciements s'étendent également aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail.

Nous adressons nos chaleureux remerciements à tous nos professeurs de l'Université d'El Oued qui ont contribué à notre formation tout au long de notre parcours universitaire.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études, sans oublier les responsables de la station Othman Kadiri située au quartier du 19 Mars 1962 à El Oued, et en particulier l'ingénieur **Youcef Haba**, que nous remercions pour son aide et son soutien.



Résumé:

L'objectif de cette étude était le diagnostic de la qualité physico-chimique de l'eau dans la station de dessalement d'osmose inverse à El Oued.

La méthodologie suivie dans cette étude comprend la collecte régulière d'échantillons d'eaux et à différentes étapes du processus d'osmose inverse. Ces échantillons sont analysés pour mesurer des paramètres tels que le pH, la conductivité électrique, la salinité, la dureté... etc.

Les résultats obtenus montrent l'efficacité du processus d'osmose inverse pour fournir une eau de haute qualité, ce qui contribue à préserver l'environnement et à soutenir la durabilité, Cette eau traitée peut répondre aux besoins croissants des communautés locales de la vallée, tant pour la boisson que pour l'agriculture, grâce à ses propriétés pures et sans polluants.

Mots clés : déminéralisation, normes, eau traitée, osmose inverse, qualité physico-chimique

Abstract:

The objective of this study was to diagnose the physico-chemical quality of water in the reverse osmosis desalination plant in El Oued.

The methodology followed in this study includes the regular collection of water samples and at different stages of the reverse osmosis process. These samples are analyzed to measure parameters such as pH, electrical conductivity, salinity, hardness...etc.

The results obtained show the effectiveness of the reverse osmosis process in providing high quality water, which helps preserve the environment and support sustainability. This treated water can meet the growing needs of local communities in the valley, both for drinking and for agriculture, thanks to its pure and pollutant-free properties.

Key words: demineralization, standards, treated water, reverse osmosis, physicochemical quality

ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو تشخيص الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه في محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي في الوادي. تتضمن المنهجية المتبعة في هذه الدراسة جمع عينات المياه بشكل منتظم وفي مراحل مختلفة من عملية التناضح العكسي. ويتم تحليل هذه العينات لقياس عوامل مثل الرقم الهيدروجيني، والتوصيل الكهربائي، والملوحة، والصلابة... إلخ . وتظهر النتائج التي تم الحصول عليها فعالية عملية التناضح العكسي في توفير مياه ذات جودة عالية، مما يساعد في الحفاظ على البيئة ودعم الاستدامة، ويمكن لهذه المياه المعالجة أن تلبي الاحتياجات المتزايدة للمجتمعات المحلية في الوادي، سواء لأغراض الشرب أو الزراعة، وذلك بفضل خصائصه النقية والخالية من الملوثات .

الكلمات المفتاحية: التنقية، المعايير، المياه المعالجة، التناضح العكسي، الجودة الفيزيائية والكيميائية

Liste d'abréviation:

OMS : Organisation mondial de la santé

N.A : les normes algériennes

OI : osmose inverse

TH : titre hydrotimétrique

TAC : titre alcalimétrique totale complet

TA : titre alcalimétrique

SDI : Silt Densité Index

TDS : Taux de salinité

Tableau de matière:

Résumé	I
Abstract	II
ملخص	III
Liste des abréviations	IV
Tableau de matière	V
Liste des Figures	X
Liste des images	XI
Liste des Tableaux	XIII
Introduction générale	02

Chapitre 1 : Généralités sur les caractéristiques des eaux et les techniques de dessalement

1. Introduction	05
2. Source d'eau	05
2.1. Eau de mer	05
2.2. Eau douce de surface	05
2.3. Eaux souterraines	06
3. Les différents types d'eau	06
3.1. L'eau distribuée via les réseaux publics	06
3.2. Les eaux conditionnées	06
3.3. Les puits d'eau	07
4. Propriété Physico-chimique	07
4.1. Concentration en ions hydrogène (pH)	07
4.2. Conductivité électrique	07
4.3. Température	07
4.4. Dureté(TH)	08
4.5. Alcalinité	08
4.6. Les matières en suspension	08
5. Paramètres organoleptiques	09
5.1. Couleur	09
5.2. Goûts et odeurs	09
5.3. Turbidité	09
6. Caractéristiques microbiologiques	09
7. La Technique de déminéralisation des eaux salées	09

Tableau de matière

7.1. Les procédés utilisant des membranes	10
7.2. Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases	10
7.3. La distillation	11
7.4. Avantages et inconvénients de chaque procédé	11
8. Les techniques membranaires	11
8.1. L'Osmose inverse	12
8.2. Principe de l'Osmose inverse	13
8.3. Elément constitutif d'une station d'osmose inverse	14
8.4. Les modules	15
8.5. Les modules spiraux	15
8.5.1. Avantages du module spiral	16
8.6. Différents types de systèmes membranaires (Design, Configuration, Montage)	16
8.6.1. Système mono- étage	16
8.6.2. Système di-étages en série rejet	16
8.6.3. Système di-étages en série production	17
8.7. Qualité de l'eau obtenue	18
8.8. Problèmes rencontrés en Osmose inverse	19
8.8.1. Colmatage (Pouvoir encrassant)	19
8.8.2. SDI (Silt Density Index)	19
9. Conclusion	20

Chapitre 2 : Aperçus générale sur la région d'El Oued et la zone d'étude (la station de déminéralisons 19 mars)

1. Situation Géographique	22
2. Ressources en eau souterraines	23
3. Hydrogéologie de la région	23
4. La Nappe du Continent Intercalaire (CI) est un aquifère majeur situé entre le Trias et l'Albien	24
5. Présentation de la station de déminéralisation 19 mars	24
6. Caractéristiques techniques de la station et de l'eau produite	25
7. Description du processus	25
8. Procédé de traitement	26
9. Postes auxiliaires	27
10. Le captage de l'eau saumâtre	28
11. Le prétraitement	28

Tableau de matière

11.1. Tours de refroidissement	28
11.2. Filtres à sables	30
11.3. Pompe de mélange	31
11.4. Pompes d'alimentation basse pression	32
11.5. Filtres à cartouches	32
11.6. Pompes d'alimentation haute pression	33
11.7. L'osmose inverse	34
12. Le post-traitement	35
12.1. Le Principe de mélange	35
12.2. Station de pompage d'eau traitée	36
13. la station d'évacuation de rejet	37
13.1. Pompes de rejet	37
13.2. Bâche de rejet 250m ³	39
14. Conclusion	40

Chapitre 3 : matériel et méthode

1. Introduction	42
2. Matériel et méthodes	42
3. Prélèvement et échantillonnage	42
3.1. Sites de prélèvements	42
3.2. Mode de prélèvement	42
4. Méthodes d'analyse	43
4.1. Paramètres organoleptiques	43
4.2. Test de l'odeur	43
4.2.1. Mesure de la turbidité	43
5. les analyses physico-chimiques	43
5.1. Mesure de la conductivité	44
5.2. Mesure du pH	44
5.3. Mesure de l'Alcalinité	45
5.4. Mesure du chlore	46
5.5. Mesure de la Dureté Total (TH)	48
5.6. Mesure du calcium (Ca ²⁺)	49
5.7. Mesure de magnésium (Mg ²⁺)	50
5.8. Mesure de TDS	50
5.9. Détermination du résidu sec	51

Tableau de matière

6. Paramètres chimiques	52
6.1. Mesure de nitrite (NO_2^-)	53
6.2. Mesure de nitrate (NO_3^-)	54
6.3. Mesure de fer (Fe)	54
6.4. Mesure de sulfate (SO_4^{-2})	54
6.5. Mesure de silice (SiO_2)	54
6.6. Mesure de chlorure (Cl^-)	54
7. Méthodes utilisées	57
7.1. Détermination des chlorures Cl^-	57
7.2. Détermination de l'alcalinité HCO_3^-	58
7.3. Détermination du résidu sec	58
7.4. Détermination du calcium (Ca^{2+}) et du magnésium (Mg^{2+})	59
7.5. Mesure électro métrique du pH	59
7.6. Mesure de la conductivité électrique	60
8. Conclusion	61

Chapitre 4 : Résultats et discussion

1. Introduction	63
2. Résultats des paramètres étudiés de l'eau brute	63
3. Résultats des paramètres étudiés de l'eau osmose	65
4. Résultats des paramètres étudiés de l'eau traité	66
5. résultats des mesures journalier	67
6. La répartition graphique des analyses chimiques	69
6.1. Le diagramme de Piper	69
6.2. Le Diagramme de wilcox	72
7. Conclusion	74
Conclusion générale	76
Liste des Références	78
Annexes	

Liste des figures:

Numéro	Titre	Page
Figure I.1	Répartition de l'eau sur la planète. (Vosges.FR;2022)	05
Figure I.2	Schéma général des différents Techniques de déminéralisation des eaux salées	10
Figure I.3	Membrane sélective (Alphapole; 2021)	12
Figure I.4	osmose et osmose inverse (jean- pierrecamo, 2010).	14
Figure I.5	Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse. (jean-pierrecamo, 2010).	14
Figure I.6	Structure interne d'une membrane spirale (Water tec).	16
Figure I.7	Types de systèmes membranaires (Metaiche; 2014)	17
Figure II.1	Situation géographique de la wilaya d'El-Oued Réaliser par MILOUDI Abdelmomen 2022	22
Figure II.2	Schéma de principe de la station de 19 mars	27
Figure II.3	Mise en évidence de l'osmose inverse	34
Figure IV.1	Diagramme de Piper de l'eau brute	70
Figure IV.2	Diagramme de Piper de l'eau osmose	70
Figure IV.3	Diagramme de Piper de l'eau traité	71
Figure IV.4	Diagramme de Piper de l'eau de station 19 mars	71
Figure IV.5	Diagramme de Wilcox pour les eaux brutes et traitées de la station 19 mars.	72

Liste des images:

Numéro	Titre	Page
Image II.1	La station de déminéralisation 19 mars	24
Image II.2	Image satellitaire de la station	25
Image II.3	Le forage Albien de la station (ELCHOHADA)	26
Image II.4	Schéma synoptique de la station d'El Oued 19 mars.	27
Image II.5	Tour de refroidissement	29
Image II.6	Filtres à sables	31
Image II.7	Pompe de mélange	31
Image II.8	Pompes d'alimentation basse pression	32
Image II.9	Filtres à cartouches	33
Image II.10	Pompes d'alimentation haut pression	33
Image II.11	le placement des membranes de la station par étage de L'osmose inverse	34
Image II.12	Schéma synoptique de l'eau traitée	35
Image II.13	Pompes d'eau traitée	36
Image II.14	Les châteaux d'eau alimentés par la station.	37
Image II.15	Pompes de rejet	38
Image II.16	Schéma synoptique de rejets	38
Image III.17	Turbidimètre (TL2350, HACH)	43
Image III.18	Conductimètre (WTW-2CA101)	44
Image III.19	PH mètre (WTW 7110)	45
Image III.20	Détermination des bicarbonates (HCO_3)	46
Image III.21	Chlorimètre	47
Image III.22	Détermination de la dureté (TH)	49
Image III.23	détermination du calcium (Ca^{2+}).	50

Liste des images

Image III.24	TDS mètre	51
Image III.25	étuve de laboratoire.	52
Image III.26	spectrophotomètre (HACH DR3900)	53
Image III.27	Mesure de fer (Fe)	54
Image III.28	Dosage de chlorure	55
Image III.29	l'échantillon d'eau avant et après le dosage.	56
Image III.30	Densimètre (DMA 35).	57

Liste des tableaux:

Numéro	Titre	Page
Tableau I.1	Avantages et inconvénients des procédés.	11
Tableau II.1	Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued. (D'après DHW, 2005). (ADE)	23
Tableau II.2	Caractéristiques techniques de trois forages	26
Tableau II.3	Les caractéristiques de l'eau brute	28
Tableau II.4	Débit d'eau brute vers les tours de refroidissement	29
Tableau III.5	résultats des différents paramètres étudiés de l'eau brute	63
Tableau III.6	résultats des différents paramètres étudiés de l'eau osmose.	65
Tableau III.7	résultats des différents paramètres étudiés de l'eau traitée.	66
Tableau III.8	résultats des mesures journalier (entrée eau brute): Prise d'échantillon: entrée refroidisseur	67
Tableau III.9	Résultats des mesures journalier (sortie filtres à sable): Prise d'échantillon: sortie BP	67
Tableau III.10	résultats des mesures journalier (entrée filtre cartouche): Prise d'échantillon : sortie BP	68
Tableau III.11	résultats des mesures journalier (entrée osmoseurs): Prise d'échantillon :entrée HP	68
Tableau III.12	résultats des mesures journalières (eau osmosée): Prise d'échantillon : sortie permet	68
Tableau III.13	résultats des mesures journalier (bâche eau traite): Prise d'échantillon : bâche eau traite	68
Tableau III.14	comparaison entre l'eau brute, osmose et traité	70

Introduction générale

Introduction générale:

La quête d'une eau potable saine et sécurisée demeure un défi crucial à travers le monde. L'accroissement rapide de la population, l'urbanisation galopante et les variations climatiques accentuent la pression sur les ressources en eau douce, qui sont souvent insuffisantes par rapport à la demande croissante. Les ressources hydriques, en particulier dans la région méditerranéenne, sont caractérisées par leur rareté, leur vulnérabilité et la menace constante de surexploitation. Cette région est particulièrement touchée par des saisons sèches prolongées et une pluviométrie annuelle insuffisante.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, en 2023, plus de deux milliards de personnes vivaient dans des pays confrontés à une pénurie d'eau, et cette situation est susceptible de s'aggraver dans certaines régions en raison du changement climatique et de la croissance démographique¹. En 2022, au moins 1,7 milliard de personnes utilisaient des sources d'eau potable contaminées par des matières fécales, exposant les populations à des risques sanitaires majeurs.

À la lumière des défis croissants auxquels le monde est confronté en raison de la pénurie d'eau, les technologies de dessalement apparaissent comme une solution innovante pour fournir des sources d'eau sûres pour la boisson et d'autres usages. Le dessalement, qui consiste à éliminer les sels et les minéraux de l'eau, est aujourd'hui l'une des principales approches pour relever les défis de la sécurité de l'eau, en particulier dans les zones souffrant de pénurie d'eau douce. Selon le Rapport mondial sur le développement des ressources en eau 2024 des Nations Unies, la consommation mondiale d'eau douce augmente chaque année d'environ 1 %, en raison de plusieurs facteurs, notamment la croissance démographique et le développement social et économique¹. Le rapport indique que près de la moitié de la population mondiale souffre d'une grave pénurie d'eau pendant au moins une partie de l'année et qu'un quart de la population mondiale souffre de niveaux « extrêmement élevés » de stress hydrique. Le dessalement joue un rôle crucial dans l'approvisionnement en eau, aux villes et aux populations en croissance, et est considérée comme faisant partie intégrante de la gestion intégrée des ressources en eau dans les pays en pénurie d'eau. Cependant, les défis liés aux coûts directs et indirects de la production d'eau dessalée demeurent, nécessitant des solutions innovantes pour réduire les charges financières et environnementales associées, avec ce processus. Il est essentiel de prendre en compte la durabilité lors du développement de projets de dessalement, car ils doivent s'aligner sur les objectifs environnementaux et économiques des communautés qu'ils desservent. Dans ce contexte, cela nécessite une coopération

internationale et locale pour échanger des expériences et des technologies et développer de nouvelles méthodes garantissant l'approvisionnement en eau des générations futures tout en préservant l'environnement.

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 des salée 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 par l'osmose inverse.

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

- La première partie: qui est relatif à l'étude bibliographique, contient deux chapitres:
 - Le premier chapitre : Généralités sur les caractéristiques des eaux et les techniques de dessalement.
 - Le deuxième chapitre : Aperçus générale sur la région d'El Oued et la zone d'étude la station de des salement 19 mars d'El Oued.
- La deuxième partie: est présentée partie pratique dans les deux chapitres:
 - Le premier chapitre : Matériels et méthodes.
 - Le deuxième chapitre : Résultats et discussion.

Chapitre 1 :
Généralités sur les
caractéristiques des eaux
et les techniques de
dessalement

1- Introduction

L'eau est un élément essentiel à la vie sur Terre, et elle est utilisée dans diverses activités telles que l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable, l'industrie, le tourisme et la pêche. Selon les Nations Unies, 97 % de la ressource en eau de la planète est salée, tandis que seulement 3 % est constituée d'eau douce. Les calottes glaciaires des pôles renferment environ 70 % de cette eau douce, tandis qu'une grande partie des 30 % restants se trouve dans les nappes aquifères souterraines (Figure I.1). Les cours d'eau, les lacs et les réservoirs ne contiennent qu'une petite fraction de l'eau douce disponible (moins de 1 % de l'eau douce totale, soit 0,007 % du stock d'eau mondial) et sont facilement accessibles à l'homme pour une utilisation directe¹. L'eau est donc une ressource précieuse qu'il convient de gérer avec soin pour assurer sa disponibilité durable. (Organisation Mondiale de la Santé, Bing 2024)

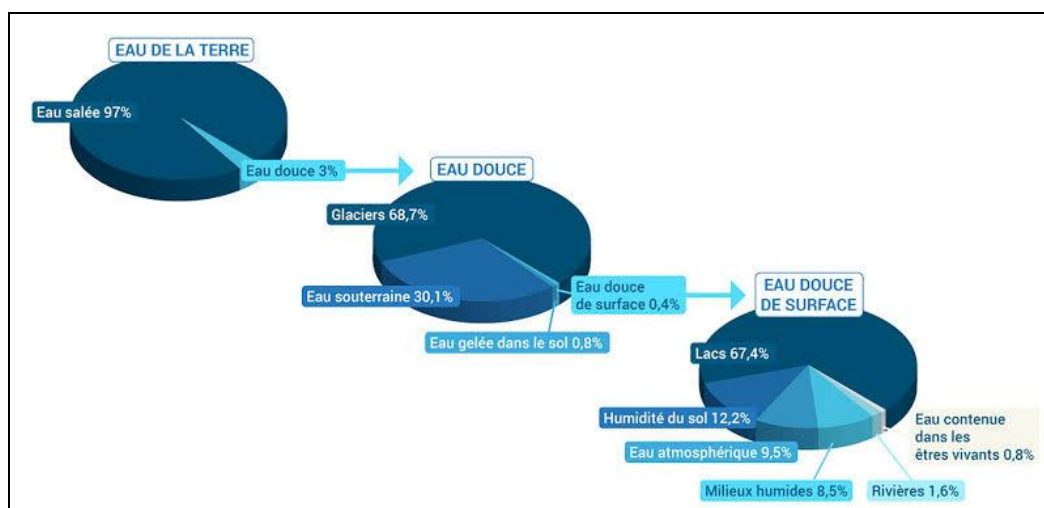


Figure I.1: Répartition de l'eau sur la planète. (Vosges.FR;2022)

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. Eau de mer :

Les sources d'eau de mer sont des réservoirs d'eau salée, tels que les océans et 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.

2.2. Eau douce de surface:

Cette catégorie comprend toutes les eaux situées 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,

représentant 0,18 million de km³, soit 0,013 % de l'hydrosphère. Cette eau est considérée comme douce parce qu'elle contient très peu de sels dissous par rapport 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.

2.3. Eaux souterraines:

Les eaux souterraines sont des réservoirs d'eau situés sous la surface de la Terre, 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 vitales pour les communautés humaines, fournissant une source fiable et durable d'eau potable, ainsi que pour l'irrigation, la production d'énergie hydroélectrique, les activités industrielles et de refroidissement.

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

Les aquifères, qui représentent les réservoirs d'eaux souterraines, contiennent environ 8 millions de km³ d'eau, soit 0,6 % de l'hydrosphère. Ils constituent notre principale source d'eau douce. (Bakalowicz, 2003).

3-Les différents types d'eau:

En s'infiltrant ou en ruisselant, les eaux absorbent certains éléments issus des roches, ce sont les minéraux qui donnent à l'eau ses propres caractéristiques (goût, odeur, couleur...). Le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, le fer, les sulfates... sont les plus fréquents.

3-1.L'eau distribuée via les réseaux publics:

Cette substance est issue de sources souterraines et/ou superficielles et passe par plusieurs étapes de traitement avant d'être livrée au robinet du consommateur.

3-2.Les eaux conditionnées:

Une eau minérale est une eau souterraine qui ne contient ni bactéries ni virus et qui possède des propriétés thérapeutiques ou des qualités hygiéniques grâce aux minéraux ou aux gaz qu'elle contient. La plupart des eaux minérales dépassent les normes de qualité imposées aux eaux destinées à la consommation humaine, et leur consommation est généralement

recommandée par des professionnels de la santé. L'eau minérale est réglementée par des normes spécifiques.

Une eau de source, quant à elle, est également une eau souterraine exempte de bactéries ou de virus, mais elle contient moins de minéraux. Elle est généralement consommée sans traitement ni ajout de produits chimiques. L'eau de source est soumise aux mêmes réglementations que l'eau du réseau public de distribution.

3-3.Les puits d'eau:

Dans certaines régions, il existe des puits qui puisent dans des sources d'eau souterraine généralement peu profondes. Lorsque l'on possède un puits dans son jardin, il est préférable de ne pas l'utiliser à des fins alimentaires car des pollutions ponctuelles sont toujours possibles. Cependant, il peut être utilisé pour l'arrosage du jardin, le remplissage de la piscine, etc. Des précautions doivent cependant être prises pour éviter toute contamination du réseau public par des retours d'eau provenant du puits. Pour ce faire, une séparation physique stricte des réseaux est nécessaire. Il est possible de connaître la qualité de l'eau de son puits en la faisant analyser.

4-Propriété Physico-chimique

4-1.Concentration en ions hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau, en d'autres termes de la concentration en ions hydrogène (H^+). Le pH est défini par l'équation suivante : $pH = -\log [H^+]$. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés.

4-2.Conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau et de suivre son évolution. Il n'existe pas de procédé de modification de la conductivité. Cependant, dans le cas de la production d'eau industrielle ou du dessalement des eaux de mer ou des eaux saumâtres, l'élimination des ions se fait généralement par des traitements d'échange ionique ou de séparation membranaire.

4-3.Température

La température de l'eau est une caractéristique physique essentielle qui influe sur sa qualité et ses usages. Elle se mesure en degrés Celsius ($^{\circ}C$) et peut varier selon divers facteurs tels que la saison, la localisation géographique, l'heure du jour, les conditions météorologiques, etc.

La température de l'eau peut avoir des conséquences significatives dans différents domaines. 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

provoquer 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 réseaux de distribution d'eau.

4-4. Dureté (TH)

La dureté de l'eau représente la concentration totale des cations métalliques, à l'exception des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est principalement due aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+} .

La présence de ces deux cations dans l'eau a souvent pour effet de réduire la toxicité des métaux. La dureté est généralement mesurée en milligrammes de CaCO_3 par litre (mg/L)

Dans l'eau, plusieurs mesures sont déterminées :

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

Les eaux algériennes sont généralement classées comme étant mi-dures, avec une dureté avoisinant les 30F° dans le nord du pays.(Achour and Moussaoui, 1993) et sont considérées comme dures (TH supérieurs à 40 et 50F°) au Sud du pays(Ensfea 2016).

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):

$$TAC = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$$

- Alcalinité composite (ou titre alcalimétrique):

$$TA = [\text{OH}^-] + (1/2) [\text{CO}_3^{2-}]$$

- 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).

$\text{pH} < 8,3$ alors le $\text{TA} = 0$; $\text{TAC} = [\text{HCO}_3^-]$ $\text{pH} > 8,3$ alors le $\text{TA} \neq 0$

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.

4-6. Les matières en suspension

Les matières en suspension se réfèrent à toutes les substances minérales ou organiques qui ne se dissolvent pas dans l'eau. Elles englobent les argiles, les sables, les limons, ainsi que les matières organiques et minérales de petite taille, le plancton et d'autres micro-organismes présents dans l'eau. La quantité de matières en suspension peut varier en fonction des saisons et du régime d'écoulement des eaux. (T feila et al., 2016).

5-Paramètres organoleptiques

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 boire. (Rodier et al., 2009)

5-2. Goûts et odeurs

Les eaux destinées à la consommation doivent avoir un goût et une odeur agréables. La plupart des eaux, qu'elles soient traitées ou non, présentent une odeur plus ou moins perceptible et une saveur particulière. Ces deux caractéristiques, purement organoleptiques, sont très subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'y a que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, acide et amère. (Rodier et al., 2009)

5-3. Turbidité

La turbidité de l'eau est causée par la présence de particules en suspension, notamment des particules colloïdales telles que les argiles, les limons, les grains de silice et les matières organiques. La pluviométrie joue un rôle crucial dans ce paramètre pour les eaux de surface et souterraines, en fonction de leur origine. (Rodier et al., 2009)

6- Caractéristiques microbiologiques

Les caractéristiques microbiologiques de l'eau comprennent le risque infectieux d'origine hydrique, qui se manifeste par la présence de micro-organismes pathogènes ou potentiellement pathogènes (opportunistes) en quantités dépassant les seuils d'infection établis par l'OMS. Ces micro-organismes comprennent les virus, les bactéries et les protozoaires. Le risque microbiologique découle donc du pouvoir pathogène de ces agents infectieux, qui est influencé par leurs propriétés. Il est important de noter que l'utilisation de méthodes de désinfection de base, telles que la chloration de l'eau, permet d'éliminer complètement des maladies telles que le choléra, la dysenterie bacillaire, ou les fièvres typhoïde et paratyphoïde. (Rodier et al., 2009).

7- La Technique de déminéralisation des eaux salées:

L'eau déminéralisée est largement utilisée dans la vie quotidienne, notamment pour l'alimentation des réseaux en eau déminéralisée post-traitée destinée à la consommation humaine, avec une concentration en sels dissous variant de 200 à 500 ppm, ainsi que pour les besoins en eau des chaudières industrielles ayant une concentration inférieure à 200 ppm. Ces utilisations se retrouvent dans les industries chimiques (Mémento Ed. Degremont.1978), pharmaceutiques et agroalimentaires. Actuellement, toutes les installations en service utilisent principalement deux types de procédés : la distillation (par évaporation) et la séparation par membranes, cette dernière étant une technologie plus récente. (Figure I.2).

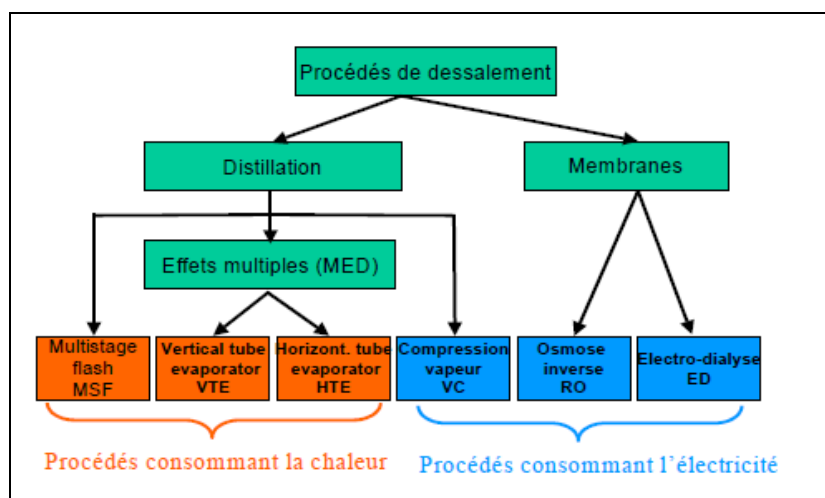


Figure I.2:Schéma général des différents Techniques de déminéralisation des eaux salées

Technique la plus utilisée c'est l'osmose inverse qui est basée sur la séparation par membrane des ions et dont le principe de base est fondé sur le phénomène de solubilisation et diffusion, son cout énergétique est moins élevé par rapport aux autres procédés.

La station de dessalement des eaux se compose en général:

- D'un prétraitement qui élimine les colloïdes, les bactéries , les macromolécules et les sels bivalents .
- Un système de membranes d'osmose inverse pour éliminer les sels monovalents de chlorure de sodium.
- Un poste traitement pour améliorer la qualité de l'eau destinée à la consommation.
- Les différentes simulations du phénomène de séparation des ions par osmose inverse vont être réalisées par logiciel IMS (le nom détaillé de cet logiciel) design conçu par l'un des Leaders mondiaux dans la déminéralisation des eaux qui est la société Hydranautics. (Mémento,1978).

7-1. Les procédés utilisant des membranes:

L'osmose inverse et l'électrodialyse.

7-2. Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases:

La congélation et la distillation.

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement.

7-3. La distillation:

La distillation est un procédé de séparation dans lequel un composé volatil d'une solution est évaporé puis condensé. Cette technologie est la plus ancienne utilisée commercialement pour dessaler l'eau de mer. On distingue deux principaux procédés utilisant la distillation : la distillation à effet multiple, la distillation à détente étagée et la distillation à multi-flash. (NOUEL, 2018).

7-4. Avantages et inconvénients de chaque procédé:

Tableau1: Avantages et inconvénients des procédés.

	Avantages	Inconvénients
Distillation	-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.	- 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.
Osmose inverse	-Un taux de conversion élevé (supérieur à 55%). -Une consommation spécifique d'énergie basse (3 à 5 kWh/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.	-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.

8- Les techniques membranaires:

Une membrane est une couche mince de matériau qui permet le blocage ou le passage sélectif de substances dissoutes ou non, sous l'effet d'une force motrice de transfert. Une membrane semi-sélective est une membrane qui autorise certains transferts de matière entre deux milieux qu'elle sépare, tout en empêchant d'autres, ou en favorisant certains par rapport à d'autres..

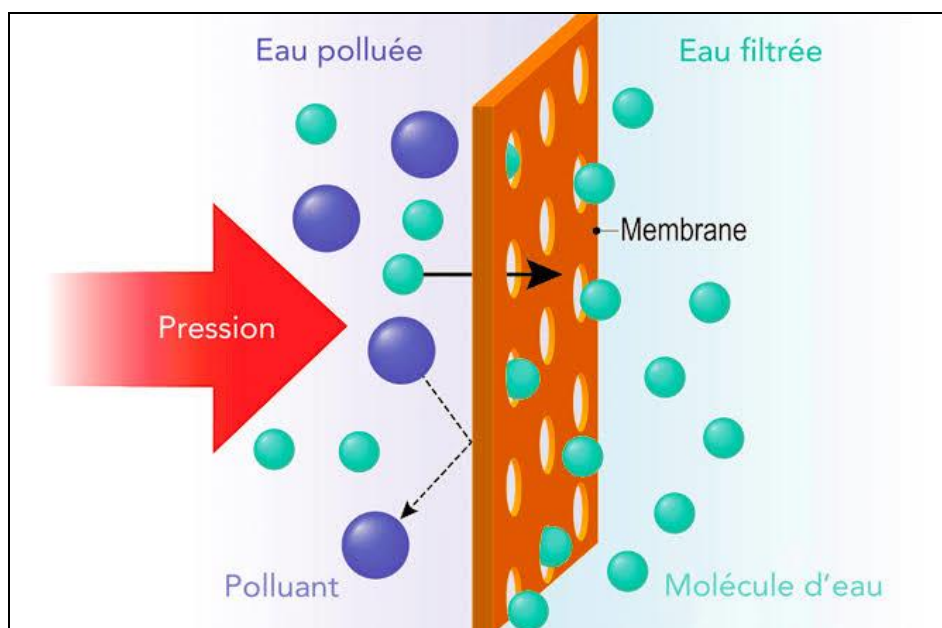


Figure I.3: Membrane sélective (Alphapole; 2021)

Les membranes d'osmose inverse (OI) sont composées d'une couche mince appelée couche active ou peau, qui a une faible épaisseur comprise entre 0,1 μm et 1,5 μm , et qui est constituée de micropores. Cette couche active est soutenue par une ou plusieurs couches supplémentaires, qui sont plus poreuses et mécaniquement plus résistantes.. (j.Wagner, 2000).

8-1.L'Osmose inverse:

L'osmose inverse est une des nombreuses techniques dites membranaires. C'est-à-dire une technique qui consiste à utiliser un film de faible épaisseur semi-perméable : la membrane, à travers laquelle sous l'effet d'une différence de pression, de potentiel électrique (électrodialyse), ... passeront Soit les molécules d'eau mais pas la plupart des corps dissous (sels, matières organiques), Soit les ions mais pas les molécules d'eau (électro-électro dialyse).

- Ces techniques permettent: Soit d'épurer un solvant de ses polluants,
- Soit de concentrer une solution en éliminant le solvant.

En ce qui concerne le solvant "eau" et son épuration les techniques membranaires sont des améliorations d'une technique ancienne: la filtration.

Chapitre 1 Généralités sur les caractéristiques des eaux et les techniques de dessalement

L'ordre de grandeur de la taille des éléments arrêtés est le suivant:

Technique séparative	Taille des particules	Applications
Filtration conventionnelle	supérieure à $2\mu\text{m}$	Toutes !
Microfiltration	entre $2\mu\text{m}$ et $0,05\mu\text{m}$	La potabilisation de l'eau et le traitement des effluents.
Ultrafiltration	entre 50nm et 1nm	Industrie agroalimentaire, bio-industries, traitement De surface,...
Nano filtration	entre 1nm et $0,4\text{nm}$	élimination d'ions multivalents, régénération de baignoires usées de traitements de surface,...
Osmose inverse	inférieure à $0,4\text{nm}$	production d'eau ultra- pure ,dessalement d'eau de mer.

Rappel : la "taille" de la molécule d'eau est de l'ordre de $0,3\text{ nm}$ Remarques.

- On utilise également des techniques membranaires sur des phases gazeuses, appelées techniques de pervaporation.
- Le principe de tamisage (les éléments de taille supérieure aux orifices ou pores du filtre sont arrêtés, tandis que les éléments de taille plus faible peuvent passer) ne permet pas à lui seul d'expliquer le résultat obtenu, notamment en osmose inverse.

8-2. Principe de l'Osmose inverse:

L'osmose se produit lorsque le solvant se déplace à travers une membrane en raison d'un gradient de concentration. Si un système est composé de deux compartiments séparés par une membrane semi-sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se manifeste par un flux d'eau qui se déplace de la solution diluée vers la solution concentrée. La pression exercée sur la solution concentrée entraîne une réduction de la quantité d'eau transférée par osmose. En présence d'une pression adéquate, le flux d'eau risque même de s'arrêter : cette pression est connue sous le nom de pression osmotique Π . Un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique se produit lorsque la pression osmotique dépasse la valeur : c'est le phénomène de l'osmose inverse. (Jean-Pierre Camo. 2010).

La pression osmotique des électrolytes est donnée par la relation suivante:

$$\Pi = i \cdot C \cdot R \cdot T$$

i : est le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté.

C: la concentration molaire du soluté (mol. m⁻³).

T: la température en kelvin(k).

R: la constante des gaz parfaits (8,31J.mol⁻¹.k⁻¹).

Π : est exprimée en pascal.

Cette relation est valable pour des solutions diluée.

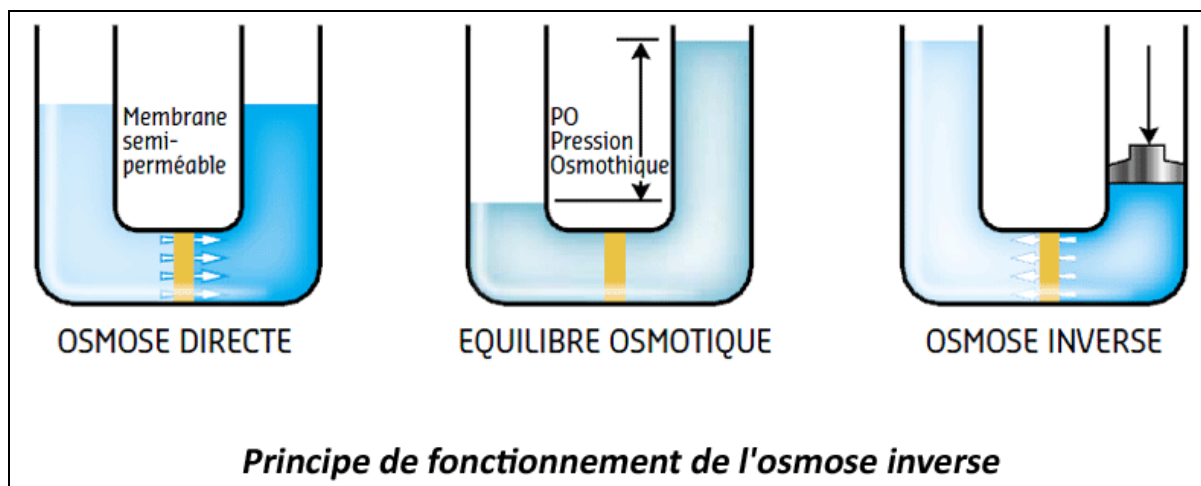


Figure I.4: osmose et osmose inverse (jean- pierrecamo,2010).

8-3.Elément constitutif d'une station d'osmose inverse:

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la Figure I.5:

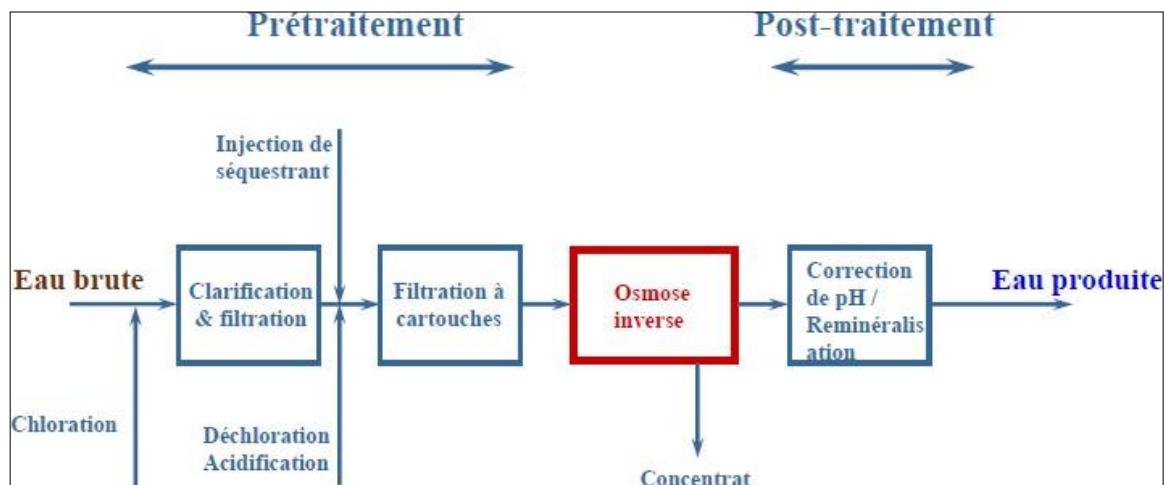


Figure I.5: Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse. (jean-pierrecamo,2010).

Le processus de dessalement par osmose inverse nécessite un prétraitement approfondi de l'eau de mer afin d'éviter le dépôt de matières en suspension sur les membranes, ce qui entraînerait une réduction rapide du débit. Il est crucial de retenir toutes les particules de taille supérieure à 10 à 50 μm , en fonction du type de module d'osmose inverse utilisé. Pour ce faire, on utilise d'abord une préfiltration grossière suivie d'une filtration sur sable pour éliminer les plus grosses impuretés en suspension. Ensuite, un traitement biocide et une

acidification sont nécessaires pour prévenir la croissance des microorganismes sur les membranes et empêcher la précipitation des carbonates. Enfin, une filtration sur cartouches qui permet de retenir des particules de l'ordre de quelques dizaines de μm qui n'ont pas été retenues par le filtre à sable.

Une fois le prétraitement réalisé, la pompe à haute pression injecte l'eau de mer dans le module d'osmose inverse contenant les membranes. Pendant le processus d'osmose inverse, un autre phénomène se produit : la polarisation de concentration de la membrane. Avec le temps, la concentration de la solution saline augmente car la plupart des molécules sont retenues d'un seul côté de la membrane. Cela entraîne également une augmentation de la pression osmotique près de la couche limite, avec un risque de précipitation de composés peu solubles. Pour maintenir le rendement, une pression plus élevée doit être appliquée. Pour éviter ce phénomène, la membrane est balayée du côté de la solution saline par un flux d'eau continu. Seule une partie de l'eau est filtrée, le reste étant utilisé pour nettoyer la membrane. Ce processus est similaire à une filtration tangentielle, où l'eau non filtrée est appelée retentat et l'eau qui a traversé la membrane est appelée perméat.

Pour réduire la consommation énergétique du processus, il est possible d'installer une turbine sur le circuit du retentât, ce qui nous permet de récupérer une partie de l'énergie présente dans ce fluide sous haute pression.

8-4. Les modules:

Il existe 4 grands types de modules supportant les membranes et qui sont commercialisés :

- Les modules tubulaires
- Les modules fibres creuses
- Les modules plans
- Les modules spiraux

8-5. Les modules spiraux:

Les modules spiraux sont constitués d'une membrane plane enroulée autour d'un tube poreux qui retient le filtrat. Il en résulte un cylindre multicouche où le perméat s'écoule en spirale vers le tube poreux, tandis que la puissance s'écoule en spirale dans les canaux.

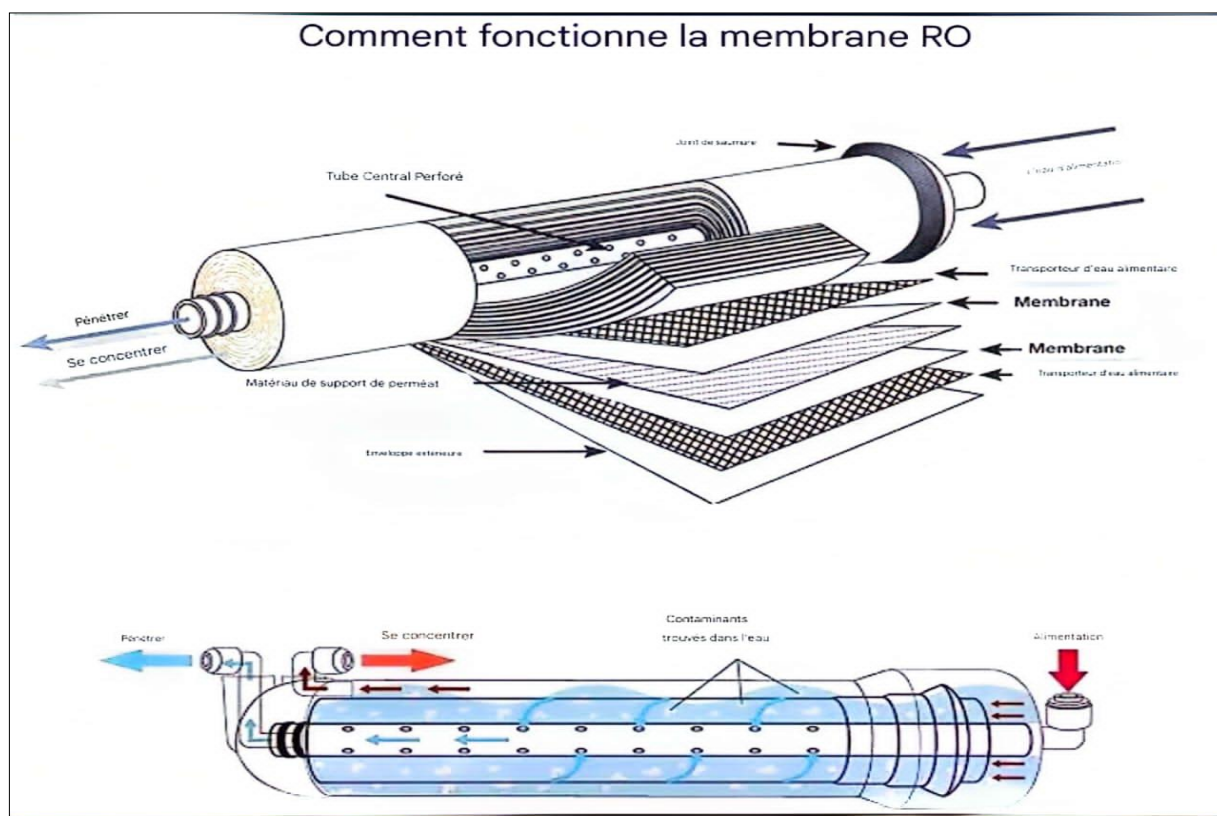


Figure I.6: Structure interne d'une membrane spirale(Water tec).

8.5.1. Avantages du module spiral:

- Facilité d'entretien.
- Divers matériaux et fabricants disponibles résistance au colmatage.

8.6. Différents types de systèmes membranaires (Design, Configuration, Montage)

8.6.1. Système mono- étage:

Un système membranaire se compose d'un flux à traiter (solvant contenant des solutés : solution) qui passe par un système de pompage pour la mise en pression, qui refoule le flux sous une pression élevée vers les modules à membranes. Tous les modules sont assemblés simultanément. Chaque module a deux sorties : une sortie de solution moins concentrée (perméat) à pression très basse, et une sortie de solution plus concentrée (retentât : concentrât) à pression élevée. Lorsque l'eau sort du concentrât, elle est soumise à une pression élevée, ce qui rend toujours nécessaire l'installation d'équipements énergétiques tels que des turbines et des échangeurs de pression pour récupérer de l'énergie. (Metaiche, 2014).

8.6.2. Système di-étages en série rejet:

Un système di-étagé en série rejet est principalement constitué d'un ensemble de trains dont le concentrât de chaque train alimente le train suivant et ainsi de suite, c'est-à-dire que l'alimentation de chaque train présente des caractéristiques similaires à celles du concentrât du

train précédent (chaque train est alors appelé étage). Le perméat total du système est obtenu en collectant les perméats de tous les étages. Le dernier étage du système est le concentrât, qui sera connecté à une turbine ou à un échangeur de pression (pour la récupération de l'énergie) afin de détendre la pression du concentrât. . (Metaiche, 2014).

8.6.3. Système di-étages en série production:

Un système membranaire di-étagé en série production est constitué d'un ensemble de trains dont la production de chaque étage alimente le train suivant, et ainsi de suite, de manière à ce que l'alimentation de chaque train présente des caractéristiques similaires à celles du perméat du train précédent (le train dans ce cas est appelé pass). En fin de compte, les concentrâtes de tous les trains sont recueillis afin de former le concentrât total du système, qui sera connecté à un système de récupération d'énergie. Le dernier train est le perméat du système. (Metaiche, 2014).

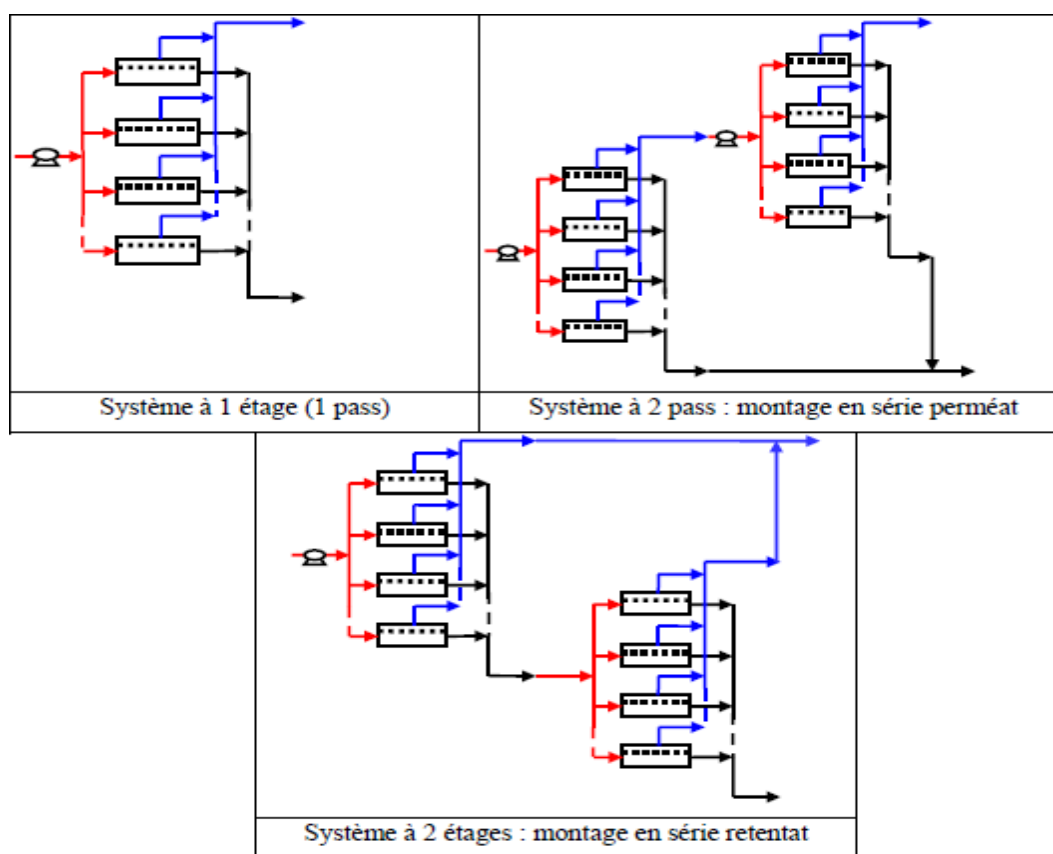


Figure I.7: Types de systèmes membranaires (Metaiche 2014)

8.7. Qualité de l'eau obtenue.

La définition peut être faite à partir de ce qui ne passera pas par la membrane : On rejette principalement des produits organiques en fonction de leur taille, avec une limite de 100 à 200 grammes par mole de masse moléculaire.

Chapitre 1 Généralités sur les caractéristiques des eaux et les techniques de dessalement

Dans une certaine mesure, les composés organiques qui réagissent dans l'eau de la même manière que les sels (c'est-à-dire qui sont partiellement ionisés) seront exclus, même si leur masse moléculaire est inférieure à 100 g.mol⁻¹.

Les rejets caractéristiques des sels et des produits organiques sont présentés ci-dessous en utilisant le module 411-HR (Osmonics). Comme on peut le constater, les ions divalents ont une meilleure capacité d'interception que les ions monovalents. Lorsque des ions monovalents sont associés aux

Les sels associés à des composés organiques de poids moléculaire élevé tendront à agir de la même manière que les composés organiques avec lesquels ils sont associés. Les types de rejets des membranes.

Concentration maximale	Pourcentage de passage (Moyenne)	Pourcentage de rétention	Symbole	CATIONS Nom
3-4	4	95-97	Na ⁺	Sodium
*	3	96-98	Ca ²⁺	Calcium
*	3	96-98	Mg ²⁺	Magnésium
3-4	4	95-97	K ⁺	Potassium
*	2	98-99	Fe ²⁺	Fer
*	2	98-99	Mn ²⁺	Manganèse
5-10	1	99+	Al ³⁺	Aluminium
3-4	8	88-95	NH ₄ ⁺	Ammonium
8-10	1	98-99	Cu ²⁺	Cuivre
10-12	1	98-99	Ni ²⁺	Nickel
10-12	1	98-99	Zn ²⁺	Zinc
-	3	96-99	Sr ²⁺	Strontium
*	3	96-98	Ca ²⁺ et Mg ²⁺	Dureté
8-10	3	96-98	Cd ²⁺	Cadmium
*	5	94-96	Ag ⁺	Argent
-	3	96-98	Hg ²⁺	Mercure

* Attention à la précipitation qui endommagerait irrémédiablement les membranes.

Concentration maximale en %	Pourcentage de passage (Moyenne)	Pourcentage de rétention	Symbole	Nom
3-4	4	95-97	Cl ⁻	Chlorure
5-8	4	95-96	HCO ₃ ⁻	Bicarbonate
8-12	1	99+	SO ₄ ²⁻	Sulfate
3-4	6	93-96	NO ₃ ⁻	Nitrate
3-4	5	94-96	F ⁻	Fluorure
-	4	95-97	SiO ₂ ²⁻	Silicate
10-14	1	99+	PO ₄ ³⁻	Phosphate
3-4	5	94-96	Br ⁻	Bromure
-	-	35-70 **	B ₄ O ₇ ²⁻	Borate
8-12	6	90-98	CrO ₄ ²⁻	Chromate
4-12	-	90-95 **	CN ⁻	Cyanure
8-12	1	98-99	SO ₃ ²⁻	Sulfite
10-14	1	99+	S ₂ O ₃ ²⁻	Thiosulfate
8-14	1	99+	Fe(CN) ₆ ³⁻	Ferrocyanure

** extrêmement dépendant du pH.

8.8. Problèmes rencontrés en Osmose inverse:

8.8.1. Colmatage (Pouvoir encrassant):

L'OI peut être perçu comme une méthode de filtration à l'échelle moléculaire, où toute particule de plus grande taille qu'une molécule sera retenue prioritairement. Il en va de même pour les substances en suspension et colloïdales. La présence de ces substances à la surface de la membrane entraîne une diminution constante des performances (débit, salinité).

- **Les différents types de colmatage:** sont:

- Entartrage (Scaling) : CaCO_3 , CaSO_4 , BaSO_4 , SrSO_4 , CaF_2 .
- Colmatage naturel.
- Biofouling (Biofouling)

8.8.2. SDI (Silt Density Index):

Le SDI est perçu comme un indicateur du risque de colmatage d'une eau saline d'alimentation lors d'une osmose inverse. Il varie en fonction de la quantité de particules ainsi que des autres éléments colloïdaux. Un essai de SDI implique la filtration d'un échantillon d'eau à travers une membrane de $0,45 \mu\text{m}$ (microfiltration) avec une surface filtrante de $1,73 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, à une pression transmembranaire constante de 2,07 bar.

On évalue le SDI en comparant les temps de filtration, t_1 et t_2 , afin d'obtenir un volume de filtration constant au temps 0 et après un temps t , respectivement.

$$SDI = \frac{\left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right) * 100}{t} \frac{C_m}{C_0}$$

Avec:

SDI Silt Density Index (%min⁻¹)

t_1 : Temps initial pour filtrer un échantillon de 500mL (sec)

t : Temps après le départ de la mesure (min)

t_2 : Temps pour filtrer un échantillon de 500mL après le temps T (sec). (Chatkaew Tansakul, 2009)

9. Conclusion :

La déminéralisation est une stratégie cruciale pour combattre le manque d'eau dans les régions côtières et désertiques. Face à l'escalade de la consommation d'eau ces dernières années, due à une sécheresse globale, il est devenu impératif de trouver des alternatives. L'implantation d'installations pour le traitement de l'eau salée et saumâtre représente une réponse judicieuse, permettant d'assurer l'accès à l'eau douce pour tous.

Chapitre 2 :

*Aperçus générale sur la
région d'El Oued et la zone
d'étude (la station de
déminéralisons 19 mars)*

1. Situation Géographique

La wilaya d'El-Oued, établie en tant que telle depuis 1984, est ancrée dans l'est du Sahara algérien. Elle s'étend sur une superficie de 37,652 km² et abrite une population de 700,905 résidents. Positionnée à environ 650 km au sud-est d'Alger et à 350 km à l'ouest de Gabès en Tunisie, cette wilaya est délimitée par des frontières naturelles et administratives distinctes.

Le découpage administratif révisé, publié dans le Journal Officiel le 18 décembre 2019, sous le numéro 78, a été officialisé par un arrêté présidentiel signé par le Président Abdelmadjid Tebboune. Ce redécoupage a introduit des modifications dans la nomenclature et la numérotation des wilayas, ainsi que dans la délimitation de leurs territoires.

Les frontières de la wilaya d'El-Oued sont définies comme suit :

- Au nord, elle est bordée par les régions de Biskra, Khenchela et Tébessa.
- La côte tunisienne marque sa limite nord-est.
- À l'ouest, elle jouxte les wilayas d'El Meghair et Touggourt.
- Le sud de la wilaya est limitrophe de la wilaya de Touggourt.

A vallée d'El-Oued, située aux coordonnées 7° Est et 33.5° Nord, constitue le cœur de notre zone d'étude. Bien qu'elle ne soit pas un bassin versant traditionnel, elle représente une unité hydrographique importante, encadrée par le grand erg oriental au sud, une chaîne de chotts au nord et à l'est, et par l'oued Righ ainsi que la ceinture de palmeraies s'étendant de Biskra à Touggourt à l'ouest.

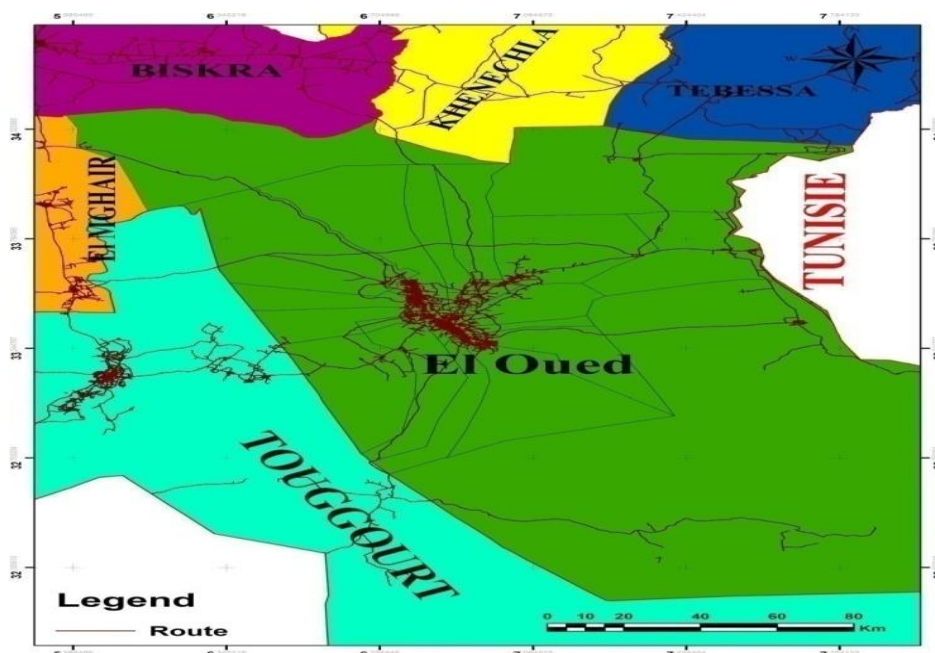


Figure II.1: Situation géographique de la wilaya d'El-Oued

Réaliser par MILOUDI Abdelmomen ,2022.

2. Ressources en eau souterraines :

La wilaya d'El-Oued présente des potentialités en eau assez importantes, représentées par trois types d'aquifères, l'un libre correspondant à la nappe phréatique, les deux autres sont captifs, correspondant aux nappes multicouches du complexe terminal et la nappe du continental intercalaire.

3. Hydrogéologie de la région :

Comme presque tout le Sahara septentrional la superposition des Aquifères est la suivante (de haut en bas). Les aquifères existants : D'après le tableau (II-1) récapitulatif de la superposition des aquifères on observe :

Tableau II.1 : Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued. (D'après DHW, 2005).

Nature hydrogéologique		Nature lithologique	Étage		Ère
Niveau perméable	Nappe Phréatique	Sables	Quaternaire		
Niveau Imperméable		Argiles			
1 nappe des sables	Complexe Terminale	Sables	Pliocène		Tertiaire
Semi –perméable		Argiles gypseuses			
2 nappes des sables		Sables grossiers, graviers	Pontien	Miocène	
Niveau imperméable		Argiles lagunaires, marnes	Moyen	Éocène	
Nappe des calcaires (perméables)		Calcaire fissuré	Inférieur		
Semi-perméable			Évaporites, argiles	Sénonien Lagunaire	
Niveau imperméable	Argiles, marne	Cénomanién			
Niveau perméable	Sables et Grés	Albien			
Semi-perméable	Calcaire, marne	Aptien			
Niveau perméable	Calcaire, sable	Barrémien			

4. La Nappe du Continent Intercalaire (CI) est un aquifère majeur situé entre le Trias et l'Albien.

Il se caractérise par des sables et grès, souvent confinés par des couches d'argile, ce qui lui donne un aspect captif. Avec une profondeur de 1600 à 2000 mètres et une épaisseur utile jusqu'à 900 mètres, il couvre une superficie de 600,000 km².

Ce réservoir est crucial pour son volume conséquent et sa capacité à fournir de l'eau de haute qualité, dépassant les sources précédentes. Il est essentiel pour l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation, avec trois puits dans la région du Souf, deux dédiés à l'eau potable et un à l'irrigation, chacun offrant un débit de 200 litres par seconde. L'eau du CI est remarquable pour sa haute température, atteignant jusqu'à 60°C.

5. Présentation de la station de déminéralisation 19 mars

La station de déminéralisation et de dessalement 19 MARS OTHMEN GUEDIRI se trouve dans la ville d'El Oued (Image II.1).

Des informations générales et des fiches techniques ont été fournies par les responsables de la station, et des photos numériques ont été prises afin de mieux représenter les différents éléments de cette usine.

En Avril 2020, la station de déminéralisation de 19 MARS OTHMEN GUEDIRI (Image II.1) a été mise en service pour la dernière fois. Elle a une capacité de production de 30000 m³/j grâce à la technique d'osmose inverse. Elle fournit de l'eau potable à la commune d'EL OUED, qui compte environ 198 700 habitants.



Image II.1: La station de déminéralisation 19 mars



Image II.2: Image satellitaire de la station

6. Caractéristiques techniques de la station et de l'eau produite:

- Capacité de fabrication de 30 000 m³ par jour.
- Une capacité de stockage de 5000 m cube à 10000 m cubes.
- L'osmose inverse est une technique utilisée pour inverser le phénomène d'osmose.
- L'application d'un réglage permet de déplacer les sels du milieu le plus concentré vers le milieu le moins concentré.
- La pression de l'eau est plus élevée que l'osmose.
- Les 3 puits à eau chaude projetés dans l'Albien sont des puits à température de 60 °C.
- L'eau produite a une température inférieure à 25°C.
- pH: 7,5-8,5
- Salinité: TDS : 300 mg/l, moins de 600 mg/l.

7. Description du processus:

Trois forages de la nappe albienne alimentent la station de déminéralisation de la ville EL OUED :

Tableau II.2: Caractéristiques techniques de trois forages

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

**Image II.3:** Le forage Albien de la station (ELCHOUHADA)**8. Procédé de traitement:**

L'image (3) présente les principaux éléments de la chaîne de traitement des eaux.

- Un bassin d'eau inerte.
- Approvisionnement et mesure de l'hypochlorite de sodium.
- Préparation de l'eau afin de la filtrer sur du sable.
- Alimentation des filtres à sable par des pompes.
- Un filtre à sable.
- Réservoir d'eau purifiée.
- Pompe à basse pression d'alimentation.
- Elimination du chlore de l'eau filtrée.
- Équipements de filtrage.
- Une pompe à haute pression d'alimentation.
- Unité de séparation inverse.
- Osmoses du bassin d'eau.
- Amélioration de la qualité de l'eau par désinfection.

La figure 2 et l'image 4 présentent les principaux éléments de la chaîne de traitement des eaux:

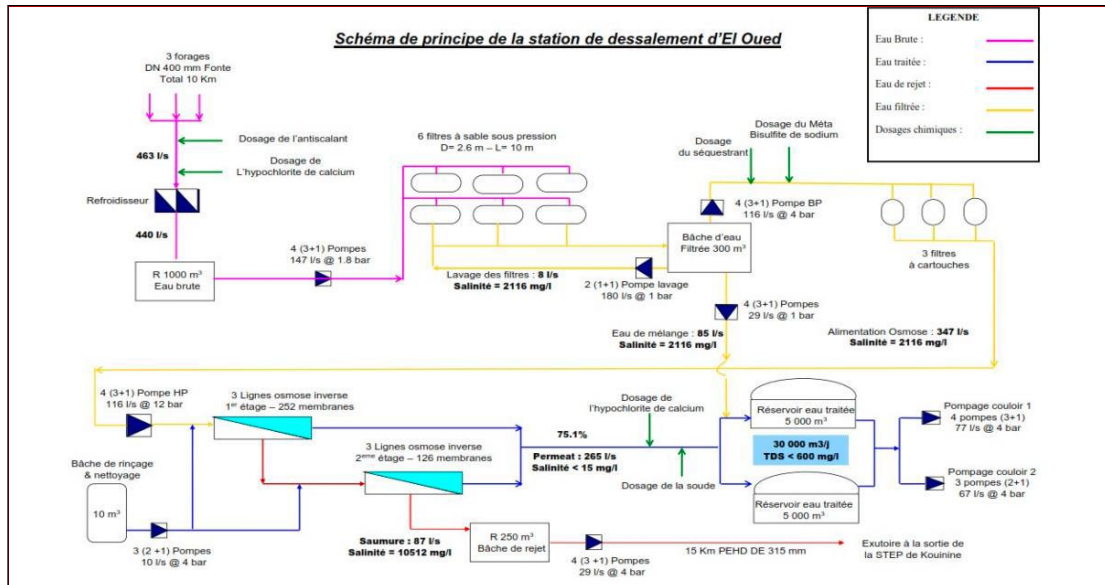


Figure II.2: Schéma de principe de la station de 19 mars

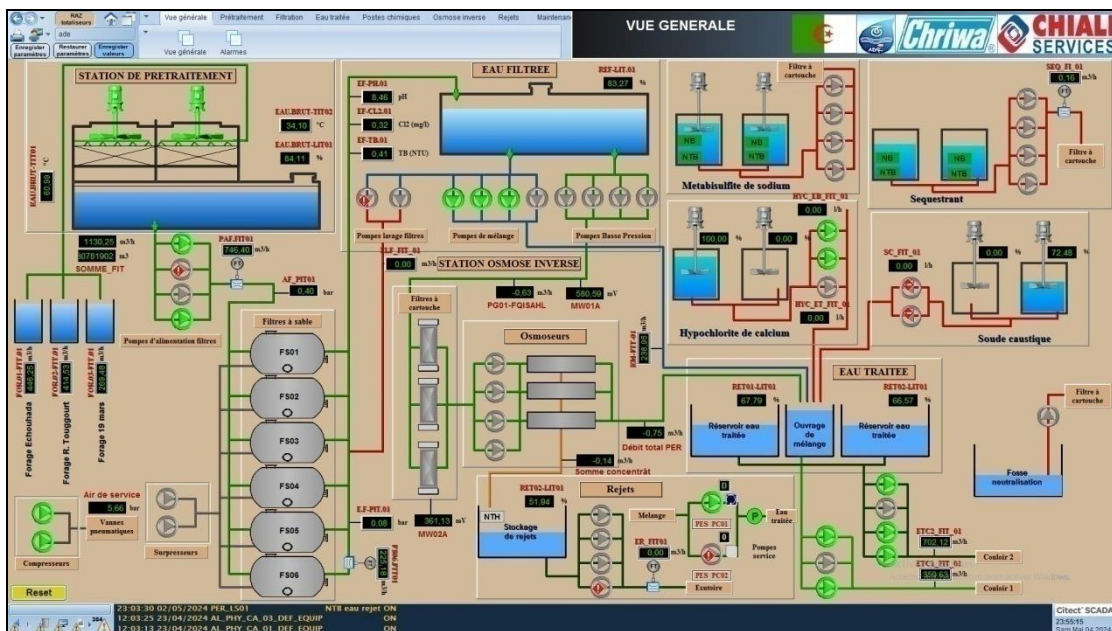


Image II.4: Schéma synoptique de la station d'El Oued 19 mars.

9. Postes auxiliaires

De plus, la station de traitement est équipée des unités auxiliaires suivantes :

- Poste de rinçage à l'eau des filtres à sable.
- Machine pour le nettoyage des membranes.
- Installation de pompage d'eau potable.
- Établissement de préparation et de mesure des substances chimiques.

- Station d'eau en service.
- L'application du processus à la station de déminéralisation

Le dessalement de l'eau saumâtre se déroule en quatre étapes principales :

- La collecte de l'eau saumâtre.
- La préparation préalable.
- L'inverse de l'osmose.
- La suite du traitement

10. Le captage de l'eau saumâtre

Ces trois forages sont utilisés pour récupérer l'eau brute : ELCHOHADA (Image II.3), ROUTE TOUGGERT et 19 MARS.

Les caractéristiques de l'eau brute sont pratiquement identiques pour les trois forages :

Tableau II.3 : 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
SiliceSiO ₂	mg/l	29
Résidu sec	mg/l	2106

11. Le prétraitement:

11.1. Tours de refroidissement:

Description des tours de refroidissement:

La température de l'eau sera réduite de 60 °C à 30 °C en passant à travers une tour de refroidissement composée de 2 cellules. Le type préfabriqué de cette tour sera SCAM T.P.E, elle sera construite sur place et sera constituée de deux cellules ventilées à contre-courant. Un débitmètre à pression différentielle sera installé à la sortie de la tour afin de mesurer le débit de l'eau refroidie qui sort.

L'eau brute transportée vers la tour de refroidissement renferme suffisamment de sels (chlorures, sulfates, carbonates), de gaz dissous (oxygène, dioxyde de carbone) et d'ions métalliques (fer, manganèse...). La présence de ces substances polluantes peut engendrer divers problèmes. L'encrassement des diffuseurs et le système de ruissellement sont les principaux problèmes auxquels on fait face, ainsi que la corrosion et le développement biologique.

L'environnement est infesté de bactéries et d'autres microorganismes pathogènes. On les trouve fréquemment dans l'eau des tours de refroidissement.

En présence d'un système de recirculation ouvert dans les tours de refroidissement, les microorganismes peuvent être déplacés de l'air vers l'eau.

Afin de résoudre ces deux problèmes, il est prévu d'utiliser des dosages de séquestrant à l'amont de la tour de refroidissement (dose de choc) afin d'empêcher ou de réduire la formation de CaCO_3 et d'hypochlorite de calcium.

Avant d'utiliser le mélangeur statique, ces deux réactifs seront injectés dans le collecteur général de l'eau.

Tableau II.4: Débit d'eau brute vers les tours de refroidissement:

Débit m^3/j	Débit m^3/h	Débit en L/s
38000	1587	441



Image II.5: Tour de refroidissement

11.2. Filtres à sables:

Sont des dispositifs essentiels dans le traitement de l'eau, utilisant la pression pour éliminer les impuretés. Voici une version raccourcie et reformulée de la description :

- Description du procès des filtres à sable:

Pour la filtration de l'eau brute refroidie, il sera fourni six (06) filtres à sable sous pression permettant d'éliminer les matières en suspension. La filtration par le sable et l'antracite est une méthode robuste utilisée très fréquemment pour enlever les particules solides suspendues dans l'eau. Chaque filtre est en fait constitué de plusieurs couches gravier, sable et Anthracite.

Les filtres sont horizontaux sous pression avec 3 couches de graviers, de sable et d'antracite. Ces charges filtrantes reposent sur un plancher métallique garni de buses de distribution.

Les filtres seront équipés par un plancher filtrant métallique, équipé lui-même par des crépines conçues par son épaisseur et à concurrence de 50 unité par m².

Ils seront également équipés par trois trous d'hommes ainsi que les tuyauteries et robinetteries nécessaires pour l'alimentation, le départ, le lavage à l'air et à l'eau ainsi qu'à la vidange.

Les filtres à sable ont un fonctionnement automatique tant en production qu'en cycle de lavage.

La vitesse de filtration adoptée est de 10 à 15 mm/h durant le fonctionnement normal des filtres à sable ce qui permettra d'assurer un indice de colmatage (SDI: Silt Density Index) relativement Bas pour l'alimentation d'osmose inverse.

Le lavage contre-courant des filtres à sable est assuré par l'eau filtrée qui est stockée dans un bassin d'eau filtrée à un taux de 25 m³/h. Le lavage à contre-courant des filtres à sable sera programmé à l'aide d'une armoire de commande PLC ou initié manuellement par l'opérateur au niveau de son interface de commande.

Le lavage est réalisé par l'eau et l'air à l'aide des pompes de lavage et des soufflantes d'air, pour procéder au dé tassage des masses filtrantes grâce à l'introduction d'air sur-pressé à contre-courant pour permettre l'amélioration du contre lavage à l'eau; le rejet de lavage sera dirigé vers le réservoir de saumure.



Image II.6: Filtres à sables

11.3. Pompe de mélange:

Il a pour fonction d'incorporer de l'eau provenant des filtres à sable afin de modifier les paramètres de Ils fonctionnent en mode 3+1 (3 en marche et une en standby) de la manière suivante.



Image II.7: Pompe de mélange

11.4. Pompes d'alimentation basse pression:

Quatre pompes à basse pression de 420 m³/h offrent la possibilité d'alimenter des filtres à cartouche avec de l'eau filtrée.



Image II.8: Pompes d'alimentation basse pression

11.5. Filtres à cartouches:

6 unités, 39 cartouches pour chaque filtre (voir Image 9).

Un système de filtre à cartouche jetables est prévu pour éviter le passage de grosses particules ou de sable fin dans le système de membrane. Les cartouches utilisent des fils en polypropylène avec un enroulement hélicoïdal et un seuil de rétention nominal de 5 microns.

Des points de mesure de certains paramètres d'opérations tels que le potentiel redox, le pH et la température sont prévus en aval des micro filtres..

Une fois que l'unité de déminéralisation a commencé à fonctionner et que la qualité de l'eau est en dehors des conditions de fonctionnement requises par les membranes, une vanne de décharge, installée dans un micro filtre, peut être ouverte afin d'évacuer l'eau vers le rejet jusqu'à ce que les conditions requises soient rouvertes.



Image II.9: Filtres à cartouches

11.6. Pompes d'alimentation haute pression:

Quatre pompes d'alimentation haute pression alimentent l'unité d'osmose inverse avec une capacité de 420 m³/h. Elle peut être de différents types tels que « ksb », « Siemens », et autres, etc.



Image II.10: Pompes d'alimentation haut pression

11.7. L'osmose inverse:

En appliquant une pression supérieure à la pression osmotique de la solution à dessaler, on effectue l'Osmose inverse, ce qui entraîne l'écoulement de l'eau à travers une membrane semi-perméable dans la direction opposée (du compartiment contenant l'eau salée vers le compartiment d'eau douce) (Figure 3).

Ce processus est facile, mais entraîne un véritable souci concernant l'encrassement des membranes, qui demande un prétraitement approfondi de l'eau saumâtre.

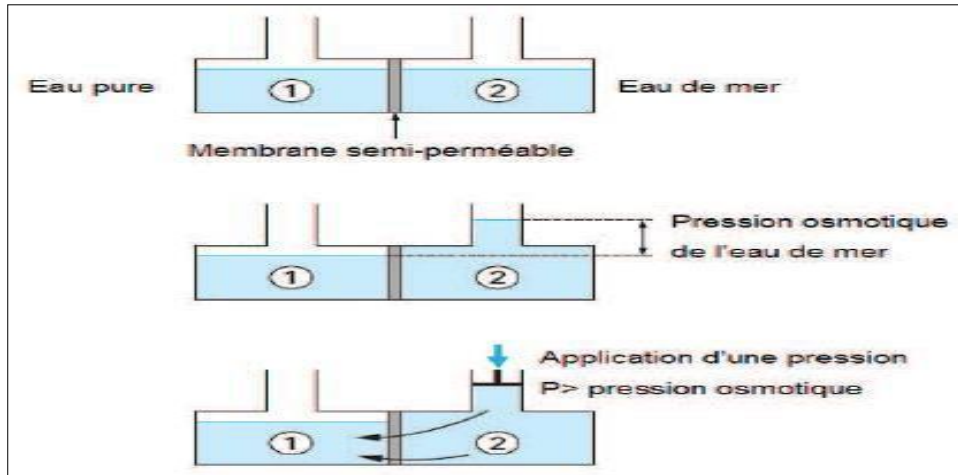


Figure II.3: Mise en évidence de l'osmose inverse



Image II.11: le placement des membranes de la station par étage de L'osmose inverse

- 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).

12. Le post-traitement

12.1. 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.

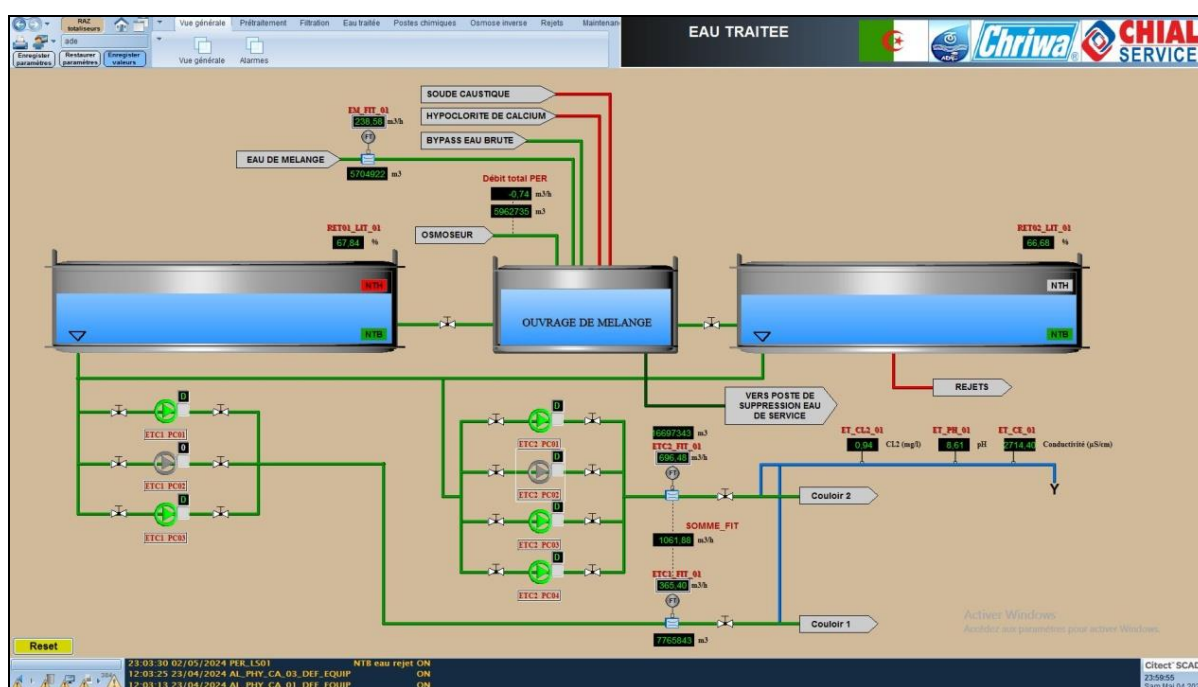


Image II.12: Schéma synoptique de l'eau traitée

12.2. 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 nonaligné.



Image II.13: Pompes d'eau traitée.

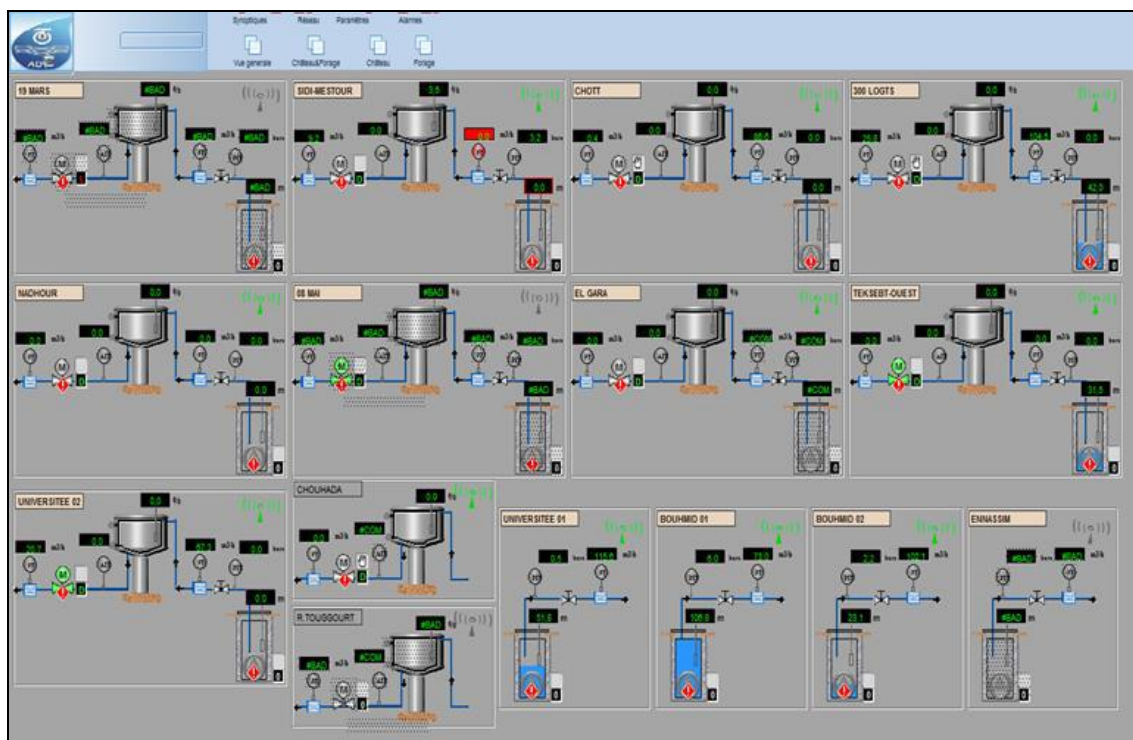


Image II.14: Les châteaux d'eau alimentés par la station.

13- la station d'évacuation de rejet:

La station d'évacuation des rejets est constituée de 3 pompes additionnelles et d'une bache de rejet de 250 m³.

13.1. Pompes de rejet:

La source d'alimentation des pompes provient de la bache de rejet. Les pompes peuvent être utilisées de manière locale ou à distance. Chaque pompe est équipée d'un coffret de commande locale avec un sélecteur (L-O-D) et des boutons poussoirs marche et arrêt. La position 0 indique l'arrêt de l'équipement.

Le mode de commande local en manuel correspond à la position L.

Selon les conditions d'automatisme, la position D permet le démarrage de l'équipement depuis le HMI. Deux modes de fonctionnement sont disponibles en mode distant : mode automatique ou mode manuel.

Dans cette situation, le sélecteur est en mode manuel et le fonctionnement est assuré par des boutons sur la boîte de commande (SCADA). Les pompes s'arrêtent dans les conditions suivantes lorsque ce mode présente des limites de sécurité minimales :

En cas d'activation de l'indicateur de niveau R.FR-LS01-LL.

En position éloignée et en mode automatique, le sélecteur sélectionne la pompe à démarrer en fonction de la disponibilité des pompes. Il est nécessaire que le système de contrôle effectue une permutation circulaire pour équilibrer l'usure des pompes. Ce dernier

doit également surveiller le temps de marche maximal autorisé par une pompe et le temps d'arrêt minimal nécessaire après son fonctionnement.



Image II.15: Pompes de rejet

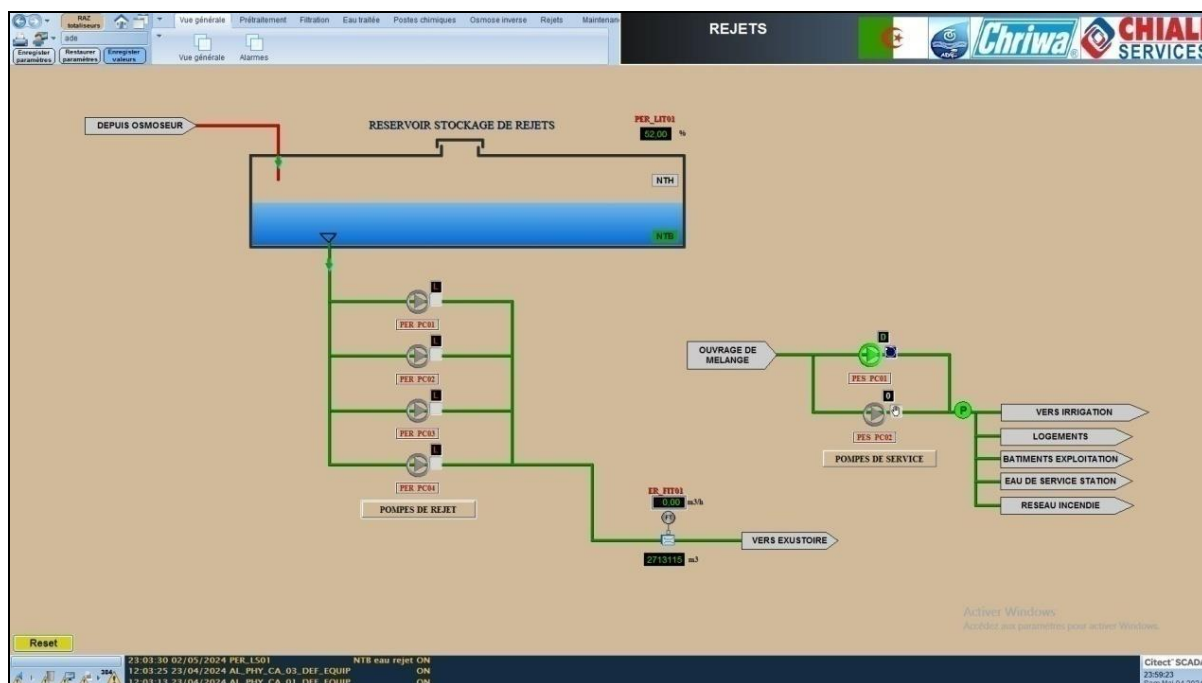


Image II.16: Schéma synoptique de rejets

13.2. Bâche de rejet 250 m³:

Un transmetteur de niveau R.E.R-LIT01 est installé dans la bâche de rejet, ainsi que deux indicateurs de niveau haut et bas, RER-LS01-LL et R.FR-LS02-HH. 10-4.-Répartition des étapes de démarrage et d'arrêt des pompes de rejet :

Si le niveau d'eau dans la bâche de rejet est supérieur à R.E.R-LITOI-cons2, une pompe de rejet est mise en marche. Si le niveau de la bâche d'eau de rejet est inférieur à R.E.R-LITO1-cons1, la pompe de rejet est arrêtée.

14. Conclusion

La station 19 MARS OTHMEN GEDIRI, située à El Oued, est opérationnelle depuis avril 2020. Utilisant la technologie d'osmose inverse, elle produit quotidiennement 30 000 m³ d'eau potable pour la population locale. Les processus et technologies employés assurent une transformation efficace de l'eau saumâtre en eau potable, avec un contrôle automatisé garantissant la qualité de l'eau

Chapitre 3 :
Matériels et
méthodes

1.Introduction

Dans la station de dessalement par osmose inverse du 19 mars, le laboratoire prélève périodiquement des échantillons pour contrôler les propriétés physiques et chimiques de l'eau, depuis le moment où l'eau entre brute jusqu'à sa sortie sous forme d'eau douce dans plusieurs récipients, afin de l'analyser. et enregistrer les résultats afin de surveiller la qualité physique et chimique de l'eau et de fournir un rapport détaillé sur l'état de la station, nous avons accompagné les responsables et les travailleurs de la station dans les prélèvements d'échantillons tout au long de la période de surveillance et avons suivi de près les résultats. Tous les résultats d'analyse.

2. Matériel et méthodes

Durant le stage (28/01/2024 au 07/05/2024) 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.

3. Prélèvement et échantillonnage

3.1. 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.

3.2. 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.
- Débiller, remplir et refermer immédiatement.

4. Méthodes d'analyse

4.1. Paramètres organoleptiques

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

4.2. Test de l'odeur

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

4.2.1. Mesure de la turbidité

- l'appareil

Turbidimètre (**Image III.16**) 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) (**Image III.17**).

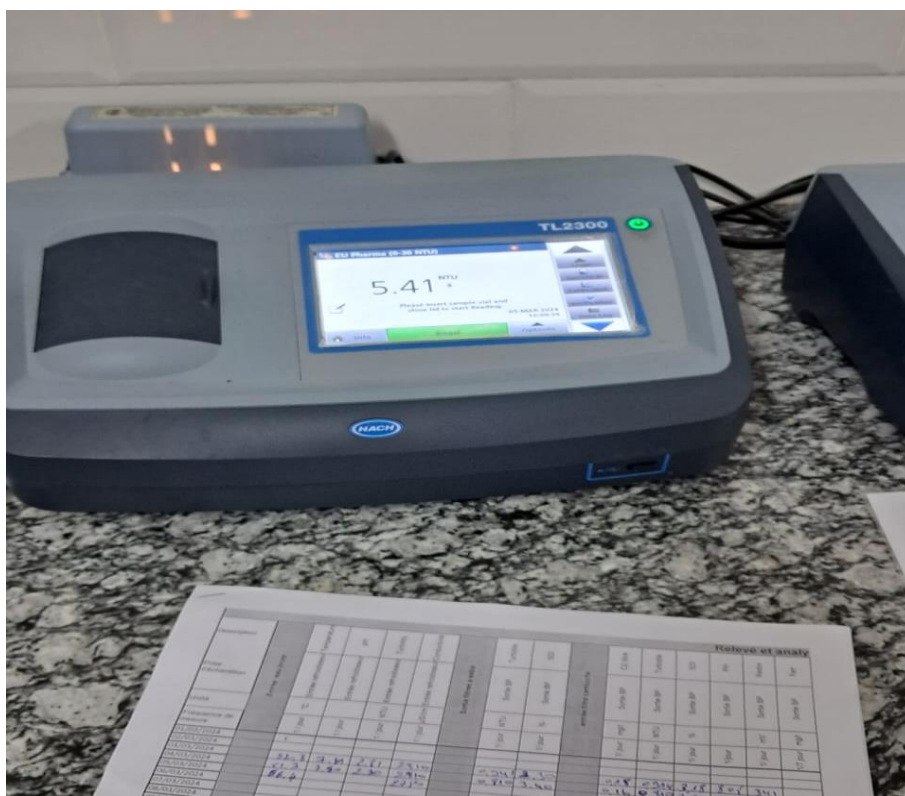


Image III.17: Turbidimètre (TL2350, HACH)

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. les analyses physico-chimiques

5.1. Mesure de la conductivité

- L'appareil

La mesure de la conductivité se fait à l'aide d'un appareil multi-paramètres Conductimètre (WTW-2CA101) Image III.18.



Image III.18: Conductimètre (WTW-2CA101)

- Mode opératoire

Allumez l'appareil (**Image III.18**), 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. Mesure du pH

- L'appareil

La mesure du pH est faite avec un autre appareil pH mètre WTW 7110 (Image III.19).

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



Image III.19: 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

5.3. Mesure de l'Alcalinité

- 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 (**Image III.20**).



Image III.20: Détermination des bicarbonates (HCO_3^-)

🌈 Expression de résultats

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mg/l)} = V_1 \times 61$$

V_1 : volume de HCL versé.

🌈 Remarque

Si le pH de l'échantillon est supérieur à 8,3 ; titrer jusqu'à cette valeur (V_{A1} : Volume d'HCL obtenu correspond au CO_3^{2-}) puis continuer le dosage jusqu'à pH de 4,3 et noter le volume de V_{A2} : Volume d'HCL correspond au HCO_3^- .

$$\text{CO}_3^{2-} \text{ (mg/l)} = V_{A1} \times 60.$$

5.4. 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.



Image III.21: Chlorimètre

✚ Matériels et Réactifs

- Cuve propre
- Colorimètre (Image III.20)
- Pastille DPD (chlore).

✚ Mode opératoire (Méthode Colorimétrique)

A l'aide d'un colorimètre (Image III.20), 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.

5.5. 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.

$$\text{TH} = \text{calcium (Ca}^{2+}\text{)} + \text{magnesium (Mg}^{2+}\text{)}$$

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 NH₄OH (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. **(Image III.21)**

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

N_{EDTA} : La normale de la solution EDTA

V_{EDTA} : Volume en millilitres, de la solution EDTA, utilisé pour le dosage V₀ : Volume en millilitres, d'échantillon dosé.



Image III.22: Détermination de la dureté (TH)

5.6. 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 apparait. Un titrage par l'EDTA (0.02N) a lieu jusqu'au virage rose au mauve. (**Image III.22**)

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

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



Image III.23: détermination du calcium (Ca^{2+}).

5.7. 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 $\text{TH} = \text{D}(\text{Ca}^{2+}) + \text{D}(\text{Mg}^{2+})$

La dureté magnésienne est calculée par la formule suivante $\text{D}(\text{Mg}^{2+}) = \text{TH} - \text{D}(\text{Ca}^{2+})$

5.8. 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.



Image III.24: TDS mètre

5.9. 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 (**Image III.25**) est un équipement de laboratoire permettant de chauffer à température régulée des éléments par pression sous vide.

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



Image III.25: 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.

6. 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). (Image III.26)

Les paramètres mesurés sont :

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

Le spectrophotomètre (HACH DR3900) (Image III.26) 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.

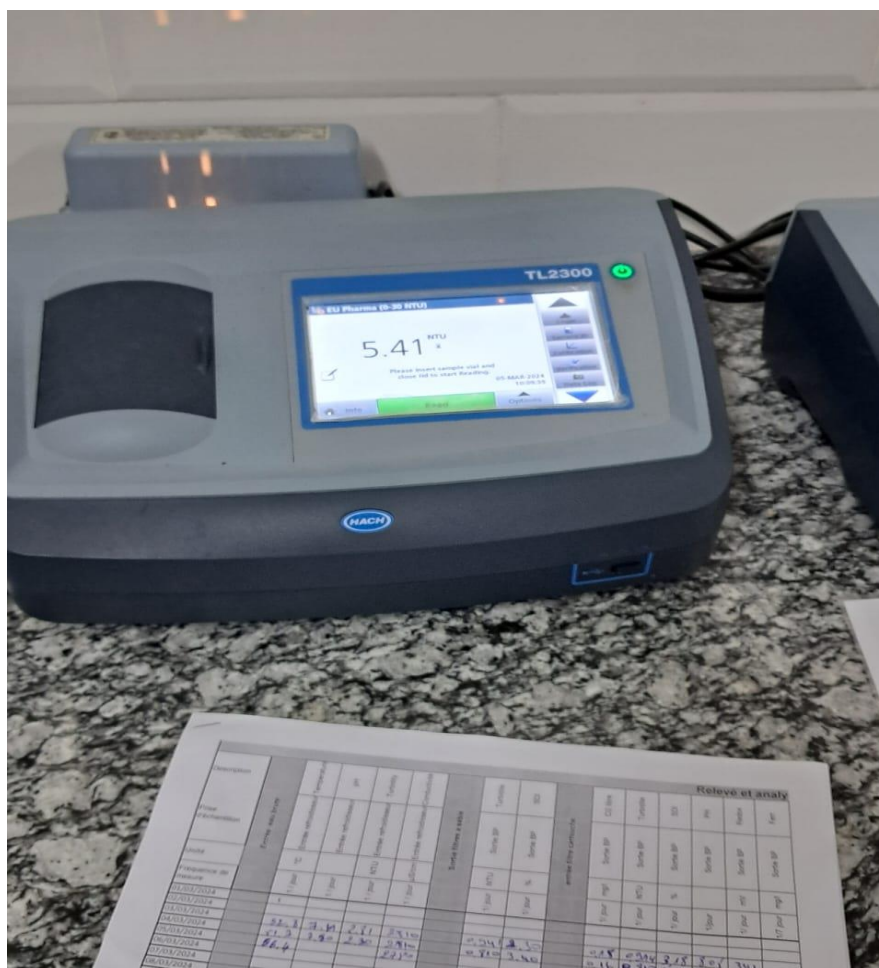


Image III.26: spectrophotomètre (HACH DR3900)

6.1. 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.

6.2. 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.

6.3. Mesure de fer (Fe)

Dans un tube spécial pour la détection du fer (**Image III.27**), nous mettons un échantillon de l'eau (2 ml) et le laissons pendant 15 min, puis le mettons dans le spectrophotomètre.



Image III.27: Mesure de fer (Fe)

6.4. 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.

6.5. 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.

6.6. Mesure de chlorure (Cl^-)

La méthode consiste à doser les chlorures avec du nitrate d'argent en présence de chromate de potassium (Image III.28). 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.

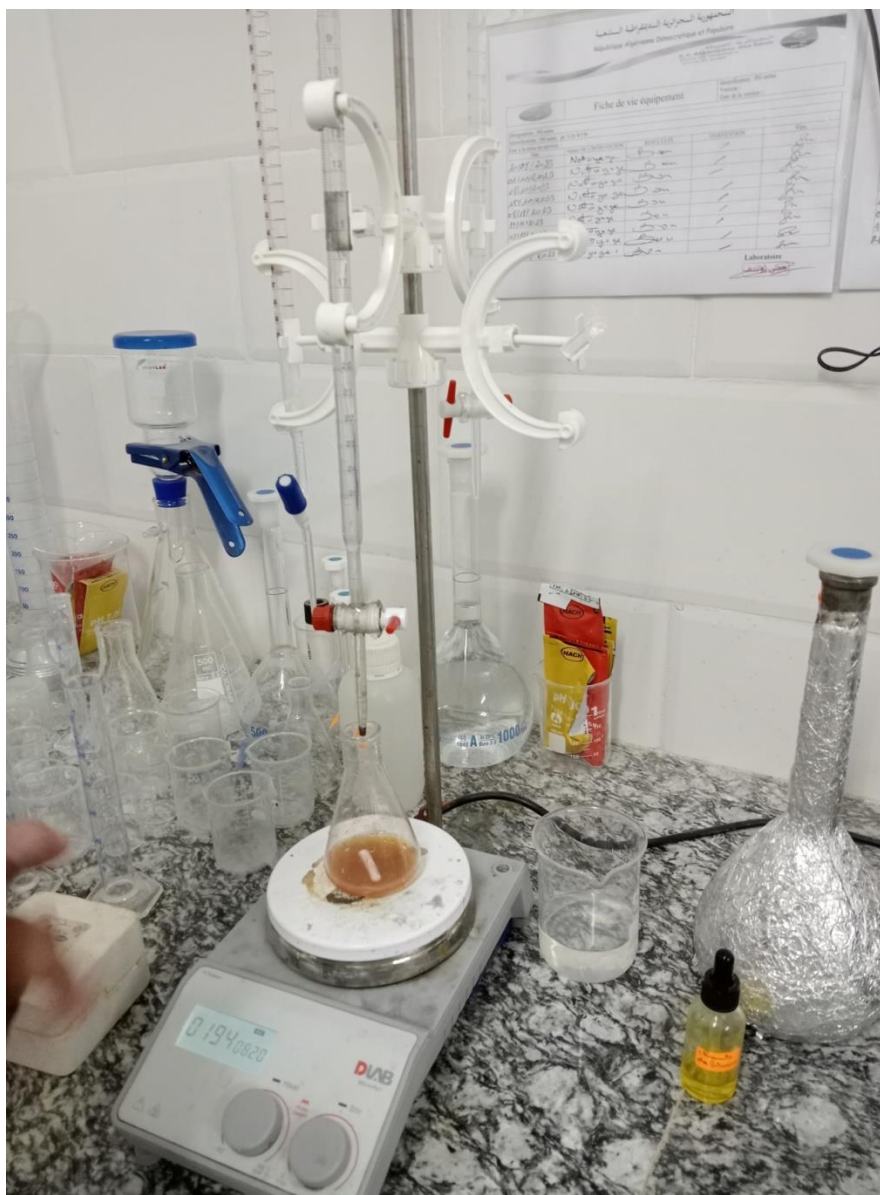


Image III.28: Dosage de chlorure

✚ 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.

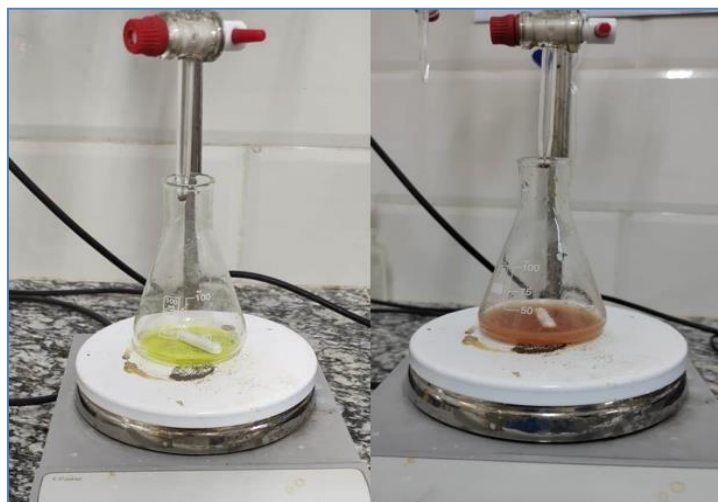


Image III.29: l'échantillon d'eau avant et après le dosage.

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.

- 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.



Image III.30: Densimètre (DMA 35).

7. Méthodes utilisées:

7.1. Détermination des chlorures Cl^-

Mode opératoire:

- Prendre 5ml 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.

Expression des résultats:

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

VAgNO₃: Volume de nitrate d'argent nécessaire pour le dosage. F : Facteur de correction du titre de nitrate d'argent.

Remarque:

Pour le F:

- Prendre 5 ml de la solution mère à 71 mg/l.
- Ajouter 2 gouttes de l'indicateur coloré.
- Dosé par nitrate d'argent à 0,01 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

$$F = 1/V_{AgNO_3}$$

7.2. Détermination de l'alcalinité HCO₃⁻**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-

Expression des résultats:

$$HCO_3^-(mg/l) = V_1 \times 61$$

V₁ : volume de HCL versé.

Remarque:

Si le pH de l'échantillon est supérieur à 8,3 ; titrer jusqu'à cette valeur (V_{A1}: Volume d'HCL obtenu correspond au CO₃⁻) puis continuer le dosage jusqu'à pH de 4,3 et noter le volume de V_{A2} : Volume d'HCL correspond au HCO₃⁻.

$$CO_3^{2-}(mg/l) = V_{A1} \times 60$$

7.3. Détermination du résidu sec**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 après refroidissement

Expression des résultats:

$$RS(mg/l) = (PS - PV) \times 10 \times 1000$$

PS : Poids séché de la capsule.

PV : Poids vide de la capsule.

Remarque:

Les eaux contenant des matières en suspension doivent être filtrées.

7.4. Détermination du calcium (Ca²⁺) et du magnésium (Mg²⁺)

Mode opératoire:**Pour le Calcium:**

- Prendre 50 ml d'eau à analyser
- Ajouter 2 ml de NaOH à 2 N
- Ajouter du Murexide
- Titrer avec l'EDTA jusqu'au virage violet

Pour le Magnésium :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser
- Ajouter 2 ml de NH₄OH (pH=10,1)
- Ajouter noire riochrome
- Titrer avec l'EDTA jusqu'au virage bleu.

Expression des résultats:**Pour le Calcium:**

$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = V_1 \times F \times 8,016$$

V₁: Volume d'EDTA titré.

F : Facteur de correction.

Pour le magnésium:

$$\text{Mg}^{2+} \text{ (mg/l)} = (V_2 - V_1) \times F \times 4,86$$

V₂: Volume total d'EDTA titré.

F : Facteur de correction.

7.5. Mesure électro métrique du pH:

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-

Méthode de mesure:

- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser.
- Mettre un agitateur avec une faible agitation

- Tremper l'électrode dans le bécher.
- Laisser stabiliser un moment avec une faible agitation, puis noter le pH.

7.6. Mesure de la conductivité électrique

Mode Opérateur :

Etalonnage de l'appareil :

- Allumer le Conductimètre.
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée.
- Prendre dans un petit bécher, la solution standard de KCL.
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage de la constante de la cellule.

Méthode de mesure:

- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser.
- Tremper l'électrode dans le bécher
- Laisser stabiliser un moment, puis noter la valeur de la conductivité affiché.

Expression des résultats:

- Le résultat est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou bien en mS/cm
- Au niveau du laboratoire de la qualité des eaux brute, eau osmose et eaux traitée (station el oued) nous avons fait les paramètres suivant:
- Paramètres Organoleptiques
- Paramètres Physico-chimiques
- Paramètres de pollution
- Paramètres Bactériologiques
- Minéralisation Globale
- Paramètres Indésirables
- Paramètres ioniques

8. Conclusion :

L'étape de suivi et d'échantillonnage a été très utile, car nous avons appris à surveiller en permanence la qualité physique et chimique de l'eau de la station de dessalement de 19 mars. Nous avons également exploré les outils et équipements fiables du laboratoire de l'usine et des méthodes de travail, et nous avons suivi les résultats des analyses pendant la période de surveillance afin d'obtenir une conclusion générale sur les eaux traitées dans la station.

Chapitre 4 :

Résultats et discussion

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 Touggourt) 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 2024 à Mai 2024.

2. Résultats des paramètres étudiés de l'eau brute:

Les résultats des paramètres physico-chimiques, les paramètres de pollution, les paramètres bactériologiques, les la minéralisation globale de l'eau brute sont mentionné dans le tableau : (5)

Tableau III.5: résultats des différents paramètres étudiés de l'eau brute.

Paramètres Organoleptiques	Unité	Résultat	N.A (E.B)		Minéralisation Globale	Unité	Résultat	N.A (E.B)	
			SURF	SOUT				SURF	SOUT
Couleur	mg/l Echelle Pt-co	-	200	20	Calcium (Ca++)	mg/l	179.558	--	--
Odeur à 25 °C	-	-	20	3	Magnésium (Mg++)	mg/l	112.75	--	--
Paramètres Physico- Chimiques	Unité	Résultat	N.A (E.B)		Dureté totale (TH)	mg/l CaC O3	912	--	--
			SURF	SOUT					
Concentration en ions hydrogène	Unité pH	7.43	$\geq 6,5$ et ≤ 9		Sodium (Na+)	mg/l	190	--	--
Conductivité à 25°C	µS/cm	2730	2800		Potassium (K+)	mg/l	49	--	--
Température	°C	51.4	25		Chlorures (Cl-)	mg/l	795.2	600	500
Turbidité	NTU	0.985	--		Sulfates (SO42-)	mg/l	464	400	400

					)				
Oxygène dissous	mg/l	-	30	>70	Nitrates (NO3-)	mg/l	0.9	50	50
Résidu sec à 105°C	mg/l	1329	..	..	Bicarbonates (HCO3-)	mg/l	268.4	--	--
Taux De Salinité (TDS)	mg/l	2109	--		Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	mg/l CaC O3	220	--	--
Paramètres de pollution	Unité	Résultat	N.A (E.B)		Paramètres Indésirables	Unité	Résultat	N.A (E.B)	
			SURF	SOUT				SURF	SOUT
Ammonium (NH4+)	mg/l	-	4	0.5	Fer	mg/l	0.237	1	0.3
Nitrites (NO2-)	mg/l	0.010	--		Manganèse	mg/l	-	1	0.05
ortho phosphate (Po-34)	mg/l	-	10	5	Paramètres ioniques	Unité	Résultat	N.A (E.B)	
Matières Organiques	mg/l	-	--					SURF	SOUT
Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)	mg/l O2	-	7	< 3	Fluorures (F-)	mg/l	-	2	1,5
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	mg/l O2	-	30	--	Cyanures (CN-)	µg/l	-	100	50
Azote Total Kjeldhal (NTK)	mg/l	-	3	1	Bromures (Br-)	mg/l	-	--	--
Paramètres Bactériologiques	Unité	Résultat	N.A (E.B)		Iodures (I-)	mg/l	-	--	--
			SURF	SOUT					
Coliformes totaux	/	00	/		Sulfure d'hydrogène (H2S)	mg/l	-	--	--
Escherichia Coli	n/100 ml	00	20.000	20					
Entérocoques	n/100 ml	00	10.000	20					
Observation									

N.A: Norme Algérienne relative au décret exécutif N° 11-219.

E.B : Eau Brute ; **SURF :** Surface ; **SOUT :** Souterraine

D'après les résultats obtenus (tableau5), On observe au début du traitement des eaux brutes que sa conductivité est 2790 µs/cm et les taux du sulfate (636 mg/l), et du calcium

(240.48 mg/l), ces eaux avec de qualités très dures et selon les normes algériennes considérées comme des eaux non buvables.

En comparant les résultats des analyses que nous avons effectuées sur les eaux brutes de la station du 19 mars et les normes algériennes exigées par l'état algérien telles que publiées au journal général (JORDAP,2011), il a été constaté qu'il y avait des éléments chimiques qui dépassaient les normes.

Nous avons donc traité l'eau par osmose inverse, et c'est la base du rôle de la station 19 mars.

3. Résultats des paramètres étudiés de l'eau osmose:

Tableau III.6: résultats des différents paramètres étudiés de l'eau osmose.

Paramètres Organoleptiques	Unité	Résultat	N.A (E.T)	Minéralisation Globale	Unité	Résultat	N.A (E.T)
Couleur	mg/l platine	-	15	Calcium (Ca++)	mg/l	12.10	200
Odeur à 25 °C	Taux dilution	-	04	Magnésium (Mg++)	mg/l	8.21	--
Saveur à 25 °C	Taux dilution	-	04	Dureté totale (TH)	mg/l CaCO ₃	64	500
Chlore résiduel libre	mg /l	/	>0,1	Sodium (Na+)	mg/l	-	200
Paramètres Physico-Chimiques	Unité	Résultat	N.A (E.T)	Potassium (K+)	mg/l	-	12
Concentration en ions hydrogène	Unité pH	7.62	≥ 6,5 et ≤ 9	Chlorures (Cl-)	mg/l	56.8	500
Conductivité à 25°C	µS/cm	112.3	2800	Sulfates (SO ₄ 2-)	mg/l	16	400
Température	°C	24.1	25	Nitrates (NO ₃ -)	mg/l	0.1	50
Turbidité	NTU	0.094	5	Bicarbonate (HCO ₃ -)	mg/l	42.7	--
Oxygène dissous	mg/l	-	--	Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	(°F)CaCO ₃	3.5	--
T D S	mg/l	56	--	Silica (SiO ₂)	mg/l	1.1	
Résidu sec à 105°C	mg/l	95	--				
Paramètres de pollution	Unité	Résultat	N.A (E.T)	Paramètres Indésirables	Unité	Résultat	N.A (E.T)
Ammonium (NH ₄ +)	mg/l	-	0.5	Fer	mg/l	0.021	0.3
Nitrites (NO ₂ -)	mg/l	0.006	0.2	Manganèse	mg/l	-	0.05
ortho phosphate (Po ⁻³⁴)	mg/l		5	Aluminium	mg/l	-	0.2
Oxydabilité	mg/l	-	5				
Paramètres Bactériologiques	Unité	Résultat	N.A (E.T)	Paramètres ioniques	Unité	Résultat	N.A (E.T)
Coliformes totaux	/	ABS	/	Fluorures (F-)	mg/l	-	1,5

Escherichia Coli	n/100ml	ABS	00	Cyanures (CN-)	µg/l	-	70
Entérocoques	n/100ml	ABS	00	Bromures (Br-)	mg/l	-	--
Bactéries sulfito-réductrices	n/20ml	ABS	00	Sulfure d'hydrogène (H ₂ S)	mg/l	-	--
Observation							

N.A: Norme Algérienne relative au décret exécutif N° 14-96.

E.T : Eau Traitée

Le tableau (6) montre les résultats de l'eau traité par la technique de l'osmose inverse. On trouve que cette technique améliorer la qualité des eaux brutes d'une façon très remarquable et importante, elle abaisse les valeurs de tous les paramètres Etudiés , tel que la conductivité de 2790 µs/cm à 88µs/cm, les taux du sulfate 636mg/l à 0.05 mg /l et du calcium de 240.48mg/l à 0.06mg/l.

4. Résultats des paramètres étudiés de l'eau traité:

Tableau III.7: résultats des différents paramètres étudiés de l'eau traitée.

Paramètres Organoleptiques	Unité	Résultat	N.A (E.T)	Minéralisation Globale	Unité	Résultat	N.A (E.T)
Couleur	mg/l platine	-	15	Calcium (Ca ⁺⁺)	mg/l	42.48	200
Odeur à 25 °C	Taux dilution	-	04	Magnésium (Mg ⁺⁺)	mg/l	52.2	--
Saveur à 25 °C	Taux dilution	-	04	Dureté totale (TH)	mg/l CaCO ₃	320	500
Chlore résiduel libre	mg /l	0.43	>0,1	Sodium (Na ⁺)	mg/l	150	200
Paramètres Physico-Chimiques	Unité	Résultat	N.A (E.T)	Potassium (K ⁺)	mg/l	5	12
Concentration en ions hydrogène	Unité pH	7.82	≥ 6,5 et ≤ 9	Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	319.5	500
Conductivité à 25°C	µS/cm	1110	2800	Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	386	400
Température	°C	25.2	25	Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	0.6	50
Turbidité	NTU	1.97	5	Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	mg/l	109.8	--
Oxygène dissous	mg/l	-	--	Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	(°F)CaCO ₃	9	--
T D S	mg/l	637	--	Silica (SiO ₂)	mg/l	9.7	
Résidu sec à 105°C	mg/l	598	--				
Paramètres de pollution	Unité	Résultat	N.A (E.T)	Paramètres Indésirables	Unité	Résultat	N.A (E.T)
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	-	0.5	Fer	mg/l	0.297	0.3
Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg/l	0.010	0.2	Manganese	mg/l	-	0.05

orthophosphate (Po ⁻³⁴)	mg/l		5	Aluminium	mg/l	-	0.2
Oxydabilité	mg/l	-	5				
Paramètres Bactériologiques	Unité	Résultat	N.A (E.T)	Paramètres ioniques	Unité	Résultat	N.A (E.T)
Coliformes totaux	/	ABS	/	Fluorures (F-)	mg/l	-	1,5
Escherichia Coli	n/100ml	ABS	00	Cyanures (CN-)	µg/l	-	70
Entérocoques	n/100ml	ABS	00	Bromures (Br-)	mg/l	-	--
Bactéries sulfito- réductrices	n/20ml	ABS	00	Sulfure d'hydrogène (H2S)	mg/l	-	--
Observation							

N.A :Norme Algérienne relative au décret exécutif N° 14-96.

E.T : Eau Traitée

Les paramètres étudiés pour la dernière étape c'est le traitement de l'eau avant la distribution pour la consommation sont présentés dans le tableau (7), cette étape est consisté à additionné les sels minéraux indispensables pour la santé humain, tel que le calcium et le magnésium qui sont diminué par la technique de l'osmose inverse.

5. résultats des mesures journalier :

Tableau III.8 : résultats des mesures journalier (entrée eau brute): Prise d'échantillon :entrée refroidisseur

Fréquence de mesure	Température C°	PH	Turbidité NTU	Conductivité µS/cm
03-03-2024	52.8	7.41	2.81	2810
04-03-2024	51.7	7.80	2.30	2810
05-03-2024	56.4	7.13	5.41	2780
06-03-2024	52.3	7.32	4.92	2790
07-03-2024	56.0	7.32	5.01	2780

Tableau III.9: Résultats des mesures journalier (sortie filtres a sable): Prise d'échantillon :sortie BP

Fréquence de mesure	Turbidité NTU	SDI
03-03-2024	0.94	2.30
04-03-2024	0.81	3.40
05-03-2024	2.11	3.80
06-03-2024	2.04	4.35
07-03-2024	1.49	4.54

Tableau III.10: résultats des mesures journalier (entrée filtre cartouche): Prise d'échantillon : sortie BP

Fréquence de mesure	CL2 libre mg/l	Turbidité NTU	SDI	PH	Redux Mv
03-03-2024	0.18	0.91	3.18	8.05	341
04-03-2024	0.16	0.81	3.20	8.02	345
05-03-2024	0.19	0.69	3.60	7.54	337
06-03-2024	0.11	0.43	4.09	7.46	314
07-03-2024	0.14	0.56	4.54	8.54	308

Tableau III.11: résultats des mesures journalier (entrée osmoseurs): Prise d'échantillon: entrée HP

Fréquence de mesure	PH	CL2 libre mg/l	Redux mV
03-03-2024	7.48	0.01	167
04-03-2024	7.50	0.02	171
05-03-2024	7.58	0.01	206
06-03-2024	7.59	0.02	196
07-03-2024	7.83	0.01	295

Tableau III.12: résultats des mesures journalières (eau osmosée): Prise d'échantillon : sortie permet

Fréquence de mesure	PH	Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$	Température C°
03-03-2024	7.15	128.6	28.7
04-03-2024	7.20	130.2	29.7
05-03-2024	7.27	134.0	29.6
06-03-2024	6.59	142.5	30.0
07-03-2024	7.43	139.7	31.2

Tableau III.13: résultats des mesures journalier (bâche eau traite): Prise d'échantillon : bâche eau traite

Fréquence de mesure	PH	Turbidité NTU	Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$	Salinité mg/l	TDS mg/l	Température C°	CL2 libre mg/l
03-03-2024	7.61	2.05	2690	1.5	1135	38.1	0.47
04-03-2024	7.60	3.01	2690	1.5	1202	41.2	0.52
05-03-2024	7.01	3.56	2670	1.5	1192	39.8	0.56
06-03-2024	7.26	3.49	2690	1.5	1225	41.9	0.42
07-03-2024	7.62	3.62	2690	1.6	1144	46	0.61

Ce tableau synthétise les différences des principaux paramètres étudiés entre les eaux brutes, osmose et traité.

Tableau III.14: comparaison entre l'eau brute, osmose et traité:

	PH	Cond	Turb	SO4-2	Ca2+	Mg2+	T
E-B	7.41	2810	0.708	636	240.48	91.22	52.8
E-O	7.15	128.6	0.21	0.05	0.06	0.97	28.7
E-T	7.61	2690	0.73	184	56.112	24.30	38.1

6. 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 et à celui de Wilcox, 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. L'établissement de ces diagrammes a été fait en utilisant le logiciel **Diagrammes**, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon).

6.1. 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^-).

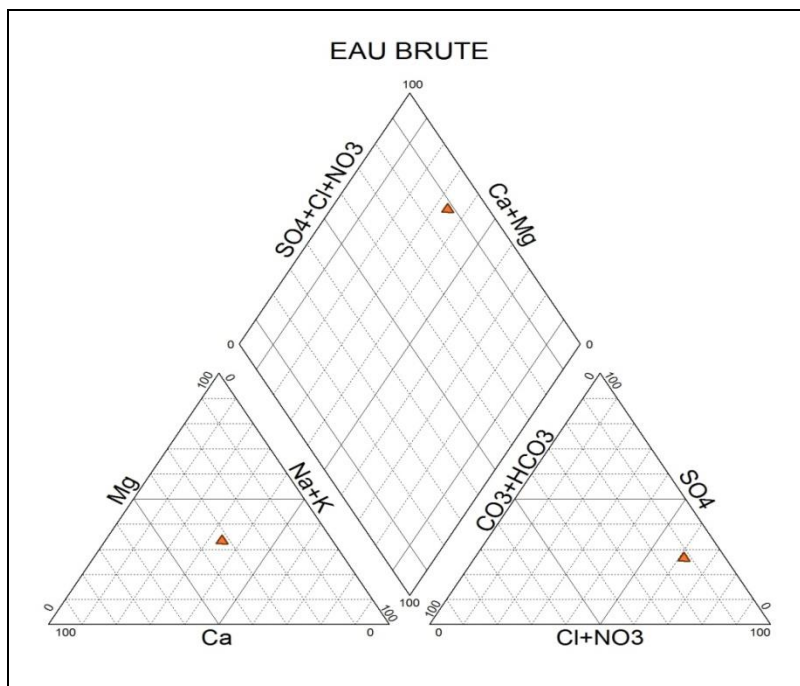


Figure IV.1 : Diagramme de Piper de l'eau brute

L'eau brute de cette station présente un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne .

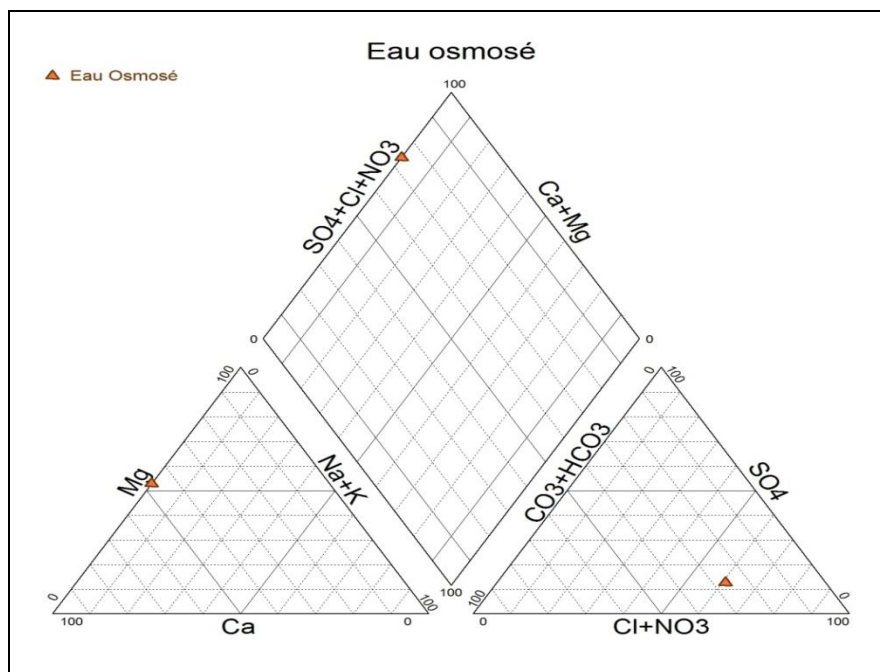


Figure IV.2 : Diagramme de Piper de l'eau osmose

L'eau osmose de cette station présente un faciès chloré, magnésien.

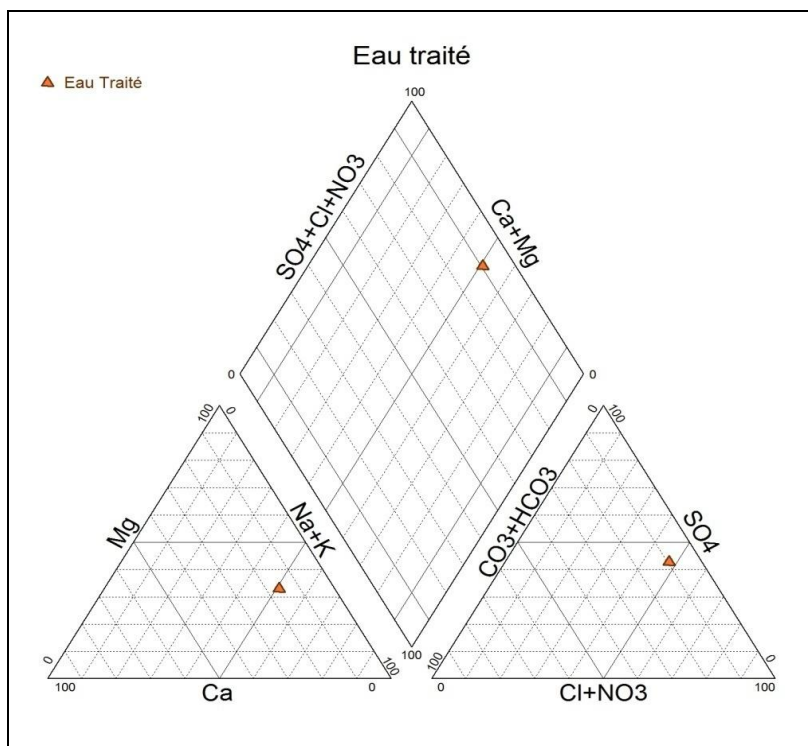


Figure IV.3 : Diagramme de Piper de l'eau traité

L'eau traitée de cette station présente un faciès chloré, sodique et potassique.

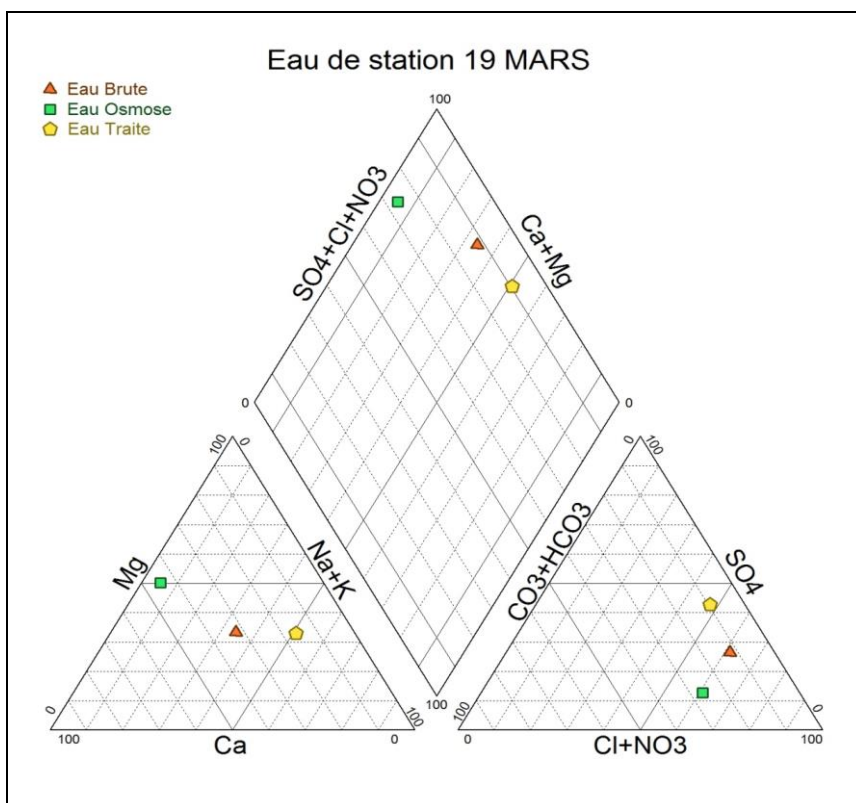


Figure IV.4 : Diagramme de Piper de l'eau de station 19 mars

La représentation des analyses chimiques de l'eau sur le diagramme de piper permet de déterminer le faciès chimique de l'eau brute, l'eau osmosée et traitée de la station.

6.2. Le Diagramme de wilcox

Le diagramme de Wilcox est un outil utilisé pour classer les eaux en fonction de leur contenu en sodium et en sel, respectivement, dans le contexte de l'irrigation. Il permet d'évaluer les risques potentiels pour les plantes qui sont sensibles à ces éléments chimiques.

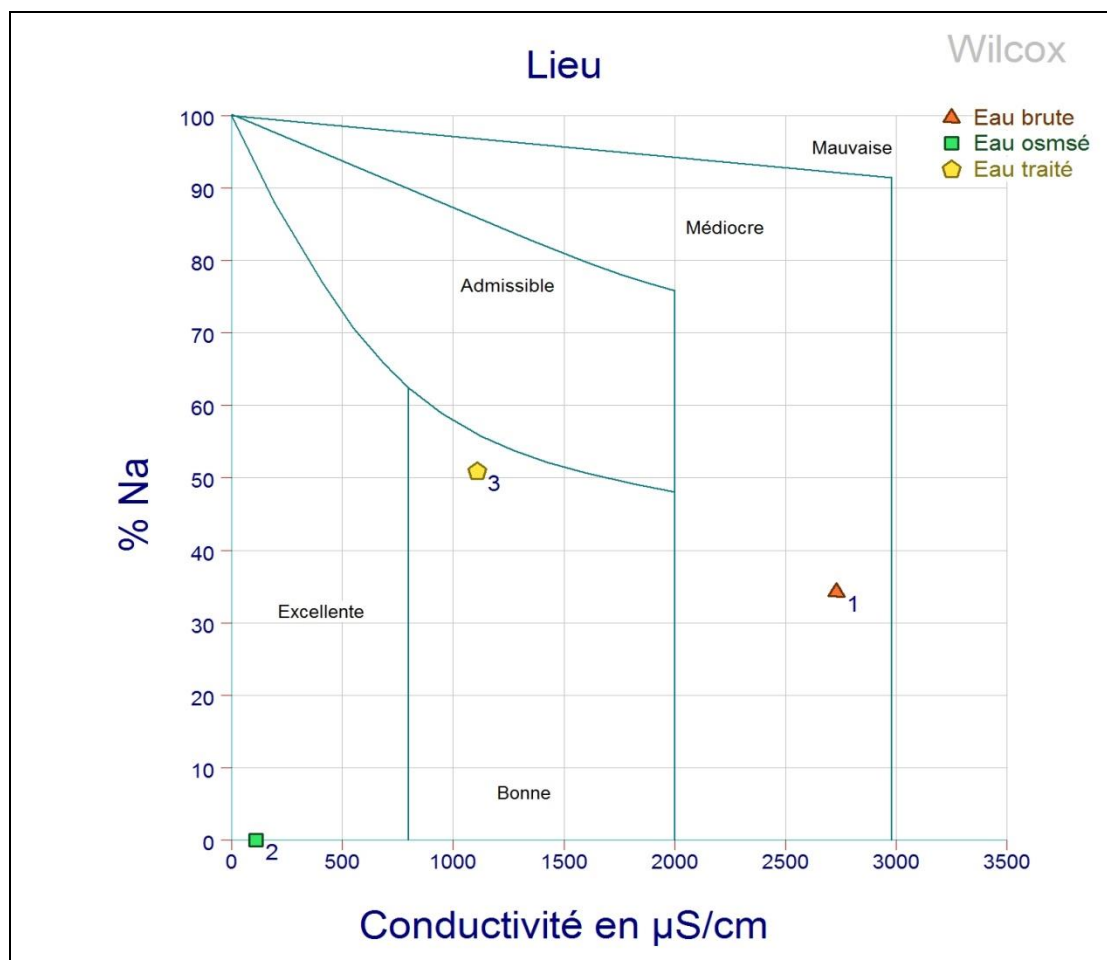


Figure IV.5 : Diagramme de Wilcox pour les eaux brutes et traitées de la station 19 mars.

Après avoir appliqué le diagramme de Wilcox (Figure IV.5) aux données de la station de dessalement 19 mars pendant notre période de formation, nous avons constaté que les résultats se concentrent dans:

- L'eau brute de la station de dessalement 19 mars est de qualité médiocre, En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à certaines espèces bien tolérantes aux sels sur des sols bien drainés et lessivés.
- L'eau traité de la station de dessalement 19 mars est de bonne qualité, En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels, sur sols ayant une bonne perméabilité.
- L'eau osmosé de la station de dessalement 19 mars est de Excellente qualité, Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures.

7. Conclusion

La déminéralisation par osmose inverse est cruciale pour l'avenir des zones confrontées à des déficits hydriques, offrant une stratégie prospective pour remédier aux carences en eau douce et promouvant une gestion prudente des ressources aquatiques.

Le développement du processus de déminéralisation par osmose inverse a été remarquable, offrant de multiples avantages. D'un point de vue environnemental, son fonctionnement à basse température évite la pollution thermique. Sur le plan énergétique, cette méthode s'appuie essentiellement sur l'énergie électromécanique, se distinguant par sa simplicité et son efficacité, avec un taux de récupération d'énergie du concentrât atteignant 95%.

Il est impératif que les saumures subissent un contrôle de toxicité rigoureux, prenant en compte les spécificités du milieu récepteur et accordant une attention particulière à la dilution du concentrât.

Au sein de la station de déminéralisation, les procédures de prétraitement assurent un entretien optimal des équipements, produisant une eau adoucie de qualité supérieure conforme aux standards de l'Organisation mondiale de la santé. Ces résultats soulignent l'importance de l'installation de cette station pour pallier la pénurie d'eau potable à El-Oued, avec une capacité de production de 30 000 mètres cubes par jour et une capacité de stockage variant entre 5 000 et 10 000 mètres cubes.

Actuellement, la déminéralisation de l'eau dans notre pays suit les mêmes procédures que celles employées à la station d'El-Oued. Il est donc pertinent de mettre en lumière les recommandations suivantes :

Réintroduire de manière équilibrée les minéraux lors de la phase de déminéralisation, étant donné qu'une eau faiblement minéralisée peut être plus corrosive pour les canalisations.

L'utilisation d'eau déminéralisée pour approvisionner une région doit être abordée avec la plus grande prudence et après une analyse détaillée de l'apport minéral total bénéficiant à la population concernée. Il serait judicieux de mener des études épidémiologiques ponctuelles pour évaluer les impacts potentiels sur la santé

*Conclusión
générale*

Conclusion générale :

La technologie d'osmose inverse pour l'élimination des minéraux de l'eau représente une solution innovante au problème de pénurie d'eau et assure la fourniture d'eau potable. Dans notre étude, nous avons pris la station du 19 mars comme exemple, où une membrane semi-perméable est utilisée dans le processus d'osmose inverse pour purifier l'eau des minéraux et des impuretés, résultant en la désalinisation de l'eau. L'eau traitée à la station du 19 mars a prouvé son efficacité et est devenue une référence dans la ville d'El Oued, considérée de haute qualité pour la consommation et l'irrigation selon les normes algériennes et internationales. Parmi les avantages notables de la technologie d'osmose inverse pour l'élimination des minéraux de l'eau est son fonctionnement à basse température, ce qui en fait une option plus respectueuse de l'environnement.

Les étapes de prétraitement dans l'usine, telles que l'utilisation de filtres à sable et de cartouches, contribuent à la maintenance des équipements de l'usine et à la production d'eau douce qui répond aux normes de l'Organisation mondiale de la santé. Cependant, les saumures, qui sont des sous-produits du processus d'osmose inverse avec une concentration élevée en sels dissous, représentent une source de préoccupation environnementale. À la station du 19 mars à El Oued, les saumures sont évacuées vers la station d'épuration de Kouinine El Oued, et ces saumures ne peuvent pas être utilisées pour l'irrigation des arbres urbains. Notre étude a également révélé la nature toxique de ces saumures, qu'elles soient aiguës ou chroniques, pouvant causer des dommages importants à la physiologie des plantes, à la santé des sols et à la qualité des eaux souterraines.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques:

1. (17 TYPES d'EAU - classification, noms, caractéristiques et photos) il s'agit d'un article sur le site Projet Ecolo, publié par Laura Fdez. Roldán, biologiste, le 12 octobre 2023
2. Bulletin d'analyses Laboratoire de contrôle de la qualité des Eaux. unité El-oued Le 01/03/2024
3. Bulletin d'analyses Laboratoire de contrôle de la qualité des Eaux unité El-oued Le 01/03/2024
4. Chriwa Wasser-Aufbereitungstechnik GmbH www.chriwa.de
Description de la technique d'osmose inverse .2018.d'après le fichier de Mr Nouel.
5. Dessalement | Veolia Water Technologies.
<https://www.veoliawatertechnologies.com/fr/applications/dessalement>.
6. Dr Mehdi Metaiche., (2014). Technologie membranaire. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées, Université de Bouira.
7. Eau dans le monde — Wikipédia. https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_dans_le_monde
8. Etude et réalisation d'une station de déminéralisation pour réseau AEP de la ville d'El oued CHIALI SERVICES Web : <http://www.groupe-CHIALI.com>
9. Formation continue -Technologies de Dessalement - UM6P.
<https://exed.um6p.ma/fr/program/technologies-de-dessalement/>.
10. Jean-Pierre Camo. (2010). Buvez vos légumes. Biocontact journal. n°200.
11. JORDAP, Journal Officiel De La République Algérienne Démocratique Populaire (N° 34 / 19 juin 2011).
12. La Nature De L'Eau - operationschoolbell.org.
https://www.operationschoolbell.org/textbooks/Resources/download/la_nature_de_l_eau.pdf
13. le Rapport mondial sur le développement des ressources en eau 2024 des Nations Unies.
14. Mémoire Bahri Wiam - Mahmoudi Safa - Mansouri Maroua ; étude de la qualité d'eau saumâtre de station de déminéralisation de la commune d'El oued-2022.
15. Mémoire Azeb Soumia - Bouhmila Aya- étude de procédés de la station de déminéralisation Oued Souf – caractérisation et aptitude des eaux – dessalées-2023
16. PROJET : Etude et réalisation d'une station de déminéralisation pour réseau AEP de la ville d'El oued CHIALI SERVICES Web : <http://www.groupe-CHIALI.com>

Références bibliographiques

17. Rapport complet et documents | UN World Water Development Report - UNESCO.
<https://www.unesco.org/reports/wwdr/fr/2024/download-Dessalement> — Wikipédia.
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Dessalement>.
18. Rapport sur les perspectives de l'environnement mondial pour le développement GEO4
Programme des Nations Unies pour l'environnement, UNEP 2007
19. Technique de déminéralisation de l'eau .1978. Mémento Ed Degremont
20. UN Environment programme (UNEP, 2021).
21. UN Environment programme (UNEP, 2022).
22. ZAIDI, Y. 2019. Etude de procédé de déminéralisation des eaux saumâtre—station de déminéralisation de DJAMAA wilaya d'Oued Souf.

Annexes

Annexe 01:

Fiche de suivi journalier

Date	/ /2023			
Agent d'exploitation:				
Poste :				

1)Forrages:

Echouhada				
Heure arrivé:				
Heure arrêt:				
Débit: (m3/h)				

Route Touggourt				
Heure arrivé:				
Heure arrêt:				
Débit: (m3/h)				

19 Mars.				
Heure arrivé:				
Heure arrêt:				
Débit: (m3/h)				

2):Démarrage des osmose :

Osmose 1				
Heure démarrage				
Heure arrêt:				

Osmose 2				
Heure démarrage				
Heure arrêt:				

Osmose 3				
Heure démarrage				
Heure arrêt:				

3)Eau Filtrée :

filtre en service						
1	2	3	4	5	6	
filtres lavé						

	Débit (m3/l)
Vers les filtres (m3/h)	
Vers le mélange (m3/h)	

Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)

4)Eau Pompée:

Couloir 1
Débit(m3/h)

Couloir 2
Débit(m3/h)

5)Eau du Rejet :

Débit(m3/h) :	
---------------	--

6)Les données des analyses :

Données des analyses eau brute			
T1 (°C)	PH	T2 (°C)	Tur (NTU)

Données des analyses d'eau filtrée				
PH	CON (µS/cm)	TUR (NTU)	SDI1	SDI2

Données des analyses d'eau Traitée				
PH	CON (µS/cm)	TUR (NTU)	CL2 (mg/l)	

Observations:

.....

.....

.....

IngénieurScada

Annexe 02:

Fiche de suivi journalier**Partie des Totaliseurs des Débitmètres**

Forage 1	Ind 1	ind 2	tot (m3)
TOT (m3)CHOUHADA :			
TOT (m3) 19 MARS :			
TOT (m3) ROUTE TOUGGOURT:			
Total			

Perméat	Ind 1	ind 2	tot (m3)
1			
2			
3			
Total			

	ind 1	ind2	tot	Pompe en service			
TOT Eau Filtrée (m3)							
TOT Eau de mélangee (m3)							
OT Eau de lavage des filtres (m3)							

Somme Vpermeat + Vmélange	ind 1	ind2	tot	Pompe en service			
TOT Eau de Rejet (m3)							

	ind 1	ind2	tot	Pompe en service			
TOT Eau Pompée vers Ligne 1 (m3)							

	ind 1	ind2	tot	Pompe en service			
TOT Eau Pompée vers Ligne 2 (m3)							

Les destinations des eaux traitées			
19-mars		ROUTE TOUGGOURT	
CHOUHADAA		NAORA	
300 LGTS		ELGARA	
SIDI MESTOUR		UNIVERSITE	
CHOT			
NADHOR			
08-mai			

Annexe 03:

ss

																		Entrée Osmoseurs			
																		1/ jour		Entrée HP	PH
																		1/ jour	mg/l	Entrée HP	Cl2 libre
																		1/ jour	mV	Entrée HP	Redox
																		EAU OSMOSEE			
																		1/ jour		sotie permeat	PH
																		1/ jour	µS/cm	sotie permeat	Conductivité
																		1/ jour	°C	sotie permeat	Temperature
																		Bache eau traité			
																		1/ jour	°C	Bache eau traité	Temperature
																		1/ jour		Bache eau traité	pH
																		1/ jour	N,T,U	Bache eau traité	Tudbidité
																		1/ jour	µS/cm	Bache eau traité	Conductivité
																		1/ jour	mg/l	Bache eau traité	SALINITE
																		1/jours	mg/l	Bache eau traité	TDS
																		1/jours	mg/l	Bache eau traité	Cl2 libre

Annexe 04:

Description	Prise d'échantillon	Unité	Frequance de mesure	16/02/2024	15/02/2024	14/02/2024	13/02/2024	12/02/2024	11/02/2024	10/02/2024	09/02/2024	08/02/2024	07/02/2024	06/02/2024	05/02/2024	04/02/2024	03/02/2024	02/02/2024	01/02/2024
Entrée eau brute																			
Température	Entrée refroidisseur	°C	1 / jour																
pH	Entrée refroidisseur		1 / jour																
Turbidity	Entrée refroidisseur	NTU	1 / jour																
Conductivité	Entrée refroidisseur	µS/cm	1 / jour																
Sortie filtres a sable																			
Turbidite	Sortie BP	NTU	1/ jour																
SDI	Sortie BP	%	1/ jour																
entrée filtre cartouche																			
Cl2 libre	Sortie BP	mg/l	1/ jour																
Turbidite	Sortie BP	NTU	1/ jour																
SDI	Sortie BP	%	1/ jour																
PH	Sortie BP		1/jour																
Redox	Sortie BP	mV	1/ jour																
Ferr	Sortie BP	mg/l	1/7 jour																

Relevé et analy