



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie des Procédés

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Dessalement

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER
PROFESSIONNEL Domaine : Science et Technologie

Présenté par :

BOUIDIA Dalal

Thème

**Etude Hydrochimique des Paramètres Physico-Chimique au Niveau De
La Station De Déminéralisation D'IFRI GARA A La Ville De Ouargla**

Soutenu publiquement le : 18/06/2025

Devant le jury composé de :

CHAOUKI Mourad	MCA	UKM –Oaargla	Rapporteur
ZERROUKI Djamel	Pr	UKM –Oaargla	Président
BOUAFIA Hind	MAA	UKM – Ouargla	Examinatrice

Année universitaire : 2024 /2025

الملخص

تواجه الجزائر، خاصة ولايات الجنوب مثل ورقلة، صعوبات كبيرة في تلبية الطلب المتزايد على المياه نتيجة ندرة الموارد العذبة وارتفاع ملوحة المياه الجوفية، حيث تتجاوز بعض المركبات الكيميائية الحدود المسموح بها. في هذا السياق، تعتمد الولاية على محطات إزالة الملوحة مثل محطة افري القارة، التي تستخدم تقنية التناضح العكسي لتحسين جودة المياه الجوفية. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الخصائص الهيدروكيميائية لمياه المحطة عبر تحليل المعايير الفيزيائية والكيميائية في مختلف مراحل المعالجة (مياه خام، بعد التناضح، ومعالجة نهائية) لقياس فعالية التقنية وضمان مطابقتها للمواصفات. أظهرت النتائج انخفاض تركيز الكلوريدات من 723.17 ملغ/ل في المياه الخام إلى 209.95 ملغ/ل بعد التناضح، ثم ارتفع مجددًا إلى 686.51 ملغ/ل في المياه المعالجة النهائية، متجاوزًا الحد الأقصى المسموح به (500 ملغ/ل)، مما يبرز الحاجة إلى تحسين الرقابة في المرحلة الأخيرة. توصي الدراسة بتكثيف المراقبة وتحسين النظام ما بعد التناضح، مع تعميم استعمال هذه التقنية في الجنوب بشرط ضمان صيانتها وتمويلها.

الكلمات المفتاحية المياه الجوفية التناضح العكسي محطة افري القارة جودة المياه ورقلة ازالة الملوحة

Résumé

L'Algérie, notamment les wilayas du Sud comme Ouargla, souffre d'un manque en ressources en eau douce et d'une salinité élevée des eaux souterraines, dépassant parfois les normes. Pour y remédier, la wilaya mise sur des stations de dessalement, telle qu'Afri El Gara, utilisant l'osmose inverse. L'étude évalue la qualité hydrochimique de l'eau à travers ses différentes étapes de traitement. Les résultats indiquent une réduction des chlorures de 723,17 mg/L à 209,95 mg/L après osmose, mais une remontée à 686,51 mg/L dans l'eau finale, au-delà de la norme (500 mg/L). Cela montre l'efficacité de l'osmose, tout en soulignant l'importance du contrôle post-traitement. Il est recommandé de renforcer le suivi et de généraliser cette technologie avec un entretien durable.

Mots-clés : eaux souterraines, osmose inverse, station IFRI GARA, qualité de l'eau, Ouargla, déminéralisation


Abstrat

Algeria, especially southern regions like Ouargla, faces water supply challenges due to limited freshwater and high groundwater salinity. To address this, Ouargla uses desalination plants like Afri El Gara, applying reverse osmosis. This study evaluates the hydrochemical profile of the treated water across treatment stages. Results showed chloride levels dropping from 723.17 mg/L to 209.95 mg/L post-osmosis, then rising to 686.51 mg/L in final water—exceeding the 500 mg/L limit. This confirms the process efficiency but also reveals the need for tighter monitoring of the final stage. The study calls for better control and broader adoption of RO technology, ensuring sustainable maintenance.

Keywords: groundwater, reverse osmosis, IFRI GARA station, water quality, Ouargla, desalination



Remerciements



Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet de fin d'études au sein de l'Algérienne des Eaux (ADE), unité de Ouargla, sous la direction du **Dr CHOUAKI Mourad**, Maître de conférences classe "A" à l'université Kasdi Merbah – Ouargla. La partie pratique de ce projet a été effectuée dans cette même unité de l'ADE – Ouargla.

J'exprime ma profonde gratitude au **DR CHOUAKI Mourad** pour son encadrement scientifique rigoureux, ainsi que pour son soutien constant tout au long de la préparation de ce travail. Ses orientations précises et ses précieux conseils ont été d'un apport fondamental à la richesse et à la réussite de ce mémoire.


Je tiens également à adresser mes sincères remerciements au **Professeur Touil Youssef** ainsi qu'à la direction et aux employés de l'ADE – unité de Ouargla, en particulier **Madame DJOUHARI, Amal** et **M. ZERGUI, Fouad** et **M. LOUZI Youssef** et **M. DAGHA Sidi Ali**, qui ont mis à ma disposition toutes les conditions favorables et les facilités nécessaires à la réalisation de la partie appliquée de ce projet. Leur collaboration efficace a joué un rôle essentiel dans la réussite du travail sur le terrain.

Je n'oublie pas d'exprimer ma reconnaissance à **M. CHELGHAM Maamar**, chef du centre, pour son accueil et son soutien dans la mise en œuvre de ce projet au sein de la station.

Mes remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail. Je remercie particulièrement le **Dr ZERROUKI Djamel** et la **Dr BOUAFIA Hind** Maîtres de conférences classe "B" à l'université Kasdi Merbah – Ouargla, pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Enfin, j'adresse mes remerciements à l'ensemble du personnel de la faculté de l'université Kasdi Merbah – Ouargla, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Je souhaite à tous plein succès et réussite dans leurs parcours respectifs.

Merci à vous tous...



Je dédie ce travail à celle dont le sourire est mon but et sous les pieds de laquelle se trouve mon paradis...

À ma chère mère **Djamila Hafssi**, que Dieu lui accorde longue vie.

À l'océan de tendresse et symbole de résilience, mon cher père **Mohamed**, que Dieu lui accorde longue vie.

À ceux qui occupent la place la plus précieuse dans mon cœur, mon soutien dans la vie et mes modèles :


Mes frères et sœurs **Hanan, Nour Eddine, Abdelmalek, Saïd, Abderraouf et Alla**.

À celui qui m'a toujours soutenue et accompagnée dans chaque étape, mon fiancé **El Hadj Dada Moussa**.

À toutes mes camarades et amies chères, **Batoul, Inès**, et tout particulièrement **Djeddi Hadjer Amet Errahmane** et **Abbane Sondes**, pour leur soutien et leurs encouragements constants tout au long de la préparation de ce mémoire.

À tous les étudiants de ma promotion du Master **Dessalement des Eaux – Promotion 2024-2025**.

Et à tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont tendu la main dans l'accomplissement de ce travail.



Liste des Figures

CHAPITRE II		
Figure II.1	procédés de dessalement industrialisés	18
Figure II.2	Principe de l'électrodialyse	21
Figure II.3	Principe d'osmose inverse	23
Figure II.4	Modules à fibres creuses	25
Figure II.5	module plan (plaque)	25
Figure II.6	Modules spirales	26
CHAPITRE III		
Figure III.1	Nappes de complexe terminal et continental intercalaire	27
Figure III.2	Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972)	28
Figure III.3	Situation de la zone d'étude	30
Figure III.4	Pompes d'alimentation des filtres à sable	33
Figure III.5	les points d'injection	34
Figure III.6	les filtres à sable de la station de IFRI GARA S5	35
Figure III.7	Bassine d'eau filtrée	36
Figure III.8	Pompes d'alimentation basse pression	37
Figure III.9	les points d'injection	38
Figure III.10	les Filtres à cartouches de la station de IFRI GARA S5	39
Figure III.11	Pompes d'alimentation haut pression	40
Figure III.12	Unité d'osmose et de l'osmose inverse	41
Figure III.13	Filtre a cartouche nettoyage	41
Figure III.14	Schéma synoptique de la station ifri gara	43

CHAPITRE V

Figure IV.1	Turbidimètre	48
Figure IV.2	Spectrophotomètre	48
Figure IV.3	le pistolet de titrage	48
Figure IV.4	PH mètre	49
Figure IV.5	Etalon du Ph	49
Figure IV.6	Réactifs	49
Figure IV.7	DPD	49
Figure IV.8	Réactifs	49
Figure IV.9	agitateur	49
Figure IV.10	balance	49
Figure IV.11	distillateur	49
Figure IV.12	ctuve	49
Figure IV.13	Valeurs du pH de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement.	51
Figure IV.14	Valeurs de la température de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement.	52
Figure IV.15	Valeurs du Conductivité de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement	52
FigureIV.16.	Valeurs du Turbidité de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement	53
Figure IV.17	Valeurs du TDS de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement.	54
Figure IV.18	Valeurs de la salinité de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement	55
Figure IV.19	Valeurs des Calcium de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement	56
Figure IV.20	Valeurs des Magnésium de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement	56
Figure IV.21	Valeurs du potassium de l'eau mesurées au niveau de différents	57

	points de prélèvement	
Figure IV.22	Valeurs du sodium de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement	58
Figure IV.23	Valeurs des Chlorures (Cl ⁻) de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement	58
Figure IV.24	Valeurs des Bicarbonates de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement	59
Figure IV.25	Valeurs des Sulfates de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement	60
Figure IV.26	Valeurs du nitrate de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement	60
Figure IV.27	Valeurs du Titre Hydrotimétrique de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement	61
Figure IV.28	Valeurs du Titre alcalimétrique complet (TAC) de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement	62
Figure IV.29	Valeurs des paramètres indésirables et de pollution de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement	63

Liste des tableaux

CHAPITRE I

Tableau I. 1	Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS (source ADE)	13
---------------------	--	----

CHAPITRE III

Tableau III. 1	Le Débit Le Forages De Station Ifri Gara	32
-----------------------	--	----

CHAPITRE VII

Tableau IV.1	Normes d'eau potable selon l'Algérie (source ADE)	50
---------------------	---	----

Liste des abréviations

ADE	Algérienne des eaux.
OMS	Organisation mondiale de la santé
TAC	titre alcalimétrique totale complet
TA	titre alcalimétrique
TDS	Taux des sels dissous
OI	Osmose inverse.
NF	Nano filtration.
ED	Électrodialyse.
pH	Potentiel Hydrogène.
N.A	Les Norme Algérie
°C	Degré Celsius
CE	Conductivité électrique
NTU	Unité de Turbidité Néphélométrie.
µs/cm	Micro siemens par centimètre.
Mg/l	Milligramme par litre
CaCO₃	Carbonate de calcium.
EDTA	L'acide éthylène diamine tétra-acétique.
MES	Matières en suspension
CMA	c'est concentration maximale admissible
µg/l	microgramme par litre
CI	Le Continentale Intercalaire
CT	Le Complexe Terminal

Sommaire

Résumé.....	I
Remerciements.....	II
Dédicace	III
Liste des figures.....	IX
Liste des tableaux.....	IXII
Liste des abréviations.....	IXIII
Introduction générale.....	1
Chapitre I. Généralité sur la qualité et norme de potabilité	
I.1. Source et nature de l'eau brute.....	3
I.1.1. Source de l'eau brute.....	3
I.1.1.1 Les eaux souterraines.....	3
I.1.1.2. Eaux de surface.....	4
I.1.1.3. Eaux de mers et eaux saumâtres.....	4
I.1.2. Nature de l'eau brute.....	4
I.1.2.1. Polluants chimiques.....	4
I.1.2.2. Les matières organiques.....	5
I.1.2.3. Les matières en suspension.....	5
I.1.2.4. Les matières dissoutes.....	6
I.2. Qualité des eaux de consommation.....	6
I.2.1. les paramètres organoleptiques.....	6
I.2.1.1 la couleur.....	6
I.2.1.2 La saveur et l'odeur.....	6
I.2.2. Paramètre physico-chimique.....	6

I.2.2.1 Température.....	6
I.2.2.2. Potentille d'hydrogène pH.....	7
I.2.2.3. La conductivité électrique (EC).....	7
I.2.2.4. Turbidité.....	7
I.2.2.5. Résidu sec.....	7
I.2.2.6. Chlorures (Cl ⁻).....	7
I.2.2.7. Le calcium.....	8
I.2.2.8. Le Magnésium.....	8
I.2.2.9. Le potassium.....	8
I.2.3. Les Paramètres indésirables et de Pollution.....	8
I.2.3.1. Fer (Fe)	8
I.2.3.2. L'aluminium.....	8
I.2.3.3. Le manganèse.....	9
I.2.3.4. Les matières organiques.....	9
I.2.3.5. Métaux lourds.....	9
I.2.3.6. Ammonium (Azote Ammoniacal NH ₄ ⁺).....	9
I.2.3.7. Les nitrites (NO ₂ ⁻).....	10
I.2.3.8. Les nitrates (NO ₃ ⁻).....	10
I.2.3.9. Les phosphates (PO ₄ ³⁻).....	10
I.3 Eléments toxiques.....	11
I.3.1. Les pesticides.....	11
I.3.2. Les hydrocarbures.....	11
I.3.3. L'arsenic.....	11
I.3.4. L'argent.....	11

I.3.5. Le mercure.....	11
I.3.6.Le plomb.....	12
I.3.7.Paramètres microbiologiques.....	12
I.3.8.Normes de potabilité.....	13
I.4. Types de polluants de l'eau potable.....	14
I.4.1.Pollution physique.....	14
I.4.2. Pollution chimique.....	14
I.4.3. Pollution biologique.....	15
I.4.4.L'importance de l'analyse de la qualité de l'eau potable.....	15

Chapitre II. Les techniques de dessalement

II.1. Généralités sur le dessalement.....	17
II.2. Les procédés de dessalements des eaux.....	17
II.2.1 Distillation.....	18
II.2.1.1 Définition de la distillation.....	18
II.2.1.2 Avantages et inconvénients de la distillation.....	19
II.2.2 Les procédés chimiques.....	19
II.2.2.1 Échange d'ions.....	19
II.2.3 Les procédés à membrane.....	20
II.2.3.1 L'électrodialyse.....	20
II.2.3.2 La nanofiltration (NF).....	21
II.2.3.3 L'osmose inverse.....	22
II.2.3.4..La membrane.....	24

Chapitre III. Présentation générale de La Station déminéralisation de Ouargla

III.1. Contexte Hydrogéologique de la région de Ouargla.....	27
--	----

III.1.1.Le Continentale Intercalaire (CI)	27
III.1.2. Le Complexe Terminal (CT)	28
III.1.3.La nappe phréatique.....	29
III.1.4. Situation démographique.....	29
III.1.4.1. Alimentation en eau potable.....	30
III.1.4.2Dotation en eau potable.....	30
III.1.4.3Réseau d'assainissement.....	30
III.1.5. Présentation générale de la station de déminéralisation de Ouargla	30
III.1.5.1. Station de dé minéralisations d'IFRI GARA.....	30
III.1.5.2. Description de poste.....	31
III.1.5.3. Description du traitement.....	32
III.1.5.4. Description du procès.....	33
III.1.5.5. Préparation de l'eau brute.....	33
III.1.5.6. Prétraitement.....	34
III.1.5.6.1. Filtration.....	34
III.1.5.6.2.Filtres à cartouches.....	38
III.1.5.7. Traitement principal.....	40
III.1.5.7. 1. Osmose Inverse (OI)	40
III.1.5.8. Désinfection	42
III.1.5.9. Chloration.....	42

Chapitre IV. Résultats Et Discussions

IV.1. Introduction.....	45
IV.2. Description du laboratoire.....	45
IV.2.1. Vérification de la qualité des eaux traitées.....	45

IV.2.2. Conditions de prélèvement des échantillons.....	46
IV.2.3. Les analyses effectuées dans laboratoire de la station de IFRI GARA...	46
IV.2.3.1. Les points de prélèvement des échantillons à la station.....	47
IV.2.3.2. Préparation des appareils et des réactifs.....	47
IV.2.4. Equipements de laboratoires.....	48
IV.2.5. Normes de potabilité.....	49
IV .3. Qualité des eaux brutes osmosées et des eaux traitées.....	51
IV .3.1. Paramètres Physico-Chimiques.....	51
IV .3.1.1. Le potentiel hydrogène (pH)	51
IV .3.1.2. Température.....	52
IV .3.1.3. Conductivité électrique (CE).....	52
IV .3.1.4 Évolution de la turbidité.....	53
IV .3.1.5. Les solides dissous totaux (TDS)	54
IV .3.1.6 Evolution de la salinité.....	55
IV.3.2. Paramètres ioniques.....	56
IV.3.2.1 Calcium (Ca^{2+}).....	56
IV.3.2.2 Magnésium (Mg^{2+}).....	56
IV.3.2.3 Potassium (K^{+}).....	57
IV.3.2.4 Sodium (Na^{+})	58
IV .3.2.5. Chlorures (Cl^{-})	58
IV .3.2.6 Bicarbonates (HCO_3^{-})	59
IV.3.2.7 Sulfate (SO_4^{2-}).....	60
IV .3.2.8 Nitrate (NO_3^{-}).....	60
IV .3.2.9 Titre Hydrotimétrique (TH).....	61

IV.3.2.10 Titre alcalimétrique complet (TAC).....	62
IV .3.3 paramètres indésirables et de pollution	63
IV .4 Conclusion.....	63
Conclusion générale	65
Références	67

Chapitre I

Généralité sur la qualité et norme de potabilité des eaux

I.1.Source et nature de l'eau brute

Les sources naturelles d'eau comprennent les eaux souterraines (infiltration, nappes phréatiques), les eaux de surface stagnantes (lacs, réservoirs de barrages) ou en écoulement (rivières, fleuves) et les eaux marines [4].

Les caractéristiques de ces sources sont le reflet de l'interaction entre l'eau et son environnement.

Les eaux naturelles renferment des substances dissoutes, principalement des sels minéraux issus des couches géologiques traversées par l'eau. On y trouve également, en quantités infimes, des éléments tels que le manganèse, le fer, le zinc, le cobalt et le plomb. Le corps humain est relativement adaptable et peut supporter une large variation de la composition de l'eau. Nos cellules et notre sang contiennent des électrolytes (sels) [4].

I.1.1. Source de l'eau brute

I.1.1.1 Les eaux souterraines

Ce sont toutes les eaux situées sous la surface du sol, dans la zone de saturation, en contact direct avec le sol ou le sous-sol. Elles se caractérisent par une faible turbidité et bénéficient d'une filtration naturelle importante, car elles sont généralement protégées des sources de pollution étant enfouies dans le sol [4].

Les principales caractéristiques de ces eaux sont :

- Faible contamination bactérienne
- Faible turbidité
- Température constante
- Faible indice de couleur
- Débit constant
- Dureté souvent élevée
- Concentration élevée en fer et manganèse

1.1.1.2. Eaux de surface

Les eaux de surface, contrairement aux eaux souterraines, se trouvent à la surface ou à proximité du sol. Elles désignent toutes les eaux naturellement exposées à l'atmosphère, telles que les cours d'eau, fleuves, mers, océans, lacs de barrage, retenues collinaires, et les eaux de ruissellement. Ce terme englobe également les sources, les puits et autres collecteurs d'eau soumis à l'influence directe des eaux superficielles. Leur température varie en fonction du climat et des saisons, et leur composition en matières en suspension dépend de la pluviométrie, de la nature du terrain et du relief environnant. La concentration en sels minéraux est variable selon ces facteurs, tout comme la teneur en oxygène et en dioxyde de carbone. En général, les eaux de surface sont riches en oxygène et pauvres en dioxyde de carbone [4].

1.1.1.3. Eaux de mers et eaux saumâtres

Les mers et les océans représentent d'énormes réservoirs d'eau, couvrant environ 97,4% de l'eau présente sur Terre, tandis que le reste appartient aux eaux continentales (souterraines et superficielles). Les eaux marines sont caractérisées par une forte salinité, ce qui les rend difficiles à utiliser et coûteuses à traiter. La salinité varie selon l'équilibre entre l'évaporation, les précipitations et l'apport des fleuves (salinité faible), ainsi que les échanges d'eau avec d'autres mers ou océans. Les eaux saumâtres, quant à elles, ont une teneur en sel bien inférieure à celle de l'eau de mer, avec une concentration de sel dissous généralement entre 1 et 10 g/l, contre environ 35 g/l pour l'eau de mer. Dans les estuaires, l'interaction entre les courants d'eau douce et l'eau de mer forme des poches d'eau saumâtre [4].

I.1.2. Nature de l'eau brute

1.1.2.1. Polluants chimiques

La pollution chimique de l'eau est plus complexe et peut provenir de plusieurs sources. Selon la nature de la pollution chimique, on distingue :

- Les éléments chimiques minéraux.
- Les éléments chimiques organiques [5].

Une eau naturellement pure est définie comme étant une eau contenant des sels minéraux dissous, dissociés en cations et anions, sans matières en suspension ou colloïdales, ni matières organiques. La corrosion des métaux et la dissolution des acides et bases peuvent entraîner des rejets d'eau caractérisés par certaines formes de pollution. Parmi les plus représentatives, on trouve :

- La température
- Le pH
- Les sels

Les Métaux Lourds :

Calcium (Ca^{2+}) ; Magnésium (Mg^{2+}) ; Sodium (Na^+) ; Potassium (K^+) ; Les Chlorures (Cl^-) ; Les Sulfates (SO_4^{2-}) ; L'aluminium (Al^{+3}) ; Phosphore (PO_4^{-3}) ;
Les Nitrates (NO_3^-).

1.1.2.2. Les matières organiques

La matière organique provient principalement de la décomposition des végétaux, des animaux et des microorganismes. Il est donc difficile de donner une description précise ou une composition moyenne. Elle influence de nombreux paramètres de qualité de l'eau, tels que la couleur, les sous-produits de désinfection, les odeurs, et les saveurs [4].

1.1.2.3. Les matières en suspension

Elles sont hétérogènes et se présentent sous différentes formes, avec une taille supérieure à 10 μm .

- Dans les eaux de forage : on y trouve des fines particules, de l'oxyde de fer et quelques algues.
- Dans les eaux de rivières : elles contiennent des matières volumineuses, indécrassables, ainsi que des matières fines comme les sables, les argiles, et les débris végétaux et animaux [4].

1.1.2.4. Les matières dissoutes

Ce sont des substances dispersées de manière homogène dans l'eau, faiblement polarisées ou ionisées [3].

I.2. Qualité des eaux de consommation

I.2.1. Les paramètres organoleptiques

Une eau destinée à la consommation humaine doit être limpide, fraîche de saveur agréable et exempte de couleur et d'odeur.

1.2.1.1 la couleur

La couleur des eaux naturelles est généralement due à la présence en excès de certains minéraux (le fer par exemple) et également certaines matières organiques. Leur élimination par traitement est indispensable pour rendre l'eau agréable à boire. Il est important de dire qu'une eau présentant une belle couleur n'est pas forcément potable.

1.2.1.2 La saveur et l'odeur

Ce sont deux propriétés très subjectives. A nos jours, il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Une saveur désagréable dans l'eau est généralement conférée par des excès de fer, de manganèse, de chlore actif, de phénol et chlorophenol. Elle se développe de façon plus accrue avec l'augmentation de la température.

Un développement d'odeur dans l'eau de consommation est généralement due au plancton et aux algues mortes pour les eaux de surface et au sulfure d'hydrogène pour les eaux souterraines. En exploitation, en règle générale, l'apparition d'odeur et de goût sont le plus souvent des signes d'activité bactérienne donc, de pollution

I.2.2. Paramètre e physico-chimique

1.2.2.1 Température

La température de l'eau captée au CT est acceptable pour la consommation humaine, sauf si elle dépasse 25 °C [6].

1.2.2.2. Potentille d'hydrogène pH

Le ph des eaux de forages dans la zone d'étude est d'environ 7,46, ce qui indique un équilibre entre les hydrogénocarbonates déterminés par le TAC et l'acide carbonique libre (CO) [6].

1.2.2.3. La conductivité électrique (EC)

La conductivité électrique des eaux de forages dans la zone d'étude est légèrement supérieure à la norme de 1.5 ms/cm, avec une valeur moyenne variant entre 2.09 et 3.17 ms/cm [6].

1.2.2.4. Turbidité

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence .Elle donne une idée de la teneur en matières en suspension .Les eaux troubles chargées de substances finement divisées (grains de silice, matières organiques, limons ...) forment parfois d'importants dépôts dans les tuyauteries et dans les réservoirs. Pour la sécurité de l'eau de boisson, il faut maintenir une turbidité inférieure à 5 NTU [6].

1.2.2.5. Résidu sec

La valeur moyenne du résidu sec a 10°C est élevée par rapport à la limite fixée à 1500 mg pour l'eau destinée à la consommation humaine [6].

1.2.2.6. Chlorures (Cl⁻)

Les chlorures sont très répandus dans la nature, présents sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium (CaCl₂). L'eau contient presque toujours des chlorures, mais en quantités très variables.

Outre l'influence des formations géologiques traversées, leur présence peut également résulter des rejets d'industries chimiques, de l'exploitation des puits de pétrole, des mines de potasse, ou encore des eaux de drainage agricole.

Le principal inconvénient des chlorures est qu'ils donnent un goût désagréable à l'eau dès que leur concentration dépasse 250 mg/L, en particulier lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium [7].

1.2.2.7. Le calcium

Très répandu dans la nature exclusivement sous forme de molécules composées (carbonates, sulfates, chlorures...), il est indispensable dans le développement du corps humain. D'ailleurs certains procédés de traitement imposent l'ajout de calcium, de magnésium, de sodium etc. Les normes fixent sa concentration à un niveau guide de 75 mg/l et 200 mg/l comme maximum [8].

1.2.2.8. Le Magnésium

Identique en tout point au calcium, les normes fixent sa concentration maximale à 150 mg/l, valeur au-delà de laquelle il confère à l'eau une saveur désagréable [9].

1.2.2.9. Le potassium

Sa teneur dans l'eau naturelle est constante et ne dépasse pas habituellement les 15 mg/l. Les normes fixent sa concentration maximale à 20 mg/l [9].

1.2.3. Les Paramètres indésirables et de Pollution

1.2.3.1. Fer (Fe)

Le fer contenu dans les eaux superficielles peut avoir une origine géologique, mais le plus souvent il provient de lessivage de terrains et de pollution minière ou métallurgique. Dans les eaux souterraines, le fer va se retrouver sous forme ferreuse Fe^{2+} qui est soluble. Dans les eaux superficielles plus aérées, le fer se trouve sous forme ferrique et précipite sous forme d'hydroxyde ferrique $Fe(OH)_3$. Le fer est un élément essentiel de la nutrition humaine. Les limites des potabilités sont basées sur les effets esthétiques, les effets ménagers et sur les inconvénients qu'il procure au réseau de distribution. Pour le sulfate de fer, on a trouvé comme seuil gustatif les valeurs de 0.1 à 0.2 mg/l [6].

1.2.3.2. L'aluminium

Les ions d'aluminium se combinent avec le rouge d'alzarine pour former un complexe jaune-rouge qui peut être mesuré à 490 nm. [10].

1.2.3.3. Le manganèse

Le manganèse confère à l'eau un goût désagréable et entraîne des dépôts noirâtres dans les conduites pouvant provoquer la coloration de l'eau. Sa concentration maximale est fixée à 0.5mg/l [11].

1.2.3.4. Les matières organiques

Ce sont des produits de décomposition d'animaux ou de végétaux sous l'influence de micro-organismes. Outre le fait qu'elles confèrent à l'eau un goût désagréable au-delà d'une certaine concentration, elles sont aussi, en cas d'une élévation anormale de leur concentration, un indicateur de pollution microbienne. Les normes fixent leur concentration à une concentration maximale admissible (CMA) de 3 mg/l (oxydabilité au $KMNO_4$) [12].

1.2.3.5. Métaux lourds

Certains éléments sont rarement présents dans les eaux à l'état naturel mais sont apportés par les divers rejets. La dose dangereuse est difficile à fixer car la toxicité de ces éléments est surtout d'origine cumulative. Les principaux d'entre eux sont : argent, cadmium, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc ...etc [11].

1.2.3.6. Ammonium (Azote Ammoniacal NH_4^+)

L'azote ammoniacal est un composé fréquemment présent dans les eaux, signalant généralement une dégradation incomplète de la matière organique. Dans les eaux de surface, il peut provenir de la décomposition des résidus végétaux et animaux, ou encore de réactions chimiques entre des minéraux riches en fer et les nitrates. Sa concentration y reste en général faible.

Dans les eaux souterraines, la présence de l'ammonium est souvent liée à une pollution d'origine anthropique, notamment par les rejets domestiques et industriels, ou encore à un processus naturel de réduction des nitrates. Bien que l'ammonium ne représente pas un danger direct pour la santé humaine, sa présence en quantité importante est un indicateur clair de pollution de l'eau [13].

1.2.3.7. Les nitrites (NO_2^-)

Les nitrites sont des composés intermédiaires dans le cycle de l'azote. Ils se forment à la suite d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, d'une réduction des nitrates par des bactéries dénitrifiantes, ou encore par une dégradation partielle de la matière organique. On les retrouve en faibles quantités dans les sols, les eaux et les plantes, ainsi que dans les précipitations et les eaux issues de la fonte des neiges, en raison de la pollution atmosphérique [14].

La présence de nitrites dans l'eau indique généralement une altération de la qualité microbiologique. Une concentration dépassant 0,1 mg/L est considérée comme un signe clair de pollution et nécessite une analyse chimique approfondie. Chez les nourrissons, les nitrites peuvent provoquer une méthémoglobinémie, pouvant entraîner dans certains cas une asphyxie [14].

1.2.3.8. Les nitrates (NO_3^-)

Les nitrates représentent le stade final de l'oxydation de l'azote, provenant de la dégradation des matières organiques ou des engrais naturels/synthétiques. Ils résultent également de l'oxydation de l'ammoniaque selon la séquence :

Matières organiques → ammoniacque → nitrites → nitrates.

Ils sont naturellement présents en faibles concentrations dans les eaux souterraines et superficielles. Une eau contenant plus de 50 mg/L de nitrates est jugée non potable. Une concentration comprise entre 50 et 100 mg/L peut être tolérée dans certains cas, sauf pour les femmes enceintes et les nourrissons. Au-delà de 100 mg/L, l'eau est impropre à la consommation [15].

1.2.3.9. Les phosphates (PO_4^{3-})

Les phosphates sont des anions facilement adsorbés par les sols, mais leur présence dans les eaux naturelles résulte principalement de l'agriculture, des eaux usées domestiques et de l'activité industrielle. Le phosphore joue un rôle clé dans la croissance des algues, et sa présence excessive favorise leur prolifération dans les réservoirs, les conduites de grand diamètre et les lacs, contribuant ainsi au phénomène d'eutrophisation [16].

I.3 Eléments toxiques

I.3.1. Les pesticides

D'origine essentielle agricole, (traitement des cultures par des pesticides), ils contaminent l'eau même à très faible concentration en modifiant radicalement ses qualités organoleptiques. Ils sont d'une toxicité très importante sur l'organisme humain (bioaccumulation dans certains tissus). Les normes fixent leur concentration maximale admissible (CMA) à 0.5 µg/l. [17]

I.3.2. Les hydrocarbures

Leur présence dans l'eau a pour origine l'activité industrielle humaine (gaz, pétrole, pétrochimie etc....) mais peut provenir également du lessivage des sols de forêts. Les normes fixent leur concentration maximale admissible (CMA) à 0.5 µg/l. [17]

I.3.3. L'arsenic

Il est généralement rencontré à très faible concentration dans les eaux de surface et peut avoir plusieurs origines (rejets industriels, agriculture etc.). Du fait de son accumulation dans l'organisme et de sa toxicité à faible dose, les normes fixent sa concentration maximale admissible (CMA) à 0.05 mg/l. [17]

I.3.4. L'argent

Présent dans de nombreux terrains sous la forme sulfatée, il peut également provenir de l'activité humaine (bijouterie, métallurgie, etc.) Comme pour l'arsenic, les normes fixent sa concentration maximale admissible (CMA) à 0.05mg/l. [17]

I.3.5. Le mercure

Lui-même, il est rencontré à des concentrations insignifiantes (inférieurs à 0.5 ug/l) dans les eaux de surfaces et souterraines. C'est sous la forme de sels de mercure qu'il est plus toxique pour l'homme par accumulation dans l'organisme. Les normes fixent sa concentration maximale admissible (CMA) à 0.001 mg/l. [17]

Présent dans de nombreux terrains sous la forme sulfatée, il peut également provenir de l'activité humaine (bijouterie, métallurgie, etc.)

I.3.6. Le plomb

Il est rencontré en quantité très négligeable dans l'eau naturelle, sa concentration anormale provient essentiellement de la dissolution du plomb pour l'homme et est responsable du saturnisme et de l'altération de la fertilité les normes fixent sa concentration maximale admissible (CMA) à 0.05 mg/l [17]

I.3.7. Paramètres microbiologiques

En disant : « Nous buvons 90 % de nos maladies », Pasteur faisait référence à la présence d'une forme de vie microscopique très virulente dans l'eau pouvant entraîner la mort. Une eau peut être limpide, agréable à boire, normale du point de vue physico-chimique mais non potable de celui microbiologique. Les germes les plus dangereux pour l'homme ont pour origine justement l'homme et à moindre degré, l'animal [18].

Lors de la surveillance de la qualité microbiologique de l'eau, on recherche essentiellement des micro-organismes témoins d'une contamination fécale reconnus non nocifs pour l'homme mais dont la présence laisse supposer celle de ceux pathogènes de leur espèce.

Cette recherche porte sur des cultures de mise en évidence de :

- Coliformes : bactéries vivant dans l'intestin humain ou animal mais aussi répandues dans la nature
- Escherichia coli : mis en évidence dans l'eau, la contamination est d'origine exclusivement humaine.
- Streptocoques fécaux : Étant plus résistants qu'Escherichiacoli, leur recherche est liée principalement à une vérification de l'efficacité du traitement

Leur présence dénote également une contamination qui peut se situer plus loin du lieu d'échantillonnage

- Clostridium sulfita réducteur : témoin d'une contamination ancienne car par sa capacité à sporuler, il peut survivre assez longtemps et résiste à la désinfection.

- Pour une analyse approfondie de la qualité de l'eau, il est effectivement crucial de rechercher la présence de certains germes à contamination fécale, comme les salmonelles, shigella, legionella, giardia et vibrio cholerae. Les normes strictes exigent leur absence totale dans l'eau potable, car leur présence peut entraîner des risques graves pour la santé humaine [18].

I.3.8. Normes de potabilité

Tableau I. 1 : Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS (source ADE).

Paramètres	CMA	Méthodes d'analyses	Effets sur santé et signification
Chlore	0.2 – 0.6 mg/l	DPD Spectro	< 0.2 peu efficaces sur la désinfection > 1, peut entraîner des effets cancérigènes
pH	6.5 – 8.5	Electrochimie	PH acide, corrosion des conduites PH basique diminue l'efficacité de la désinfection
Température	25 °C	Electrochimie Thermomètre	Basse, diminue l'efficacité du traitement Élevée, favorise la croissance microbienne et la formation des MTH
Turbidité	5 NTU	Turbidimètre	Protège les micro-organismes contre les effets de la désinfection
Nitrates	50 mg/l	Salicylate de sodium	Risque de méthémoglobinémie infantile
Nitrites	0.1 mg/l	Sulfanilamide	Risque de méthémoglobinémie infantile
Azote ammoniacal	0.5 mg/l	Indophénol	Favorise le développement de certaines bactéries génératrices de mauvais goût
Résidu sec	2000 mg/l	Gravimètre	Goût désagréable
Calcium	200 mg/l	Complexométrie	Entartrage des conduites
Magnésium	150 mg/l	Complexométrie	Combiné au SO ₄ génère goût
Dureté total	500 mg/l de CaCO ₃	Complexométrie	Entartrage des conduites Consommation excessive de savon
Sodium	250 mg/l	Photométrie de flamme	A concentration élevée gêne les hypertendus
Potassium	15 mg/l	Photométrie de flamme	Entraîne goût
Chlorures	600 mg/l	Argentimétrie	Saveur désagréable, effet laxatif corrosion des conduites
Sulfates	400 mg/l	Néphélométrie	Trouble gastrointestinaux, corrosion des conduites
Aluminium	0.2 mg/l	Spectro	Désordre neurologique
Cuivre	1 mg/l	Spectro	Saveur désagréable Tache de linge et la plomberie domestique
Fer	0.3 mg/l	Spectro	Saveur désagréable Tache de linge et la plomberie,

			favorise le développement de bactéries
Manganèse	0.5 mg/l	Spectro	Saveur désagréable Tache de linge et la plomberie, favorise le développement de bactéries
Cadmium	0.05 mg/l	Spectro	Maladie d'IAI-ITAI
Fluorures	1.5 mg/l	Electrochimie	Altération dentaire et fluorose du squelette
Plomb	0.005 mg/l	Spectro	Saturnisme
Sélénium	0.01 mg/l	Spectro	Carie dentaire
Arsenic	0.05 mg/l	Spectro	Troubles gastro-intestinaux, hépatiques et rénaux. Trouble du métabolisme glucido-lipidique
Mercur	0.01 mg/l	Spectro	Dose mortelle 0.15 – 0.5 de chlore mercurique, trouble neurologiques

NB : CMA c'est concentration maximale admissible

I.4. Types de polluants de l'eau potable

I.4.1. Pollution physique

On parle de ce type de pollution quand le milieu pollué est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe la pollution mécanique [19], il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variés dans l'eau; qui lui confèrent un caractère trouble. On distingue aussi les matières décantées (plus lourds que l'eau elle-même), les matières flottables (plus légères que l'eau elle-même) et les matières non séparables (de même densité que l'eau).

La pollution physique désigne autre type de pollution, telle que la pollution thermique due à la température élevée qui cause une diminution de la teneur en oxygène dissous ainsi qu'une réduction de la solubilité des gaz. [20]

I.4.2. Pollution chimique

La pollution chimique des eaux résulte de la libération de certaines substances minérales toxiques dans les cours d'eaux, par exemple : les nitrates, les phosphates, l'ammoniac et autre sels, ainsi que des ions métalliques. Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuses. Ainsi résulte de la pollution radioactive où la radioactivité des eaux naturelles est peut être d'origine naturelle ou artificielle (énergie nucléaire).

Les polluants chimiques sont classés à l'heure actuelle en cinq catégories: Les substances chimiques dites indésirables, les pesticides, les produits apparentés, les détergents et les colorants et autre éléments toxiques. [20]

I.4.3. Pollution biologique

Un grand nombre de micro-organismes peut proliférer dans l'eau qui sert l'habitat naturel ou comme une simple moyenne de transport pour ces microorganismes. L'importance de la pollution de l'eau dépend également des conditions d'hygiène, des populations, mais aussi des caractéristiques écologiques et épidémiologiques. Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient dans l'eau sont: les bactéries, les virus, les parasites et les champignons, on parle ainsi de la pollution bactérienne, viral ou parasitaire [20].

I.4.4. L'importance de l'analyse de la qualité de l'eau potable

L'analyse de la qualité de l'eau joue un rôle fondamental dans la garantie d'un accès à une eau potable sûre au niveau des ménages. Plusieurs facteurs justifient la nécessité de réaliser ces analyses [21] :

- Vérifier la potabilité de l'eau consommée et détecter d'éventuels problèmes de contamination ;
- Mettre en œuvre des mesures préventives et sensibiliser les populations aux risques sanitaires associés à une eau impropre.
- Évaluer l'efficacité des méthodes de traitement de l'eau à domicile (HWTS) ;
- Orienter le choix vers la source d'approvisionnement en eau la plus adaptée.

Le traitement domestique de l'eau (HWTS) connaît un essor croissant comme alternative pour obtenir une eau de qualité. À cet effet, plusieurs technologies sont introduites par des organismes publics, notamment :

- les filtres en céramique.
- la désinfection solaire (SODIS).
- la chloration.

Les tests de qualité de l'eau permettent de comparer l'état de l'eau à différentes étapes : à la source, après traitement, et après stockage. Ces évaluations sont essentielles pour mesurer l'impact réel des procédés appliqués [21].

Si, historiquement, ces analyses étaient limitées aux laboratoires classiques, l'évolution technologique a permis l'apparition de nombreux dispositifs et kits accessibles au grand public, rendant possibles les tests réalisés de manière autonome. Parmi les principales méthodes d'analyse disponibles, on distingue :

- l'observation visuelle,
- l'utilisation de kits portables,
- l'analyse via laboratoires mobiles,
- l'envoi d'échantillons à des laboratoires commerciaux,
- la création de laboratoires intégrés aux projets.

Cette diversité d'approches offre une grande souplesse dans le suivi de la qualité de l'eau, aussi bien à l'échelle individuelle que communautaire [21].

Chapitre II

Les techniques de dessalement

II.1. Généralités sur le dessalement

Le dessalement est défini comme un processus d'élimination de sel, en particulier l'élimination du chlorure de sodium [NaCl], pour la rendre douce utilisable soit pour l'alimentation des populations en eau potable ou en irrigation. Plusieurs techniques sont utilisées pour le dessalement des eaux saumâtres ou de mer [22].

II.2. Les procédés de dessalements des eaux

Les procédés de dessalement de l'eau peuvent être classés en deux grandes familles en plus de technique chimique : [23]

➤ Les procédés de distillation qui regroupent :

- La distillation par détente successive (multi-stage flash MSF)
- La distillation par effet multiple (M.E.D)
- La distillation par compression de vapeur (V.C)
- La distillation solaire
- Congélation

➤ Les procédés à membrane :

- Osmose inverse (O.I)
- Electrodialyse (E.D)
- Nanofiltration (NF)

➤ Les procédés chimiques :

- Echange ions

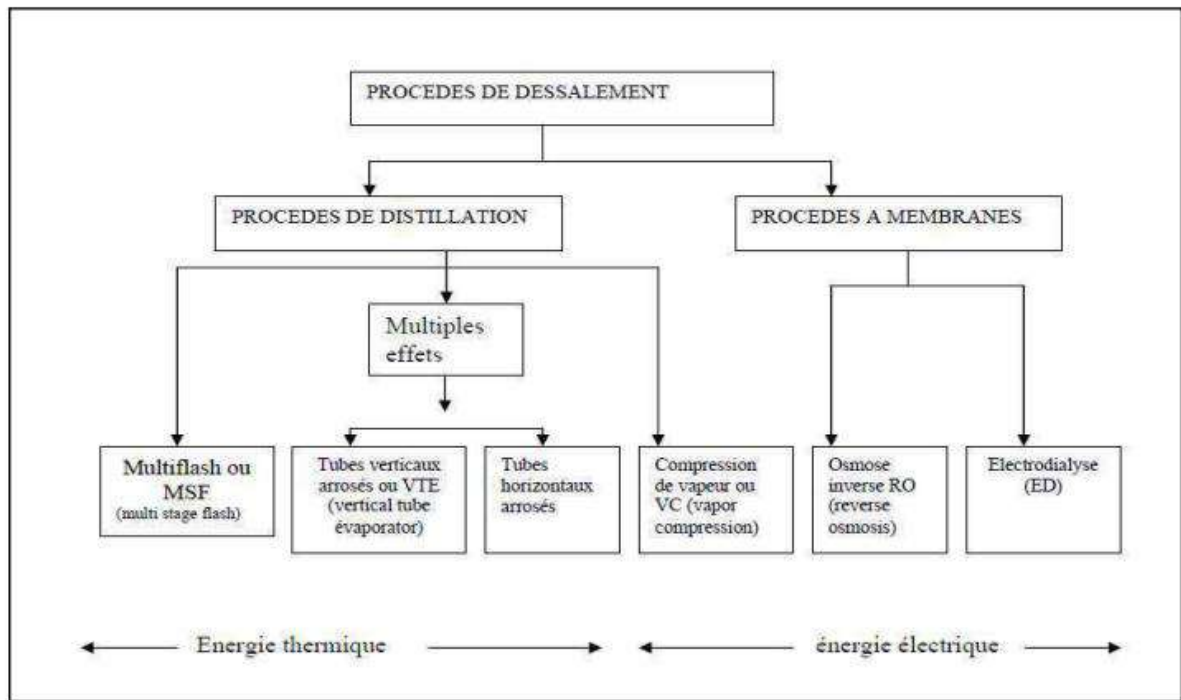


Figure II.1 : procédés de dessalement industrialisés [24].

II.2.1 Distillation :

II.2.1.1. Définition de la distillation

La distillation est un procédé de dessalement qui consiste à évaporer l'eau salée, puis à condenser la vapeur pour obtenir de l'eau douce. L'énergie nécessaire peut être apportée sous forme de chaleur ou de travail mécanique. Elle fonctionne à des températures comprises entre 0,5 et 125 °C, et l'eau produite est très faiblement salée (moins de 100 mg/l). Les principaux types de distillation sont [23]:

- La distillation sans récupération de chaleur.
- La distillation avec récupération de chaleur.
- La distillation à détente flash multiple (MSF).
- La distillation solaire, utilisée pour de petites quantités avec une bonne qualité d'eau et un faible coût énergétique grâce à l'utilisation du soleil [25].

II.2.1.2 Avantages et inconvénients de la distillation

Les avantages :

- Ne dépend pas de la qualité de l'eau brute.
- Convient aux grandes capacités de production.
- Facile à exploiter.
- Fournit une eau très pure (faible TDS), adaptée aux usages industriels [23].

Les inconvénients :

- Rendement de conversion faible (moins de 35 %).
- Forte consommation énergétique (8 à 25 kWh/m³ selon le procédé).
- Faible flexibilité face aux variations de la demande.
- Coûts d'investissement élevés [26].

II.2.2 Les procédés chimiques

II.2.2.1 Échange d'ions

L'échange d'ions est un procédé dans lequel certains ions d'une solution (comme les cations) sont capturés par une résine solide, appelée échangeur d'ions, et remplacés par d'autres ions de même charge libérés par cette résine. Les ions de charge opposée ne sont pas affectés. Ce processus est réversible, sélectif et suit les lois de l'équilibre chimique.

▪ Principe

Les résines échangeuses d'ions sont des polymères synthétiques insolubles, porteurs de groupes ionisables. On distingue :

- Les résines échangeuses de cations (acides faibles ou forts) portant des groupes carboxyliques ou sulfoniques.
- Les résines échangeuses d'anions (bases faibles ou fortes) avec des groupes amines ou ammonium quaternaires [27].

La déminéralisation utilise deux types de résines :

- Une résine pour les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+), surtout ceux liés aux bicarbonates.

- Une autre pour les anions (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-), où les anions faibles comme les silicates sont éliminés par des résines fortement basiques.

Les ions H^+ et OH^- issus de ces échanges se combinent pour former de l'eau pure. Lorsque la résine est saturée, elle doit être régénérée par une solution concentrée d'acide ou de base [25].

▪ **Avantages et inconvénients**

Les avantages :

- Bonne stabilité physique.
- Capacité élevée à éliminer les ions.

Les Inconvénients :

- Coût élevé des résines.
- Risque de colmatage des résines.

II.2.3 Les procédés à membrane

II.2.3.1. L'électrodialyse

L'électrodialyse est un procédé électromembranaire permettant le transfert sélectif des ions à travers des membranes spéciales, sous l'effet d'un champ électrique. L'objectif est de retirer les sels dissous dans une solution aqueuse.

▪ **Principe :**

Un sel dissous se décompose en solution en cations (ions positifs) et en anions (ions négatifs).

- Les cations comme le sodium (Na^+) migrent vers la cathode (électrode négative) en traversant une membrane cationique.
- Les anions comme le chlorure (Cl^-) se dirigent vers l'anode (électrode positive) en traversant une membrane anionique [28].

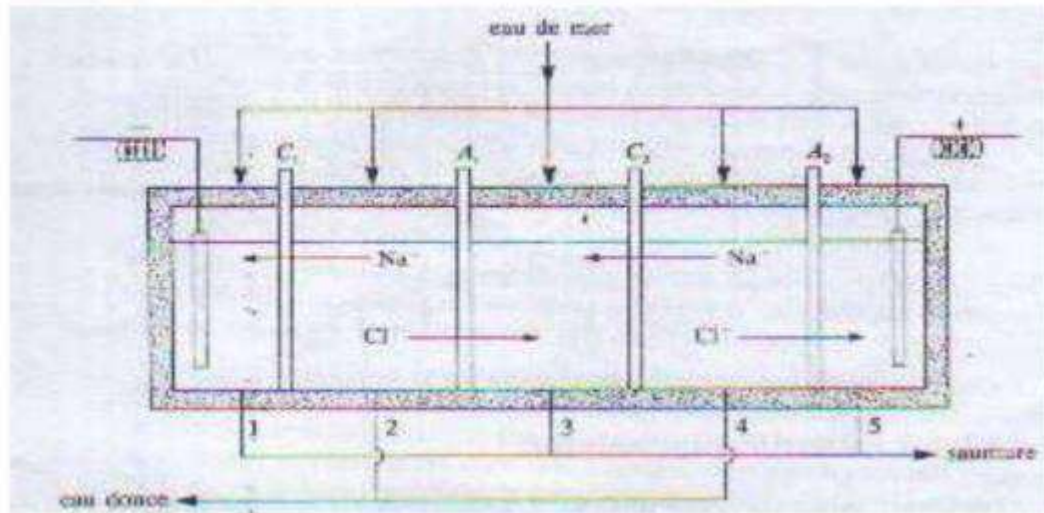


Figure II.2: Principe de l'électrodialyse [25]

Les ions sont ainsi concentrés dans certaines cellules (par exemple 1, 3 et 5) et éliminés dans d'autres (2 et 4), ce qui permet d'obtenir une solution désalinisée dans certaines zones [25].

▪ **Avantages et inconvénients :**

Avantages :

- La consommation d'énergie est proportionnelle à la quantité de sel extraite.
- Respect des normes environnementales de rejet d'eau.
- Réduction du besoin en rinçages fréquents.
- Procédé fiable, durable et bien maîtrisé.

Inconvénients :

- Moins efficace pour les eaux modérément salines (> 3000 ppm).
- Nécessite un prétraitement soigneux de l'eau d'alimentation.
- Capacité de production limitée et pureté dépendante de la qualité initiale de l'eau [29].

II.2.3.2 La nanofiltration (NF)

La nanofiltration est une technologie récente qui s'est fortement développée ces dernières années. Elle est principalement utilisée pour le traitement de l'eau, notamment pour l'adoucissement, l'élimination des couleurs et la suppression des micropolluants.

Située entre l'ultrafiltration et l'osmose inverse, la nanofiltration rejette faiblement les anions monovalents (comme les chlorures), mais élimine efficacement les molécules organiques de grande taille (poids moléculaire > 200) [28].

Parmi ses applications courantes : la décoloration de l'eau, le contrôle des trihalométhanes (THM), et le traitement des eaux de surface et souterraines. Elle est également utilisée dans l'industrie agroalimentaire pour la séparation de certaines molécules. Les pores des membranes de nanofiltration permettent de filtrer des particules de taille comprise entre 0,4 et 1 nanomètre [28].

II.2.3.3 L'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de purification de l'eau qui repose sur le passage de l'eau à travers une membrane ultra-fine et semi-perméable. Seules les très petites molécules, comme celles de l'eau (H_2O), peuvent traverser cette membrane. Ce processus est dit « inverse » car il nécessite une pression élevée pour forcer l'eau pure à passer, contrairement à l'osmose naturelle. Cette technologie est très performante : elle permet d'éliminer entre 98 % et 99 % des solides dissous et 100 % des micro-organismes [23].

▪ Principe de l'osmose inverse

L'osmose est un phénomène naturel où le solvant (comme l'eau) traverse une membrane semi-perméable, passant du côté moins concentré vers le côté plus concentré pour équilibrer les concentrations. Si on exerce une pression sur la solution concentrée, ce mouvement naturel ralentit. Lorsque la pression appliquée devient égale à la pression osmotique, le transfert d'eau s'arrête. En appliquant une pression encore plus grande que cette pression osmotique, on inverse le flux naturel de l'eau : l'eau passe alors de la solution concentrée vers la solution diluée. C'est ce phénomène qu'on appelle l'osmose inverse, utilisé pour purifier l'eau en retenant les sels et les impuretés [30].

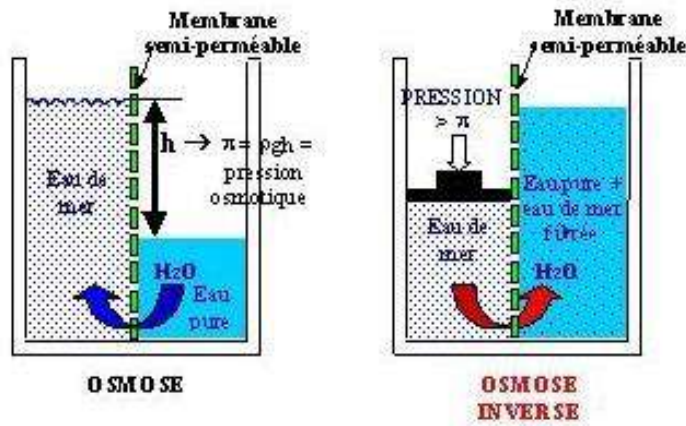


Figure II.3 : Principe d'osmose inverse [31]

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

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

Où :

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

C: Concentration molaire du soluté ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$)

T: Température (K)

R: La constant des gaz parfaits ($831 \text{ j} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) n'est exprimée en pascals. Cette relation est valable pour des solutions diluées

▪ **Efficacité :**

L'osmose inverse élimine efficacement une grande variété de polluants :

- nitrate, pesticides, bactéries, virus, métaux lourds (plomb, mercure...), calcaire, amiante, herbicides, etc.

C'est la méthode de filtration la plus fine actuellement disponible. Alors que les filtres classiques atteignent une précision de 1 micron, l'osmose inverse descend bien au-dessous de 0,0001 micron. À titre de comparaison, une bactérie mesure environ 1 micron [30].

- **Avantages et inconvénients d'osmose inverse**

- a) **Les avantages [34] :**

- Un taux conversion élevé (supérieur à 55%)
- Un cout d'investissement relativement bas
- Un procédé avec un cout énergétique faible.
- Augmentation le rendement de la station.
- Elimination des bactéries.

- b) **Les inconvénients [34] :**

- Sensibilité à la quantité d'eau brute et surtout aux pollutions.
- Nécessité d'un personnel qualifié.
- Exploitation relativement difficile surtout au niveau du prétraitement.

II.2.3.4. La membrane

- **Définition d'une membrane**

Une membrane est une couche très fine et semi-perméable qui agit comme une barrière sélective. Elle permet le passage des particules plus petites que ses pores, sous l'effet d'une pression, et retient les particules plus grosses comme les sels ou impuretés [30].

- **Types de modules membranaires :**

- a. **Modules tubulaires :**

Ils contiennent plusieurs tubes où l'eau circule à l'intérieur. L'eau purifiée (perméat) est collectée à l'extérieur. Le flux est de type tangentiel [32].

- b. **Modules à fibres creuses :**

Les fibres sont disposées en parallèle, avec deux types de circulation :

- **Intérieur → Extérieur :** l'eau passe à l'intérieur des fibres, et le perméat est récupéré à l'extérieur.
- **Extérieur → Intérieur:** l'eau circule autour des fibres, et le perméat est récupéré à l'intérieur. Le flux est libre entre les fibres [33].

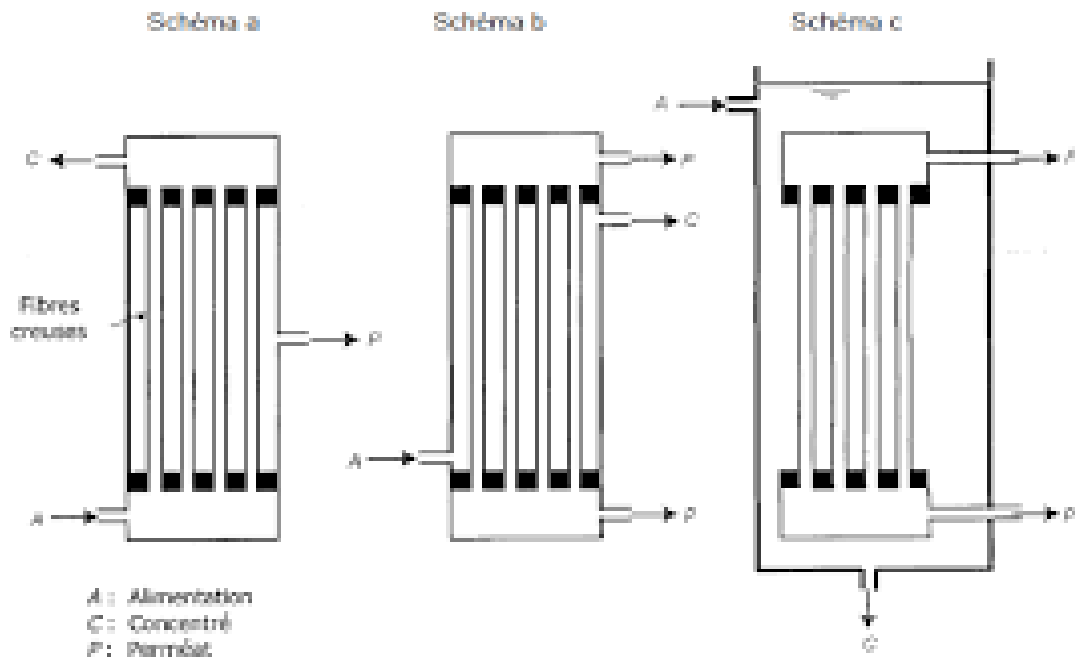


Figure II.4 : Modules à fibres creuses [34]

c. Les modules plans :

Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples : les membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides [32].

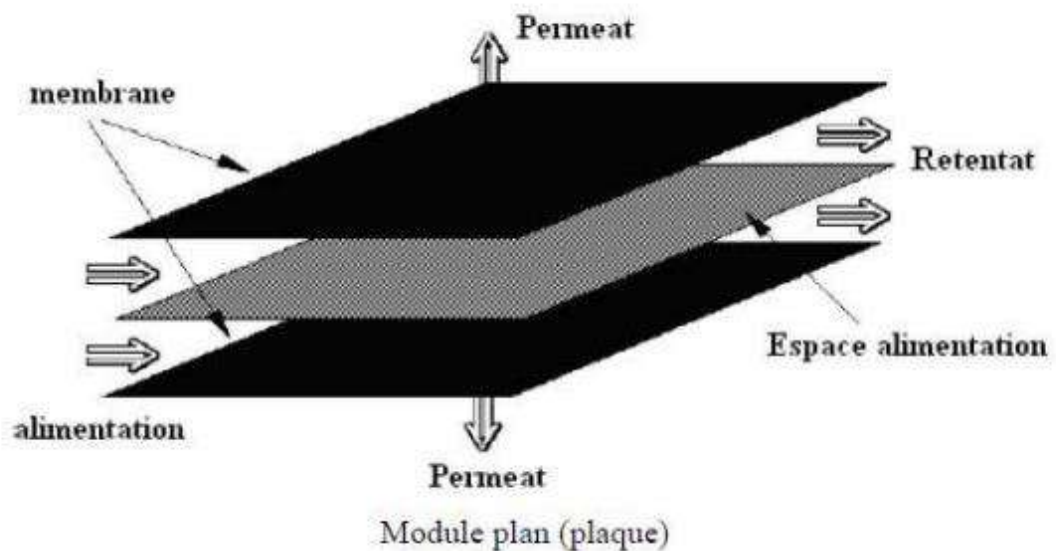


Figure II.5 : module plan (plaque) [34]

d. Les modules spiraux :

Au des modules spirales, une membrane plane est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat .On obtient ainsi un cylindre multicouche ou le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux [32].

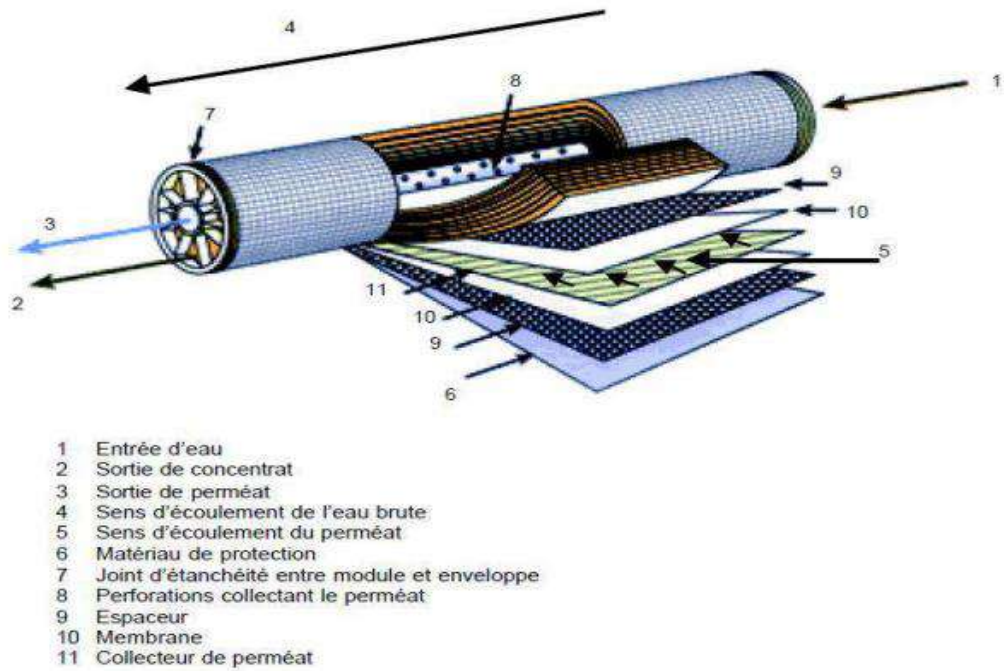


Figure II.6 : Modules spirales [34]

Chapitre III

Présentation générale de la Station déminéralisation de Ouargla

III.1. Contexte Hydrogéologique de la région de Ouargla

Les eaux souterraines constituent la principale ressource en eau de la région, qui bénéficie d'un réservoir souterrain particulièrement riche :

III.1.1. Le Continental Intercalaire (CI)

La nappe albienne, l'un des plus vastes réservoirs souterrains d'Afrique, s'étend sous le Sahara septentrional. Elle est contenue dans des formations sableuses, argileuses et gréseuses du continental intercalaire, avec une lithologie composée de 10 % de grès, 10 à 50 % de grès argileux et 50 % d'argiles. Cet aquifère, homogène mais structuré en couches discontinues, atteint jusqu'à 1000 m d'épaisseur au nord-ouest et se situe à environ 1300 m de profondeur à Ouargla. L'eau, à 57 °C et faiblement salée (2 g/l), jaillit naturellement entre 1120 m et 1380 m. Elle s'écoule du sud vers le nord, avec des forages artésiens pouvant atteindre un débit de 200 l/s, une pression de 20 bars, et une conductivité hydraulique de $8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. [35].

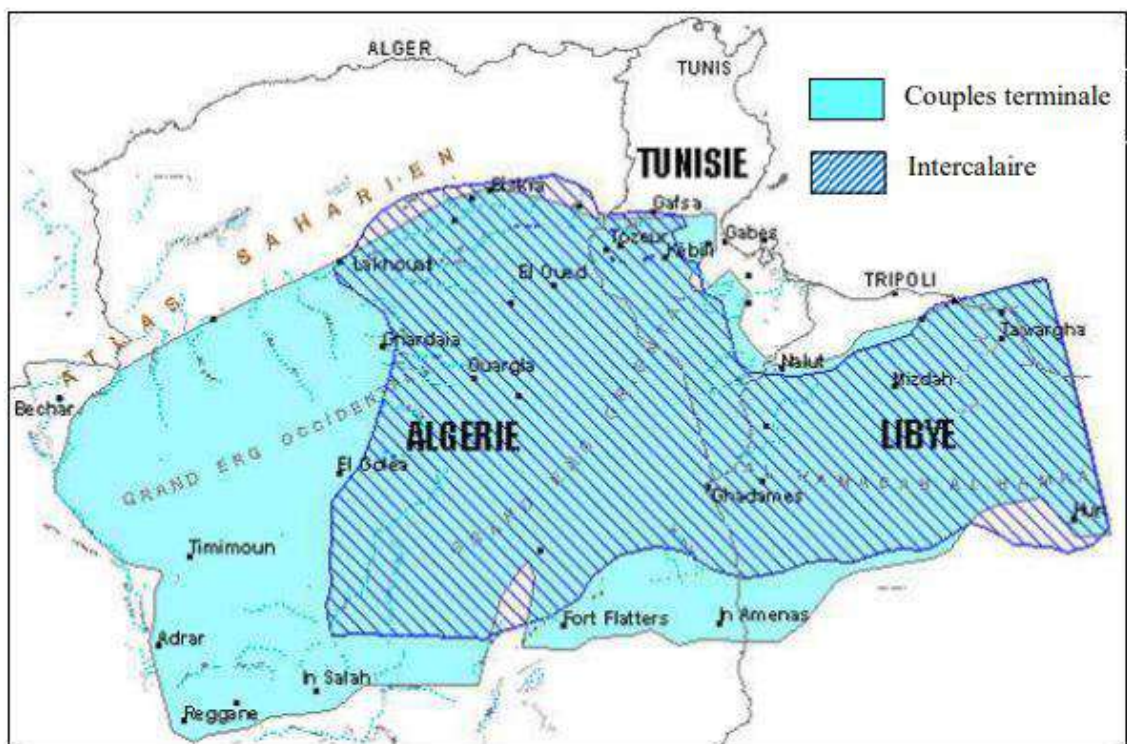


Figure III.1 : Nappes de complexe terminal et continental intercalaire [36].

III.1.2. Le Complexe Terminal (CT)

Le Complexe Terminal comprend deux nappes principales :

a) La nappe du Sénonien

Localisée dans la vallée de l'oued Mya, cette nappe reste peu étudiée. Elle se compose de formations lagunaires et carbonatées, cette dernière étant la plus exploitée à Ouargla pour l'eau potable en raison de sa bonne qualité chimique. [35].

b) La nappe Mio-Pliocène

C'est la nappe la plus exploitée pour l'irrigation agricole. Son écoulement va du sud-sud-ouest vers le nord-nord-est, en direction du chott Melghir. Sa profondeur varie entre 60 et 200 m, avec une température de 23 à 25 °C et une salinité allant de 1,8 à 4 g/l (parfois jusqu'à 7 g/l). Elle est exploitée par pompage avec un débit de 15 à 40 l/s [35].

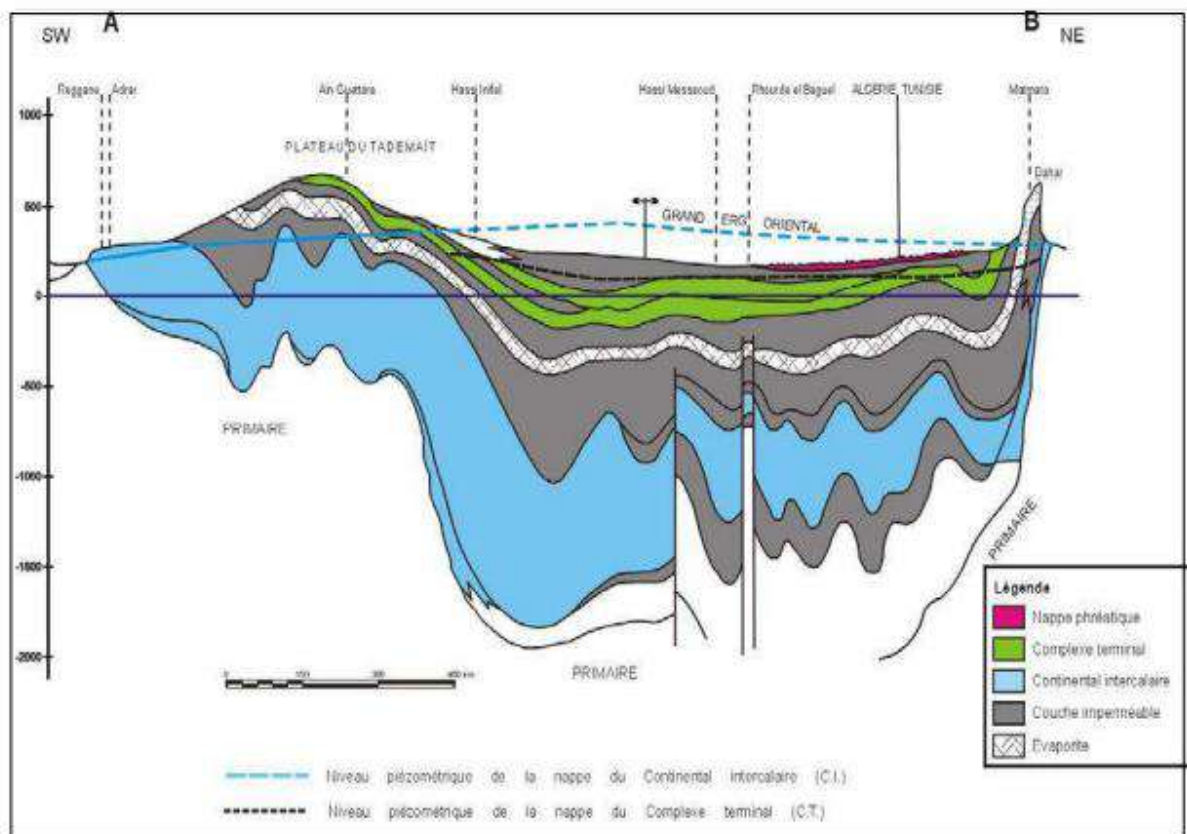


Figure III.2 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972) [35].

III.1.3. La nappe phréatique

La nappe phréatique se situe dans les dépôts alluviaux récents de la vallée. Son écoulement n'est pas clairement défini, mais semble suivre deux directions principales : du sud vers le nord, suivant la pente de la vallée, et de l'ouest vers l'est vers les zones du Chott Bamendil.

Très peu profonde, elle peut se trouver à seulement 50 cm de la surface, voire affleurer le sol. Sa forte salinité (souvent supérieure à 15 g/l et pouvant atteindre jusqu'à 70 g/l dans certaines zones de Ouargla) rend son exploitation impossible.

Selon une étude de l'ANRH (2007), le niveau de cette nappe varie de façon irrégulière selon les saisons et les conditions climatiques, avec un niveau bas au printemps et un niveau plus élevé en automne et en hiver.

Les niveaux mesurés sont :

- Entre -0,3 m et -1,5 m en zones urbaines agricoles,
- De +0,2 m à +0,8 m dans les chotts,
- De +0,8 m à -1,5 m dans les sebkhas [35].

III.1.4. Situation démographique [35]

D'après les résultats du dernier recensement (2008), la population de la ville d'Ouargla a atteint 224325 habitants avec un taux d'accroissement de 0,8%, pour connaître le nombre Estimatif de la population pour l'horizon actuel, et aussi pour le moyen et long terme, on applique la relation suivante :

$$p_n = p_0 * (1+t)^n$$

Avec :

p_n : Nombre d'habitants dans l'horizon d'étude.

p_0 : Nombre d'habitants (2017).

t : Taux d'accroissement en %

n : Nombre d'années entre deux horizons.

III.1.4.1. Alimentation en eau potable

Le réseau d'alimentation en eau potable de la ville d'Ouargla est de type mixte, s'étendant sur une longueur totale de 398,6 km. Il est constitué de 41 forages et de 33 réservoirs [37].

III.1.4.2 Dotation en eau potable

La dotation qui est alimente l'habitant de ville de Ouargla est égale à 160 l/j/hab [37].

III.1.4.3 Réseau d'assainissement

Le réseau d'assainissement de la région de Ouargla est de type unitaire, recueillant à la fois les eaux usées et les eaux pluviales. Dans le cadre du projet de remontée des eaux, un nouveau réseau a été mis en place. Le taux de raccordement varie selon les communes, oscillant entre 40 % et 60 %, selon les données de l'Office National de l'Assainissement [37].

III.1.5. Présentation générale de la station de déminéralisation de Ouargla

III.1.5.1. Station de dé minéralisations d'IFRI GARA

La station de dessalement d'eau "GARA IFRI " à Ouargla est située dans le quartier de silice à Ouargla, et c'est la station que j'ai choisie pour effectuer mon stage. Cette station est parmi les plus importantes dans la wilaya d'Ouargla dans le domaine du dessalement de l'eau. Le projet de construction de cette station a débuté le 1er janvier 2021. Cette station se concentre sur le dessalement de l'eau et l'élimination des minéraux des eaux souterraines pour produire de l'eau potable [38].



Figure III.3 : Situation de la zone d'étude

La station d'IFRI GARA est implantée à l'intérieur du complexe d'IFRI GARA dont la superficie totale est de 9 397 m².

Les fonctions du projet peuvent être résumées comme suit :

- Production d'eau potable.
- Filtration à travers des filtres à sable.
- Traitement de l'eau par système d'osmose inverse.
- Désinfection par injection de chlore à un taux approprié, rendant ainsi l'eau potable à cette étape.

Le projet comprend trois unités d'osmose inverse, et l'eau brute est collectée dans un réservoir d'une capacité de 40 m³ L'eau traitée est stockée dans un réservoir de grande capacité. Les eaux souterraines sont extraites de plusieurs puits[38].

III.1.5.2. Description de poste

L'eau brute provient des forages existants et elle est, ensuite, refoulée jusqu'au bassin d'eau brute, Débit provenant de chaque forage sera ajusté manuellement en agissant sur les vannes y corresponde afin d'avoir un débit total des eaux brutes de 7500m³/j Les eaux souterraines sont extraites de 7 forages différents, puis collectées dans un réservoir. Ensuite, elles sont pompées vers la station pour passer par la première étape, qui est la filtration sur sable.

La station de déminéralisations d'ifri gara est alimentée en eaux brutes depuis (6) forages Ifri 1. Ifri 2. Ifri 3 Ifri 4 Silice et Douane dont le débit chacun est contrôlé par un débitmètre électromagnétique installé en amont de la bache des eaux brutes [38].

Le débit provenant de chaque forage sera ajusté manuellement en agissant sur les vannes y corresponde afin d'avoir un débit total des eaux brutes de 7500 m³/j. La station est alimentée en eau brute à partir de quatre forages selon le tableau ci-dessous :

Liste des forages :

Tableau III. 1 : Le Débit Le Forages De Station Ifri Gara S5 [38].

Forages	Débit (m ³ /h)	Débit (m ³ /J)
Silicee	95	2280
Douane	90,5	2172
Ifri1	80	1920
Ifri 2	172	4128
Ifri 3	Son débitmètre	
Ifri 4		
Total	437,5	10500

III.1.5.3. Description du traitement

a) Composition d'une station de déminéralisations IFRI GARA

▪ Chaîne de déminéralisations d'une station IFRI GARA

- Bassin d'eau brute
- Préparation et dosage de l'hypochlorite de calcium.
- Préparation de l'eau pour la filtration sur sable (réduction du pH, floculation)
- Pompes d'alimentation des filtres à sable
- Filtres à sable
- Bassin d'eau filtrée
- Pompes d'alimentation basse pression
- Déchloration de l'eau filtrée
- Filtres à cartouches
- Pompes d'alimentation haute pression
- Unité d'osmose inverse à deux passes
- Bassin d'eau osmosée

b) Postes auxiliaires :

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

- Poste de rinçage à l'eau des filtres à sable
- Poste de rinçage à l'air des filtres à sable

- Poste de nettoyage de membrane Potabilisation de l'eau osmosée par désinfection et dosage de lait de Poste de pompage des eaux usées (eau de nettoyage, eau de rinçage, saumure)
- Poste de préparation et de dosage des produits chimiques [38].

III.1.5.4. Description du procès

▪ Pompes d'alimentation des filtres à sable

La station est équipée de trois pompes (1+2) d'une capacité de 23 m³/h et d'une hauteur de 21 m, destinées à alimenter les filtres à sable à partir du bassin d'eau brute. Ces pompes fonctionnent en continu et sont équipées d'un système de protection contre le fonctionnement à sec. Poste d'eau de service chaud [38].



Figure III.4 : Pompes d'alimentation des filtres à sable

III.1.5.5. Préparation de l'eau brute

Afin d'optimiser la filtration de l'eau, il est prévu le dosage de :

- **L'acide sulfurique H₂SO₄** : améliore la coagulation et évite la formation de carbonate de calcium et de carbonate de magnésium
- **Le chlorure ferrique**: coagulant, permettant un piégeage plus efficace des matières en suspension et des colloïdes
- **Chloration** : Le dosage continu l'hypochlorite de calcium ou hypochlorite de sodium en aval des filtres entraîne à moyen terme la croissance d'autres bactéries nocives pour les membranes, en causant un colmatage irréversible [38].



Figure III.5 : les points d'injection

III.1.5.6. Prétraitement

Le prétraitement englobe un ensemble d'opérations effectuées sur l'eau brute afin d'améliorer ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, et ainsi garantir sa compatibilité avec le bon fonctionnement du système de traitement principal dans la station de déminéralisation. Ces opérations ont pour objectif de rendre l'eau compatible avec les membranes semi-perméables utilisées dans le processus d'osmose inverse et de protéger ces membranes contre la pollution, le colmatage et l'entartrage [38].

Dans une station de déminéralisation, le prétraitement comprend :

- Filtration rapide sur sable sous pression
- Microfiltration

III.1.5.6.1. Filtration

Après l'extraction de l'eau, elle passe directement à l'étape de traitement préliminaire, où trois filtres à sable sous pression sont utilisés pour éliminer les matières en suspension et ajuster l'eau brute afin qu'elle soit compatible avec les conditions de fonctionnement des filtres à sable. La filtration se fait à travers des couches de sable et d'antracite, une méthode reconnue pour son efficacité dans l'élimination des particules solides [38].

Chaque filtre est composé de plusieurs couches de gravier, de sable et d'antracite, ce qui renforce l'efficacité du processus de filtration. Le pH est ajusté, et des produits chimiques

spécifiques sont ajoutés pour éviter la formation de dépôts calcaires tels que le carbonate de calcium.

Cette étape est essentielle, car l'eau doit traverser des passages étroits au cours des étapes suivantes du traitement. Il est donc crucial d'éliminer les particules en suspension et de prévenir le développement de micro-organismes sur les membranes, ce qui permet d'assurer l'efficacité et la durabilité de l'ensemble du processus de traitement [38].

➤ Principe de fonctionnement des filtres à sable

Le fonctionnement des dispositifs de filtration sur sable repose sur le principe de la filtration mécanique, où une cuve contient des couches spécifiques de sable et d'anthracite permettant de retenir les impuretés physiques et les matières responsables de la turbidité de l'eau. Lorsque ces couches sont saturées d'impuretés, un nettoyage est effectué, soit par un lavage classique, soit par un lavage à contre-courant [38].

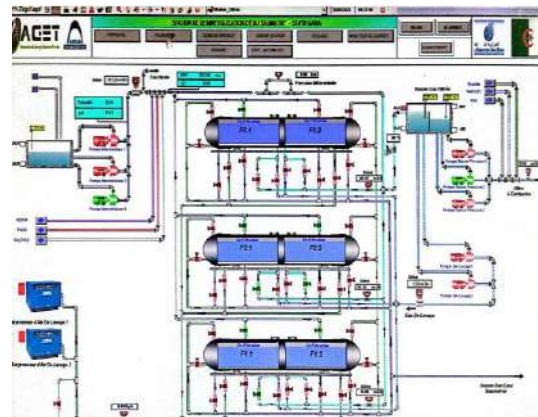


Figure III.6 : les filtres à sable de la station de IFRI GARA S5

➤ Caractéristiques techniques des équipements :

- Ces filtres existent sous différentes formes, adaptés à divers débits d'eau et à plusieurs applications de traitement.
- Ils se composent des éléments principaux suivants :
 1. La cuve de filtration, fabriquée en fibre de verre renforcée, conçue pour résister à une pression de fonctionnement allant jusqu'à 5,8 bars.
 2. Les couches filtrantes, composées de sable de quartz de différentes granulométries et d'une couche d'anthracite pour améliorer la qualité du filtrage.

3. La vanne de commande électronique, qui automatise l'ensemble du processus : filtration, lavage régulier et lavage à contre-courant [38].

➤ **Fonctions principales des filtres :**

- Élimination des impuretés insolubles dans l'eau.
- Retrait de la rouille qui altère la clarté de l'eau.
- Filtration du sable et des autres particules solides présentes dans les eaux souterraines.
- Séparation des boues et des particules solides issues des réservoirs ou des conduites.

Après cette étape de filtration, l'eau traitée est dirigée vers un réservoir compartimenté.

- La première section stocke une partie de l'eau filtrée (eau 1), réutilisée pour les opérations de lavage des filtres à sable.
- La seconde section contient l'eau 2, qui est envoyée vers la prochaine étape de traitement : les filtres à cartouches.

Ces derniers contiennent des membranes micro-poreuses capables de retenir les impuretés les plus fines et les microéléments [38].

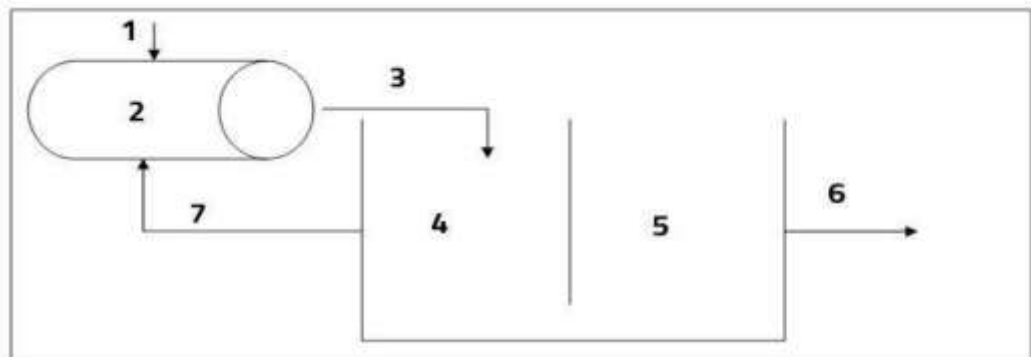


Figure III.7 : Bassine d'eau filtrée

- 1- Eau brute
- 2- Filtres à sable
- 3- Eau filtrée
- 4- Bassin d'eau filtrée partie 1
- 5- Bassin d'eau filtrée partie 2
- 6- L'eau filtrée pour le lavage des filtres à sable

7- L'eau filtrée (entrant dans l'étape des filtres cartouches)

a) Pompes d'alimentation basse pression :

Quatre (3+1) pompes d'alimentation basse pression 220 m³/h et 25m permettent d'alimenter des filtres à cartouche par de l'eau filtrée [38].



Figure III.8 : Pompes d'alimentation basse pression

b) Préparation de l'eau filtrée

Pour assurer une efficacité optimale du traitement en aval, plusieurs traitements chimiques sont appliqués à l'eau filtrée avant son passage dans les membranes d'osmose inverse :

- **Déchloration avec le bisulfite de sodium (SBS)**

Le SBS est utilisé pour éliminer totalement les résidus de chlore libre dans l'eau filtrée, afin de protéger les membranes contre les effets oxydants du chlore. Ce produit est injecté en aval des filtres à cartouches, au niveau de la conduite d'alimentation des membranes.

Le système de dosage comprend un réservoir de préparation, une pompe doseuse et les instruments nécessaires à un fonctionnement automatique. Le dosage est ajusté proportionnellement au débit d'eau [38].

- **Injection d'un anti-tartre (ASC)**

Pour prévenir les dépôts de calcaire sur les membranes, un produit anti-tartre est injecté en remplacement de l'acide sulfurique. Ce traitement se fait également en aval des filtres à cartouches, à l'aide d'un système de dosage composé de deux réservoirs de préparation, deux pompes doseuses (dont une en secours) et un système de

régulation automatique.

Le dosage du produit est également proportionnel au débit d'eau traitée [38].



Figure III.9 : les points d'injection

III.1.5.6.2. *Filtres à cartouches*

La station de traitement est équipée de trois unités de filtration fine, chacune contenant 80 cartouches. Ces filtres jouent un rôle essentiel dans la rétention des particules fines susceptibles d'échapper aux étapes de prétraitement, et assurent ainsi une protection optimale du système de membranes.

La filtration fine est comparable à la filtration classique, à la différence près que le diamètre des pores est beaucoup plus réduit et que le matériau utilisé dans la fabrication des cartouches est spécialement conçu pour capter les particules les plus fines. Ce type de filtration est couramment utilisé pour éliminer les sables fins ou les impuretés susceptibles de détériorer les membranes d'osmose inverse [38].

Les cartouches sont généralement constituées de fils de polypropylène enroulés en spirale, offrant une capacité de filtration adaptée à différents niveaux de précision, notamment :

- **0,2 micromètre** : suffisant pour retenir les bactéries.
- **De 0,05 à 0,1 micromètre** : utilisé dans les domaines de la microtechnologie et de la microélectronique.



Figure III.10 : les Filtres à cartouches de la station de IFRI GARA S5

➤ **Surveillance et contrôle après la filtration fine :**

Après que l'eau ait traversé le microfiltre, des points de mesure sont installés pour surveiller plusieurs paramètres physiques et chimiques essentiels, afin de garantir que la qualité de l'eau corresponde aux exigences de fonctionnement optimales des membranes d'osmose inverse.

Ces paramètres incluent :

- Le potentiel redox (réduction-oxydation),
- Le pH,
- La conductivité,
- La turbidité,
- La température,
- L'indice de pollution spécifique (SDI).

Ces valeurs sont cruciales pour évaluer la compatibilité de l'eau traitée avant son entrée dans la phase de déminéralisation, contribuant ainsi à prévenir l'accumulation de dépôts ou la prolifération bactérienne à l'intérieur des membranes [38].

En cas de dégradation de la qualité de l'eau brute, si elle dépasse les limites acceptables pour le fonctionnement des membranes, une vanne de purge, installée après le microfiltre, peut être ouverte pour évacuer l'eau non conforme vers le rejet. Cela continue jusqu'à ce que les conditions nécessaires soient rétablies, assurant ainsi la protection des membranes et le maintien des performances globales de l'unité [38].

➤ **Pompes d'alimentation haut pression :**

Quatre (3+1) pompes d'alimentation haute pression vers l'unité d'osmose inverse (143 m³/h) et 145 m



Figure III.11 : Pompes d'alimentation haut pression

III.1.5.7. Traitement principal

Dans cette phase, on applique la technique de déminéralisation pour traiter l'eau potable. La déminéralisation regroupe les procédés visant à éliminer partiellement ou totalement certains ions indésirables tels que (Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , etc.).

III.1.5.7. 1. Osmose Inverse (OI)

a. Principe de fonctionnement de l'osmose inverse

Après que l'eau ait traversé une étape de traitement primaire, elle est soumise à des dispositifs modernes et sophistiqués qui fonctionnent selon le principe de l'osmose inverse. Ce processus peut être expliqué de la manière suivante : on prend de l'eau riche en sels minéraux et de l'eau pure, puis on sépare l'eau salée de l'eau pure à l'aide d'une membrane semi-perméable. On observe que l'eau se déplace de la zone pure vers la zone salée à travers la membrane, cherchant à équilibrer les concentrations des deux côtés, phénomène appelé osmose (diffusion). Si l'on applique une pression d'un côté de la membrane (du côté de l'eau salée), l'eau s'écoulera dans le sens inverse, de la zone riche en sels vers la zone pure, ce qui est connu sous le nom d'osmose inverse [38].

Cette étape est cruciale dans le processus de dessalement, où l'on cherche à réduire la concentration des sels dissous dans l'eau salée à un niveau qui permet de rendre cette eau utilisable et potable. Ce processus est réalisé grâce à des dispositifs de filtration haute performance.

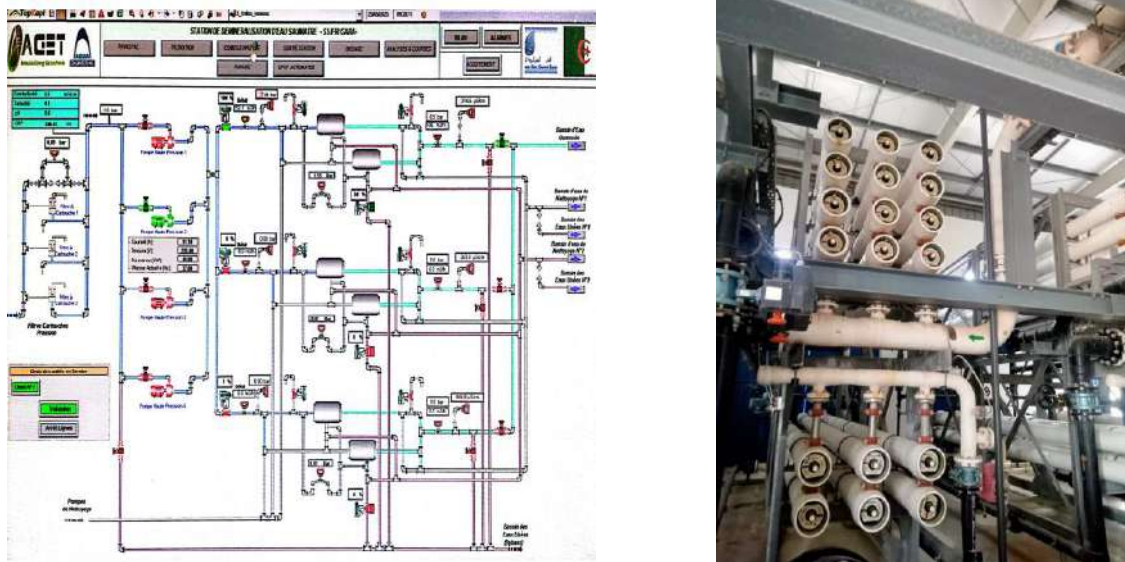


Figure III.12 : Unité d'osmose et de l'osmose inverse

b. Station de nettoyage

Il est prévu un système de nettoyage et de désinfection des membranes. La solution de nettoyage est préparée dans une bêche puis re-circulée avec les pompes de nettoyage à travers le micro filtre de la station de nettoyage et les blocs. L'opération est déclenchée d'une façon manuelle selon le besoin [38].



Figure III.13 : Filtre à cartouche nettoyage

III.1.5.8. Désinfection

La désinfection a pour objectif principal l'élimination des micro-organismes pathogènes présents dans l'eau, afin de prévenir l'apparition de maladies d'origine hydrique. Elle repose sur la mise en contact d'un désinfectant avec une eau potentiellement contaminée, à une concentration déterminée et pendant une durée de contact suffisante. Trois éléments sont donc essentiels dans ce processus : le type de désinfectant, la concentration appliquée, et le temps de contact [38].

De nombreuses méthodes de désinfection sont aujourd'hui largement utilisées, parmi lesquelles la chloration, la stérilisation par rayons UV et l'ozonation. À la station d'IFRI GARA, la désinfection est assurée principalement par injection de chlore et par l'ajout de lait de chaux [38].

III.1.5.9. Chloration

La chloration repose sur un fonctionnement très simple : du chlore est injecté dans l'eau à l'aide d'une pompe doseuse ou d'un injecteur de type Venturi. On laisse ensuite le temps au chlore d'agir sur les contaminants. Toutefois, cette méthode est peu utilisée dans l'industrie pour la purification, en raison des problèmes liés aux résidus de chlore et aux sous-produits chlorés dans l'eau traitée [38].

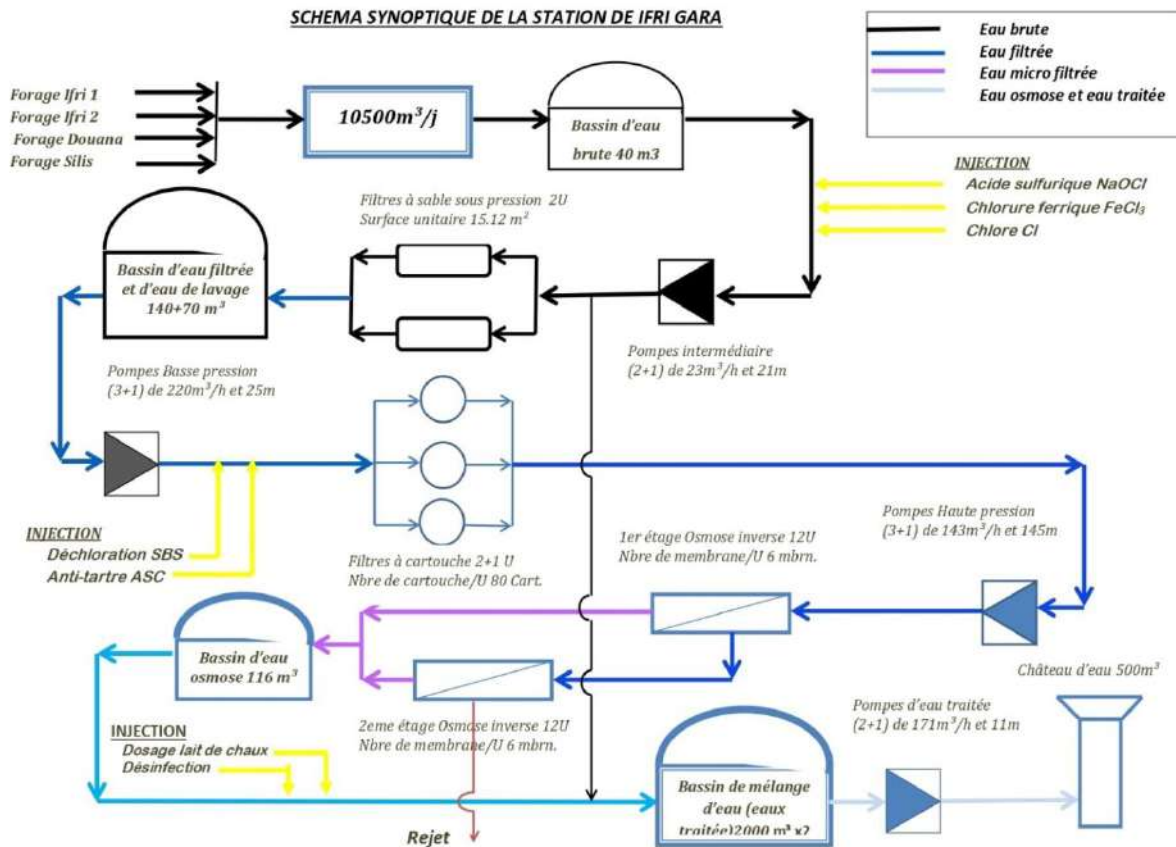


Figure III.14 : Schéma synoptique de la station ifri gara[38].

Une production la station ifri gara d'eau osmosée de 7875 m³/j.

L'installation comprend principalement:

- 1- Bassin d'eau brute 40 m³
- 2- Injection: Chlore Cl (désinfection), acide sulfurique NaOCl (réduction pH), chlorure ferrique FeCl₃ (floculation)
- 3- (2+1) Pompe intermédiaire (1+2) de 23 m³/h et 21 m
- 4- Filtres à sable sous pression 2U; surface unitaire 15,12m²
- 5- Bassin d'eau filtrée (130 + 70 m³) (dont un compartiment pour les eaux de lavage des filtres à sable)
- 6- (3+1) Pompes basse pression (3+1) de 220 m³/h et m

- 7- Injection SBS (Décoloration) et ASC (anti-tartre)
- 8- Filtres à cartouches (2+1) U; Nbre de cartouche / U 80 Cart.
- 9- Pompes Haute pression (3+1) de 143 m³/h et 145m
- 10- 1er étage osmose inverse 12 U Nbre de membrane / U 6 Nbre
- 11- 2éme étage osmose inverse 12 U ; Nbre de membrane / 6U mbre
- 12- Bassin d'eau osmose (116 m³)
- 13- Injection : chlore (désinfection); Dosage lait de chaux
- 14- bassin d'eau traitée (2×2000m³)
- 15- Pompes d'eau traitée (2+1) de 171m³/h et 11m vers château d'eau (500m³) [38].

Chapitre IV

Résultats Et Discussions

IV.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter et d'analyser les résultats des analyses physico-chimiques et les paramètres indésirables et de pollution des eaux souterraines d'Ifri Gara, avant et après traitement par la station d'osmose inverse. La discussion s'appuiera sur une comparaison des résultats obtenus avec les normes de potabilité en vigueur. Cette étude permettra d'évaluer la performance et de suivre l'efficacité des différentes unités de traitement de la station.

IV.2. Description du laboratoire

Le laboratoire de l'ADE constitue une structure essentielle chargée de l'analyse et du contrôle de la qualité des eaux douces, afin d'assurer leur conformité aux normes sanitaires et environnementales avant leur distribution au public. Il réalise des analyses physiques, chimiques et biologiques sur des échantillons d'eau, dont les résultats servent à ajuster les procédés de dessalement et à optimiser la qualité de l'eau produite. Ce laboratoire joue également un rôle clé dans la surveillance à long terme de l'évolution de la qualité de l'eau.

IV.2.1. Vérification de la qualité des eaux traitées

Dans le cadre de cette étude portant sur le suivi de la qualité de l'eau traitée par la station de ifri gara S5, un contrôle technique régulier a été effectué afin d'évaluer l'efficacité du traitement et la conformité de l'eau produite aux normes en vigueur. Ce suivi a été réalisé durant une période déterminée allant du **26 janvier au 15 mars 2025**. Cette opération a consisté en une série d'analyses physico-chimiques réalisées sur des échantillons d'eau traitée, dans le but de vérifier le degré d'élimination des impuretés et des substances indésirables. Les résultats de ces analyses ont été rigoureusement enregistrés dans le rapport annexé, et ce durant les dates suivantes : **(01/02/2025)**, **(25/02/2025)** et **(10/03/2025)**. Ces données permettront d'analyser l'efficacité du traitement et de la comparer aux standards réglementaires applicables dans ce domaine.

IV.2.2. Conditions de prélèvement des échantillons

Le prélèvement des échantillons est une opération extrêmement sensible qui doit être réalisée avec le plus grand soin, car elle conditionne les résultats analytiques et les interprétations qui en découlent. L'échantillon prélevé doit être homogène et représentatif, sans altération des propriétés physico-chimiques de l'eau. Il est donc nécessaire de respecter les consignes suivantes :

- Choisir des forages qui représentent, autant que possible, un aperçu global de la zone étudiée.
- Laver et stériliser les bouteilles de prélèvement au moins trois fois.
- Désinfecter l'embouchure du robinet utilisé pour le prélèvement à l'aide d'alcool.
- Ne pas prélever l'eau directement : laisser couler pendant une à deux minutes afin d'évacuer l'eau stagnante dans la conduite.
- Prélever les échantillons dans des bouteilles d'un litre, bien les remplir et les fermer hermétiquement en évitant toute contamination par la poussière.
- Conserver les échantillons à une température de 4 °C.
- Apposer une étiquette d'identification sur chaque bouteille.
- Noter la date de prélèvement.
- Transporter les échantillons au laboratoire pour effectuer les analyses.

Les analyses physico-chimiques des eaux potables de la région de Ouargla ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'Algérienne des Eaux (ADE) de Ouargla.

Remarque : Étant donné que nous n'avons pas pu réaliser l'ensemble des analyses des eaux au laboratoire de l'ADE de Ouargla, nous avons utilisé directement les résultats d'analyses déjà disponibles.

IV.2.3. Les analyses effectuées dans laboratoire de la station de IFRI GARA

Les différentes analyses effectuées dans le laboratoire de la station de IFRI GARA sont :

1. dureté calcique (Méthode : titrage par EDTA).
2. dureté totale (Méthode : titrage par EDTA).

3. dureté magnésienne (par calcul (TH-THCA)).
4. titre alcali-métrique TA (Méthode : titrage par acide sulfurique).
5. titre alcali-métrique complet TAC (Méthode : titrage par acide sulfurique).
6. Chlorure (Méthode : titrage par nitrate d'argent).
7. manganèse (Méthode : spectrométrie).
8. nitrate ; fer ; fluorure; nitrite (Méthode : spectrométrie).
9. sulfate (Méthode : spectrométrie).
10. résidu sec.
11. pH.
12. conductivité.
13. chlorures.
14. turbidité

IV.2.3.1. Les points de prélèvement des échantillons à la station

1. Eau brute : Échantillon prélevé de l'eau brute à sa sortie du réservoir d'eau brute.
2. Eau osmoses : Échantillon prélevé à sa sortie de l'osmose inverse.
3. Eau traitée (mélange) : Échantillon prélevé à sa sortie du réservoir d'eau traitée (mélange de 75% d'eau traitée par osmose inverse et de 25% d'eau filtrée).

IV.2.3.2. Préparation des appareils et des réactifs

Dans notre travail, nous avons utilisé les appareils et les réactifs suivants : un appareil de filtration sous vide, un spectrophotomètre à flamme, un agitateur magnétique,

un four de séchage, une balance électronique, des papiers filtres, une fiole jaugée, un bain-marie électrique, une pipette.

Comme réactifs, nous avons utilisé :

- le nitrate d'argent (AgNO_3)
 - l'acide chlorhydrique (HCl)
 - l'acide sulfurique (H_2SO_4)
 - de l'eau distillée
 - le carbonate de sodium (Na_2CO_3)
 - l'hydroxyde de sodium (NaOH)
 - l'acide acétique (CH_3COOH)
 - le méthyl orange
 - l'EDTA
 - l'ammoniaque (NH_3OH)
 - le chlorure de baryum (BaCl_2)
 - l'ériochrome noir
 - le chromate de potassium (K_2CrO_4)
 - l'indicateur Muriwide
- ainsi que les échantillons d'eau concernés par l'étude.

IV.2.4. Equipements de laboratoires



Figure IV.1: Turbidimètre



Figure IV.2: Spectrophotomètre



Figure IV.3: le pistolet de titrage

**Figure IV.4:** PH mètre**Figure IV.5:** Etalon du Ph**Figure IV.6:**Réactifs**Figure IV.7:** DPD**Figure IV.8:** Réactifs**Figure IV.9:** agitateur**Figure IV.10:** balance**Figure IV.11:** distillateur**Figure IV.12:** ctuve

IV.2.5. Normes de potabilité

Les normes définissant la potabilité de l'eau varient selon les législations en vigueur dans chaque pays, et ont pour objectif principal de protéger les catégories de population les plus vulnérables sur le plan sanitaire. Il est important de noter que ces normes ne sont pas fixes ni définitives, en raison de l'évolution constante de la qualité des eaux, notamment à cause du rejet croissant des eaux usées industrielles, qui augmente la quantité et la diversité des substances toxiques présentes.

Ainsi, l'approche actuelle consiste à évaluer les caractéristiques les plus significatives de l'eau, et à les comparer aux normes en vigueur, qu'elles soient nationales (algériennes) ou internationales, comme celles définies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Dans cette étude, nous nous sommes basés sur la norme algérienne. Après avoir effectué les analyses et vérifié leur cohérence avec l'équilibre ionique, nous avons comparé les résultats obtenus avec les valeurs de ces normes que nous avons choisies, afin de nous assurer de la conformité des échantillons pour l'approvisionnement en eau potable.

Tableau IV.1 : Normes d'eau potable selon les normes Algériennes (source ADE)

Parameters	Unités	Algérie
Turbidité	NTU	5
Température	°C	25
pH	pH	6,5 à 9
Conductivité	µs/cm (20°C)	2800
Résidu sec	mg/l	1500
Chlorures	mg/l	500
Sulfates	mg/l	400
Calcium	mg/l	200
Magnésium	mg/l	150
Sodium	mg/l	200
Potassium	mg/l	12
Nitrates	mg/l	50
Nitrites	mg/l	0,2
Ammonium	mg/l	0,5
Fer	µg/l	0.3
Manganèse	µg/l	-
Cuivre	µg/l	-
Zinc	µg/l	-
Fluore	µg/l	-
MES	µg/l	-
Cadmium	µg/l	-
Chrome	µg/l	-
Nickel	µg/l	-
Plomb	µg/l	-
Chlore	µg/l	-

Dureté	°F	50
Minéralisation	mg/l	250
Alcalinité	°F	-

IV.3. Qualité des eaux brutes osmosées et des eaux traitées

IV .3.1. Paramètres Physico-Chimiques

IV .3.1.1. Le potentiel hydrogène (pH)

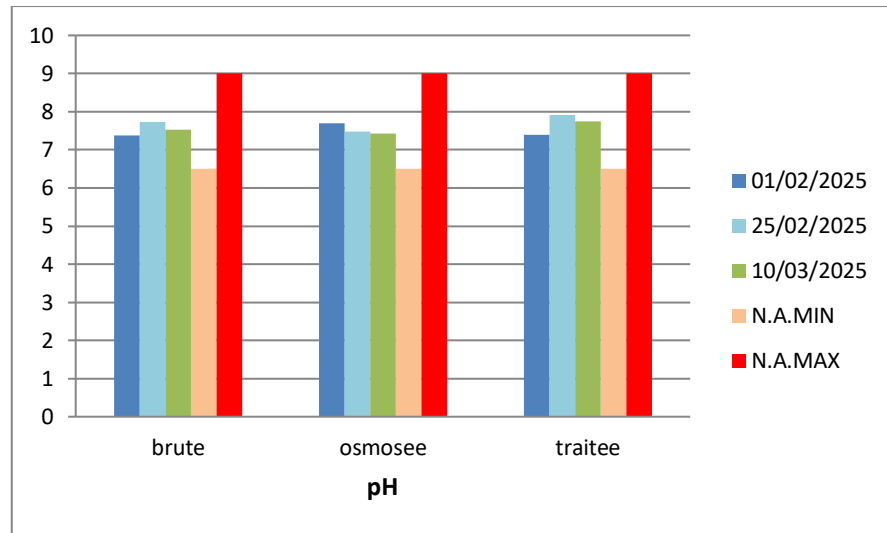


Figure IV.13: Valeurs du pH de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement.

Le pH est un indicateur de la concentration des ions hydrogène (H^+) dans une solution aqueuse, mesurée généralement en unité de molarité par litre. Les valeurs de pH reflètent le degré d'acidité ou d'alcalinité de la solution, fournissant des informations sur le niveau d'acidité ou d'alcalinité de l'eau. Les valeurs de pH de l'eau brute analysée et pendant ses différentes étapes de traitement se situent généralement entre 7,37 et 7,91, conformément aux normes de qualité de l'eau potable

IV .3.1.2. Température

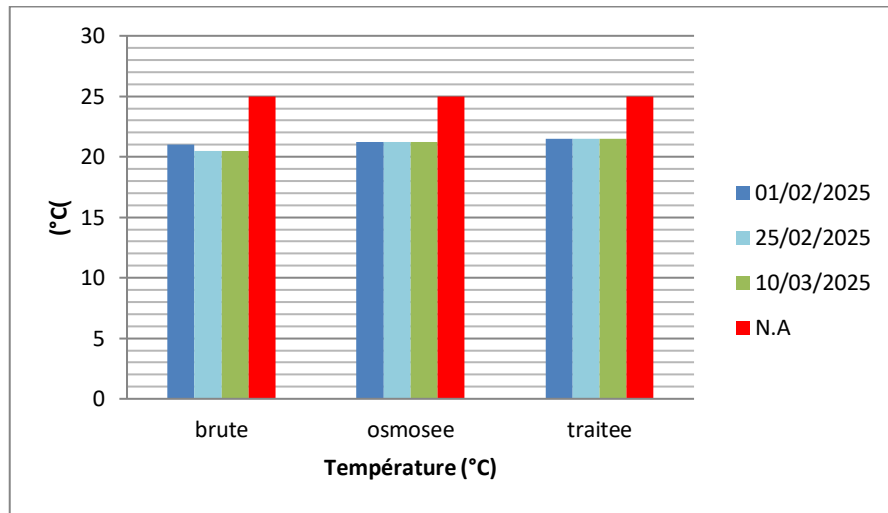


Figure IV.14: Valeurs de la température de l’eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement.

La température est un facteur écologique très important. Elle a une grande influence sur les propriétés physico chimiques des écosystèmes aquatique. Les résultats pour ce paramètre, obtenus durant les trois dates d’analyse : le 01 février, le 25 février et le 10 mars 2025.sont entre 21 et 22 °C pour l’eau brute et l’eau traitée, ces valeurs sont dans la norme Algériennes fixée 25 °C.

IV .3.1.3. Conductivité électrique (CE)

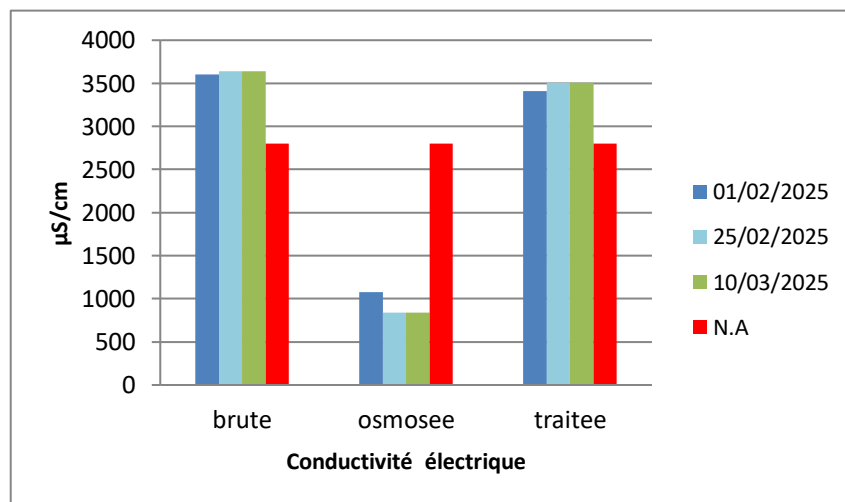


Figure IV.15: Valeurs du Conductivité de l’eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement

La conductivité électrique permet de mesurer le degré de minéralisation de l'eau. Dans la station de déminéralisation, on a constaté que l'eau brute est très minéralisée, avec des valeurs de conductivité pouvant atteindre 36400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Après traitement par osmose inverse, ces valeurs diminuent fortement, ce qui prouve l'efficacité du procédé pour éliminer les sels minéraux. Toutefois, quand l'eau devient trop peu minéralisée (en dessous de la norme algérienne de 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$), on procède à un mélange avec une petite quantité d'eau brute, afin d'atteindre un bon équilibre minéral.

En général, on mélange 75 % d'eau traitée avec 25 % d'eau brute pour obtenir une qualité d'eau potable conforme aux normes.

IV.3.1.4 Évolution de la turbidité

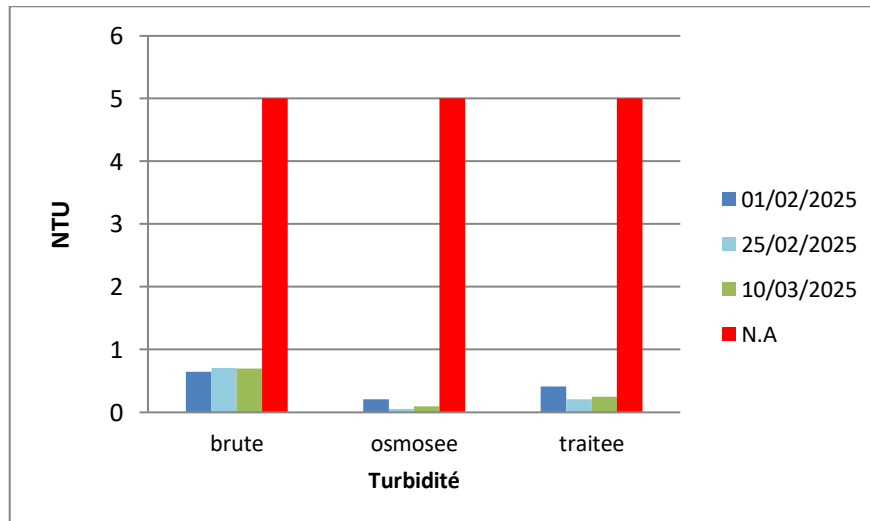


Figure IV.16. Valeurs du Turbidité de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement

La turbidité est l'une des propriétés les plus importantes que l'on peut être observé à l'œil nu. Elle est définie comme l'opposé de la clarté ou de la transparence (Tardat et Beaudry, 1984).

Les mesures de la turbidité dans les différentes eaux analysées ont été présentées sur trois périodes. Selon les résultats de l'analyse, les valeurs de la turbidité dans l'eau brute variaient entre 0,652 et 0,709 NUT au cours des trois périodes.

Pour l'eau filtrée à l'aide d'un filtre à sable, une réduction significative de la turbidité a été observée, avec des valeurs comprises entre 0,06 et 0,21 NUT après passage à travers les filtres à sable, indiquant une grande efficacité des filtres à sable dans l'élimination de la turbidité de l'eau souterraine.

En ce qui concerne la turbidité de l'eau brute et traitée par osmose inverse sont conformes à la norme de l'eau potable avec des valeurs inférieures à 5 NUT.

IV.3.1.5. Les solides dissous totaux (TDS)

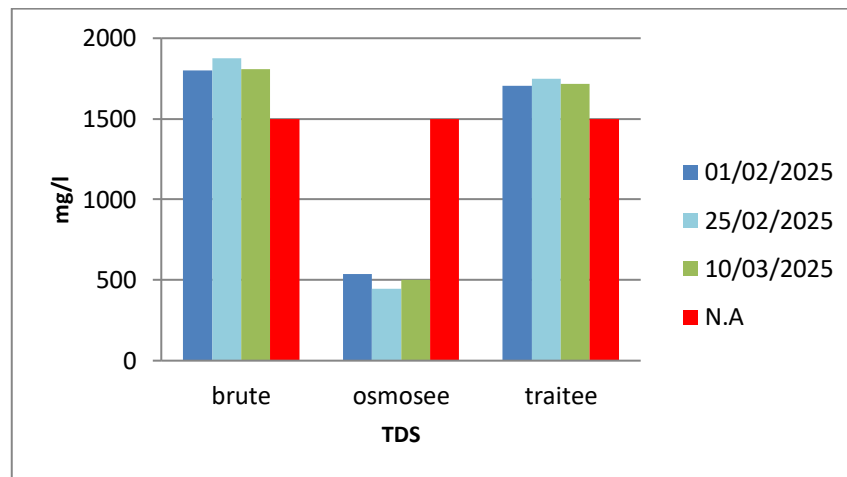


Figure IV.17. Valeurs du TDS de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement.

Le taux de TDS dans l'eau brute (brute) est généralement élevé, ce qui indique une forte présence des sels et de minéraux dissous dans cette eau. Après le passage par l'étape de l'osmose inverse (osmosee), ce taux diminue considérablement, ce qui témoigne de l'efficacité de la membrane d'osmose inverse dans l'élimination des solides dissous. Cependant, le taux de TDS augmente de nouveau dans l'eau traitée finale (traitee), ce qui peut être dû à un mélange avec une partie de l'eau brute, ou à certaines interventions réalisées en fin de traitement, comme l'ajustement du pH ou la reminéralisation. Ainsi, il apparaît clairement que l'osmose inverse joue un rôle central dans la réduction du TDS.

IV.3.1.6 Evolution de la salinité

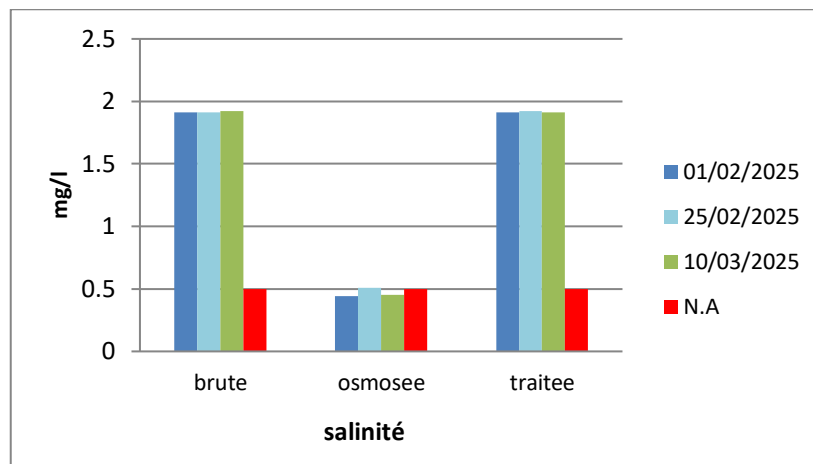


Figure IV.18 : Valeurs de la salinité de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement

La salinité fait référence à la quantité de sels dissous dans un liquide, et ce concept est principalement utilisé pour décrire la concentration en sels dans l'eau, étant donné que l'eau est un excellent solvant pour de nombreux minéraux. Des mesures de salinité ont été effectuées sur différentes eaux, analysées sur trois périodes. Les résultats ont montré des valeurs élevées de salinité dans l'eau brute, tandis qu'après l'étape d'osmose inverse, une forte réduction de la salinité a été observée dans l'eau osmosée, accompagnée d'une augmentation significative dans l'eau traitée. On peut donc conclure que la performance de la membrane d'osmose inverse, qui sépare les particules de sel de l'eau, est très efficace.

IV .3.2. Paramètres ioniques

Tous les échantillons chimiques ont été prélevés à la date indiquée **25/02/2025**

IV .3.2.1 Calcium (Ca^{2+})

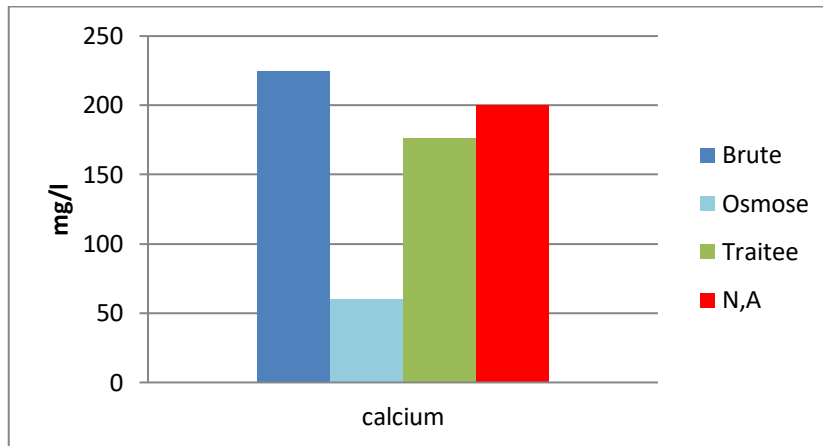


Figure IV.19. Valeurs des Calcium de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement.

On remarque que la concentration en calcium dans l'eau brute, qui est de 244 mg/L, est légèrement élevée par rapport aux normes algériennes. Lors de l'étape de l'osmose inverse, cette concentration a diminué, puis elle a de nouveau augmenté pour atteindre 176 mg/L après le traitement final.

Nous concluons donc que, malgré ces variations, la concentration en calcium reste conforme aux normes algériennes.

IV .3.2.2 Magnésium (Mg^{2+})

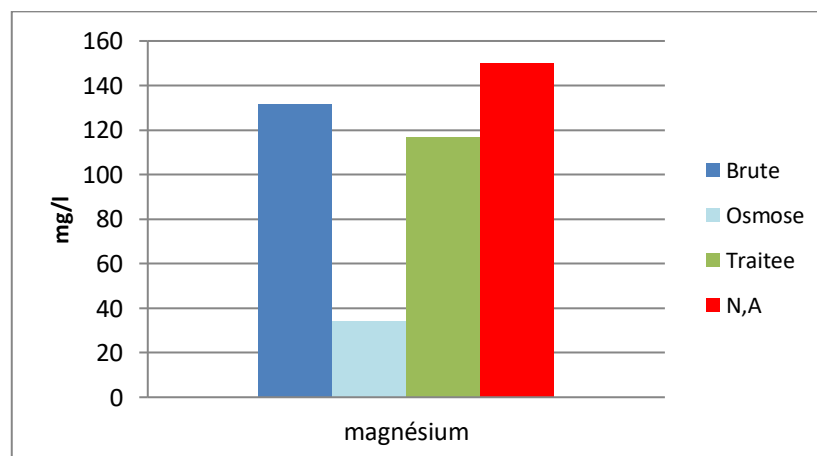


Figure IV.20: Valeurs des Magnésium de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement

On remarque que la concentration en magnésium dans l'eau brute, qui est de 131 mg/L, est légèrement élevée mais reste dans les limites des normes algériennes. Lors de l'étape de l'osmose inverse, cette concentration a diminué, puis elle a de nouveau augmenté pour atteindre 116 mg/L après le traitement final.

Ainsi, nous concluons que, malgré ces variations, la concentration en magnésium reste conforme aux limites autorisées par les normes algériennes.

IV .3.2.3 Potassium (K^+)

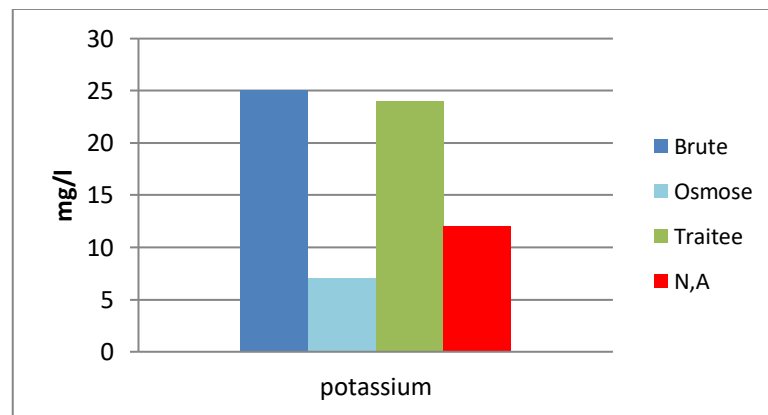


Figure IV.21: Valeurs du potassium de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement

On remarque que la concentration en potassium dans l'eau brute est élevée, atteignant 25 mg/L, elle a diminué à 7 mg/L lors de l'étape de l'osmose inverse, puis elle a de nouveau augmenté dans l'eau traitée pour atteindre 24 mg/L.

On trouve que le Potassium d'eau brute très élevée, et pour l'eau traitée à la sortie de la station pas stable avaleur maximale est 24mg/l. les valeurs de potassium non conforme à la norme.

IV .3.2.4 Sodium (Na^+)

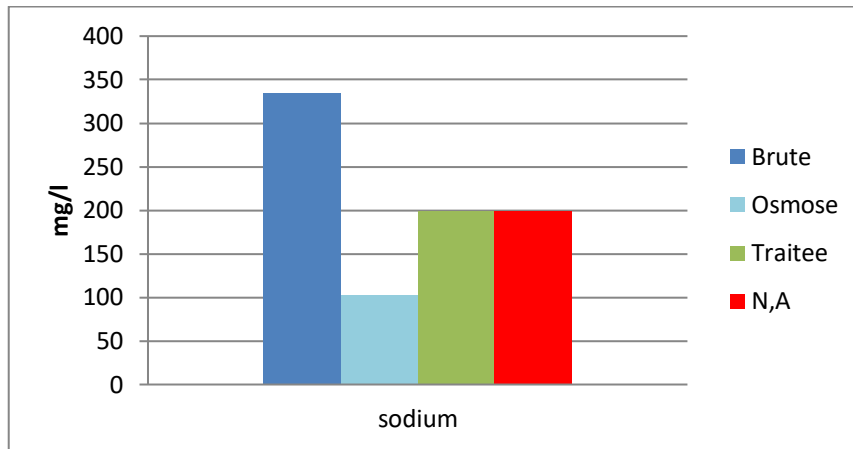


Figure IV.22: Valeurs du sodium de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement

On remarque que la concentration en sodium dans l'eau brute est élevée, atteignant 335 mg/L, puis elle diminue lors de l'étape de l'osmose inverse à 103 mg/L. Quant à l'eau traitée à la sortie de la station, la concentration se situe autour de 200 mg/L, ce qui correspond à la limite maximale fixée par les normes algériennes.

IV .3.2.5.Chlorures (Cl^-)

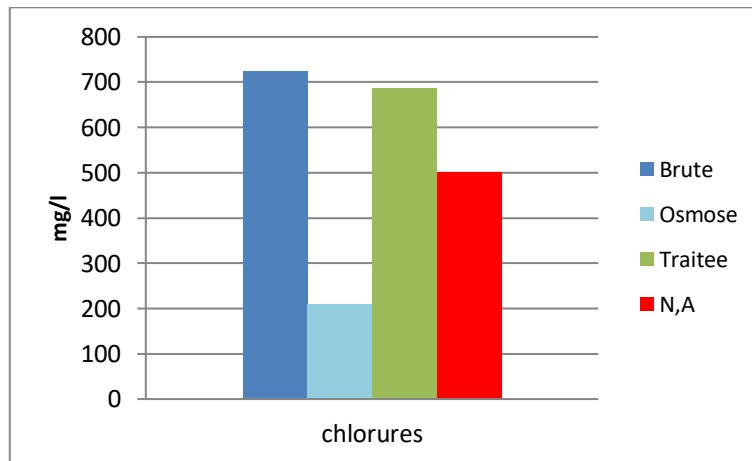


Figure IV.23 : Valeurs des Chlorures (Cl^-) de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement

On remarque que la concentration en chlorures dans l'eau brute est de 723,17 mg/l, tandis qu'elle a diminué dans l'eau issue de l'osmose inverse pour atteindre 209,95 mg/l. En revanche, dans l'eau traitée finale, elle a de nouveau augmenté pour atteindre 686,51 mg/l, dépassant les normes algériennes (N.A).

On constate que la teneur en chlorures dans l'eau brute est très élevée, tandis qu'elle reste conforme aux normes dans l'eau issue de l'osmose inverse. Cependant, la concentration en chlorures dans l'eau traitée à la sortie de la station est instable, et les valeurs des chlorures ne sont pas conformes aux normes algériennes en vigueur.

IV.3.2.6 Bicarbonates (HCO_3^-)

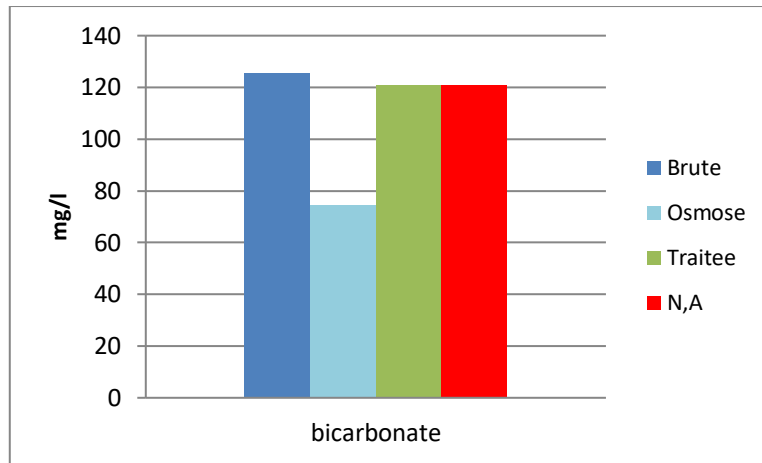


Figure IV.24: Valeurs des Bicarbonates de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement

On remarque que la concentration en bicarbonates dans l'eau brute était légèrement élevée, atteignant 125 mg/l. Lors de l'étape de l'osmose inverse, la concentration a diminué à 74,36 mg/l, tandis que dans l'eau traitée finale, elle a atteint 120 mg/l, ce qui est conforme aux normes algériennes fixant une limite maximale de 200 mg/l. Par conséquent, nous concluons que la concentration en bicarbonates dans l'eau brute et dans l'eau traitée reste dans les limites autorisées selon les normes algériennes en vigueur.

IV.3.2.7 Sulfate (SO_4^{2-})

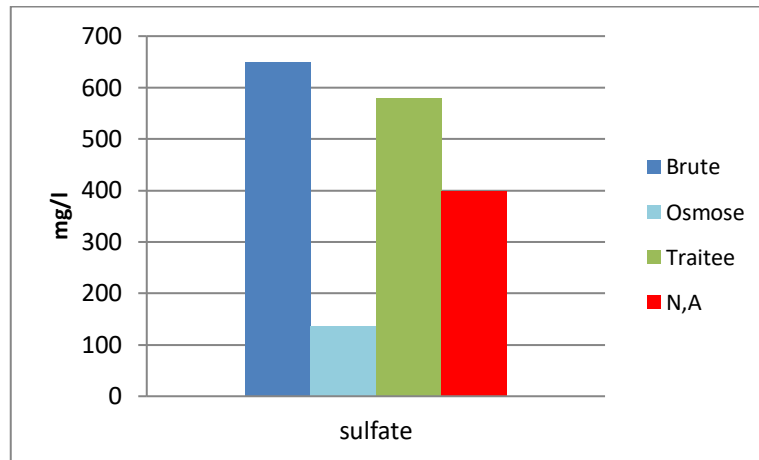


Figure IV.25. Valeurs des Sulfates de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement

Les valeurs de l'analyse des sulfates étaient de 650 mg/l pour l'eau brute, 136 mg/l pour l'eau d'osmose inverse, et 580 mg/l pour l'eau traitée, respectivement. Par conséquent, les résultats pour l'eau brute et l'eau traitée ne respectent pas la norme algérienne fixée à 400 mg/l.

IV.3.2.8 Nitrates (NO_3^-)

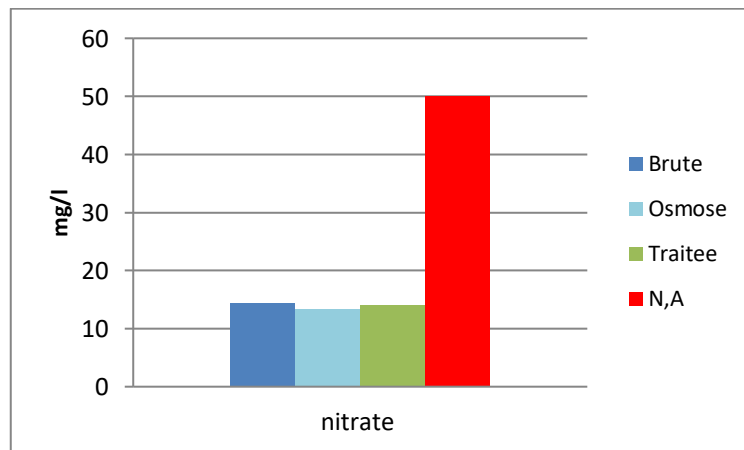


Figure IV.26. Valeurs du nitrate de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement

Les nitrates représentent la forme azotée la plus courante dans les eaux naturelles. Les concentrations en nitrates varient entre 14,4 mg/l dans l'eau brute, 13,4 mg/l dans l'eau

d'osmose inverse, et 14 mg/l dans l'eau traitée. Par conséquent, ces résultats ne dépassent pas la norme algérienne fixée à 50 mg/l.

IV .3.2.9 Titre Hydrotimétrique (TH)

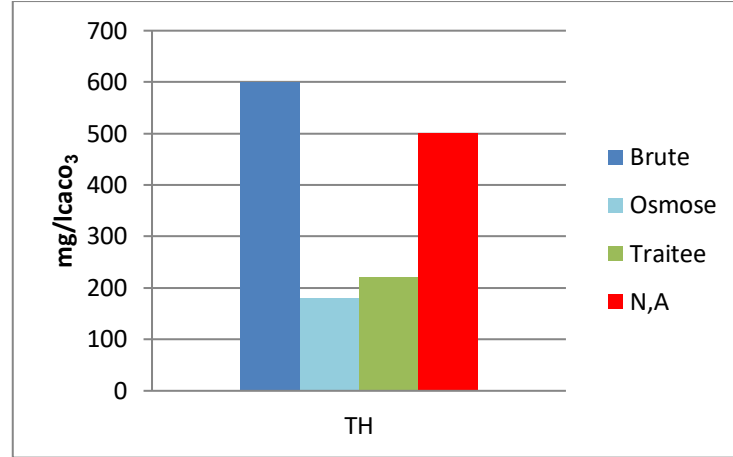


Figure IV.27: Valeurs du Titre Hydrotimétrique de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement

Les ions calcium et magnésium sont parmi les principaux responsables de la dureté de l'eau (TH). Nous remarquons à travers la figure que l'eau brute présente une dureté élevée estimée à 600 mg/L, une valeur qui dépasse la limite maximale fixée par les normes algériennes, soit 500 mg/L. Après traitement par osmose inverse, la dureté a diminué jusqu'à 180 mg/L, ce qui reflète l'efficacité de cette technique dans la réduction de la concentration des sels responsables de la dureté, notamment le calcium et le magnésium. À l'étape finale du traitement, la concentration de la dureté dans l'eau traitée a atteint 220 mg/L, une valeur considérée comme acceptable selon les normes. Ainsi, nous constatons que la dureté n'a pas dépassé les limites des normes algériennes de l'eau.

IV.3.2.10 Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

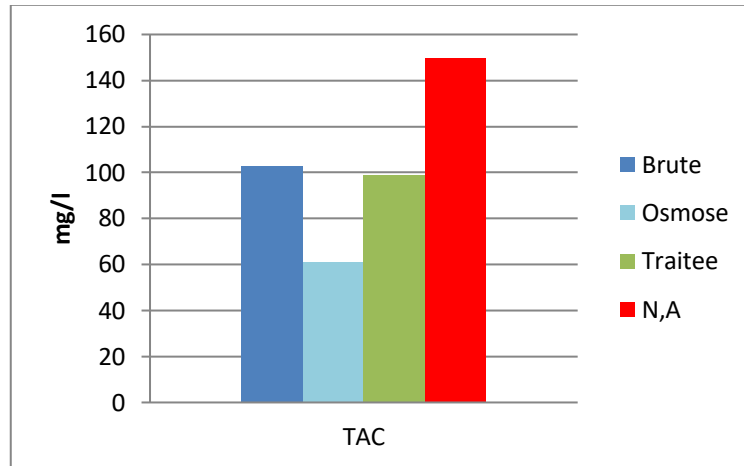


Figure IV.28: Valeurs du Titre alcalimétrique complet (TAC) de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement

L'alcalinité totale de l'eau est due à la présence des ions bicarbonates, carbonates et hydroxydes. Sa valeur dans l'eau brute a été enregistrée à 102,85 mg/L. Après le traitement par osmose inverse, elle a diminué à 60,95 mg/L, avant de remonter légèrement dans l'eau traitée finale pour atteindre 99,04 mg/L. Cette baisse notable au niveau de l'osmose reflète l'efficacité du procédé dans la réduction de l'alcalinité. En comparant ces résultats à la norme algérienne qui fixe la limite maximale à 150 mg/L, on constate que toutes les valeurs restent en dessous du seuil autorisé. Par conséquent, l'eau traitée est conforme aux exigences nationales.

IV .3.3. Paramètres indésirables et de pollution

Tous les échantillons indésirables et de pollution ont été prélevés à la date indiquée **25/02/2025**.

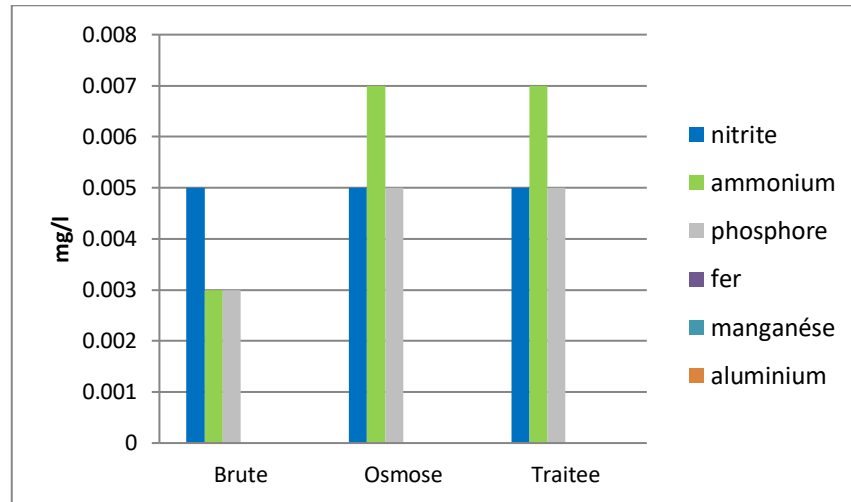


Figure IV.29: Valeurs des paramètres indésirables et de pollution de l'eau mesurées au niveau de différents points de prélèvement.

On remarque que la concentration en nitrites reste stable de l'eau brute jusqu'à l'eau traitée finale, ce qui traduit une bonne stabilité de ce paramètre et l'absence de pollution à ce niveau. En ce qui concerne l'ammonium et le phosphore, une légère augmentation est observée après l'étape de l'osmose inverse, sans pour autant dépasser les seuils admissibles. Cela peut s'expliquer par des réactions internes au sein du système ou des effets secondaires liés au procédé de traitement. Par ailleurs, les colonnes représentant le fer, le manganèse et l'aluminium restent nulles tout au long du processus, indiquant l'absence totale de ces métaux dans l'eau. C'est un signe positif reflétant une bonne qualité de l'eau sur le plan minéral. Globalement, les colonnes montrent clairement l'efficacité du traitement dans la maîtrise de ces substances et dans la production d'une eau conforme aux normes.

IV .4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons tenté d'évaluer la station de traitement des eaux souterraines de Ouargla, qui repose sur la technologie de l'osmose inverse. Nous avons analysé un

ensemble de caractéristiques physiques et chimiques de l'eau telles que le pH, la conductivité, la salinité, les solides dissous totaux (TDS) et la turbidité, à différentes étapes du traitement. Les résultats ont été présentés sous forme de diagrammes en barres et comparés aux normes algériennes de l'eau potable. Il s'est avéré que la majorité des valeurs étaient conformes ou très proches des limites autorisées, ce qui confirme que l'eau traitée est propre à la consommation et que la station fonctionne efficacement. Nous avons également abordé certains paramètres indésirables et indicateurs de pollution, afin de vérifier l'absence de contaminants susceptibles de présenter un risque pour la santé.



Conclusion Générale

Conclusion Générale

Cette recherche vise à évaluer l'efficacité de l'élimination des métaux présents dans l'eau en utilisant la technique de l'osmose inverse, à travers le suivi des caractéristiques physiques et chimiques, des paramètres indésirables ainsi que des niveaux de pollution de l'eau brute, de l'eau osmosée et de l'eau traitée, au niveau de la station de dessalement des eaux souterraines connue sous le nom de station "Ifri".

Lorsque l'eau potable est distribuée directement depuis les forages, sans tenir compte de ses propriétés physico-chimiques, sa qualité est souvent non conforme aux normes établies, qu'elles soient nationales ou internationales. Le taux de salinité peut atteindre jusqu'à 2 g/L, ce qui entraîne divers désagréments pour les citoyens, notamment à long terme, la formation de dépôts calcaires dans les réseaux internes et externes, ainsi que la détérioration d'équipements domestiques comme les chauffe-eaux.

La mise en œuvre de projets de développement et d'amélioration des stations de traitement des eaux a permis d'enregistrer une amélioration significative de la qualité de l'eau distribuée dans le réseau public. Cette amélioration a eu un impact positif sur la vie quotidienne des citoyens, en réduisant les problèmes de santé liés à la consommation d'une eau non conforme et en limitant l'usure et la dégradation des appareils ménagers causées auparavant par la mauvaise qualité de l'eau.

Les observations sur terrain et les mesures réalisées ont permis une comparaison précise entre l'eau brute et l'eau traitée. On a constaté une baisse de la salinité à moins de 0,6 g/L, ainsi qu'une nette amélioration de plusieurs paramètres tels que la turbidité, la conductivité électrique et les résidus secs. Toutefois, certaines valeurs restent encore en dehors des normes fixées par l'Organisation mondiale de la santé.

Il est également apparu que le succès du procédé d'osmose inverse ne dépend pas uniquement des membranes ou des équipements utilisés, mais repose principalement sur l'efficacité des étapes de prétraitement, notamment la filtration sur sable, le traitement chimique ciblé et le réglage du pH. De plus, la maintenance régulière et la bonne formation du personnel jouent un rôle fondamental dans la durabilité de la performance de la station et dans la prévention des pannes et obstructions.

Sur la base des résultats obtenus, il ressort que l'assurance d'un approvisionnement durable en eau potable de qualité dans les régions sahariennes nécessite l'adoption d'une stratégie intégrée, alliant performance technique et gestion efficiente des stations de traitement. Les résultats de cette étude ouvrent également des perspectives prometteuses pour l'amélioration future de la conception et de l'exploitation de ces installations, dans le cadre de la réalisation des objectifs du développement durable et du respect du droit fondamental de chaque citoyen à une eau propre et sûre.

Référence

- [01] : 01-Baromètre 2020 de l'eau de l'hygiène et de l'assainissement .l'eau en crise (s).29
- [02] : Bedjera, S., & Ben Amor, G. Suivi Contrôle De La Qualité Des Eaux Traitée Par La Station De Déminéralisation D'IFRI GARA A La Ville De Ouargla (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah Ouargla).
- [03] : Unicef, (2010). Water quality assessment and monitoring, (6), 1–4
- [04] : Boukhadra, H. Qualite Des Eaux Souterraines De La Nappe Alluvionnaire De Guelma. (2023).
- [05] : Lounnas, A.: Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi–Kroma de Skikda, Algérie. Mémoire de magister, Université du 20 Aout 1955 Skikda, p120. (2008)
- [06] : G. Khemis et A. Mehemed. Suivi qualitatif de la station de traitement des eaux par osmose inverse ifri s5 w.ouargla. Mémoire de Master univesité Ouargla.2021/2022)
- [07] : Gattouche.Kh et Amoumene.M. Suivi qualitatif de la station de traitement des eaux par osmose inverse ifri s5 w.ouargla. Mémoire de Master univesité Ouargla.2021/2022)
- [08] : Meziani.I Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique de l'eau de la moyenne Seybouse. (2015).
- [09] : RAMDANI, A. E. Contribution à l'étude Hydro-chimique de Champ de Captage de l'eau Souterraine à la Région de TAIBET (Doctoral dissertation).
- [10] : A.Lamaa, Eau: Étude Physico-Chimique et Bactériologique Et Développement d'un Système de Traitement (membrane à Base de Charbon Actif) (2019).
- [11] : M.NADA. Analyse de l'eau de la source Toumia de Sebaa-Ayoune . Mémoire de Master univesité UNIVERSITE 08 MAI 45 GUELMA (2020).
- [12] : Banc, C. Interactions matière organique contaminants inorganiques dans des dépôts de solutions de traitement des eaux fondées sur la nature: Approche combinée ultrafiltration-modélisation (Doctoral dissertation, Université de Lyon) (2021).

- [13] : Amichi, Z., & Amiri, K. *Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de la source Thabout «Ouadhias, Wilaya de Tizi-Ouzou»* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri) (2020).
- [14] : SAVARY P. Guide des analyses de la qualité de l'eau. Edition : Territorial Voiron, 261 p. 2010.
- [15] : SAMAKE H., Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako. Thèse de doctorat. Mali, 77p (2002).
- [16] Meryem, A. Analyse de la qualité des eaux de la station de Hammam Debagh Mémoire de Master univesité UNIVERSITE 08 MAI 45 GUELMA (2021).
- [17] Lamaa, A. Eau: Étude Physico-Chimique et Bactériologique Et Développement d'un Système de Traitement (membrane à Base de Charbon Actif). Mémoire de Master univesité UNIVERSITE 08 MAI 45 GUELMA (2019).
- [18] Bedjera, S., & Ben Amor, G. *Suivi Contrôle De La Qualité Des Eaux Traitée Par La Station De Déminéralisation D'IFRI GARA A La Ville De Ouargla* (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah Ouargla).
- [19] N. OUBAGHA, Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétique, Mémoire de Magister en chimie de l'environnrmnt, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 2011, P (6, 10, 11).
- [20] M. BENNANA, Étude de la pollution de l'eau et du littoral du lac de Hassi ben Abdellah, Mémoire de Master, Universite Kasdi Marbah Ouargla, 2013, P (6, 7).
- [21] : EL HRAIKI, A., MAROUANE, A., LAMHAOUS, H., & BENGOUMI, M. (2021). Qualité de l'eau de boisson et impact sur la solubilité des médicaments vétérinaires en aviculture. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 9(3).
- [22] : Ouhssain.M et Arrili.E. Financement des projets de dessalement des eaux.Séminaire International sur : le dessalement eaux : une opportunité pour les régions en pénurie d'eau ?,8-10 mai 2009 : Tenger : AIGR. 2009. pp 113-118
- [23] : Gaid, K., & Treal, Y. (2007). Le dessalement des eaux par osmose inverse: l'expérience de Véolia Water. *Desalination*, 203(1-3), 1-14.
- [24] : Maurel. A. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2e édition, Paris.2006.

- [25] RAYMONDDES J. Le traitement les eaux .3 Ed, l'école polytechnique de Montréal. (1990)
- [26] HABET. Contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement : cas du littoral de Boumerdes. 2010. Thèse de magister : traitement des effluents industriels : génie d'environnement : Université Boumerdes
- [27] Benaissa.A.Optimisation des conditions opératoires de l'extraction de La (III), Cd (II) et Pb (II) par les résines Lewatit TP 207, 214 et 260. 2017. these de doctorat : chimie analytique et environnement : UniversitéTlemcen.
- [28] KARABI, N., & GUENNOUN, K. *Etude comparative entre deux techniques de déminéralisation des eaux «Osmose inverse et électrodialyse»* (Doctoral dissertation). Université KASDI MERBAH OUARGLA Mémoire Master (2019)
- [29] Samaké .O.Analyse thermo-économique d'un système de de dessalement par thermo compression vapeur et conception et conception de l'éjecteur. Thèse de doctorat : université Canada(2016).
- [30] Maurel. A. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2e édition, Paris.2006
- [31] <https://energieplus-lesite.be/techniques/sterilisation5/osmoseur-inverse/>
- [32] BERLAND.J. JUERY.C. Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau.
- [33] Ouargli, Y., & Djerid, M. *Étude de déminéralisation et traitement des eaux dans la région de Ouargla. Cas station de Ben Amor* (Doctoral dissertation, UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA).
- [34] DAHMANI .T étude computationnelle de la déminéralisation des eaux par osmose inverse.2017.mém master : chimie physique et analytique
- [35] : Beggari, B., & Hallali, F. *Suivi Des Stations De Demineralisation A Ouargla (Les Neuf Stations)* (Doctoral dissertation).
- [36] : guides statistiques wilaya de Ouargla O.N.S (office national statistique) édition pages 05 (2008) .
- [37] : Mémoire technique de marché Etude, Réalisation, Exploitation et Assistance pour la maintenance de(09) neuf stations de Déminéralisation d'eau à Ouargla. E.P Algérienne des eaux, Alger page 03 (2008).

[38] : Notice De Fonctionnement De La Station Destinee Aux Operateurs Et Personnel De Maîtrise AQA-S5-ENS-NF-B-001-C ALGÉRIENNE DES EAUX (ADE).