



Faculty of Sciences and Technology

Department of Process Engineering

Ref :...../U.M/F.S.T/2026

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم هندسة الطرائق

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2026

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**

Option : **GÉNIE DES PROCÉDÉS DE L'ENVIRONNEMENT**

THÈME

**Évaluation comparative de la qualité physico-chimique et
bactériologique des eaux dessalées et des eaux minérales : vers une
stratégie d'amélioration pour un usage médical au sein de l'ADE**

Présenté par

- 1- HAMDOUN Nadjma
- 2- KRIDECH Chaimae

Soutenu le/05/ 2026 devant le jury composé de :

Président :	ZIANE Samira	Professeure	Université de Mostaganem
Examineur :	BELHOUARI Houria	MAA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	BENATMANE Saadiya	Professeure	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2025/2026

Dédicace

Je souhaite dédier ce travail aux personnes chères à mon cœur.

A ma **mère**, lumière bienveillante sur mon chemin, source inépuisable de douceur et d'amour.

A mon **père**, en témoignage de mon affection, de ma reconnaissance profonde et de ma gratitude pour son soutien indéfectible et les sacrifices qu'il a consentis pour moi.

A mes fidèles amis **Rabeh, Souhila, Ikram et Nedjma**, pour l'amitié sincère et les moments partagés ; ce travail vous est également dédié, avec l'espoir d'un avenir prometteur pour chacun de vous.

KRIDECH CHAIMAE

Dédicace

Je dédie mon travail

À mes très chers **parents**,

Pour leur amour infini, leur soutien constant et leurs sacrifices inestimables.

Aucune expression ne saurait traduire ma gratitude et mon respect envers vous.

À mon frère **Fares** et ma sœur **Yamina**.

Pour leur présence, leurs encouragements et leur confiance tout au long de mon parcours.

A mon cher ami **Brahim** qui a su illuminer mon chemin par son soutien et son encouragement constant.

À mon binôme **Chaimae**

À tous ceux qui m'ont aidée de près ou de loin à réaliser ce travail.

HAMDOUD NEDJMA

Remerciements

Avant tout, nous remercions **DIEU** qui a illuminé notre chemin et qui nous a armés de courage pour achever nos études. Tout d'abord nos respectueux remerciements à tous les membres du jury, mesdames **ZIANE SAMIRA** et **BELHOUARI HOURIA** qui nous ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de notre travail.

Nous remercions chaleureusement notre encadrante **BENATMANE SAADYA** de nous avoir orientés par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.

Nous ne manquerons pas de remercier M^r **BENDBISA MOHAMED**, chef de laboratoire de l'ADE de Mostaganem. Sans oublier tous nos enseignants et toute la promotion **GENIE DE PROCEDES DE L'ENVIRONNEMENT 2025-2026** on vous remercie tous pour cette année et un grand merci à tous ce qui nous a aidés de près ou de loin.

Résumé :

La présente étude porte sur la comparaison de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau dessalée et de certaines eaux minérales, dans le but d'évaluer leur aptitude à un usage médical au sein de l'Algérienne des Eaux (ADE). L'analyse physico-chimique montre que l'eau dessalée se caractérise par une très faible minéralisation, une faible conductivité et un pH légèrement acide, tandis que les eaux minérales présentent une composition plus riche en sels minéraux, mais variable selon la source. Sur le plan bactériologique, l'eau dessalée, après traitement adéquat, offre une meilleure sécurité microbiologique, contrairement aux eaux minérales qui peuvent être sujettes à des contaminations ponctuelles.

Toutefois, aucune de ces eaux n'est directement adaptée à un usage médical sans traitement complémentaire. L'eau dessalée nécessite une reminéralisation pour corriger son déséquilibre chimique, tandis que les eaux minérales requièrent un contrôle microbiologique rigoureux. En conséquence, cette étude propose une technique d'amélioration basée sur une combinaison de procédés incluant l'osmose inverse, la reminéralisation contrôlée, la désinfection par rayonnement ultraviolet et la filtration membranaire. Cette approche permet d'obtenir une eau stable, conforme aux normes sanitaires, et adaptée aux exigences des applications médicales.

Mots-clés: Eau dessalée, Eaux minérales, Qualité physico-chimique, Analyse bactériologique, Usage médical

Summary :

This study focuses on the comparative assessment of the physicochemical and bacteriological quality of desalinated water and selected mineral waters, with the aim of evaluating their suitability for medical use within the Algerian Water Authority (ADE). Physicochemical analysis reveals that desalinated water is characterized by very low mineral content, low conductivity, and slightly acidic pH, whereas mineral waters exhibit higher mineralization levels with variable composition depending on their source. From a bacteriological perspective, properly treated desalinated water ensures a higher level of microbiological safety, while mineral waters may be subject to occasional contamination. However, neither type of water is directly suitable for medical applications without additional treatment. Desalinated water requires remineralization to restore chemical balance, whereas mineral water demands strict microbiological control. Therefore, this study proposes an improvement approach based on a combination of advanced treatment processes, including reverse osmosis, controlled remineralization, ultraviolet disinfection, and membrane filtration.

This integrated system enables the production of stable, safe, and high-quality water that complies with health standards and meets the stringent requirements of medical applications.

Keywords: Desalinated water, Mineral water, Physicochemical quality, Bacteriological analysis, Medical use.

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى إجراء مقارنة بين الجودة الفيزيائية-الكيميائية والبكتريولوجية لكل من المياه المحلاة وبعض المياه المعدنية، وذلك لتقييم مدى ملاءمتها للاستعمالات الطبية على مستوى المؤسسة الجزائرية للمياه (ADE). أظهرت النتائج الفيزيائية-الكيميائية أن المياه المحلاة تتميز بضعف شديد في التمعدين وانخفاض التوصيلية الكهربائية مع درجة حموضة تميل إلى الحموضة الخفيفة، في حين تتميز المياه المعدنية بتركيب غني بالأملاح المعدنية، لكنه يختلف حسب مصدرها. أما من الناحية البكتريولوجية، فإن المياه المحلاة بعد المعالجة المناسبة توفر مستوى عالياً من السلامة الميكروبيولوجية، في حين قد تتعرض المياه المعدنية إلى تلوّثات عرضية.

ومع ذلك، لا تعد أي من هاتين الفئتين من المياه مناسبة بشكل مباشر للاستعمال الطبي دون معالجة إضافية. إذ تتطلب المياه المحلاة إعادة تمعدن لضبط توازنها الكيميائي، بينما تحتاج المياه المعدنية إلى مراقبة ميكروبيولوجية صارمة. وعليه، تقترح هذه الدراسة تقنية تحسين تعتمد على دمج عدة عمليات معالجة متقدمة، تشمل التناضح العكسي، وإعادة التمعدين المضبوطة، والتطهير بالأشعة فوق البنفسجية، والترشيح العشائي. وتسمح هذه المنظومة بإنتاج مياه مستقرة وآمنة وذات جودة عالية، مطابقة للمعايير الصحية، ومناسبة للاستخدامات الطبية.

الكلمات المفتاحية: لمياه المحلاة، المياه المعدنية، الجودة الفيزيائية والكيميائية، التحليل البكتريولوجي، الاستعمال الطبي.

Liste des figures :

Figure I.1 : répartition des masses d'eau sur terre	3
Figure I.2 : le cycle de l'eau dans la nature	4
Figure I.3 : les eaux de pluie	6
Figure I.4 : les eaux de surfaces	6
Figure I.5 : les eaux souterraines.....	7
Figure I.6 : les eaux de mer	7
Figure I.7 : laboratoire de l'ADE	11
Figure II.1 : schéma général des différents procédés de dessalement	14
Figure II.2 : Principe de l'osmose inverse.	16
Figure III.1 : appareil multi paramètres	20
Figure III.2. Solution EDTA 0.01 mol/l.....	21
Figure III.3. Indicateur murexide	22
Figure III.4. gelose slanetz et bartley.....	35
Figure III.5. gelose TGEA.....	36
Figure III.6. pH	37
Figure III.7. CHLORURES.....	37
Figure III.8. NITRITES.....	37
Figure III.9. NITRATES	38
Figure III.10. SULFATES.....	38
Figure III.11. POTASSIUM.....	39
Figure III.12. CALCIUM	40
Figure III.13. MAGNESIUM.....	40
Figure IV.1 : schéma du système de reminéralisation du contacteur calcaire typique	44

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : masse volumique de l'eau en fonction de la température.....	8
Tableau I.2 : viscosité de l'eau en fonction de la température.....	9
Tableau I.3 : viscosité de l'eau en fonction de la salinité.....	9
Tableau III.1. Les normes physico chimiques.....	18
Tableau III.2. Les normes bactériologiques.....	19
Tableau III.3 : Courbe d'étalonnage.....	27
Tableau III.4 : Les échantillons troubles ou colorés doivent passer par un filtre de 0.45 µm. (Calibration).....	30
Tableau III .5: Etablissement de la courbe d'étalonnage (Dans une série de capsules de 100 ml introduire successivement).....	31
Tableau III.6 : résultats chimiques.....	36
Tableau III.7 : Résultats et discussions bactériologique	40

Liste des abréviations :

ADE : Algérienne Des Eaux

pH : potentiel hydrogène

EDTA : Acide éthylènediaminetétraacétique

NaOH : Hydroxyde de sodium

HCl : Acide chlorhydrique

KCl : Chlorure de potassium

CaCO₃ : Carbonate de calcium

MSF : Multi-Stage Flash (détentes multiples)

MED : Multi-Effect Distillation (effets multiples)

MVC : Mechanical Vapor Compression (compression de vapeur)

Tca²⁺ : Teneur en calcium

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TA : Titre Alcalimétrique

TH : Titre Hydrotimétrique

Fe : Facteur de correction

Fc : Facteur de correction (calcul)

mg/L : milligramme par litre

mol/L : mole par litre

mL : millilitre

°C : degré Celsius

mpa/s : millipascal par seconde

Sommaire :

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : Généralités sur l'eau.....	2
I.1. INTRODUCTION	3
I.2. DEFINITION DE L'EAU	3
I.2.1. LE CYCLE DE L'EAU.....	4
I.2.2. L'IMPORTANCE DE L'EAU.....	5
I.2.2.a. pour la biodiversité	5
I.2.2.b. pour l'homme	5
I.3. LES TYPES DE L'EAU.....	5
I.3.1. Les eaux de pluie.....	5
I.3.2. Les eaux de surface	6
I.3.3. Les eaux souterraines	6
I.3.4. Les eaux de mer.....	7
I.4. LES PROPRIETES DE L'EAU	8
I.4.1. Propriétés physiques.....	8
I.4.1.a. la masse volumique	8
I.4.2. Propriétés thermiques.....	8
I.4.2.a. La viscosité	8
I.4.2.b. la tension superficielle.....	9
I.5. L'ALGERIENNE DES EAUX MOSTAGANEM.....	10
I.6. LES DIFFERENTES RESSOURCES D'ALIMENTATION DE MOSTAGNEM.....	10
I.7. LABORATOIRE	10
I.7 ORGANISATION DE LABO	11
I.7.1. Le personnel	11
I.7.2. Machines et équipements	11
I.7.2.a Service bactériologique.....	11
I.7.2.b Service physico-chimique.....	11
I.8. CONCLUSION.....	12
CHAPITRE II : Traitement de l'eau dessalée	13

II.1. INTRODUCTION.....	14
II.2. PROCEDES DE DESSALEMENT	14
II.3. METHODES DE DESSALEMENT	14
II.4. OSMOSE INVERSE	15
II.4.1 Définitions.....	15
II.4.2. Principe	15
II.5. OBJECTIF DE TRAVAIL	16
II.6. CONCLUSION	16
CHAPITRE III : méthodes, résultats et discussions	17
III.1. INTRODUCTION.....	18
III.2. LES NORMES PHYSICO CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES.....	18
III.3. LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUE.....	19
III.3.1. Potentiel Hydrogène (pH).....	19
III.3.2. Teneur en calcium (Ca ²⁺)	20
III.3.3. Titre Alcalimétrique (TA) / Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	22
III.3.4. Titre Hydrotimétrique (TH).....	23
III.3.5. NITRITES (NO ₂ ⁻)	25
III.3.6. CHLORURES (Cl ⁻).....	27
III.3.7. SULFATES (SO ₄ ²⁻).....	28
III.3.8. NITRATES (NO ₃ ⁻).....	30
III.3.9. RESIDUS SECS	31
III.3.10. POTASSIUM (K ⁺).....	32
III.3.11. MAGNESIUM (Mg ²⁺).....	33
III.4. LES PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES	34
III.4.1. Recherche des coliformes totaux	34
III.4.2. Recherche de coliformes fécaux	34
III.4.3. Recherche des streptocoques fécaux	34
III.4.4. Recherche des germes totaux	35
III.4.5. recherche des clostridium (sulfite-réductase).....	35
III.5 RESULTATS ET DISCUSSIONS	36
III.6. CONCLUSION	41
CHAPITRE IV : Technique d'amélioration de l'eau dessalée	42

IV.1. INTRODUCTION	43
IV.2. LA REMINERALISATION PAR CALCITE	43
IV.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	43
IV.4. LES ETAPES DE LA REMINERALISATION PAR CALCITE	43
IV.4.1. Ajustement du pH.....	43
IV.4.2. Passage dans le lit de calcite.....	43
IV.4.3. Réaction chimique	44
IV.4.4. Augmentation de la minéralisation.....	44
IV.4.5. Temps de contact.....	44
IV.4.6. Sortie de l'eau traitée.....	44
IV.4.7. Ajustement final du pH	44
IV.5. CONCLUSION	44
CONCLUSION GENERALE	46

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La majeure partie de la terre est couverte d'eau, qui représente environ 71 % de sa surface. C'est pourquoi elle est parfois appelée la planète bleue ou le volume d'eau est d'environ 1,4 milliard de kilomètres cubes.

L'eau fait partie de la terre et de l'air. L'eau est utilisée pour beaucoup de choses dans notre vie quotidienne, comme le lavage, la fabrication et la culture de la nourriture. Cela signifie que l'eau peut se salir de différents types de pollution. La pollution rend difficile d'obtenir assez d'eau propre à boire.

L'eau que les gens boivent est sans danger, si elle n'a pas de produits chimiques nocifs ou de choses vivantes. Sensible à plus long terme ou moins la santé des individus. Selon Oms, chaque année 1,8 million de personnes, dont 30 % sont des enfants de moins de cinq ans, la plupart d'entre elles vivant dans des pays en développement meurent de maladies diarrhéiques (y compris le choléra), 88 % des maladies diarrhéiques sont dues à une mauvaise qualité, à l'eau, à un assainissement inadéquat et à une hygiène médiocre.

Dans cette étude, plusieurs aspects liés à la qualité de l'eau potable sont abordés, d'abord les généralités sur l'eau, ses principales caractéristiques et son importance pour la vie et la consommation humaine. L'organisation hôte présentera également son travail de gestion et de distribution de l'eau potable dans une présentation.

L'eau produite à partir de sel est traitée de manière spéciale, expliquant comment elle est faite et quelles méthodes sont utilisées pour l'améliorer. L'étude examine et explique également les résultats des tests qui mesurent les propriétés physiques et chimiques et la présence de bactéries dans les échantillons d'eau. On suggère des façons de rendre l'eau dessalée meilleure et plus sûre pour les gens à boire.

CHAPITRE I

Généralités sur l'eau

I.1. INTRODUCTION

L'eau est vitale pour les gens et leur travail. Les gens ont besoin d'eau pour beaucoup de choses, comme l'agriculture, faire des choses, et vivre à la maison. L'eau aide les gens de différentes façons, comme la culture, la fabrication de produits, et l'utilisation de l'eau à la maison. Seule une petite partie de l'eau sur Terre est de l'eau douce que nous pouvons utiliser. Beaucoup d'endroits dans le monde ont du mal à obtenir de l'eau propre à boire, surtout dans les zones sèches et chaudes. Nous devons vérifier la propreté de l'eau et sa façon d'utiliser celle-ci avec sagesse, ce qui nous aidera à protéger cette ressource importante pour l'avenir [1].

I.2. DEFINITION DE L'EAU

L'eau n'est pas très intéressante, mais elle a des qualités étonnantes et surprenantes. Les choses vivantes ont besoin de cette chose même si elle n'a pas beaucoup de bien pour elles. Quand il fait froid, il devient plus grand. Il ne se réduit pas quand il fait froid, contrairement à la plupart des autres choses. Il devient solide et flotte sur un liquide quand il refroidit.

La majeure partie de l'eau (97 %) se trouve dans l'océan est trop salée pour être utilisée par les humains. Seule une petite quantité d'eau qui n'est pas salée peut être utilisée par les gens (figure I.1). La plupart de la glace est dure et non liquide. Eau biologique. Une petite partie de cette quantité de 31,4 % existe dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau [2].

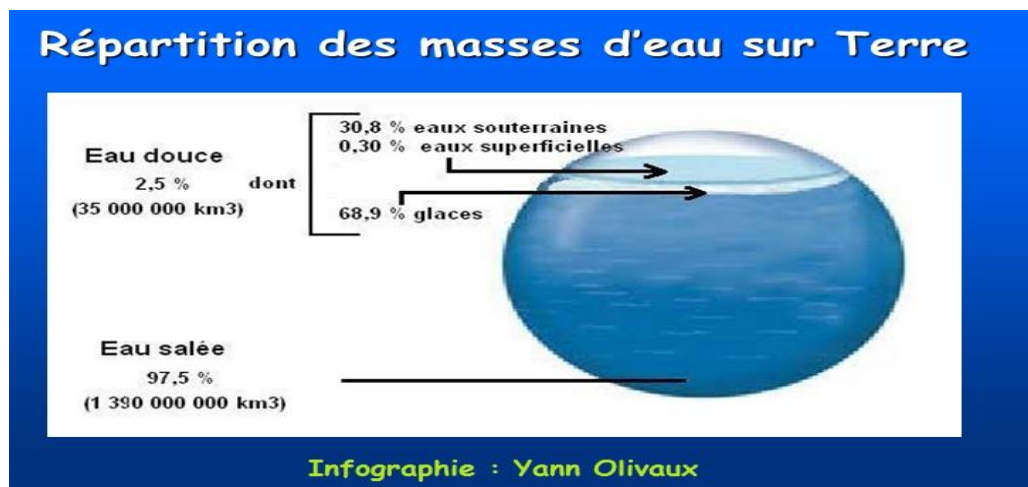


Figure I.1 : répartition des masses d'eau sur terre [3]

I.2.1. LE CYCLE DE L'EAU

Le cycle de l'eau et le mouvement de l'eau dans l'air sont reliés. C'est l'élément régulateur principal du climat sur terre. La lumière du soleil fait de l'eau se transformer en gaz des océans, des lacs et des zones humides. Environ 450 millions de milliards de litres d'eau des océans et 70 000 kilomètres d'eau du sol se transforment en vapeur. L'air humide, plus léger que l'air sec, monte et refroidit dans l'atmosphère. La vapeur d'eau se condense alors comme des nuages et tombe sous forme de pluie ou de neige.

Beaucoup d'eau monte dans l'air depuis la terre. La neige et la glace qui tombent sur la terre ou qui fondent et gèlent font partie de l'eau qui couvre les océans. L'eau qui vient des rivières ou s'infiltré dans le sol et les roches font partie de l'eau qui remplit les océans. Parfois, l'eau qui vient du sol reste dans la partie la plus basse du bâtiment pendant très longtemps ou s'éloigne beaucoup avant de revenir comme source [4].

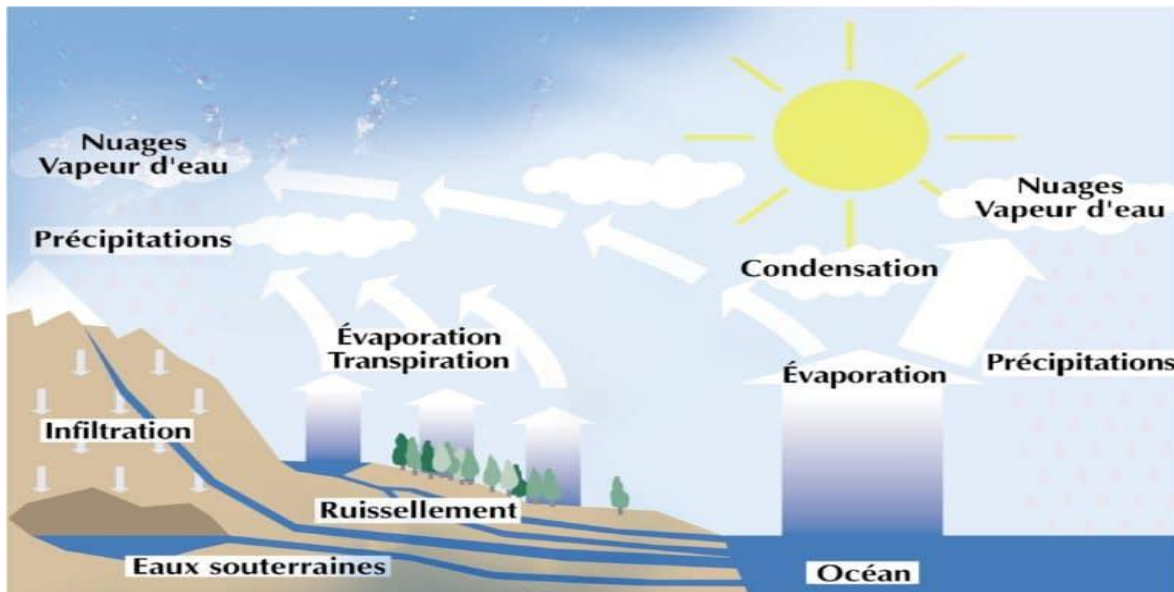


Figure I.2 : le cycle de l'eau dans la nature [5]

I.2.2. L'IMPORTANCE DE L'EAU

L'eau est essentielle, une ressource vitale pour l'être humain et le reste du monde. Nous devons garder nos sources d'eau sûres, comme les rivières, les lacs, les eaux côtières, les eaux marines et les eaux souterraines [6].

Chaque société requiert de l'eau pour faire progresser son économie. Aucune société actuelle sur terre ne peut prétendre prospérer ou même exister sans un accès suffisant à cette richesse naturelle [7].

I.2.2.a. Pour la biodiversité

L'eau joue un rôle central dans le maintien de la biodiversité dans tous les environnements. Sur le plan botanique, les plantes sont majoritairement constituées d'eau et elles absorbent à la fois l'eau et les sels minéraux du sol, ce qui leur permet de se développer normalement [8].

L'entité vivante doit quotidiennement compenser une portion spécifique d'eau qu'elle a perdue à travers l'urine, la sueur et l'évaporation pulmonaire [9].

I.2.2.b. Pour l'homme

L'eau est essentielle pour le fonctionnement de l'organisme humain, dont les stocks d'eau doivent constamment être nourris afin d'éviter toute déshydratation [10].

I.3. LES TYPES DE L'EAU

I.3.1. Les eaux de pluie

L'eau de pluie est l'eau douce provenant des précipitations atmosphériques, formée lorsque l'humidité dans l'air se condense et devient assez lourde pour tomber sous la gravité [11].

Il dissout tout ce qui est dans l'air, comme l'oxygène et le dioxyde de carbone, mais pas le sel. Le sel ne se dissout pas en lui. Il ne dissout que des choses qui sont dans l'air, comme l'oxygène et le dioxyde de carbone. Il n'y a pas de sel dedans. Il n'y a que des choses qui sont dans l'air, comme l'oxygène et le dioxyde de carbone [11].



Figure I.3 : les eaux de pluie

I.3.2. Les eaux de surface

Les eaux de surface sont celles qui se trouvent à la surface de la terre, comme les rivières, les lacs, les étangs et les océans. Elles tirent la majeure partie de leur eau de pluie et de neige, et elles peuvent être malades plus facilement de l'eau sale. [12]



Figure I.4 : les eaux de surfaces

I.3.3. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines comprennent toutes les réserves d'eau situées dans le sol. L'eau est gardée dans des lieux appelés aquifères, faits de roches poreuses et/ou fissurées. L'eau peut se rassembler dans ces espaces vides pour créer des nappes, qui remplissent tout ou une partie de l'aquifère [13].



alamy

Image ID: P5EM80
www.alamy.com**Figure I.5 :** les eaux souterraines

I.3.4. Les eaux de mer

L'eau de mer désigne l'eau salée présente dans les mers et océans de notre planète. On la qualifie de « salée » car elle renferme des composés dissous, notamment des sels, et est composée d'ions. Il y a environ 30 à 40 g de sels dissous dans 1kg d'eau de mer. Elle se distingue de l'eau douce, qui contient moins de 1g de sels dissous par kilogramme. La densité de l'eau de mer en surface est approximativement de 1,025g/ml, ce qui est 2,5% plus élevé que celle de l'eau douce (1g/ml), en raison du poids du sel et de l'électrostriction [14].

**Figure I.6 :** les eaux de mer

I.4. LES PROPRIETES DE L'EAU

I.4.1. Propriétés physiques

Les propriétés physiques les plus importantes pour le traitement de l'eau sont les suivantes :

I.4.1.a. la masse volumique : À cause du compactage graduel de la structure moléculaire, la masse volumique change avec la température et la pression. Pour l'eau pure à pression normale, elle atteint un maximum à environ 4 °C (précisément 3,982 °C) et sa variation selon la température est la suivante (tableau I.1) [15]

Tableau I.1 : masse volumique de l'eau en fonction de la température [16]

T°C	Masse volumique kg/dm ³	T°C	Masse volumique kg/dm ³
0	0.999839	20	0.998204
4	0.999972	25	0.997045
10	0.999699	30	0.995647
15	0.999099	100	0.958365

I.4.2. Propriétés thermiques

I.4.2.a. La viscosité

C'est une caractéristique d'un fluide (liquide ou gaz) de résister aux mouvements internes (ex. : turbulence) ou globaux (ex. : écoulement). Cette résistance provient des frottements entre les molécules. On différencie deux types de viscosité : charge et joue et a donc un rôle important dans le traitement de l'eau. En mouvement, elle est à l'origine des pertes d'énergie cinétique.

-La viscosité dynamique (ou absolue) est définie par le rapport de la contrainte tangentielle de cisaillement T (en Pa) au gradient de la vitesse V (en m/s) dans la direction y (en m) perpendiculaire au plan de glissement : $(\text{Pa}\cdot\text{s}) T/dV/dy$ [17].

Sous-multiple usuel : mPa·s

-La viscosité cinématique est définie par le rapport de la viscosité dynamique u à la masse volumique p du fluide : $v (m^2)/p(\text{Pa}\cdot\text{s})/p (kg\cdot m^{-3})$.

-La viscosité de l'eau diminue quand la température augmente (tableau I.2). [18]

Tableau I.2 : viscosité de l'eau en fonction de la température [18]

T°C	Viscosité dynamique en mPa.s	T°C	Viscosité dynamique en mPa.s
0	1.797	20	1.007
5	1.523	25	0.895
10	1.301	30	0.800
15	1.138	35	0.723

En revanche, elle augmente avec la quantité de sels dissous, donc l'eau de mer est plus visqueuse que l'eau de rivière (tableau I.3).

La pression a un effet particulier sur la viscosité absolue de l'eau. Contrairement aux autres liquides, une pression modérée rend l'eau moins visqueuse à basses températures : elle modifie son organisation moléculaire. Lorsque la pression augmente davantage, l'eau retrouve une structure liquide sans contrainte interne et suit la règle générale, c'est-à-dire que la viscosité augmente avec la pression [18]

Tableau I.3 : viscosité de l'eau en fonction de la salinité [18]

Salinité en ion Cl ⁻ en g.L ⁻¹	Viscosité dynamique à 20°C en mPa.s
0	1.007
4	1.021
8	1.035
12	1.052
16	1.068
20	1.085

I.4.2.b. La tension superficielle

Elle définit une propriété des interfaces (surfaces séparant deux phases). Elle est définie comme une force de traction qui agit à la surface du liquide en cherchant toujours à minimiser cette surface. Elle est telle qu'elle cause une montée capillaire de 15 cm à 18 °C dans un tube de 0,1 mm de diamètre.

L'ajout de sels dissous augmente généralement la tension superficielle (74,6 mN-m pour mol-L, à 18 °C). Une solution aqueuse de NaCl à 1.

D'autres substances la réduisent, ils sont appelés tensioactifs, par exemple : détergent [18].

I.5. L'ALGERIENNE DES EAUX MOSTAGANEM

La wilaya de Mostaganem se situe dans la région nord-ouest de l'Algérie. Elle est limitée au nord par la mer Méditerranée, à l'ouest par la wilaya d'Oran, au sud par celle de Mascara, à l'est par Relizane et au nord-est par Chlef. La superficie totale de la wilaya de Mostaganem est d'environ 2220 km. La situation globale montre que le secteur agricole est dominant, avec de bonnes conditions pour sa croissance et son progrès.

Administrativement, Mostaganem est découpée en daïras et communes. L'approvisionnement en eau potable est assuré par l'Algérienne des eaux ADE, dans l'unité de Mostaganem

I.6. LES DIFFERENTES RESSOURCES D'ALIMENTATION DE MOSTAGNEM

Les ressources en eau de la wilaya de Mostaganem incluent trois principales sources : les eaux souterraines, les eaux de surface et le dessalement de l'eau de mer. Les eaux souterraines étaient traditionnellement les plus utilisées, mais leur baisse causée par la surexploitation et la faible pluviométrie a rendu nécessaire l'utilisation des eaux de surface, surtout à partir des barrages. Pour améliorer l'approvisionnement en eau potable et faire face au manque d'eau, le dessalement de l'eau de mer a été établi, devenant aujourd'hui une solution efficace et durable.

I.7. LABORATOIRE

Le laboratoire de l'ADE de Mostaganem, fondé en 2005, vérifie la qualité de l'eau pour la consommation humaine. Il fait des tests physico-chimiques et bactériologiques sur des échantillons pris chaque jour dans les réseaux de distribution et les stations de traitement. Le laboratoire est divisé en deux sections principales : une section physico-chimique et une section bactériologique, et il est crucial pour la surveillance et la sécurité sanitaire de l'eau.



Figure I.7 : laboratoire de l'ADE

I.7 ORGANISATION DE LABO

I.7.1. Le personnel

- Chef de laboratoire
- Chef service physico chimiques
- Chef service bactériologique
- Deux-chimistes pour les analyses physico-chimiques
- Trois biologistes pour les analyses bactériologiques.

I.7.2. Machines et équipements

Le laboratoire de l'ADE contient deux sales, une sale pour les analyses physico-chimiques, et l'autre pour les analyses bactériologiques ils existent dans ces sales le matériel suivant :

I.7.2.a Service bactériologique

- Réfrigérateur.
- Étuve.
- Rampe de filtration.
- Autoclaves.
- Pompe à vide.
- Bain marie.

I.7.2.b Service physico-chimique

- Etuve universelle.

- Distillateur.
- Dessiccateur.
- Hotte chimique.
- Plaque chauffante.
- Agitateur chauffant.
- Agitateur non chauffant.
- Conductimètre.
- pH-mètre.
- turbidité mètre.
- balance analytique.
- deux Spectrophotomètre UV et flamme.

I.8. CONCLUSION

En conclusion, l'eau est une ressource naturelle essentielle à la vie et aux diverses activités humaines. Ses propriétés physico-chimiques et biologiques définissent sa qualité et ses applications. De plus, la diversité des types d'eau souligne l'importance de bien saisir ses caractéristiques pour garantir une utilisation et une gestion rationnelles de cette ressource fondamentale

Chapitre II :

Traitement de l'eau dessalée

II.1. INTRODUCTION

Le dessalement de l'eau (aussi appelé dessalage) est un procédé qui enlève le sel de l'eau salée ou saumâtre pour la rendre potable après traitement. La méthode de déminéralisation consiste à séparer les sels dissous dans l'eau et à enlever les ions en trop qui causent une minéralisation excessive. Cette élimination peut se faire par divers procédés de traitement des éléments de la solution saline, les plus courants étant les sulfates, les chlorures et divers ions halogènes [19].

II.2. PROCEDES DE DESSALEMENT

Actuellement, toutes les entreprises en activité mettent en œuvre deux principales méthodes : la méthode de distillation (basée sur l'évaporation) et la méthode de séparation par membrane, qui sont toutes deux récentes. (Figure II.1) [20]

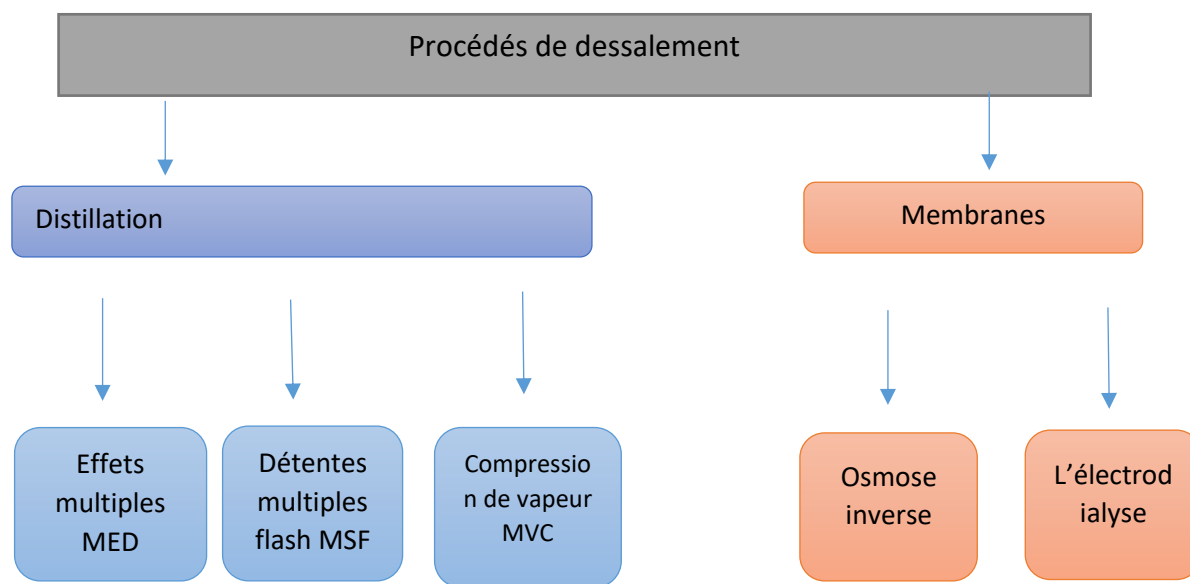


Figure II.1 : schéma général des différents procédés de dessalement [21]

II.3. METHODES DE DESSALEMENT

Il existe trois méthodes de dessalements de l'eau de mer :

- La distillation thermique
- Osmose inverse

- L'électrodialyse

II.4. OSMOSE INVERSE

II.4.1 Définition

L'osmose inverse est une technique de séparation en phase aqueuse qui autorise le retrait d'un solvant (généralement l'eau) d'une solution grâce à une perméabilité sélective à travers une membrane semi-perméable, sous l'influence d'un gradient de pression (de 54 bars à 80 bars pour le dessalement de l'eau de mer).

Cette méthode opère à température ambiante sans nécessiter de transition de phase. L'osmose inverse nécessite exclusivement de l'énergie électrique, qui est principalement utilisée par les pompes à haute pression [22].

On recourt à l'osmose inverse pour le dessalement de l'eau marine et des eaux saumâtres, la concentration des liquides alimentaires (lait, jus de fruits...) et pour le

Traitement des eaux usées [23].

II.4.2. Principe

L'osmose repose sur l'équilibre des concentrations en soluté de chaque côté d'une membrane semi-perméable. Prenons en compte un système à double compartiment, séparé par une membrane semi-perméable, et renfermant deux solutions de concentrations dissemblables. L'osmose entraînera un déplacement d'eau de la solution moins concentrée vers la solution plus concentrée. La quantité d'eau qui sera transférée par osmose diminuera. Un moment viendra où la pression exercée sera si intense que le courant d'eau va se neutraliser. Si nous considérons, pour simplifier, que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression à l'équilibre est désignée comme pression osmotique. Une élévation de la pression au-delà de la pression osmotique entraînera un mouvement d'eau se dirigeant à l'opposé du flux osmotique. C'est-à-dire que le phénomène d'osmose inverse se produit lorsque la solution concentrée est transformée en solution diluée [24]. Ainsi, l'osmose inverse est une méthode de séparation qui vise à extraire l'eau d'une solution, généralement salée dans notre contexte, c'est-à-dire l'eau de mer. Elle offre théoriquement la possibilité de diminuer la concentration globale en solutés [25].

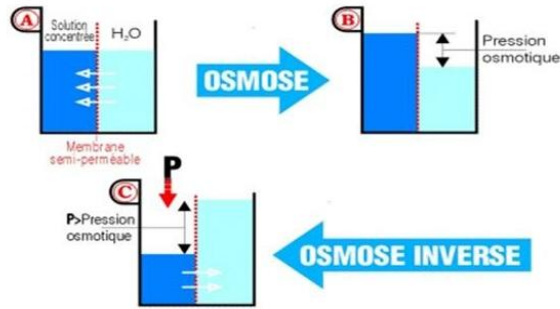


Figure II.2 : Principe de l'osmose inverse.

II.5. OBJECTIF DE TRAVAIL

Ce travail vise à perfectionner la qualité de l'eau dessalée produite par le processus d'osmose inverse pour qu'elle puisse être comparée à une eau minérale. Effectivement, l'eau obtenue par dessalement a souvent une faible teneur en sels minéraux indispensables. Par conséquent, une phase de reminéralisation est mise en place pour réintégrer des minéraux favorables à la santé humaine, comme le calcium et le magnésium, tout en garantissant un équilibre physico-chimique approprié. L'objectif de cette approche est d'obtenir une eau qui soit non seulement potable et stable, mais aussi adaptée aux besoins nutritionnels de notre corps.

II.6. CONCLUSION

En conclusion, le dessalement de l'eau se révèle être une réponse indispensable à la demande grandissante d'eau potable, surtout dans les zones disposant de ressources limitées. Chaque méthode, qu'il s'agisse de techniques thermiques ou membranaires, possède ses propres caractéristiques et champs d'application. L'osmose inverse se démarque parmi les méthodes par son efficacité, sa flexibilité et son application à grande échelle. Par conséquent, la compréhension de ces procédés, notamment l'osmose inverse, est essentielle pour rehausser la qualité de l'eau produite et perfectionner l'efficacité des systèmes de traitement.

Chapitre III :

Méthodes, résultats et Discussions

III.1. INTRODUCTION

L'Algérie est considérée comme un pays ayant un manque d'eau selon la banque mondiale. Donc, il est vital de mettre en place un programme pour utiliser les différentes ressources disponibles afin d'assurer l'accès à l'eau potable. Ainsi, le dessalement de l'eau de mer est une solution appropriée à ce problème [26].

Nous avons choisi d'étudier et de comparer quatre types d'eau conditionnée. Il s'agit de trois eaux minérales commerciales (Messereghin, Ifri et Ovitale) ainsi que d'une eau dessalée. Le but de ce travail est de réaliser des analyses physico-chimiques et bactériologiques sur ces différents échantillons afin d'évaluer leur qualité. Cette étude comparative nous permettra de mettre en évidence les différences entre l'eau minérale et l'eau dessalée, notamment en termes de composition, de minéralisation et de qualité microbiologique, et de vérifier leur conformité aux normes de potabilité.

III.2. LES NORMES PHYSICO CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES

Les normes physico-chimiques et bactériologiques concernent principalement la qualité de l'eau (potable, industrielle ou usée). Elles définissent les limites à ne pas dépasser pour garantir la sécurité sanitaire et environnementale.

Tableau III.1. Les normes physico chimiques

Paramètre	La norme	Effet indésirable	Effet hydrique
Chlorures	250 mg/l	Saveur désagréable, corrosion des conduites, effet laxatif	Constituant majeur de l'acide gastrique. Aide au maintien de l'équilibre acido-basique cellulaire.
pH	6.5 - 9	pH acide, corrosion des conduites. pH basique diminuer l'efficacité et la désinfection	Un pH extrême peut provoquer une irritation du système digestif et perturber l'équilibre de l'organisme
Nitrates	50 mg/l	Protège les micro-organismes contre les effets de la désinfections	Qualité de l'eau : À ce faible taux, ils ne présentent pas de risque. Un taux élevé serait toxique pour le transport de l'oxygène.
Nitrites	0.2 mg/l	Risque de méthémoglobinémie infantile	Sécurité Absolue : Absence de toxicité. Indispensable pour la sécurité des nourrissons (prévention de la cyanose).

Calcium	200 mg/l	Entartrage des conduites	Solidité Osseuse : Prévention de l'ostéoporose. Indispensable à la contraction du muscle cardiaque et à la transmission nerveuse.
Magnésium	150 mg/l	Combiné au SO ₄ génère gout	Équilibre Nerveux : Lutte contre la fatigue et le stress. Il prévient les crampes musculaires et régule le rythme cardiaque.
Potassium	12 mg/l	troubles cardiaques	Fonction Cellulaire : Vital pour la communication entre les neurones et le contrôle de la pression artérielle.
Sulfates	400 mg/l	Effets laxatifs, des troubles digestifs.	Détoxification : Favorise le transit intestinal et aide le foie à éliminer les toxines.
Résidus secs	2000 mg/l	Gout désagréable	Une forte minéralisation peut surcharger les reins et altérer le goût de l'eau

Tableau III.2. Les normes bactériologiques

Paramètre	La norme	Effet sur la santé et signification
Germes totaux	10/1 ml	Indicateur d'efficacité du traitement
Coliformes totaux et fécaux	0/100 ml	Gastro-entérite infantile, contamination fécale récente
Streptocoques fécaux	0/100 ml	Contamination fécale récente
Clostridium (sulfito-réductase)	0/100 ml	Contamination fécale ancienne

III.3. LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUE

III.3.1. Potentiel Hydrogène (pH) :

- **DOMAINE D'APPLICATION**

Cette méthode s'applique aux eaux de distribution, souterraines, de surface et les eaux minérales dont la température est comprise entre 0 et 60°C.

La zone de détermination de cette méthode s'étend de pH 4,00 à pH 10,00.

- **METHODE DE TRAVAIL**

Réactifs et matériels :

Réactifs :

Eau distillée ;

Solution tampon à pH 4,01 ($\pm 0,02$ à 25°C) ;

Solution tampon à pH 7,00 ($\pm 0,02$ à 25°C) ;

Solution tampon à pH 10,00 ($\pm 0,02$ à 25°C)

Solution tampon à pH 7,00 pour le contrôle qualité ($\pm 0,02$ à 25°C) :

Solution de KCl à 3 mol/l.

Matériels :

pH-mètre:

Electrode :

Agitateur magnétique, barreaux magnétiques :

Bécher de 50 ml.



Figure III.1 : appareil multi paramètres

- **Partie expérimentale**

Essai

Etalonnage du pH mètre

L'étalonnage de l'équipement se fait selon l'instruction de travail du pH mètre concerné.

L'électrode doit rester immergée dans du KCl à 3 mol/l.

III.3.2. Teneur en calcium (Ca^{2+}) :

- **DOMAINE D'APPLICATION**

La méthode est applicable pour les eaux souterraines, les eaux de surfaces, les eaux destinées à la consommation humaine. Elle peut aussi être utilisée pour les eaux résiduaires urbaines et les eaux brutes industrielles, à condition qu'elles ne contiennent pas de métaux lourds en quantités interférentes.

Elle est applicable aux eaux dont la teneur en calcium varie de 2 à 100 mg/l. Pour les eaux contenant plus de 100 mg/l de calcium, une dilution de l'échantillon doit être effectuée. La méthode n'est pas applicable aux eaux de mer et eaux du même type à forte teneur en sels.

- **METHODE DE TRAVAIL**

Réactifs et matériels :

Réactifs

a) Hydroxyde de sodium, solution 2 N

Dissoudre 8 g d'hydroxyde de sodium (NaOH) dans 100 ml d'eau distillée, conserver dans une bouteille en polyéthylène.

b) Calcium, solution de référence à 100 mg/l

Une solution mère de commerce titrisol à 1 g/l en calcium peut être utilisée. Préparation de la solution fille à 100 mg/l de calcium :

Introduire 5 ml de la solution mère à 1 g/l de calcium à l'aide d'une pipette dans une fiole jaugée de 50 ml. Ajuster avec de l'eau distillée. On obtient une solution de concentration 100 mg/l.

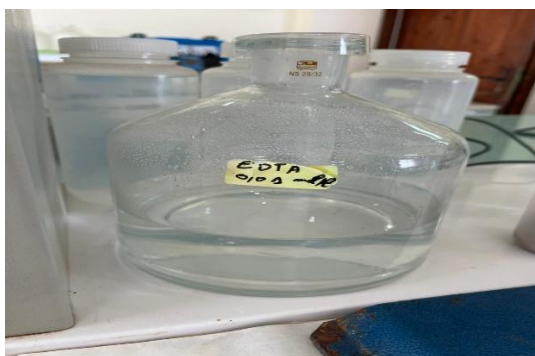


Figure III.2. Solution EDTA 0.01 mol/l

c) EDTA, solution titrée 0,01 mol/l

Sécher une portion d'EDTA à 80°C pendant 2 heures (étuve), dissoudre ensuite 3,725 g du sel sec dans de l'eau distillée et diluer à 1000 ml.

Conserver la solution d'EDTA dans une bouteille en verre et vérifier le titre de temps à autre (fréquence hebdomadaire), comme suit (détermination du facteur de correction) :

d) Murexide (indicateur)



Figure III.3. Indicateur murexide

Matériels

Burette de 25 à 50 ml utilisée pour l'EDTA

Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, béchers...

Partie expérimentale

Nettoyage de la verrerie

Calcul du coefficient de correction (Fc)

Prendre 50 ml de la solution de référence calcium à 100 mg/l. S'en servir pour titrer la solution d'EDTA en versant lentement l'EDTA jusqu'au virage au violet. Lorsque la coloration violette est obtenue, noter le volume d'EDTA versé.

Le facteur de correction Fc est égal à :

$Fc = \text{Volume versé} / \text{Volume théorique (12.5 ml)}$

Si : $0.96 Fc \leq 1.04$. Alors la solution d'EDTA est utilisable pour dosage.

Dosage

Prélever une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon, ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde 2 N et une pincée d'indicateur (Murexide). Bien mélanger le tout.

Titrer avec la solution d'EDTA, en versant lentement.

Le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement violette.

La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

III.3.3. Titre Alcalimétrique (TA) / Titre Alcalimétrique Complet (TAC) :

- **DOMAINE D'APPLICATION**

Cette méthode s'applique aux eaux de distribution, souterraines, de surface et les eaux minérales dont la température est comprise entre 0 et 60°C.

Elle comporte la description d'une méthode volumétrique applicable dans tous les cas où la présence de substances qui tamponnent les ions hydrogène dans les zones de pH 4.3 et 8.3 n'est pas à craindre, elle est mise en œuvre à l'aide d'un pH-mètre.

- **METHODE DE TRAVAIL**

Réactifs et matériel

Réactifs

- a) **Acide chlorhydrique (HCl) concentré à 37%.**
- b) **Solution d'acide chlorhydrique (HCT) & 0.01 N**

Diluer 0,82 ml de l'acide chlorhydrique concentré à 37% (a) et compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée

Matériels :

- pH-mètre ;
- Electrode
- Burette manuelle ou burette automatique
- Agitateur magnétique, barreaux magnétiques :
- Bécher de 50 ml.

- **Partie expérimentale**

Comme pour toute méthode instrumentale, la méthode d'essai est très étroitement liée aux matériels dont on dispose ; se reporter à la notice de l'appareil.

Amener 100 ml d'eau à analyser au pH 4.3; Soit V_2 le volume total d'acide employé.

Si le pH est supérieur à 8.3 verser lentement l'acide chlorhydrique pour obtenir cette valeur. Noter le volume V , lu au dosimat.

Suivre les instructions de l'utilisation de PH mètres.

III.3.4. Titre Hydrotimétrique (TH) :

- **DOMAINE D'APPLICATION**

La méthode est applicable pour les eaux souterraines, les eaux de surfaces, les eaux destinées à la consommation humaine. Elle peut aussi être utilisée pour les eaux résiduaires urbaines et les eaux brutes industrielles, à condition qu'elles ne contiennent pas de métaux lourds en quantités interférentes.

La méthode n'est pas applicable aux eaux de mer et eaux du même type à forte teneur en sels.

- **METHODE DE TRAVAIL**

1. Solution étalon de Calcium (0,01 mol/l)

Préparation du solide : Sécher du carbonate de calcium (CaCO_3) pur à 150°C pendant 2 heures, puis refroidir en dessiccateur.

Mise en solution : Peser exactement 1,001 g de (CaCO_3). Dissoudre par ajout goutte à goutte d'acide chlorhydrique (4 mol/l) jusqu'à dissolution complète.

Finalisation : Porter à ébullition pour éliminer le CO_2 . Après refroidissement, ajuster le pH avec de l'ammoniaque jusqu'au virage du rouge de méthyle (couleur orange). Compléter à 1000 ml.

Concentration : 1 ml de cette solution contient 0,4008 mg de calcium.

2. Solution d'EDTA titrée (0,01 mol/l)

Préparation du solide : Sécher le sel di sodique d'EDTA d'hydraté à 80°C pendant 2 heures.

Mise en solution : Dissoudre 3,725 g du sel sec dans de l'eau distillée et compléter à 1000 ml.

Conservation : Utiliser un flacon en verre ou en polyéthylène. Un contrôle hebdomadaire du titre est recommandé.

3. Solution Tampon pH 10

Composition : Mélange de chlorure d'ammonium (NH_4Cl , 67,5 g) et d'une solution ammoniacale concentrée (570 ml).

Stabilisation : Ajout de 5 g de sel disodique de magnésium de l'EDTA (Mg-EDTA) pour assurer la netteté du virage lors du dosage.

Utilisation : La solution est complétée à 1000 ml. Pour l'analyse, elle est diluée au 1/10ème avant de vérifier que le pH est bien de $10,0 \pm 0,5$.

4. Indicateur : Mordant Noir 11 (NET)

Préparation liquide : Dissoudre 0,5 g de Noir Ériochrome T dans 100 ml de triéthanolamine (ou un mélange avec de l'éthanol pour réduire la viscosité).

Alternative solide : Un mélange de 1g de NET pour 100 g de NaCl peut également être utilisé.

- **Matériel requis**

Burette : Capacité de 25 à 50 ml pour l'EDTA.

Verrerie : Fioles jaugées, pipettes, béchers.

Mesure : pH-mètre pour le contrôle de la solution tampon.

Partie expérimentale

Nettoyage de la verrerie

Calcul de facteur de correction (Fc)

Prendre 50 ml de la solution de référence calcium à 100 mg/l. S'en servir pour titrer la solution d'EDTA en versant lentement l'EDTA jusqu'au virage au violet. Lorsque la coloration violette est obtenue, noter le volume d'EDTA versé.

Le facteur de correction F_c est égal à :

$F_c = \text{Volume versé} / \text{Volume théorique (12.5 ml)}$

Si : $0,96 F_c \leq 1,04$, alors la solution d'EDTA est utilisable pour le dosage.

Dosage

Prélever une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon, ajouter 4 ml de la solution tampon (e) et une pincée d'indicateur NET (d). Bien mélanger, la solution doit se colorer en rose. Titrer immédiatement avec la solution d'EDTA (b), en versant lentement jusqu'au virage au bleu.

La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

III.3.5. NITRITES (NO_2^-) :

- **DOMAINE D'APPLICATION**

Cette méthode est applicable dans toutes les eaux. Les teneurs en ammonium peuvent être déterminées sans dilution pour des échantillons dont les concentrations se situent entre 0,02 et 0.8 mg/l d'azote nitreux (NO_2^-).

- **METHODE DE TRAVAIL**

Réactifs et matériel :

Réactifs

a) Réactif mixte

Dissoudre 40 gr d' amino-4 benzène sulfonamide ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{SO}_2\text{NH}_2$) dans un mélange formé de 100ml d'acide orthophosphorique et de 500ml d'eau. Ajouter 2 gr de di chlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2-2\text{HCl}$), compléter le volume à 1000 ml avec de l'eau distillée.

Cette solution est stable pendant un mois si elle est conservée entre 2 et 5°C.

b) Solution étalon mère de nitrites 100 mg/l

Dissoudre 0,15 g de nitrite de sodium (séché à 105°C durant au moins 2 h) dans 1000 ml d'eau distillée. Cette solution est stable pendant un mois si elle est conservée entre 2 et 5°C.

c) Solution étalon fille de nitrites 1 mg/l

Prélever à l'aide d'une pipette 1 ml de la solution étalon de nitrites de concentration 100 mg/l, la transvaser dans une fiole de 100 ml et compléter au volume avec de l'eau distillée.

Cette solution est préparée le jour de l'emploi.

Matériel

Matériel courant de laboratoire verrerie (fioles et pipettes...)

Spectrophotomètre UV-Visible permettant des mesurages à une longueur d'onde de 540 nm, équipé de cuves de 10 mm d'épaisseurs.

- **Partie expérimentale**

Nettoyage de la verrerie

La verrerie doit être lavée avec une solution d'acide chlorhydrique à environ 2 mol/l et rincée abondamment à l'eau avant l'emploi.

Calibration

Dans une série de fioles jaugées de 50 ml, introduire à l'aide d'une pipette, les volumes de la solution étalon fille de nitrites 1 mg/l, indiqués dans le tableau ci-dessous, ajouter de l'eau distillée au contenu de chaque fiole, ajouter ensuite 1 ml du réactif mixte et attendre au moins 20 mn. L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO₂⁻. Enfin, mesurer l'absorbance de chaque étalon à la longueur d'onde (environ 540 nm).

Tableau III.3 : Courbe d'étalonnage

\$ fille 1mg/l	0	1	2	5	20	40
Eau distillée (ml)	50	49	48	45	30	10
Réactif mixte (ml)	1	1	1	1	1	1
Attendre 20min						
C de NO ₂ ⁻ en mg/l	0	0.02	0.04	0.1	0.4	0.8

- **Dosage**

Introduire 50 ml d'échantillon, ajouter 1 ml du réactif mixte (a) et attendre au moins 20 mn. L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO₂⁻. Enfin, mesurer l'absorbance de chaque étalon à la longueur d'onde (environ 540 nm). Effectuer parallèlement au dosage, un essai

à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités des réactifs mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai.

III.3.6. CHLORURES (Cl^-) :

- **DOMAINE D'APPLICATION**

Cette méthode est applicable pour le dosage des chlorures dans les eaux de distribution, souterraines et de surface.

- **METHODE DE TRAVAIL**

Réactifs et matériel :

Réactifs

a) Solution de nitrate d'argent (AgNO_3) à 0,02 mol/l

Dissoudre dans l'eau 3.3974 g de nitrate d'argent (AgNO_3) séchés au préalable à 105 °C et compléter à 1000 ml dans une fiole jaugée. Si la solution est conservée à l'obscurité dans une bouteille en verre brun munie d'un bouchon en verre, elle reste stable pendant plusieurs mois. La solution est étalonnée avec 10 ml d'une solution étalon de référence de chlorure de sodium (NaCl)

b) Solution d'indicateur de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 100 g/l

Dissoudre 10 g de chromate de potassium (K_2CrO_4) dans l'eau et diluer à 100 g/l

c) Solution étalon de chlorure de sodium (NaCl) à 0.02 mol/l

Dissoudre 1.1688 g de chlorure de sodium (NaCl) séchés au préalable à 105°C et compléter à 1000 ml d'eau distillée.

d) Solution d'acide nitrique (HNO_3) à 0.1 mol/l

Cette solution doit-être conservée dans un flacon en verre et elle est stable indéfiniment. Utilisée pour réajuster un pH supérieur à 9.5.

e) Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0.1 mol/l

Dissoudre 4 g d'hydroxyde de sodium (NaOH) dans l'eau et compléter à 1000 ml.

Solution utilisée pour réajuster un pH inférieur à 5.

f) Carbonate de calcium (CaCO_3) ou mono hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO_3) en poudre

Matériel

-Burette :

-Capsules en porcelaine de 100 ml ;

-Pipettes :

-Fioles :

-Bécher.

Partie expérimentale

Dosage

Introduire 100 ml de l'échantillon dans une capsule en porcelaine blanche ou dans une fiole ou dans un bêcher conique, placé sur un fond blanc.

Ajouter 1 ml d'indicateur de chromate de potassium (**b**) et titrer la solution par addition goutte à goutte de solution de nitrate d'Argent jusqu'à ce que la solution prenne une couleur rougeâtre. Après addition d'une goutte de solution de Chlorure de Sodium cette coloration doit disparaître.

Essai à blanc

Titrer une solution à blanc en utilisant 100 ml d'eau distillée à la place de l'échantillon pour essai. La valeur de l'essai à blanc ne devrait pas dépasser 0.2 ml de Nitrate d'Argent (**a**), dans le cas contraire, vérifier la pureté de l'eau

Expression des résultats

La concentration en chlorure Pet exprimée en milligrammes par litre, est donnée par formule

$$P_{ci} = (V_s - V_b) / V_a * C_f$$

Où :

P_{ci} : est la concentration en milligramme par litre de chlorure.

V_a : est le volume, en millilitres de l'échantillon pour essai (maximum 100 ml; les dilutions doivent être prises en compte).

V_b : est le volume, en millilitres de solution de Nitrates d'Argent utilisée pour le titrage de du blanc.

V_s : est le volume, en millilitres de solution de Nitrates d'Argent utilisée pour le titrage de du l'échantillon.

C : est la concentration réelle exprimée en moles d'AgNO₃ par litre, de la solution de Nitrate d'Argent.

f : est le facteur de conversion 35453 mg/mol

Donner le résultat à 1 mg/l près, avec seulement 3 chiffres significatifs

III.3.7. SULFATES (SO₄²⁻):

- **DOMAINE D'APPLICATION**

Cette méthode de dosage s'applique aux eaux de distribution, souterraines et de surface.

- **MÉTHODE DE TRAVAIL**

Réactifs et matériel :

Réactifs

a) Solution stabilisante

Dans une fiole jaugée de 1000 ml, mettre 100 ml d'eau distillée, ajouter successivement 60 ml d'acide chlorhydrique pur (HCl: de 1.19), 200 ml d'éthanol (C₂H₅OH), 150 g de chlorure de sodium (NaCl) et 100 ml de glycérol; compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée. Cette solution se conserve deux semaines en flacon brun à 4°C.

b) Solution de chlorure de baryum (BaCl₂) à 0.01N

Peser 150g de chlorure de baryum (BaCl₂) ajouter 5 ml d'acide chlorhydrique ; dans une fiole de 1000ml et compléter jusqu'au train de jauge

Cette solution se conserve deux semaines en flacon brun à 4°C.

c) Solution mère de sulfates à 1 g/l à partir de sulfate de sodium (Na₂SO₄)

Peser 1,479 g de sulfate de sodium (Na₂SO₄), la mettre dans une fiole jaugée de 1000 ml et compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée. La solution se conserve pendant 2 mois si elle est mise à l'abri de la lumière dans un flacon brun à 4°C.

Matériel

-Matériel courant de laboratoire (fioles, pipettes, béchers...)

-Spectrophotomètre UV/Visible

-Agitateur magnétique

Partie expérimentale

Préparation des échantillons.

Tableau III.4 : Les échantillons troubles ou colorés doivent passer par un filtre de 0.45 µm.

(Calibration)

N°Fiole	0	1	2	3	4	5	6	7
Solution mère à 1g/l (ml)	0	1	2	3	4	5	6	7
Qsp eau distillée (ml)	100	99	98	97	96	95	94	93
Solution stabilisante (ml)	5	5	5	5	5	5	5	5
Agiter énergétiquement pendant 1min								
Solution BaCl ₂ (ml)	2	2	2	2	2	2	2	2
Agiter énergétiquement pendant 1min								
Conc.Finale en SO ₄ ²⁻ en mg/l	0	10	20	30	40	50	60	70

Enregistrer la gamme dans le spectrophotomètre à la longueur d'onde = 420 nm.

Dosage

Procéder comme décrit à la calibration en effectuant un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités de réactif mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai.

III.3.8. NITRATES (NO_3^-) :

DOMAINE D'APPLICATION

Cette méthode est applicable pour le dosage des nitrates dans les eaux de distribution, souterraines et de surface

METHODE DE TRAVAIL

Réactifs et matériel :

Réactifs

a) Solution de Salicylate de Sodium à 0.5%

Dissoudre 0.5 g de salicylate de sodium dans de l'eau et compléter à 100 ml avec de l'eau distillée. Conserver dans une bouteille en verre ou en polyéthylène. Préparer cette solution chaque jour au moment de l'emploi.

b) Solution d'hydroxyde de Sodium à 30%.

Dissoudre 30 g d'hydroxyde de sodium dans de l'eau et compléter à 100 ml avec de l'eau distillée.

c) Solution de tartrate double de sodium et de potassium

Dissoudre 400 g d'hydroxyde de sodium dans une fiole de 1000 ml, ajouter 60 g de tartrate double de sodium et potassium, laisser refroidir et compléter avec de l'eau distillée.

Conserver dans un flacon en polyéthylène.

d) Acide sulfurique (H_2SO_4) concentré.

e) Solution mère de nitrate à 1000 mg/l

Dissoudre 1.37 g de nitrate de sodium dans de l'eau et compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée.

f) Solution fille étalon de nitrate 10 mg/l

Diluer 10 ml de la solution mère à 1000 mg/l et compléter à 1000 ml avec l'eau distillée

Matériel

-Balance analytique de laboratoire précision 0.1

-Capsules de 100 ml :

-Pipettes 10ml, 5ml, 2ml, 1ml :

- Paires à pipeter ;
- Etuve pour séchage ;
- Spectrophotomètre UV-Visible.

Partie expérimentale

Tableau III .5 : Etablissement de la courbe d'étalonnage (Dans une série de capsules de 100 ml introduire successivement)

N° des capsules	T	1	2	3	4	5	6
Solution fille de NO ₃ - à 10mg/l (ml)	0	1	2	4	6	8	10
Eau distillée (ml)	10	9	8	6	4	2	0
Correspondance en mg/l de nitrates	0	1	2	4	6	8	10
NaOH 0 30	3 gouttes	3 gouttes	3 gouttes	3 gouttes	3 gouttes	3 gouttes	3 gouttes
Solution de salicylate de Na (ml)	1	1	1	1	1	1	1
Evaporation à sec à 80°C							
H ₂ SO ₄ Concentré (ml)	2	2	2	2	2	2	2
Laisser reposer 10min							
Tartrate double de Na et K (ml)	15	15	15	15	15	15	15

III.3.9. RESIDUS SECS

- **DOMAINE D'APPLICATION**

Cette méthode s'applique aux eaux de distribution, souterraines, de surface, aux eaux usées et effluents industriels.

Pour les eaux chargées en matières en suspension, il faut procéder d'abord à une filtration d'un volume d'eau de tel sorte qu'il conduise à un résidu sec d'au moins 10mg, et préférence, compris entre 100et 200.

- **METHODE DE TRAVAIL**

Réactifs et matériel :

Matériels

- Capsule en porcelaine, en verre borosilicaté ou, de préférence, en silice ou en platine

- Balance permettant d'effectuer la pesée de la capsule et de son contenu à 0.1 mg près

-Étuve réglable à 100-105°C ou 175-185°C.

-Four réglable à 525°C.

- **Partie expérimentale**

Essai

Nettoyer la capsule à l'acide chlorhydrique (HCl) ou à l'acide nitrique (HNO₃) dilués au dixième environ et tièdes, puis à l'eau distillée. La sécher par passage à l'étuve, puis la calciner dans le four réglé à 525 °C. Laisser refroidir presque jusqu'à la température ambiante puis placer dans un dessiccateur pendant d'heure environ et peser. Soit M₀ la masse de la capsule vide.

Faire évaporer progressivement au bain d'eau bouillante la prise d'essai introduite, éventuellement en plusieurs fractions successives, dans la capsule : il est recommandé de ne remplir celle-ci que jusqu'à mi-hauteur, vers la fin de l'opération, rincer à l'eau distillée la fiole jaugée qui a servi à mesurer la prise d'essai et verser les eaux de lavage dans la capsule. Une fois l'eau évaporée, placer la capsule dans l'étuve, réglée à 100-105°C et l'y laisser pendant 1 heure

Si l'essai a pour objet la détermination du résidu sec à 100-105 °C laisser refroidir la capsule et son contenu presque jusqu'à la température ambiante, pour la placer ensuite dans un dessiccateur pendant d'heure environ et peser. Recommencer le cycle chauffage à 100-105°C-refroidissement-pesée jusqu'à ce que deux pesées consécutives ne diffèrent pas de plus de 0.5 mg. Soit M₁ la masse trouvée.

Si l'essai a pour objet la détermination du résidu sec à 175-180°C poursuivre la dessiccation en plaçant la capsule pendant deux heures dans l'étuve à 175-180°C puis la laisser refroidir presque jusqu'à la température ambiante pour la placer ensuite dans un dessiccateur pendant ½ d'heure environ et peser. Recommencer le cycle chauffage à 175-180°C-refroidissement- pesée jusqu'à ce que deux pesées consécutives ne diffèrent pas de plus de 0.5 mg. Soit M₂ la masse trouvée.

III.3.10. POTASSIUM (K⁺) :

Matériel nécessaire

Le kit LCK328 (Cuvettes-tests et flacons de réactifs A).

Une pipette de précision de 5,0 ml.

Une pipette de précision (ou micropipette) de 1,0 ml.

Un spectrophotomètre compatible (type Hach).

Mode Opérateur (Étapes)

Préparation du réactif :

Ouvrez une cuvette-test. À l'aide d'une pipette, ajoutez précisément 5,0 ml du réactif contenu dans le flacon orange marqué "A" dans la cuvette.

Ajout de l'échantillon :

Ajoutez ensuite 1,0 ml de votre échantillon (l'eau à analyser) dans cette même cuvette.

Mélange :

Refermez soigneusement la cuvette avec son bouchon d'origine. Retournez la cuvette plusieurs fois (mélange par inversion) pour bien homogénéiser les liquides.

Temps de réaction :

Laissez la cuvette reposer pendant exactement 5 minutes. Ce temps est crucial pour que la réaction chimique se stabilise.

Nettoyage :

Une fois les 5 minutes écoulées, essuyez l'extérieur de la cuvette avec un chiffon propre ou un papier optique pour éliminer toute trace de doigt ou de liquide.

Mesure :

Insérez la cuvette dans le spectrophotomètre et lancez la lecture. L'appareil affichera le résultat en mg/L K+.

III.3.11. MAGNESIUM (Mg^{2+}) :

Pour calculer la concentration de magnésium, il faut d'abord savoir la dureté totale et la concentration de calcium et puis on applique la loi suivante :

$$Th = [mg^{2+}] + [ca^{2+}]$$

$$[mg^{2+}] = Th - [ca^{2+}]$$

$[mg^{2+}] = \text{la concentration mesurée} * F_c$

Où :

Th : la dureté totale

$[ca^{2+}]$: la concentration de calcium

$[mg^{2+}]$: la concentration de magnésium

F_c : le facteur de correction ($F_c = 2.43$)

III.4. LES PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES

III.4.1. Recherche des coliformes totaux

- **Mode opératoire :**

-filtrer 100 ml de l'échantillon avec la rampe de filtration et par un filtre de 0.45 μm de pore.

-mettre le filtre sur le milieu TERGITOL.

III.4.2. Recherche de coliformes fécaux

- **Mode opératoire**

-filtrer 100 ml de l'échantillon avec la rampe de filtration et par un filtre de 0.45 μm de pore.

-mettre le filtre sur le milieu TERGITOL.

III.4.3. Recherche des streptocoques fécaux

- **Mode opératoire**

Filtrer 100 ml de l'échantillon avec la rampe de filtration et par un filtre de 0.45 μm de pore.

Mettre le filtre sur le milieu SLANETZ ET BARTLEY.



Figure III.4. Gélose slanetz et bartley

III.4.4. Recherche des germes totaux

- **Mode opératoire :**

Poser 1 ml de l'échantillon sur le milieu TGEA après étaler l'eau sur toute la boîte.



Figure III.5. Gélose TGEA

III.4.5. Recherche des clostridium (sulfito-réductase)

Mode opératoire :

-mettre 100 ml de l'échantillon dans un bain marie, attendre jusqu'à ce que la température atte
laisser l'échantillon pendant 10 minutes.

-sortir l'échantillon du bain marie et le mettre sous l'eau froide (choque thermique).

-filtrer l'échantillon avec un filtre de 0.2 um de pore.

Mettre le filtre à l'envers dans une boîte pétri puis couler une gélose viande de foie.

III.5 RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau III.6 : résultats chimiques

Paramètres	L'eau dessalée	Ifri	Ovital	Messerghine
pH	8.35	7.74	8.02	7.97
Chlorures (mg/L)	9.94	149.1	72.42	112.12
Nitrates (mg/L)	3.26	15.2	4.32	1.97
Nitrites (mg/L)	0.016	0.04	00	00
Magnésium (mg/L)	2.91	37.9	16.03	36.93
Calcium (mg/L)	21.64	97.79	76.15	52.104
Potassium (mg/L)	2.15	1.34	0.4	0.38
Sulfates (mg/L)	13	64.5	61.1	20
Résidus secs (mg/L)	222.48	551.88	367.20	432.54

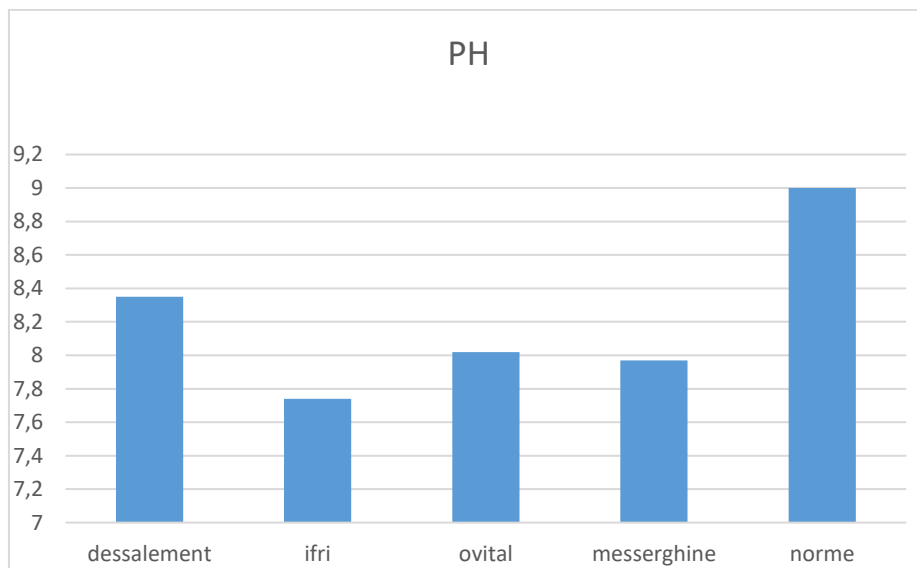


Figure III.6. pH

Toutes les eaux analysées (Dessalement, Ifri, Orival et Messenhuine) présentent un pH conforme aux normes de potabilité mentionnées dans le tableau ([6,5 - 9]).

L'eau de dessalement affiche le pH le plus élevé (8,35), tandis que l'eau Ifri est la plus proche de la neutralité (7,74).

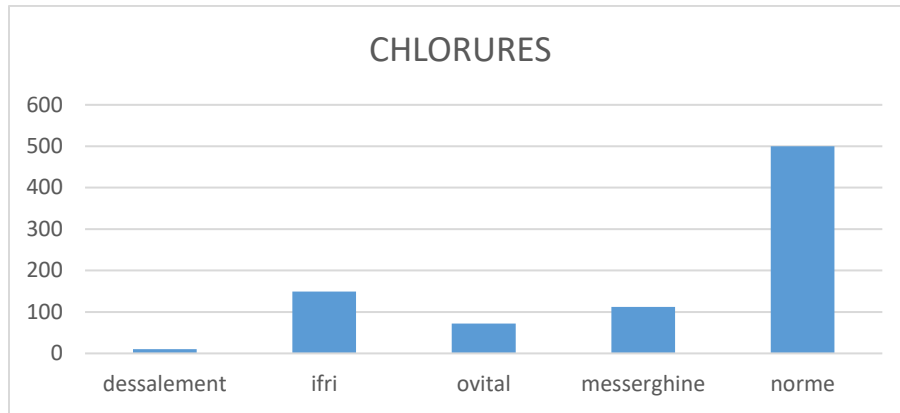


Figure III.7. CHLORURES

Toutes les eaux analysées sont conformes aux normes (< 500 mg/l), avec une mention spéciale pour l'eau de dessalement qui est la plus pure en chlorures (9,94 mg/l) par rapport aux eaux de source plus minéralisées comme Ifri.

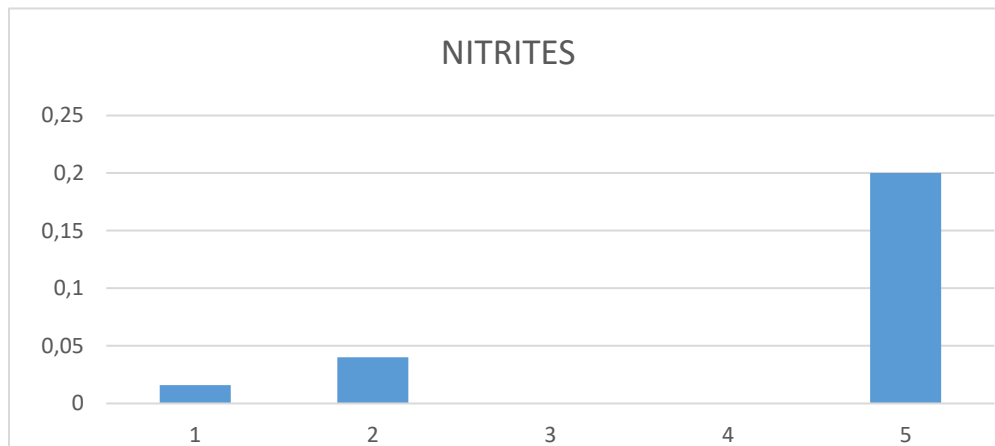


Figure III.8. NITRITES

Toutes les eaux sont conformes à la norme (< 0,2 mg/l), avec des traces quasi nulles pour Ovital et Messreghine, ce qui garantit l'absence de pollution organique récente.

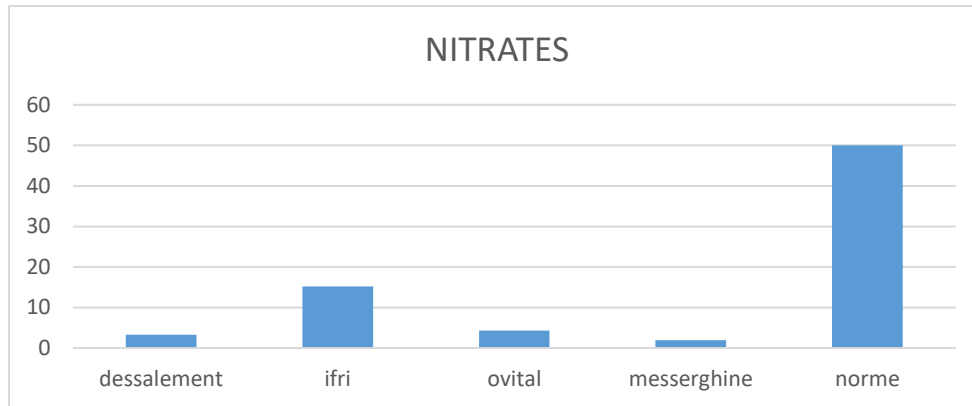


Figure III.9. NITRATES

Les quatre eaux sont parfaitement conformes à la norme (< 50 mg/l), les concentrations étant très faibles, ce qui confirme l'absence de pollution agricole ou industrielle majeure.

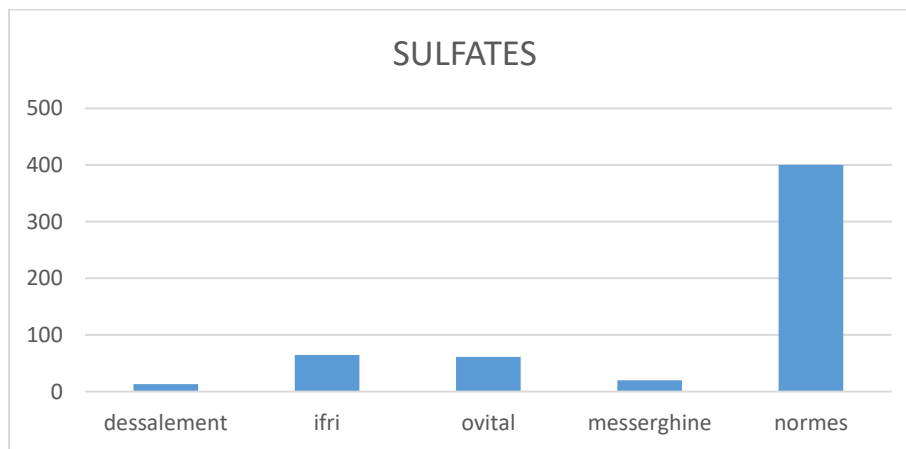
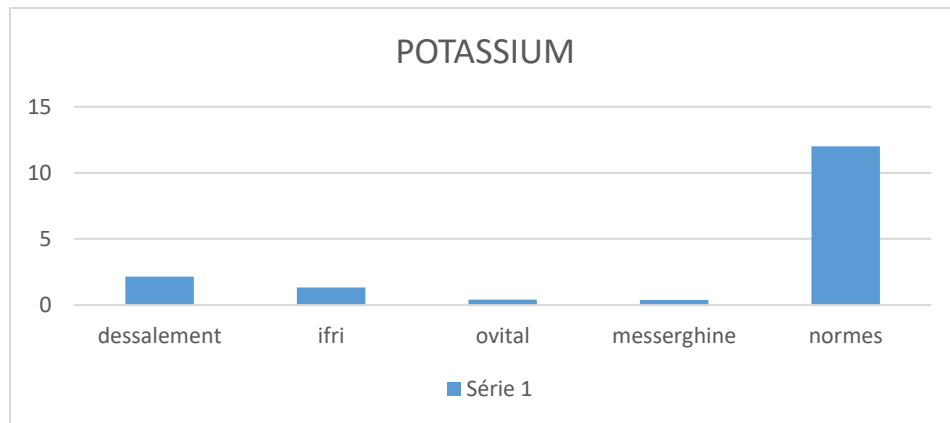
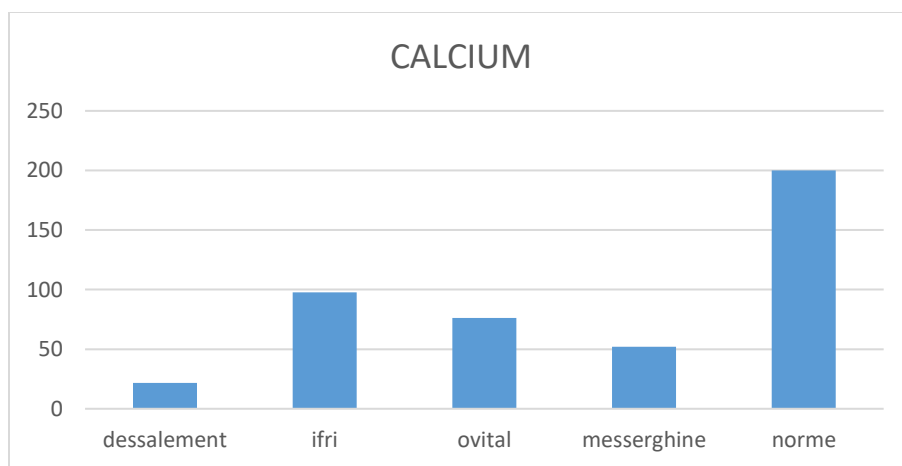


Figure III.10. SULFATES

Toutes les eaux respectent largement la norme (< 400 mg/l), les taux restant très bas, ce qui garantit une eau sans arrière-goût amer et sans effet laxatif.

**Figure III.11. POTASSIUM**

Toutes les concentrations en potassium sont excellentes et bien inférieures à la limite (< 12 mg/l), l'eau de dessalement ayant le taux le plus élevé tout en restant très loin du seuil critique.

**Figure III.12. CALCIUM**

Bien que l'eau Ifri soit la plus calcaire du groupe avec 97,79 mg/l, toutes les échantillons restent largement conformes à la norme (< 200 mg/l).

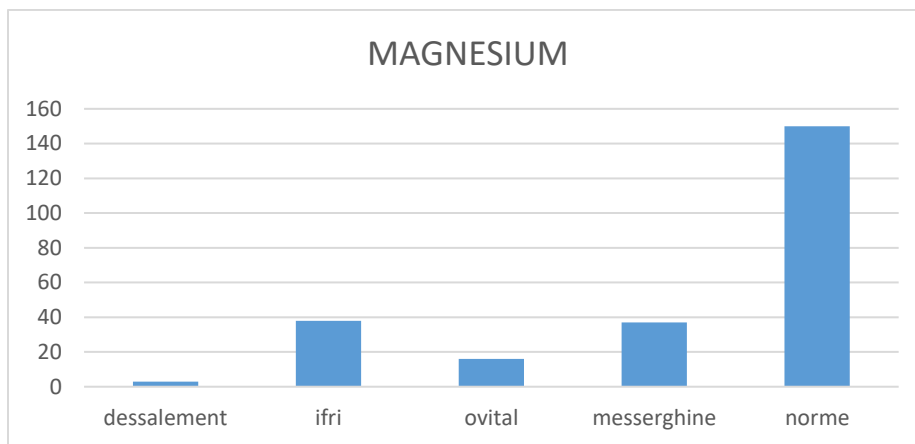


Figure III.13. MAGNESIUM

Toutes les eaux sont largement conformes à la norme (< 150 mg/l), l'eau de dessalement étant la plus légère tandis qu'Ifri et Messenghuine ont des taux très proches et modérés.

Tableau III.7 : Résultats et discussions bactériologique

Paramètres bacteriologiques	Eau dessalée	Ifri	Ovital	Messerghine	Normes algeriennes
Coliformes totaux	Absence	Absence	Absence	Absence	0/100ml
Coliformes fécaux	Absence	Absence	Absence	Absence	0/100ml
Streptocoques fecaux	Absence	Absence	Absence	Absence	0/100ml
Clostridium sulfito- reducteurs	Absence	Absence	Absence	Absence	0/100ml
Germes totaux à 37°C	< 10	< 10	< 10	< 10	10/1ml

III.6. CONCLUSION

L'étude comparative montre que l'eau de dessalement de Tizirt a une pureté meilleure et une minéralisation plus faible que celle des eaux minérales naturelles comme Ifri ou Messerghuine. Grâce à l'efficacité de l'osmose inverse, les niveaux de sels et de minéraux sont bien contrôlés, assurant une eau douce et conforme aux normes de potabilité les plus strictes. Bien que son profil minéral soit moins chargé, cette ressource assure une sécurité sanitaire optimale et une alternative durable aux eaux souterraines. Cependant, pour maximiser ses bienfaits physiologiques, il est important d'améliorer les techniques de post-traitement. C'est pourquoi le chapitre suivant sera dédié à l'étude des procédés de reminéralisation, visant à enrichir cette eau en minéraux essentiels pour assurer un équilibre sain et bénéfique pour le corps humain d'un point de vue médical.

Chapitre IV :

Technique d'amélioration de L'eau dessalée

IV.1. INTRODUCTION

L'eau provenant des usines de dessalement, appelée perméat, a une faible concentration en minéraux, dureté, alcalinité et pH. Donc, l'eau dessalée doit être traitée et enrichie en minéraux avant d'être distribuée pour usage. Les principaux objectifs de la reminéralisation sont protéger le système de distribution de l'eau contre la corrosion et ajouter les minéraux essentiels nécessaires pour répondre aux besoins alimentaires humains et pour aider d'autres usages de l'eau dessalée, comme l'irrigation [26].

IV.2. LA REMINERALISATION PAR CALCITE

Des produits chimiques avec du calcium, comme la chaux, la calcite, l'hypochlorite de calcium ou le calcium et le magnésium comme la dolomite, sont souvent ajoutés à l'eau dessalée à une dose de 60 à 120 mg/l (comme CaCO_3) pour gérer et contrôler la corrosion du système de distribution de l'eau et protéger la santé publique.

Ces produits chimiques créent du carbonate de calcium ou un mélange de carbonate de calcium et de magnésium dans l'eau dessalée qui, se dépose en quantités appropriées sur la surface intérieure des tuyaux de distribution pour former une couche protectrice qui agit comme une barrière physique contre la corrosion (Nikolay, 2011).

IV.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La reminéralisation de l'eau dessalée par calcite est un procédé utilisé pour enrichir une eau pauvre de minéraux, son principe est basé sur la dissolution de carbonate de calcium en présence de dioxyde de carbone. L'injection de CO_2 permet de réduire légèrement le PH de l'eau qui favorise la dissolution de calcite selon la réaction suivante :



Ce mécanisme permet d'augmenter la concentration des ions de calcium et les bicarbonates qui améliorent l'alcalinité et rétablissent l'équilibre calco-carbonique.

IV.4. LES ETAPES DE LA REMINERALISATION PAR CALCITE

IV.4.1. Ajustement du pH

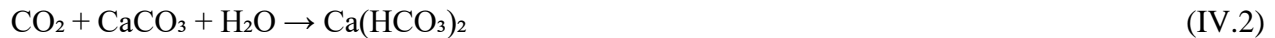
L'eau dessalée est d'abord acidifiée (par CO_2 ou acide) afin de réduire son pH et faciliter la dissolution du calcaire.

IV.4.2. Passage dans le lit de calcite

L'eau traverse un filtre contenant des grains de calcite (CaCO_3).

IV.4.3. Réaction chimique

La calcite réagit avec le dioxyde de carbone et l'eau pour former du bicarbonate de calcium :



IV.4.4. Augmentation de la minéralisation

Cette réaction permet d'augmenter la dureté (Ca^{2+}) et l'alcalinité (HCO_3^-) de l'eau.

IV.4.5. Temps de contact

L'eau reste en contact avec la calcite pendant un temps suffisant (10 à 30 minutes) pour assurer une bonne dissolution.

IV.4.6. Sortie de l'eau traitée

L'eau reminéralisée sort avec des caractéristiques chimiques améliorées.

IV.4.7. Ajustement final du pH

Le pH est ajusté si nécessaire pour atteindre une valeur stable (environ 7,5 à 8,5)[27] .

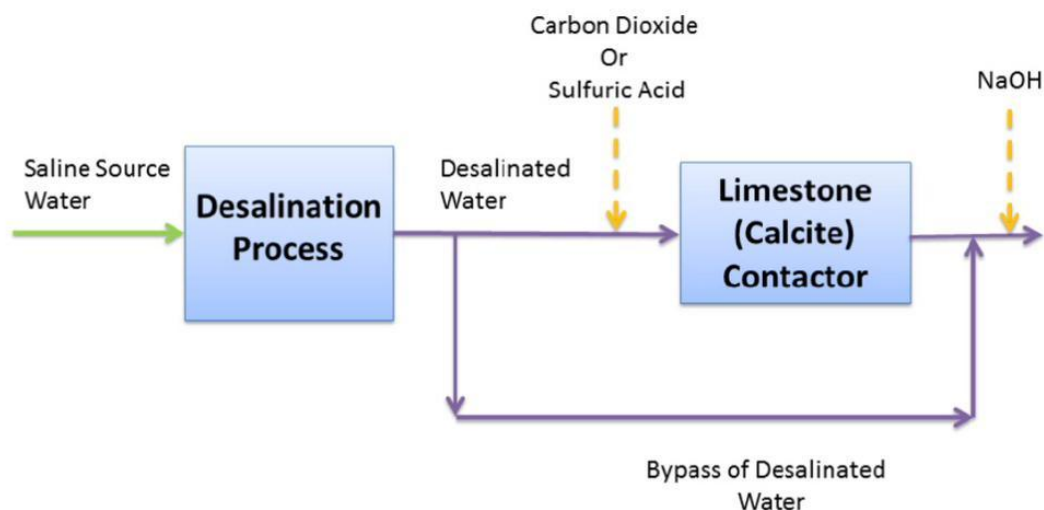


Figure IV.1 : schéma du système de reminéralisation du contacteur calcaire typique [27]

IV.5. CONCLUSION

La reminéralisation de l'eau dessalée est importante pour garantir sa stabilité et prévenir la corrosion. Le CO_2 et l'acide sulfurique sont nécessaires pour régler le pH, mais le CO_2 est plus sécuritaire à utiliser. La calcite se présente comme une option plus rentable, simple et efficace que la chaux, même si elle nécessite plus de matériau. L'utilisation d'acide sulfurique peut causer des problèmes comme la formation de gypse et l'augmentation des sulfates. Enfin, le mélange avec

d'autres eaux peut réduire les dépenses, mais il n'est pas conseillé pour l'eau potable à cause des impuretés ajoutées [28].

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail, il apparaît que le dessalement de l'eau de mer est une solution essentielle pour compenser le manque croissant de ressources en eau potable, surtout dans les régions en stress hydrique. Toutefois, l'eau dessalée obtenue présente une faible minéralisation et un déséquilibre chimique qui peuvent affecter sa qualité ainsi que la santé humaine.

Dans ce contexte, la reminéralisation par calcite est une étape nécessaire pour améliorer les propriétés physico-chimiques de cette eau. En effet, ce procédé permet d'enrichir l'eau en calcium et en bicarbonates, d'ajuster le pH et de rétablir l'équilibre calco-carbonique, rendant ainsi l'eau plus stable, moins corrosive et plus adaptée à la consommation humaine.

Les résultats de cette étude montrent que la reminéralisation par calcite, associée à l'injection de dioxyde de carbone, est une méthode efficace, économique et simple à appliquer. Elle permet d'améliorer la qualité de l'eau dessalée et de l'approcher des caractéristiques des eaux minérales naturelles, tout en respectant les normes de potabilité.

En conclusion, la combinaison du dessalement et de la reminéralisation par calcite représente une solution durable pour assurer une eau potable de bonne qualité, contribuant ainsi à la protection de la santé humaine et à une gestion efficace des ressources en eau.

Références bibliographiques

- [1] World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking-Water Quality. 4th edition, World Health Organization, Genève, 2017.
- [2] ASSOULINE J. et ASSOULINE S. Géopolitique de l'eau : nature et enjeu. Edition Studyrama, 2007, p.140.
- [3] Le blog des Mondes de l'eau. Précieuse eau douce, la nature de l'eau. Source : Acquaforlife et Wikipédia, 2013.
- [4] Livre Bleu. Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur l'eau potable et l'assainissement des eaux usées. BELGAQUA, Belgique, 2ème édition, 2002.
- [5] CIEAU. Cycle de l'eau. Disponible sur : <https://www.cieau.com/espace-enseignants-et-jeunes/les-enfants-et-si-on-en-apprenait-plus-sur-leau-du-robinet/cycle-de-leau>
- [6] CIFIQE. Qualité de l'eau 101 : introduction aux microsystemes d'approvisionnement en eau potable. Manuel version 1.1, 2011.
- [7] Comité Engineering Gestion Durable des Ressources en Eau. Gestion durable des ressources en eau. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, Tunisie, 2007, p.93.
- [8] BENETEAU E. et PUJADÈS J. L'eau. Académie Versailles, 2009, p.13.
- [9] Green Facts. Ressources en eau. Schweizerische Eidgenossenschaft, 2014, p.6.
- [10] Organisation Mondiale de la Santé (OMS). L'eau et la santé : Directives de l'OMS sur la qualité de l'eau de boisson. Centre de documentation, 2003, p.13.
- [11] R. DESRDANS. Le traitement des eaux. Édition de l'École Polytechnique de Montréal.
- [12] BAKALOWICZ M. Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée, Corse, 1999.
- [13] DUEDELL I. Notes de cours d'océanographie. Florida Institute of Technology.
- [14] DEGREMONT G. Memento technique de l'eau, Tome 1. 10ème édition, Lavoisier, Paris, 2005, p.5.
- [15] DEGREMONT G. Memento technique de l'eau, Tome 1. 10ème édition, Lavoisier, Paris, 2005, p.6.
- [16] DEGREMONT G. Memento technique de l'eau, Tome 1. 10ème édition, Lavoisier, Paris, 2005, p.6.
- [17] DEGREMONT G. Memento technique de l'eau, Tome 1. 10ème édition, Lavoisier, Paris, 2005, p.7.

- [18] MORVAN G. Les techniques de potabilisation de l'eau : dessalination, dessalement et traitement de l'eau saumâtre, 2006.
- [19] SALOMON J. Le dessalement de l'eau de mer est-il une voie d'avenir ? Magazine de Géographie et Aménagement du Territoire, Centre d'Études de Géographie et d'Aménagement du Territoire, 2012, pp.237-262.
- [20] NOUREDDINE N. Étude d'impact des rejets des eaux de la station de déminéralisation de Brédéah sur l'environnement. Mémoire de Magister en Sciences et Techniques, Université d'Oran, 2008.
- [21] NOUREDDINE N. Étude d'impact des rejets des eaux de la station de déminéralisation de Brédéah sur l'environnement. Mémoire de Magister en Sciences et Techniques, Université d'Oran, 2008.
- [22] WEMSY DIAGNE N. Le nettoyage : une étape-clé pour une production durable par procédé à membrane : réflexion sur le lien entre conditions de production et nettoyabilité d'une membrane PES de l'industrie laitière. Thèse de Doctorat en Chimie, Université de Rennes 1, 2013.
- [23] P. BRUN J. Procédés de séparations par membrane : transport, techniques membranaires et application. Édition Masson, 1988.
- [24] BENAIRIA A. et EL KHARMECHEN N. Impact de la turbidité de l'eau de mer sur la station de dessalement de Mainis à Ténès (W. Chlef). Mémoire de Master en Génie Chimique, Université de Bejaia.
- [25] SIZINE Y. Contribution à l'étude de la reminéralisation de l'eau obtenue au niveau de la station de dessalement de Tizirt. Mémoire de Master, Département de Chimie, Option Chimie de l'Environnement, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012, p.24.
- [26] SIZINE Y. Contribution à l'étude de la reminéralisation de l'eau obtenue au niveau de la station de dessalement de Tizirt. Mémoire de Master, Faculté des Sciences, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012, p.20.
- [27] VOUTCHKOV N. Re-mineralization of Desalinated Water. SunCam, 2011.
- [28] BIYOUNE M. G. et al. Remineralization of desalinated water: Duality roles of H₂SO₄ and CO₂ injection during calco-carbonic equilibrium of osmosis water. Results in Engineering, vol.22, 2024, article 102341.