

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTER DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID DE TLEMCCEN
FACULTE DES SCIENCES DE LA VIE ET LA TERRE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



STATION ALGERIENNE DES EAUX BREA-TLEMCCEN

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme
MASTER MICROBIOLOGIE FONDAMENTALE

THÈME

**ANALYSE COMPARATIVE ENTRE L'EAU
DE DÉSSALEMENT, L'EAU DE SOURCE et
L'EAU MINERALE**

Présenté par : Amri Djihene et Chikh Fadia

Soutenu le 04/07/2023 devant le jury composé de :

Présidente
Examinatrice
Encadreur

Mme Mekadder Ilham
Mme Kholkhal Wahiba
Mme Bensalah Fatéma

MCA
MCB
MCB

Année universitaire 2022 /2023

Remerciements

Ce mémoire est le fruit des efforts fournis et des sacrifices consentis par plusieurs personnes que je ne pourrai oublier de remercier.

Mes remerciements s'adressent d'abord à dieu, créateur de toutes choses, pour son souffle et tous ses innombrables bienfaits.

Aussi, je remercie ma directrice de mémoire, Mme Bensalah Fatéma d'avoir accepté de m'encadrer dans la conception et l'élaboration de ce travail, et aussi pour le dévouement manifesté malgré toutes ses nombreuses occupations.

Nous tenons tout particulièrement à remercier les membres du jury, Mme la présidente de jury Mekadder Ilham et l'examinatrice Mme Kholkhal Wahiba pour leur présence, pour leur lecture attentive de notre mémoire ainsi que pour leurs remarques et conseils avisés afin d'améliorer notre travail. Qu'ils trouvent ici nos sentiments de gratitude et de déférence.

Enfin, nous tenons à remercier le chef de laboratoire Mme Fehaima Halima pour la réception au sein du laboratoire et toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre stage Mme Benhbib Hajira, Mme Bouziane Hassiba, Mme Benmiloud Cherifa et Mme Sari Hassiba, ainsi que toute l'équipe de la station de l'Algérienne des eaux Tlemcen, et de laboratoire de contrôle de qualité.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en tout premier lieu, je remercie Dieu, tout puissant de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

A mon très cher père Abdelmoumene pour ses encouragements, son soutien surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études. Je t'aime papa et j'implore Allah pour qu'il t'accorde une bonne santé et une vie longue et heureuse.

A ma très chère maman Fadela qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi, ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours, je t'aime mon cœur.

A mon frère Abderrahim et ma sœur Sarah.

Mes meilleures amies Asma, Imane et Chaimae.

Mes cousines préférées Meriem et Amira.

A mon Boss (HB) qui a toujours offert le soutien moral et le confort pour aller au mieux.

Un grand merci à ma chère amie, ma jumelle dans ce mémoire de recherche, Djihene et je souhaite que l'amitié qui nous a réunis persiste pour toujours et que nous arrivions à réaliser nos rêves.

Dédicace

A l'aide de dieu le tout puissant, qui m'a tracé le chemin de ma vie, on a pu réaliser ce travail que je dédie :

A la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pats et le bonheur de ma vie ma mère qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'étude pour son sacrifice et soutien.

A mon cher frère Aboubaker qui m'a appris le sens de la persévérance tout au long de mon parcours pour ses encouragements.

A une personne si spéciale dans ma vie Adhane, merci d'être toujours là pour moi

A ma chère grand-mère, mes tantes et mon oncle et toutes la famille Loudjedi

A ma cousine Narimene, je te dis merci et je te souhaite bonheur, réussite et prospérité.

A mes amies que j'adore Asma, Imene et Chaima

A ma meilleure amie, mon âme sœur et mon binôme Fadia que j'aime trop

Et enfin, À mon papa qui est parti trop tôt, Ce message est pour toi, où que tu sois là-haut. Tu étais mon héros, mon guide, mon roc, toujours là pour moi, même dans les bas-fonds. Ton sourire réchauffait mon cœur, ta présence me donnait tant de bonheur.

Tu étais un homme fort, vaillant et sage, et tu m'as transmis cet amour sans âge. Tu as lutté contre la maladie avec bravoure, Jamais ne montrant ta douleur, ta lourde allure.

Tu t'es battu jusqu'au dernier instant, mais ton départ a été si déchirant. Ton absence est palpable dans ma vie, Mais je garde en moi tous les souvenirs infinis. Les moments partagés restent à jamais, Gravés dans mon cœur, pour l'éternité.

Tu me manques chaque jour qui passe, mais je sais que de là-haut, tu me vois, tu embrasses. Je te dédie ces mots, mon cher papa pour te dire combien je t'aime là où tu es déjà. Veille sur moi, protège-moi de là-haut, Je continuerai à faire de toi ma fierté, mon héros.

Table de matière

Table de matière

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	1
Chapitre 01 : Revue bibliographique	
I.1 Généralité sur l'eau	4
I.2 Définition de l'eau	4
I.3 La molécule d'eau	4
I.4 Les origines et les sources d'eau	5
I.4.1 l'eau souterraine	5
I.4.2 l'eau de surface	5
I.4.3 l'eau de mer	5
I.5 Propriété de l'eau	5
I.6 Cycle de l'eau	6
I.7 Les formes de l'eau	7
I.7.1 Précipitation	7
I.7.2 Les glaciers	7
I.7.3 Mers et océans	7
I.7.4 Bassin fluvial	7
I.7.5 Zones humides	7
I.7.6 Eaux souterraines	7
I.8 L'importance de l'eau	8
I.9 Répartition de l'eau sur la planète	8
I.10 Les paramètres organoleptiques	9
I.11 Les paramètres de qualité de l'eau	10
I.11.1 Paramètres physico-chimiques	10
I.11.2 Paramètres bactériologiques	13
I.12 La pollution d'eau	14
I.12.1 Principaux polluants	14
I.12.2 Les types de pollution d'eau	14

II Le dessalement de l'eau	15
II.1 Petite généralité sur le dessalement	15
II.2 définition de dessalement de l'eau de mer	16
II.3 Divers procédés de dessalement	16
II.3.1.1 La distillation	17
II.3.2 Procédés membranaires.....	19
II.3.2.1 L'électrodialyse	19
II.3.2.2 L'osmose inverse	20
II.3.3 Autres procédés de dessalement	21
II.4 Le dessalement dans le monde	22
II.5 Le dessalement en Algérie	22
II.6 Le coût de dessalement	23
II.7 Problèmes techniques rencontrés en dessalement.....	23
III.1 Traitements des eaux.....	24
III.2 Traitement physico-chimique de l'eau	24
III.2.1 Prétraitement	24
III.2.2 Clarification	24
III.2.3 Décantation.....	25
III.2.4 Filtration sur sable.....	25
III.2.5 Adsorption.....	26
III.2.6 Désinfection	26
III.3 Conditions générales pour une bonne désinfection	27
III.4 les eaux souterraines (eau de source et eau minérale).....	27
III.4.1 Eau de source	28
III.4.2 Eau minérale	28
III.5 La flore naturelle des eaux de sources et des eaux minérales.....	29
III.6 Protection des eaux minérales naturelles et des eaux de sources dans le cadre environnemental.....	30
III.7 Les conditions de traitement des eaux minérales naturelles et des eaux de sources ou les adjonctions autorisées	30
Chapitre 02 : Matériels et méthodes	
I Présentation de station de l'Algérienne des eaux ADE	32
I.1 Situation géographique de la station ADE Tlemcen.....	32

I.2 Présentation de laboratoire ADE	33
I.3 Durée et lieux d'étude	33
I.4 Notre zone d'étude	33
I.5 Objectif de notre travail	34
II Matériels et méthodes	34
II.1 Echantillonnage	34
II.2 Les paramètres de potabilité d'eau	35
II.2.1 Paramètres organoleptiques	35
II.2.2 Les paramètres physico-chimiques	35
II.2.2.1 Mesure de pH	35
II.2.2.2 Mesure de la conductivité	36
II.2.2.3 Mesure de la turbidité	37
II.2.2.4 Paramètres de minéralisation globales	38
II.2.2.5 Paramètres de pollution	42
II.2.3 Paramètres bactériologiques	44
II.2.3.1 Recherche de dénombrements des germes	45
II.2.3.1.1 Les coliformes totaux	45
II.2.3.1.2 Les germes totaux	46
II.2.3.1.3 Les streptocoques fécaux	47
II.2.3.1.4 Les clostridium sulfito-réducteur	47
Chapitre 03 : Résultats et discussion	
I Résultats et discussion	49
I.1 Discussion de résultats physico-chimiques	49
I.1.1 le pH	50
I.1.2 La température	51
I.1.3 la conductivité	52
I.1.4 La turbidité	52
I.1.5 Discussion des résultats de minéralisation globales	54
I.1.6 Discussion des résultats des paramètres de pollution	59
I.2 Discussion des résultats bactériologiques	61
I.2.1 Les germes totaux	62
I.2.2 Les coliformes totaux	62

I.2.3 Les streptocoques fécaux.....	62
I.2.4 Les clostridium sulfito-réducteur.....	62
Conclusion générale et perspectives	65
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumé	

Liste des abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux.

OMS : Organisation Mondial de la Santé.

TAC : Titre Alcalimétrique complet.

NTU : Unité de Turbidité Néphélométrie.

EDTA : Ethylène Diamine Titraacitique.

TGEA : Gélose Triptoné à l'extrait de levure.

BEA : Gélose à Bile, à l'Esculine et à l'Azoture.

pH : Potentiel d'Hydrogène.

MES : Matière en suspension.

VF : viande foie.

E. coli : Escherichia coli.

°C : Degré Celsius.

µm : Micromètre Ultraviolet.

µs /cm : micro siemens par centimètre.

°F : Degré Français.

N : Normalité.

IDA : Association internationale de développement.

UV : Ultraviolet.

AFSCA : Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire.

Liste des figures

Figure 01 : La molécule d'eau.

Figure 02 : Cycle de l'eau.

Figure 03 : Clostridium perfringens sous microscope optique GX1000.

Figure 04 : Répartition de l'eau douce.

Figure 05 : Les divers procédés de dessalement.

Figure 06 : Distillation à simple effet.

Figure 07 : Distillation à multiple effet.

Figure 08 : Principe de fonctionnement d'un système par détente successive (MSF)

Figure 09 : Compression mécanique de vapeur.

Figure 10 : Procédés d'électrodialyse simplifiée.

Figure 11 : schéma expliquant le principe d'osmose inverse.

Figure 12 : Bassin de décantation.

Figure 13 : Bassin de filtration.

Figure 14 : Carte géographique de LADE.

Figure 15 : Localisation de Honaine et Sabra.

Figure 16 : Carte géographique de Saida.

Figure 17 : Appareil PH-mètre.

Figure 18 : Appareil conductimètre.

Figure 19 : Appareil turbidimètre.

Figure 20 : Le noir erichrome.

Figure 21 : virage de couleur du violet au bleu.

Figure 22 : virage de couleur marron.

Figure 23 : Indicateur coloré

Figure 24 : Observation avant le virage de couleur (rose)

Figure 25 : Dichloroisocyanurate de sodium.

Figure 26 : Rompe à filtration.

Figure 27 : Incubateur.

Figure 28 : membrane de filtration.

Figure 29 : Représentation des tubes correspondant à la recherche et dénombrement des Clostridium.

Figure 30 : Bain marie.

Figure 31 : Résultat de pH

Figure 32 : Résultat de Température.

Figure 33 : Résultat de conductivité.

Figure 34 : Résultat de Turbidité.

Figure 35 : Résultat de TH.

Figure 36 : Résultat de TAC.

Figure 37 : Résultat de sulfate.

Figure 38 : Résultat de calcium.

Figure 39 : Résultat de Magnésium.

Figure 40 : Résultat de phosphate.

Figure 41 : Résultat de Nitrate.

Liste des tableaux

Tableau 01 : Réserve d'eau de la planète.

Tableau 02 : Résultats des analyses physico-chimiques.

Tableau 03 : Résultats des analyses bactériologiques.

Tableau 04 : Normes des paramètres physico-chimiques (Normes Algérienne et OMS)

Tableau 05 : Normes des paramètres bactériologiques (Algérienne des eaux)

Introduction



Introduction

L'existence de toutes les formes de vie sur notre planète dépend absolument de l'eau, qui est comme le sang bleu de la nature (**Sari, 2014**). Cet élément est crucial pour le bon fonctionnement des écosystèmes, ainsi que pour nos activités quotidiennes telles que l'agriculture, l'industrie, les loisirs et l'utilisation domestique (**Mazzuoli, 2012**).

L'eau est essentielle pour vivre, mais elle peut aussi causer la mort de millions de personnes dans le tiers-monde à cause de la pollution chimique et microbienne qui la rend impropre à la consommation (**Guiraud, 1980**).

Ainsi, l'eau non traitée doit être captée, purifiée et distribuée en respectant des normes strictes (**Brémaud, 2006**). Pour produire de l'eau potable avec ces caractéristiques, il est souvent nécessaire de mettre en place des traitements spécifiques pour répondre aux exigences des organismes de santé publique (**Liferki, 2015**).

La situation actuelle est telle que la communauté scientifique a tiré la sonnette d'alarme pour mobiliser la conscience humaine sur l'avenir flou de notre planète. En effet, la protection et la gestion de cet élément naturel sont indispensables à la survie de l'humanité, du règne animal et végétal (**Roux, 1995**).

D'après l'organisation mondiale de la santé 80% des maladies qui affectent la population mondiale sont directement associées à l'eau (paludisme, schistosomiase...), on estime par ailleurs que les eaux polluées sont responsables de 50% des cas de mortalité infantile (**Desjardins, 1997**). Donc l'eau brute est une matière première qui doit être prélevée, traitée, et distribuée selon des règles strictes (**Brémaud, 2006**). Par conséquent, en fonction de ces caractéristiques destinées à la production d'eau potable, la mise en place de traitements spécifiques s'avère le plus souvent nécessaire afin de répondre aux exigences réglementaires établies par les organismes de la santé publique (**Liferki, 2015**).

Les ressources naturelles en eau sont constituées d'eaux souterraines et superficielles, l'eau souterraine présente souvent des avantages de qualité, d'accessibilité et de fiabilité par rapport à l'eau de surface ; elle ne renferme généralement pas de polluants microbiologiques (**Roux, 1995**).

L'Algérie se situe parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques à cause de sa situation géographique. Les ressources en eau sont inégalement réparties et limitées et la principale source de satisfaction de la demande en eau, au sud, est l'eau souterraine tandis qu'au nord elle est mixte (eau souterraine et de surface) (**Hamadouche et al., 2018**).

L'eau en Algérie revêt un caractère stratégique du fait de sa rareté et d'un cycle naturellement perturbé et déséquilibré. Qu'il s'agisse de l'eau souterraine ou de l'eau de surface, les ressources sont limitées et compte tenu des problèmes démographiques et de l'occupation de l'espace (sachant que près de 60% de la population algérienne est concentrée dans la frange septentrionale du territoire qui ne représente que le dixième de la surface totale du pays) (**Boudjadja et al., 2005**).

Le manque d'eau douce est devenu un problème majeur dans le monde entier. Avec une population croissante et une utilisation accrue de l'eau pour l'agriculture, l'industrie et les besoins domestiques, de nombreuses régions du monde font face à une pénurie d'eau. Dans ce contexte, le dessalement de l'eau de mer, qui consiste à enlever le sel et les impuretés de l'eau

Introduction

de mer pour la rendre potable et utilisable, joue un rôle crucial pour compléter ce manque d'eau douce. Cependant, il est primordial de comprendre la qualité de cette eau dessalée avant de la consommer.

C'est pour cela que nous avons choisi comme problématique la comparaison entre trois types d'eaux (l'eau de dessalement, l'eau de source et l'eau minérale) pour notre projet de fin de cycle, et dans ce cadre d'étude nous avons analysé la qualité physico-chimique et bactériologique des différents échantillons dans l'objectif de réaliser une étude comparative physico-chimique et bactériologique sur la qualité d'eau traité, et enfin de déterminer leurs potabilités en les comparant avec les normes internationales.

Ce manuscrit est constitué de quatre chapitres, en plus d'une introduction et une conclusion générale.

- Le premier chapitre, revue de littérature rassemble quelques généralités sur l'eau potable, le dessalement de l'eau et les traitements des eaux
- Le deuxième chapitre, qui est consacrée au matériel utilisé, aux méthodes adoptées.
- Le troisième chapitre qui englobe les résultats obtenus et leur discussion.

Enfin nous terminons par une conclusion générale résumant les différents résultats obtenus et quelques recommandations et perspectives.

Chapitre 01:

Revue de littérature

I.1. Généralité sur l'eau

L'eau constitue la source la plus importante sur notre planète que l'homme l'utilise chaque jour (UNESCO, 2003). Même si la majorité de la planète est couverte d'eau, ses ressources diminuent rapidement (PAER, 2010). Il est essentiel de savoir utiliser l'eau de manière responsable pour préserver la nature (Beneteaud et Pujades, 2009).

I.2 Définition de l'eau potable

On trouve de l'eau partout dans la nature. Elle est liquide, ne comporte ni couleur, ni odeur, ni goût, a un pH neutre et est un solvant efficace présent chez la plupart des êtres vivants (Bernard, 2007).

Une eau potable est une eau qui ne présente pas de risques pour la santé, selon l'OMS. Elle ne contient pas de micro-organismes pathogènes tels que les bactéries et les virus. Des normes nationales ou internationales sont établies pour garantir sa potabilité, bien que son accessibilité puisse varier en fonction du climat, de la géographie, des facteurs socioculturels et économiques. Pour éviter les maladies, il est important de surveiller et de contrôler rigoureusement la qualité de l'eau potable, de la source jusqu'au consommateur. En effet, la consommation d'eau de mauvaise qualité peut entraîner des maladies à transmission hydrique, particulièrement lorsque l'eau est contaminée par des matières fécales humaines ou animales. L'eau potable peut provenir de sources souterraines (tels que les puits, les forages, et les sources) ou de sources de surface (telles que les réservoirs d'eau et les barrages), et est distribuée à travers un réseau de canalisations (ONU, 2021).

I.3 La molécule d'eau :

Constituée d'un atome d'oxygène O et de deux atomes d'hydrogène H, la molécule d'eau H₂O est l'une des molécules les plus simples et les plus abondantes de l'univers (Figure 01).

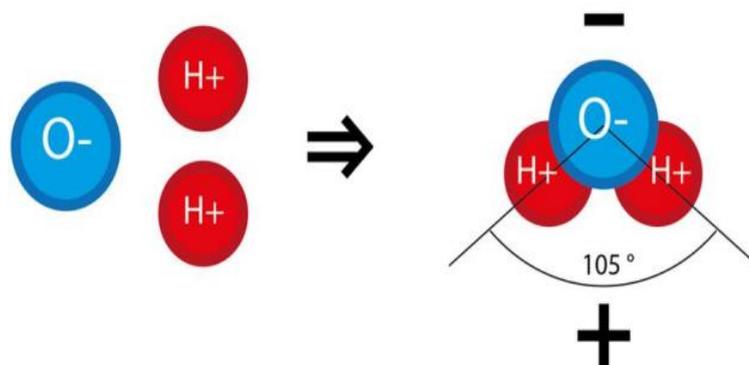


Figure 01 : La molécule d'eau (Granger, 2019)

En général, les molécules sont stabilisées lorsque leurs atomes partagent ce qu'on appelle des électrons de "valence". La forme précise de ce "ciment", appelé

"nuage d'électrons", a un jeu subtil d'attraction et de répulsion, bien décrit par la chimie quantique. Lorsque deux molécules d'eau interagissent (dimères), une liaison particulière s'établit entre elles : une liaison hydrogène (**Euzen et al, 2015**).

I.4 Les origines et les sources de l'eau

L'eau sur Terre peut provenir de deux sources : les chondrites carbonées, des météorites primitives de la région de Jupiter et Saturne, qui ont une composition isotopique similaire à celle de l'eau terrestre, et les comètes, des objets plus récents constitués de glace et de poussière, qui viennent du nuage d'Oort de la région d'Uranus et de Neptune. L'eau est arrivée sur Terre par des collisions successives (**Henri, 2014**).

I.4.1 L'eau souterraine

L'eau dans le sol et le sous-sol vient presque exclusivement des précipitations. Il y a deux types d'eau : "verte", qui est l'eau de pluie stockée temporairement en surface et "bleue" souterraine, qui s'infiltre plus profondément et s'écoule vers les sources, les fleuves ou la mer, et peut être captée par l'homme avec des puits ou des forages (**Ghislain et Besbes, 2017**).

I.4.2 L'eau de surface

Ce type d'eau englobe toutes les eaux douces que l'on trouve à la surface de la terre, comme les rivières, les lacs, les étangs ou les barrages. La composition chimique de ces eaux dépend des terrains qu'elles traversent en amont. Elles abritent souvent une vie microbienne liée aux déchets autour et à la surface de l'eau qui permet aux microbes de se nourrir (**Degremont, 1989**).

I.4.3 L'eau de mer

L'eau de mer est une solution complexe contenant tous les éléments nécessaires à la vie (calcium, silicium, carbone, azote, phosphore, oligo-éléments), des matières organiques (concentrations comprises entre 0,5 et 2 mg) et des gaz présents dans l'atmosphère à l'état naturellement dissous ; L'eau de mer est légèrement alcaline, son pH est compris entre 7,5 et 8,4 (**Rapinat, 1982**), elle est caractérisée par sa salinité, c'est-à-dire sa teneur totale en sel (chlorures, sulfates, carbonates de sodium et de magnésium), la salinité moyenne des eaux océaniques est de 35 g/L, cette salinité peut varier la situation dans les zones maritimes fermées (**Huot, 2010**).

I.5 Propriétés de l'eau

Elle est très efficace pour dissoudre la plupart des organismes vivants. L'eau se combine avec certains sels pour former des hydrates et réagit avec des métaux oxydes pour former des acides. Elle est utilisée comme catalyseur dans de nombreuses réactions chimiques importantes (**Pierre et Bernard, 2011**).

La nature présente l'eau sous trois formes différentes qui dépendent de divers facteurs, comme la pression atmosphérique et la température, elle peut exister sous trois états différents : solide (glace), liquide ou gazeux.

- La glace a une structure fixe et cristalline à basse température.

- L'état gazeux n'a pas de forme ni de limite physique et les molécules sont indépendantes les unes des autres.
- L'état liquide n'a pas de forme définie, les molécules peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres mais sont liées par des forces intermoléculaires. (Sari, 2014).

I.6 Cycle naturel de l'eau

L'eau circule constamment sur la terre en suivant un parcours naturel en forme de boucle appelé cycle naturel de l'eau qui comprend cinq étapes principales (**Figure 02**) :

- L'évaporation.
- La condensation.
- La précipitation.
- Le ruissèlement.
- L'infiltration

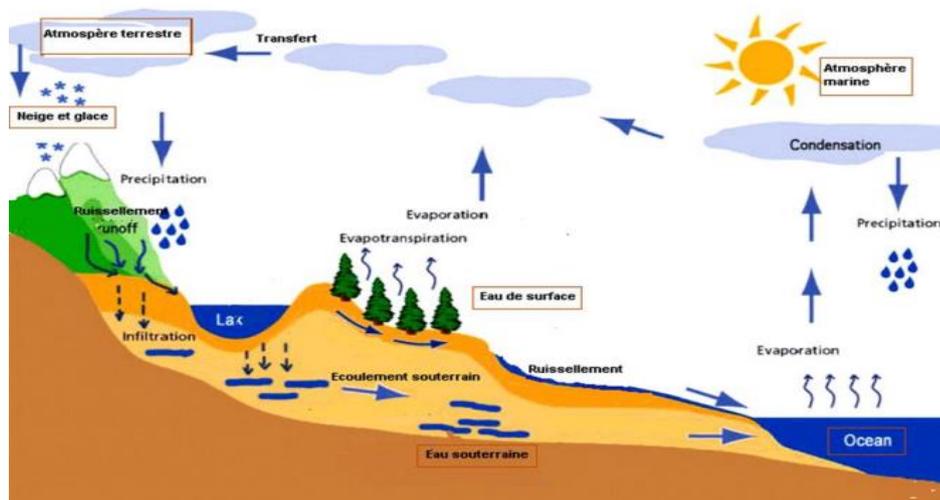


Figure 02 : Cycle de l'eau (Anonyme, 2017)

1. **Évaporation** : Sous l'action de la chaleur du soleil, l'eau de mer et les eaux de surface (lacs, rivières, flaques...) se transforment en vapeur d'eau et montent vers le ciel
2. **Condensation** : lorsque la vapeur d'eau évaporée monte dans l'air, elle se refroidit puis se transforme en nuage
3. **Précipitations** : Les nuages d'eau se déplacent et grossissent jusqu'à ce que les gouttelettes qu'ils contiennent deviennent trop lourdes. Ils descendent ensuite : c'est ce qu'on appelle les précipitations. Ils se présentent soit à l'état liquide (pluie) soit à l'état solide (neige, grêle).
4. **Ruissèlement** : Lorsque l'eau tombe du ciel, elle peut nourrir les arbres et les fleurs, ou s'écouler dans des ruisseaux qui deviennent rivières et lacs avant de retourner dans l'océan.
5. **Infiltration** : L'eau de pluie peut également s'infiltrer dans le sol. Il pénètre dans les eaux souterraines par la terre et est également appelé eau souterraine. Cette eau peut revenir par les fissures du sol. Ce sont des ressorts. Les sources rejoignent les ruisseaux, se jettent dans les rivières et les lacs et retournent à la mer (Brasilia, 2013).

I.7 Les formes de l'eau disponible sur la terre

L'eau de la Terre existe naturellement sous diverses formes dans l'atmosphère, sur et sous la surface, et dans les océans. En étudiant le cycle de l'eau, nous pouvons mieux comprendre comment l'eau interagit avec l'environnement et mieux estimer sa consommation par l'homme (**Green Facts, 2014**). Il existe plusieurs types d'eau :

I.7.1 Précipitations

Pluie, neige, rosée, etc. Ils jouent un rôle important non seulement dans les conditions climatiques locales et la biodiversité, mais aussi dans la régénération des ressources en eau. Selon les conditions locales, les précipitations peuvent alimenter les rivières et les lacs, reconstituer la nappe phréatique ou retourner dans l'atmosphère par évaporation (**Green Facts, 2014**).

I.7.2 Les glaciers

Stockent l'eau sous forme de neige et de glace et alimentent les cours d'eau locaux de quantités d'eau qui varient en fonction des saisons (**Green Facts, 2014**).

I.7.3 Mers et océans

Les eaux des mers et des océans sont des eaux salées car elles contiennent des substances dissoutes, des sels, principalement composés d'ions halogénures (**Ahmouda et Biala, 2016**). Ils sont une source de nourriture pour des centaines de millions de personnes, un moyen de commerce et de communication, et sont apparus au cours de la dernière décennie comme des liens essentiels au maintien de la vie sur terre, en particulier dans leur rôle de régulation du climat (**MATE, 2002**).

I.7.4 Bassin fluvial

Unité naturelle très utile pour la gestion des ressources en eau, dont le débit varie fortement selon les saisons et les régions climatiques (**Ghislain, 2008**).

I.7.5 Zones humides

Couvrant 6 % de la surface de la terre, elles jouent un rôle important dans les écosystèmes locaux et les ressources en eau et pourraient continuer à jouer un rôle important dans la prévention des inondations et le maintien du débit des rivières (**Green Facts, 2014**).

I.7.6 Eaux souterraines

L'eau des eaux souterraines est principalement prélevée pour l'approvisionnement en eau potable ou l'irrigation des cultures dans les régions arides (**Ghislain, 2008**). Ils existent sous la majeure partie de la masse

continentale de la terre et résultent d'accumulations d'infiltration dans le sol qui varient selon la porosité et la structure géologique (Sari, 2014).

I.8 L'importance de l'eau pour l'homme

L'eau est le composant principal du corps humain. Les organismes adultes ont une teneur moyenne en eau de 65%, ce qui correspond à environ 45 litres d'eau pour une personne pesant 70 kilogrammes. Le corps excrète constamment de l'eau. À la fin de la digestion, la majeure partie de l'eau passe à travers la paroi intestinale et dans le sang et la lymphe, la transportant dans tout le corps, en particulier les reins, la peau et les poumons. Il est ensuite excrété de différentes manières (urine, sueur, expiration). Par conséquent, comme les aliments contiennent beaucoup d'eau, l'homme doit satisfaire ses besoins en eau chaque jour non seulement en buvant mais aussi en mangeant. Afin de garder le corps en bonne santé, la perte d'eau doit être compensée par un apport constant. La soif est aussi le mécanisme "d'avertissement" du corps qu'il est déshydraté (Balderacchi, 2009).

I.9 Répartition de l'eau sur la planète

Presque toute l'eau sur la terre est dans l'océan. Même si l'atmosphère contient une très petite quantité d'eau douce, elle joue un rôle important dans le recyclage rapide de l'eau. La plupart de l'eau douce de la planète est stockée dans les calottes polaires, surtout en Antarctique, mais cette réserve n'est pas facilement accessible.

L'eau que nous utilisons provient principalement des lacs, des rivières et de l'eau souterraine. Bien que ces ressources soient principalement renouvelables, il existe des gisements d'eau souterraine appelés "fossiles", qui sont profonds (jusqu'à 1 000 m) et sont non renouvelables à l'échelle humaine, car le renouvellement est très lent, prenant plusieurs millénaires ou dizaines de millénaires. Bien que ces gisements ne soient pas importants à l'échelle mondiale, ils sont néanmoins vitaux pour certains pays, tels que les vastes bassins du Sahara et de la Péninsule arabique, car ils contiennent des réserves d'eau de bonne qualité.

- Arabie Saoudite : 500 milliards de m³
- Jordanie : 30 milliards de m³
- Lybie (nappe de Kuffra) : 3 400 milliards de m³
- Lybie (nappe de Murzuk) : 4 800 milliards de m³.

L'utilisation des eaux souterraines "fossiles" ne se limite pas aux techniques minières de recherche et de production, car ces réserves d'eau s'épuisent tout comme les réserves de pétrole ou de minerai. De plus, la répartition des aquifères sur différents pays peut entraîner des conflits. En comparant les flux des différentes parties de l'hydrosphère aux volumes de chaque réservoir, on peut calculer le temps moyen qui met chaque réservoir à se renouveler.

- 2 500 ans pour les océans
- De 1 000 à 10 000 ans pour les glaciers et les calottes glaciaires
- 1 500 ans pour l'ensemble des eaux souterraines
- 17 ans pour les lacs d'eau douce (Alain, 2006)

-
- 1 an pour l'humidité des sols
- 8 jours pour l'atmosphère
- 16 jours pour les cours d'eau (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Réserves d'eau de la planète (Alain, 2006)

Réservoirs	Volume (1015m3) a	Total %	Temps de résidence
Océan	113500	97	2500 ans
Glaciers	33	2,4	1000-10000 ans
Eaux souterraines	8	0,6	1500 ans
Lacs	0,1	<0.01	17 ans
Eau dans le sol	0,07	<0.01	1 an
Eau dans l'atmosphère	0,013	<0.001	8 jours
Rivière	0,0017	0,0001	16 jours
Eau dans la matière vivante	0,0011	0,0001	Qlqs heures
Total	1391	100	

I.10 Les paramètres organoleptiques

Ils sont liés à la couleur, au goût et à l'odeur de l'eau. L'eau doit être potable, claire et inodore. Ces paramètres sont liés au confort du consommateur et n'ont donc pas de valeur sanitaire directe.

- **Couleur :** La couleur de l'eau est provoquée non seulement par des substances organiques telles que les substances humiques et les tanins, mais également par des métaux tels que le fer et le manganèse et des résidus industriels aux couleurs sombres. Les couleurs dans les systèmes d'eau publics sont esthétiquement indésirables. Il est important de mesurer cela car une intensité de couleur élevée conduira les consommateurs à les rejeter et à rechercher éventuellement d'autres sources d'effacement beaucoup moins sûres (**Brasilia, 2013**).
- **Odeur :** L'odeur peut être définie comme l'ensemble des sensations que le système olfactif perçoit en sentant une substance volatile particulière, et cette qualité sensorielle particulière est évoquée par chacune de ces substances (**Rodier, 2009**).

- **Gout** : La saveur peut être définie comme la totalité des sensations gustatives et des sensibilités chimiques générales perçues lorsqu'un aliment ou une boisson entre dans la bouche, les caractéristiques d'un produit qui évoquent ces sensations. Le goût peut être défini comme une gamme de sensations perçues à la suite de la stimulation des papilles gustatives par des substances solubles spécifiques. Cette qualité sensorielle particulière est causée par ces substances (**Rodier, 2009**).

I.11 Les paramètres de qualité d'eau

I.11.1 Paramètres physico-chimiques

Après un contact prolongé avec le sol, l'eau se charge de certains constituants minéraux : Chlorure, Sulfate, Magnésium, Sodium, Potassium, etc. La température, conductivité et le pH sont également pris en compte (**Rejseck, 2002**).

I.11.1.1 Température

La température de l'eau est un facteur écologique qui a un impact important écologiquement (**Makhoukh et al., 2011**). Elle joue un rôle important dans la solubilité des gaz. Utilisé pour la dissociation du sel et la mesure du pH. De plus, cette mesure est très utile pour la recherche en limnologie (**Rodier et al., 2005**). Une température élevée favorise la croissance des micro-organismes (**OMS, 1994**), A l'inverse, lorsque la température descend en dessous de 10°C, Il retarde les réactions chimiques dans divers traitements de l'eau (**Rodier et al., 2009**).

I.11.1.2 Le potentiel d'hydrogène

C'est la concentration d'ions hydrogène dans une solution. Dans les procédés traitement le pH a une importance exceptionnelle dans l'eau. Des mesures et des ajustements sont effectués si nécessaire pour améliorer la coagulation/floculation et contrôler la désinfection de l'eau dans le laboratoire de routine des usines de traitement. Le pH varie de 0 à 14. En dessous de 7, l'eau est considérée comme acide, tandis qu'au-dessus 7 est alcalin. L'eau avec un pH de 7 est neutre (**Brasilia,2013**).

I.11.1.3 La turbidité

C'est le degré de transparence d'un liquide (**Rodier, 2005**). La turbidité d'une eau est due à la présence de particules en suspension notamment colloïdales : de l'argile, les limons, les grains de silice, les matières organiques, etc....)

L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. La turbidité peut être évaluée par un certain nombre de méthodes qui sont pratiquées suivant les nécessités sur le terrain ou au laboratoire (**Rodier, 2009**).

I.11.1.4 La conductivité

La conductivité mesure la capacité d'une solution aqueuse à conduire un courant électrique entre deux électrodes. En effet, la production des ions chargés s'effectue par des matières dissoutes dans l'eau (**Zeghoud, 2014**).

I.11.1.5 La salinité

Elle est généralement définie comme la masse d'un composé solide sec en grammes obtenu à partir de 1 kg d'eau à poids constant à 48°C. C'est un facteur écologique composé par un sel (NaCl) obtenu par l'eau ou le sol (**Rodier et al., 2005**).

I.11.1.6 Matières en suspensions

Ce paramètre regroupe tous les éléments en suspension dans l'eau et leur origine peut être minérale ou organique. A ces composés s'ajoutent des micro-organismes tels que des bactéries, du plancton, des algues et des virus. C'est la Cause de la turbidité et de la couleur (**Paul,1971**).

I.11.1.7 Sulfates (SO₄²⁻)

L'ion sulfate n'est pas très toxique, mais quand il y en a trop, il peut causer des problèmes tels que la diarrhée, la déshydratation et l'irritation de l'estomac. Il peut également donner un goût à l'eau de boisson et endommager les tuyaux de distribution (**Maraza, 2015**).

I.11.1.8 Phosphate (PO₄³⁻)

Les phosphates se lient rapidement aux minéraux du sol et altèrent la qualité de l'eau en affectant son goût, son odeur, sa couleur et sa transparence (**Maraza, 2015**). Le phosphate se trouve naturellement dans l'eau à une concentration à peu près constante, sauf dans certaines zones géologiques spécifiques où il peut atteindre jusqu'à 20 à 25 mg/L (**Boutaba, 2019**).

I.11.1.9 Nitrate (NO₃⁻)

Les nitrates sont produits lors de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitratâtes transforment les nitrites en nitrates, qui ne sont pas toxiques mais peuvent causer une croissance excessive d'algues et contribuer à l'eutrophisation de l'environnement. Leur potentiel de danger dépend de leur conversion en nitrates (**Rodier et al., 2009**).

Les nitrates et les nitrites viennent de l'oxydation de l'azote organique. Les principales sources de pollution sont les engrais, les explosives, les industries chimiques et alimentaires. L'eau contient en général plus de nitrates que de nitrites (**Maraza, 2015**).

I.11.1.10 Nitrite (NO₂⁻)

Les nitrites sont produits lors de la transformation des composés azotés dans le cycle de l'azote. Ils se situent entre l'ammoniaque et les nitrites. Les nitrites sont présents en raison de l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque ou de la réduction des nitrates (**Degrement, 1984**). Les nitrites sont présents dans le sol, l'eau et les plantes en petite quantité. Cependant, une forte teneur en nitrites dans l'eau indique une possible contamination microbiologique (**Ayad, 2016**).

Il est important de noter que les nitrates se trouvent parfois dans l'eau qui se trouve en contact avec certains sols et canalisations, même sans contamination. Ils

peuvent causer la création de composés N-nitrosés dans l'appareil digestif, qui sont suspectés d'être dangereux pour la santé et peuvent causer le cancer (**Savary, 2010**).

I.11.1.11 Bicarbonate (HCO_3^-)

Les bicarbonates proviennent de différentes sources et n'ont pas un impact direct majeur sur la santé. Cependant, ils jouent un rôle en raison des cations avec lesquels ils sont associés (sodium, calcium), leur donnant souvent un goût salé (**Hubert et al., 2002**).

I.11.1.12 Chlorure (Cl^-)

Les chlorures sont couramment trouvés dans la nature sous forme de sels de sodium, potassium et calcium. La quantité de chlorures dans l'eau varie selon la nature des terrains traversés (**Ayad et Kahoul, 2017**).

Les chlorures sont couramment utilisés pour désinfecter l'eau. Bien qu'ils ne soient pas dangereux pour la santé, ils ont un goût prononcé et peuvent rendre l'eau corrosive, ce qui peut causer des dommages au béton et augmenter les niveaux de métaux indésirables, surtout lorsque l'on ajoute de l'eau de javel (**Rodier, 2009**).

I.11.1.13 Calcium (Ca^{2+})

D'après **Bouchemal (2017)**, (Le calcium est souvent présent en grande quantité dans l'eau potable en fonction de l'endroit d'où elle provient (terrain calcaire ou gypseux)).

Le calcium est présent en grande quantité dans les eaux naturelles et indique leur degré de dureté. Sa source principale est la dissolution des formations de calcite et dolomite qui se trouvent dans différents niveaux stratigraphiques de la région étudiée, comme les calcaires lacustres (**Graindorge, 2015**).

I.11.1.14 Magnésium (Mg^{2+})

Le deuxième élément qui contribue à la dureté totale provient souvent de formations dolomitiques et de la dissolution de magnésium dans les terrains gypsifères. Sa source est similaire à celle du calcium (**Graindorge, 2015**).

I.11.1.15 Potassium (K^+)

Le potassium est présent naturellement dans l'eau, avec une concentration constante d'environ 10 à 15 mg/L, sauf dans certains contextes géologiques où elle peut atteindre 20 à 25 mg/L. Ce minéral peut être issu des industries extractives, des usines d'engrais et des industries du verre. En outre, une partie de la radioactivité naturelle de l'eau est due à l'isotope 40 du potassium. L'eau ne représente généralement qu'une petite partie de l'apport quotidien recommandé en potassium, qui est d'environ 2 à 4,5 grammes pour un adulte et provient principalement de l'alimentation (légumes verts, fruits) (**Savary, 2010**).

I.11.1.16 Ammonium (NH₄⁺)

L'ammonium, aussi appelé azote ammoniacal, est présent dans de nombreuses eaux de surface. Cela peut être dû à la décomposition naturelle des déchets d'animaux et de plantes (Savary, 2010).

L'ammonium n'affecte pas la santé des consommateurs, mais sa présence dans l'eau peut indiquer une pollution. Il est important de le retirer de l'eau potable car il peut favoriser la prolifération de certaines bactéries dans les canalisations (Maraza, 2015).

I.11.1.17 Le fer (Fe)

Le fer se dissout facilement dans l'eau et se précipite par réaction à l'air. Le corps humain a besoin de 2 à 3 mg de fer par jour, mais seulement 60 à 70% de la quantité absorbée est utilisée par l'organisme (Ayad et Kahoul, 2017).

I.11.2 Paramètres bactériologiques

I.11.2.1 Les coliformes totaux

Les coliformes sont une famille de bactéries qui appartiennent aux *Enterobacteriaceae*. Elles ont une forme de bâtonnet et peuvent vivre avec ou sans oxygène. Elles forment des colonies foncées avec des reflets verts en moins de 24 heures à 37°C sur un milieu Endon contenant du lactose (Rodier, 2006). Les coliformes totaux sont utilisés comme indicateur de la qualité microbiologique de l'eau et peuvent être causés par une contamination fécale (Mehanned, 2014).

I.11.2.2 Enumération d'*Escherichia coli*

Des bactéries appelées *E.coli* sont des germes qui ont une double enveloppe et font partie de la famille des *Enterobacteriaceae*. Ce sont des bactéries thermorésistantes qui produisent de l'indole à partir de tryptophane à 44 °C. On les trouve dans les eaux d'égout et dans toutes les eaux naturelles ou les sols qui ont été récemment contaminés par des matières fécales, qu'elles proviennent d'êtres humains, de l'agriculture ou de la faune sauvage. La présence d'*E.coli* dans l'eau est un signe récent de contamination fécale (BugomaMushayuma et al., 2016).

I.11.2.3 Les germes totaux

Les germes totaux sont des bactéries qui vivent en milieu aéré à température ambiante. Les études permettent d'estimer la quantité de bactéries présentes dans l'eau potable. Cela peut donner une idée de la qualité générale de l'eau, mais ne permet pas de déterminer la source de la contamination. En général, leur nombre sert à juger du niveau de pollution et de l'efficacité du traitement, notamment la filtration par le sol qui doit réduire considérablement leur concentration, voire les éliminer complètement (Ayad, 2016).

I.11.2.4 Les clostridium sulfito-réducteurs

Les bactéries Clostridium sulfito-réducteurs sont des bacilles à Gram positif et sont strictement anaérobies. Leur présence est un signe de contamination antérieure (Rodier et al., 1996), ils ont la capacité de la sporulation dans les conditions défavorables et de réduire le sulfite de sodium en sulfure (Robert, 1999). On les

considère également comme des témoins de pollution passée (**Figure 03**) (**Mehanned, 2014**).



Figure 03 : Clostridium perfringens sous microscope optique GX 1000 (**Pourcher, 2007**)

I.12 La pollution d'eau

Les substances nocives qui se retrouvent dans les eaux sont un vrai souci pour les habitants de l'eau, les humains et l'environnement aquatique tout entier (**Hénaut, 2011**). On peut polluer l'eau de manière directe, en l'utilisant pour les foyers, les entreprises et l'agriculture, ou de manière indirecte, via la pollution de l'air ou des sols.

I.12.1 Principaux polluants

- Les matières en suspension
- Les polluants organiques
- Les matières fertilisantes
- Les polluants métalliques et les polluants chimiques persistants
- Les sels minéraux
- La pollution microbiologique (**François, 2002**).

I.12.2 Les types de pollution d'eau

➤ La pollution physique

- La pollution thermique

Elle est due à l'usage de l'eau pour le refroidissement des centrales nucléaires et thermiques dans l'industrie. Cette pratique fait monter la température de l'eau, ce qui peut perturber gravement l'écosystème en modifiant ses propriétés. La température peut augmenter en moyenne de 4 à 5°C, mais parfois même de 9 à 10°C (**Louise, 2012**).

- **La pollution radioactive**

Elle a diminué car des règles strictes ont été mises en place pour limiter les rejets de centrales nucléaires et assurer la sécurité lors de l'extraction, du traitement et du transport de matières radioactives ainsi que la gestion des déchets. L'eau de surface est donc moins radioactive (**Louise, 2012**).

- **La pollution chimique**

La pollution chimique des eaux est causée par la présence de métaux nocifs, de nitrates, phosphates et autres sels minéraux utilisés comme engrais en agriculture et des résidus issus de la métallurgie et d'autres activités (**Ramade, 2005**).

- **La pollution organique**

Elle résulte des déchets organiques issus des ordures ménagères, des régions environnantes et des industries comme les tanneries, les papeteries ou les laiteries. Ces déchets sont généralement biodégradables, et lorsqu'ils sont présents en petites quantités, ils sont naturellement éliminés grâce à plusieurs processus physiques, chimiques et biologiques, qui se produisent dans les milieux aquatiques. Cependant, si le taux de déchets organiques est trop élevé, leur dégradation demandera beaucoup d'oxygène, ce qui perturbera fortement l'écosystème et mènera à la disparition de différentes espèces animales, comme les poissons (**Louise, 2012**).

- **La pollution microbienne**

C'est le résultat d'une grande quantité d'agents pathogènes, tels que des bactéries et des virus, qui contaminent durement l'eau. Elle crée souvent des problèmes de salubrité publique très graves, qui ne touchent pas seulement les pays du tiers monde (**Ramade, 2005**).

II.1 Petite généralité sur le dessalement

La terre est recouverte par 72% de l'eau dont 97% de cette eau est salée et 3% d'eau douce (**Figure 04**). Le dessalement de l'eau est important pour répondre aux besoins en eau actuels et futurs. C'est une ressource alternative stratégique à considérer (**Hervé, 2005**).

L'augmentation de la demande en eau potable, associée à la qualité et à la quantité limitée de cette ressource, a conduit au développement rapide du dessalement de l'eau de mer pour compenser ce déséquilibre (**Atallah, 2014**).

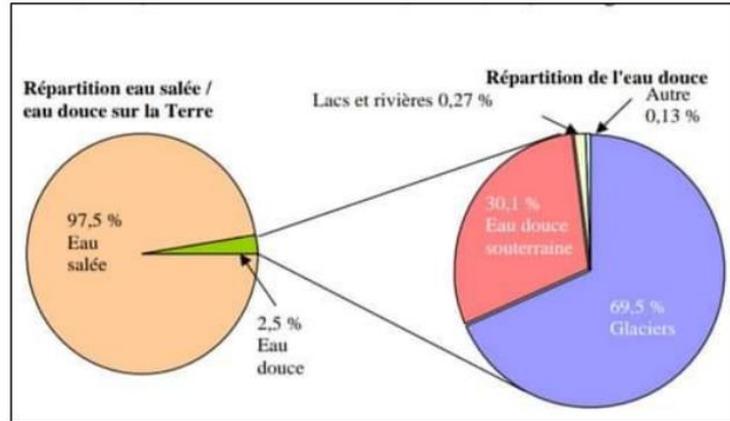


Figure 04 : Répartition de l'eau douce

II.2 Définition de dessalement de l'eau de mer

Le dessalement de l'eau permet de produire de l'eau douce à partir d'eau salée ou saumâtre, principalement de l'eau de mer. Bien que le nom suggère le retrait des sels de l'eau, il s'agit plutôt de la récupération de l'eau douce. Dans la plupart des cas, il est moins coûteux et plus facile de trouver des sources d'eau douce (rivières, lacs, eaux souterraines) que de dessaler l'eau de mer. Cependant, dans certaines régions du monde où l'eau douce est rare, le dessalement est nécessaire (Janah et al, 2017).

II.3 Divers procédés de dessalement

Le dessalement est un moyen de retirer les sels de l'eau salée ou saumâtre. Il existe plusieurs méthodes de dessalement disponibles sur le marché mondial, qui dépendent de la source d'énergie utilisée pour faire fonctionner les équipements de dessalement.

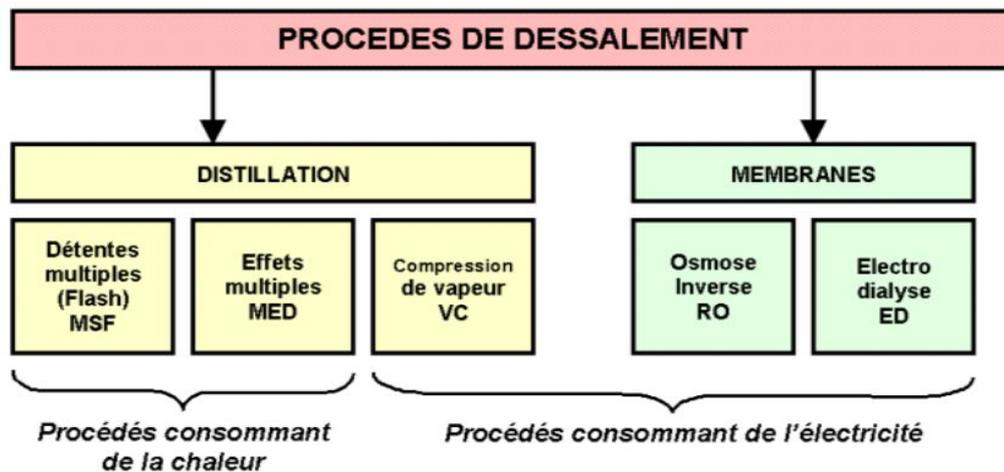


Figure 05 : Les divers procédés de dessalement (Maurel, 2006).

Les deux principales techniques de dessalement sont :

1/ **les procédés thermiques** : qui reposent sur le principe de l'évaporation et de la condensation successive.

2/ **les techniques membranaires** : qui exploitent les capacités de certaines membranes à retenir les particules dissoutes dans l'eau (Alain, 2006).

II.3.1 Procédé thermique

II.3.1.1 La distillation :

La méthode courante pour dessaler l'eau de mer est la distillation thermique.

Elle consiste à chauffer l'eau de mer jusqu'à ce qu'elle s'évapore. Les sels et autres impuretés restent dans le réservoir tandis que la vapeur d'eau est condensée pour obtenir de l'eau douce. Cette méthode utilise un principe simple qui est utilisé depuis longtemps. Elle repose sur le fait que l'eau bout à une température inférieure sous pression. En général, cette méthode utilise une distillation sous vide qui permet de travailler à des températures inférieures à 120°C (Méricq, 2009).

II.3.1.1.1 Distillation à simple effet :

La méthode la plus ancienne pour dessaler l'eau de mer consiste à la faire bouillir dans une enceinte fermée (figure 05). La vapeur produite condense au contact d'un autre tuyau qui est refroidi par de l'eau de mer froide, et les gouttes d'eau sont collectées dans un réservoir. Une pompe électrique récupère l'eau distillée, tandis qu'une autre pompe récupère la saumure (Danis, 2003).

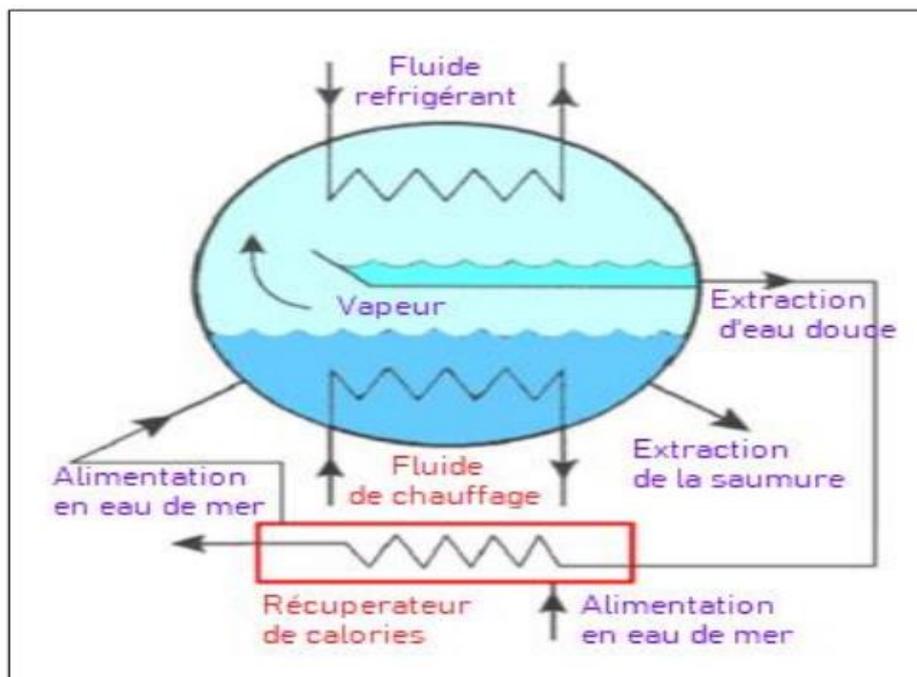


Figure 06 : Distillation à simple effet

II.3.1.1.2 Distillation à multiples effets (MED) :

La distillation multi-effets (MED : **Multi-Effect Distillation**) utilise le principe de la distillation à simple effet, la différence entre les deux technologies est qu'il y a plusieurs unités (ou effets) installées en parallèle. Dans la première unité, qui est la plus chaude, le fluide caloporteur chauffe l'eau de mer jusqu'à ce qu'elle s'évapore pour produire de la vapeur d'eau qui servira à chauffer l'eau de mer dans la seconde unité, et sera recyclée dans le groupe de refroidissement pour obtenir de l'eau douce (**figure 06**). La saumure et le distillat ont été collectés dans chaque étang. La pression et la température sont progressivement réduites d'une unité à l'autre (**Kuntz et Kuntz, 2012**).

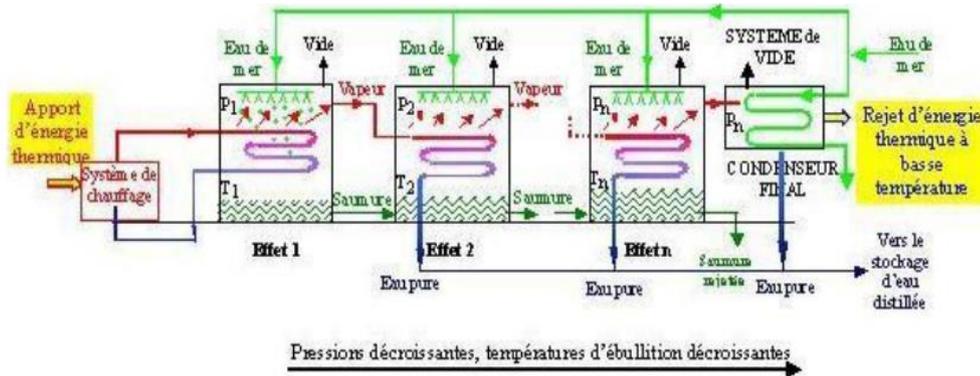


Figure 07 : Distillation à multiples effets (Danis, 2003)

II.3.1.1.3 Distillation flash (Multi-Stage Flash MSF)

Y compris le maintien de l'eau sous pression tout au long du processus. La durée du chauffage, lorsqu'il atteint une température d'environ 120°C, il est introduit dans une enceinte (ou étage) où règne la décompression. S'avérer La vaporisation instantanée provoquée par la relaxation est appelée flashing. Une partie de l'eau s'évapore puis se condense sur le tube du condenseur sur le dessus du boîtier, et l'eau liquide est collectée dans le récipient sous le tube (**figure 07**) (**Maurel, 2006**).

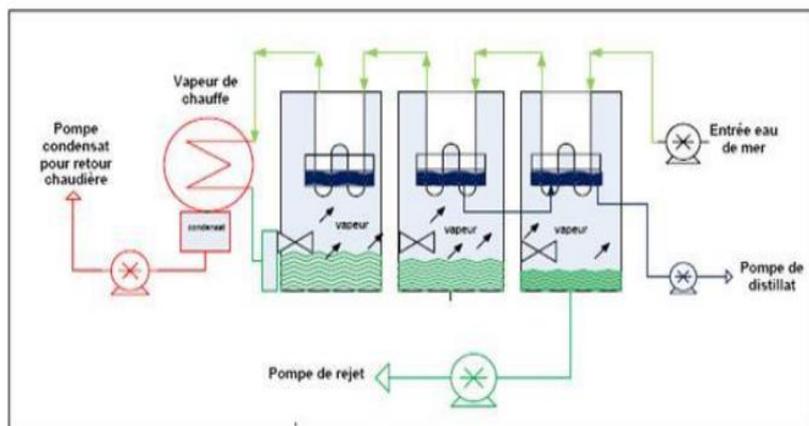


Figure 08 : Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) (UNEP/MAP, 2003)

II.3.1.1.4 Distillation par compression de vapeur :

La compression de vapeur est une méthode peu énergivore pour obtenir de l'eau douce (**Bandelier, 2016**).

Elle consiste à chauffer l'eau salée dans un environnement isolé, ce qui crée de la vapeur (**figure 08**). Cette vapeur est ensuite aspirée par un compresseur qui la réchauffe jusqu'à 138°C. Cette vapeur est ensuite refroidie et transformée en eau douce en faisant bouillir l'eau salée (**Maurel, 2006**).

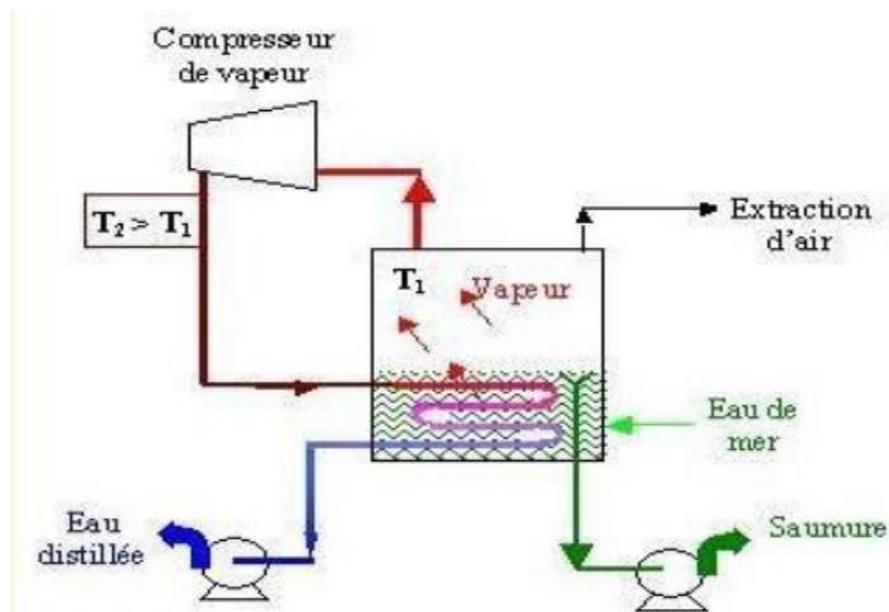


Figure 09 : Compression mécanique de vapeur (**Danis, 2003**)

II-3-2 Procédés membranaires :

Les membranes peuvent distinguer les sels et l'eau et les séparer efficacement. Trois méthodes de dessalement de l'eau ont ainsi été créées en utilisant cette capacité de manière différente : l'électrodialyse, l'osmose inverse et la nanofiltration (**Hanane, 2008**)

II.3.2.1 L'électrodialyse :

L'électrodialyse utilise des membranes pour transférer des ions de sels dissous, grâce à un champ électrique qui attire les cations vers l'électrode négative et les anions vers l'électrode positive (**figure 09**). Les installations sont composées de compartiments de membranes anioniques et cationiques empilées où un compartiment sur deux contient de la saumure concentrée et un sur deux contient de l'eau épurée (**Bruggen, 2003**).

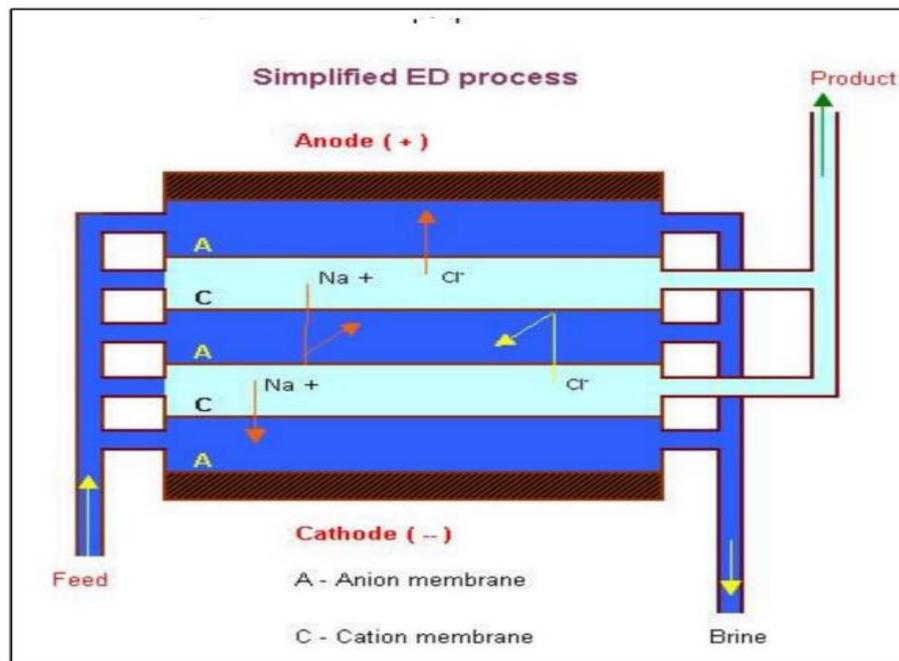


Figure 10 : Procédé d'électrodialyse simplifié

II.3.2.2 L'osmose inverse

Ce procédé utilise une membrane hydrophile pour produire de l'eau douce à partir d'eau salée sans changer de phase. L'eau est forcée à travers la membrane à une pression plus élevée que celle de l'eau de mer, laissant les sels dissous derrière et augmentant la concentration en sel. La pression de l'eau de mer est augmentée dans l'échangeur de pression, transférant l'énergie à la saumure résiduelle, ce qui réduit les coûts d'exploitation. La pression nécessaire varie entre 50 bars pour l'eau de mer et 20 bars pour l'eau saumâtre (Bruggen, 2003).

La pression osmotique dépend de la quantité d'alimentation. Un système typique de dessalement d'eau de mer en grande quantité est composé de quatre parties :

- Prétraitement de l'eau
- Pompes à haute pression- par membrane
- Séparation par membrane
- Post-traitement perméation.

La figure 10 montre comment fonctionne le système de dessalement par osmose inverse. Sans récupération d'énergie, il peut consommer de 6 à 8 kWh/m³, mais avec récupération d'énergie, la consommation peut diminuer à 4-5 kWh/m. Cependant, le système d'osmose inverse peut faire face à des problèmes dans la phase de prétraitement et les membranes peuvent être affectées par l'encrassement. De plus, la température ne doit pas dépasser 40°C afin d'éviter d'endommager la membrane (Moch, 2002).

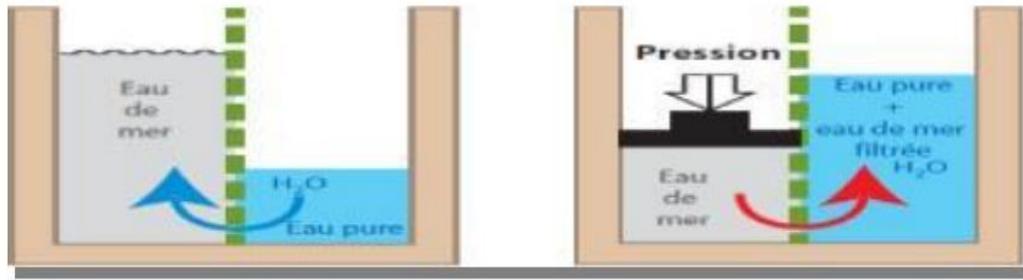


Figure 11 : Schéma expliquant le principe d'osmose inverse (Bushnak, 2012).

II-3-3 Autres procédés de dessalement

II.3.3.1 Congélation :

Des cristaux de glace sans sel peuvent être obtenus par congélation de l'eau de mer, à travers trois étapes :

- Congélation partielle de l'eau de mer.
- Séparation des cristaux de glace pure.
- Fusion de ces derniers (Maurel, 2006).

À une température de -2°C , des cristaux d'eau douce, forment tandis que l'eau de mer plus concentrée résiste mieux à la congélation et peut produire plus de glace en baissant la température. Environ à -9°C , le sodium deca-hydraté peut contribuer à produire de l'eau (Amitouche, 2016).

II.3.3.2 Échange d'ions :

Les résines sont capables d'échanger des ions avec les sels présents dans l'eau de mer. Les résines anioniques remplacent les anions par des ions OH^- , tandis que les résines cationiques remplacent les cations par des ions H^+ . Cela permet de déminéraliser l'eau ayant une faible concentration de sel (Zizi, 2013).

II.3.3.3 Dessalement et énergies renouvelables :

La combinaison des énergies renouvelables et des technologies de dessalement peut fournir une source durable d'eau potable :

- Distillation et énergie solaire.
- Osmose inverse et énergie solaire (photovoltaïque)
- Osmose inverse et énergie éolienne

L'utilisation des énergies renouvelables est actuellement la méthode la plus recommandée car elle permet de produire de l'eau potable sans mettre en danger l'environnement.

En effet, ceux-ci réduisent considérablement l'émission de gaz CO_2 dans l'atmosphère et disposent d'un potentiel de stockage de chaleur et d'énergie (soit via des batteries pour les installations de petite capacité, soit via le raccordement au réseau pour les installations de grande capacité, c'est-à-dire d'une capacité supérieure à 1000 m^3

/jour), il économise de l'énergie et réduit le coût de production d'eau douce (**Lahouelet al., 2015**).

II.4 Le dessalement dans le monde

En 2019, l'IDA a recensé 20 516 usines de dessalement dans le monde produisant environ 122,32 millions de mètres cubes d'eau douce par jour (**Gonthier, 2020**).

Chaque jour, près de 95 millions de mètres cubes d'eau salée sont rendus potables dans 177 pays pour la consommation humaine (62,3%), l'industrie (30,2%), l'énergie et l'agriculture. Ces volumes augmentent rapidement grâce aux progrès technologiques, surtout depuis 2000, qui ont rendu le processus moins énergivore. L'osmose inverse est maintenant la méthode la plus utilisée dans 84% des usines, fournissant 65,5 millions de m³ d'eau potable par jour (**Valo, 2019**).

Au départ, seuls les pays riches comme l'Arabie Saoudite et les petits États insulaires utilisaient le dessalement de l'eau en raison de son coût élevé et de la rareté des sources d'eau conventionnelles. Cependant, grâce à l'amélioration des processus à des coûts plus abordables, le dessalement est devenu une solution efficace pour la crise de l'eau. Les régions qui utilisent le plus cette technologie sont le Moyen-Orient, l'Afrique du Nord, les États-Unis, la Chine, l'Australie et certaines régions d'Europe. Le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord représentent près de la moitié de la production mondiale d'eau douce par dessalement (**Gonthier, 2020**).

II.5 le dessalement dans l'Algérie

Le manque d'eau potable dans les années 90 a poussé les autorités à créer un programme d'urgence pour assurer l'approvisionnement en eau des zones côtières. Ils ont commencé à dessaler de l'eau de mer pour la rendre potable. En 1964, trois petites unités ont été installées au complexe Gaz liquéfié d'Arzew (Oran), chacune produisant 8 m³/h. En 1969, une autre installation est née à Arzew avec une capacité de production de 4560 m³/j en utilisant la méthode MSF. Des installations supplémentaires ont été mises en place pour sécuriser la fourniture en eau potable de la population.

- Wilaya de Skikda 720m³ /j en 1971
- Wilaya d'Annaba 3600m³ /j en 1973
- Wilaya de Tlemcen 860m³ /j en 1974
- Wilaya d'Oran 350m³ /j en 1978
- Wilaya de Hassi Messaoud 350m³ /j en 1978.

L'Algérie a développé son expérience de dessalement des eaux grâce à l'industrie pétrolière et sidérurgique (**KettabetBessenasse, 2005**).

L'Algérie compte actuellement 14 stations de dessalement d'eau de mer opérationnelles, dont le nombre sera porté à 19, après l'entrée en exploitation des projets programmés, à partir de 2024 (**Algérie Presse Service, 2022**).

II.6 Le coût de dessalement

Le coût du dessalement a diminué de moitié ces dernières années, mais a récemment remonté en raison de l'augmentation du coût des matières premières.

En termes économiques, les coûts d'investissement varient selon la méthode de distillation utilisée, mais le coût de l'eau dessalée est estimé en ajoutant les charges financières, les coûts d'énergie et les coûts d'exploitation.

Le coût de l'eau saumâtre dessalée est nettement inférieur à celui de l'eau de mer, mais dépend de la taille et de la performance de l'installation. Pour obtenir des coûts plus bas, il est important de construire des installations de grande capacité tout en évitant les impacts environnementaux négatifs (**Janah et al., 2017**).

II.7 Problèmes techniques rencontrés en dessalement

Les soucis qui surviennent pendant le dessalement sont en grande partie causés par l'utilisation de solutions très salines ou d'eaux agressives avec des quantités trop élevées de gaz carbonique. Cela peut entraîner des problèmes tels que la corrosion, l'entartrage ou le colmatage.

- **La corrosion :**

L'eau de mer ou les solutions salines concentrées peuvent corroder les matériaux et réduire la durée de vie des installations, ce qui peut augmenter leur coût (**Legrand et Leroy, 1995**).

- **L'entartrage :**

Lorsqu'il y a une concentration élevée d'ions minéraux sur les surfaces, cela peut former du tartre. Cela peut arriver sur des surfaces d'échange thermiques ou membranaires. La formation de cet amas peut être cristalline ou amorphe selon la température et la composition de l'eau. Il est important d'éviter la formation de tartre pour garantir le bon fonctionnement des installations.

- **Le colmatage (Fouling) :**

Les eaux naturelles peuvent renfermer des matières organiques et des micro-organismes qui, lors du processus d'osmose inverse, peuvent se coincer dans les membranes et créer un biofilm susceptible d'obstruer les membranes (**Boixadera, 2001**).

III.1 Traitements des eaux

Selon l'OMS, la plupart des maladies dans le monde sont liées à l'eau. Cela concerne 80% des maladies. Par exemple, il y a 400 millions de personnes toujours malades de gastro-entérite, 200 millions de personnes atteintes de la schistosomiase, 160 millions de cas de paludisme et 300 millions de cas d'onchocercose. La pollution de l'eau est responsable de la moitié des décès infantiles et ce n'est pas seulement un problème dans les pays en voie de développement. Chaque année, aux États-Unis, il y a 35 000 cas de salmonellose, 200 000 cas de shigellose et 75 000 cas d'hépatite A, entraînant des coûts financiers importants pour les soins de santé, la mortalité et les pertes de productivité (**Jardins, 2007**).

III.2 Traitement physico-chimique de l'eau

III.2.1 Prétraitement

L'eau doit être éliminée autant que possible avant l'élimination des éléments dont la nature et la taille peuvent empêcher un traitement ultérieur. Dans le cas de l'eau potable, il existe deux principaux types de prétraitement :

- ✓ **Le dégrillage** : permet de protéger les ouvrages en aval de l'arrivée de gros. Objets qui peuvent provoquer des blocages dans les différentes unités de traitement.
 - ✓ **Le tamisage** : Éliminer les objets plus fins que ceux éliminés par tamisage, par exemple, ce sont des morceaux de plastique ou de plastique (**Hernandez, 2006**).
 - ✓ **L'aération** : L'eau brute peut être de mauvaise qualité, c'est-à-dire :
 - Hypoxie (O₂).
 - Chargé de CO₂ et d'autres substances volatiles.
- Par conséquent, l'aération est utilisée pour améliorer la qualité de l'eau de diverses manières. Se réfère à (**Kemassi et Ouanoghi, 1997**)

III.2.2 Clarification

C'est l'ensemble des opérations qui permet d'éliminer les substances toxiques présentes dans l'eau et capter le maximum de solides en suspension (**Hernandez, 2006**)

Il y a deux opérations :

La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes.

- La coagulation élimine les colloïdes responsables de la turbidité telles que les particules d'argile, certaines bactéries et d'autres matières organiques. Le coagulant le plus souvent utilisé est le sulfate d'aluminium.
- La floculation est un processus lors duquel les produits de la coagulation sont conçus pour former des "flocs" de taille et de poids suffisant pour permettre leur élimination par sédimentation ou filtration (**Malteser, 2014**).

III.2.3 Décantation

Cela comprend l'utilisation de la densité de l'eau et particules solides en suspension ; ces dernières sont lourdes et tombent lentement au fond (**Bonin, 1986**).

La décantation permet de séparer deux phases (solide-liquide) par une méthode simple gravitationnelle. C'est une fonction de la taille des particules, de la vitesse et de la vitesse de concentration. Ces particules en suspension sont soit présentes dans l'eau brute, soit résultent de l'action d'agents chimiques ajoutés artificiellement (coagulation-floculation) (**figure 12**) (**Kemassiet Ouanoghi, 1997**).



Figure 12 : Bassin de décantation (**Bedahi, 2022**)

III.2.4 Filtration sur sable

C'est un procédé visant à clarifier une suspension d'un liquide contenant des substances à travers un milieu poreux composé de matière particulaire (**figure 13**) : de très petites particules présentes à l'origine ou issues de la floculation restant dans la masse d'eau (**Cadrot, 2002**).

Dans la plupart des cas, c'est l'obstacle ultime et obligatoire dans le domaine du traitement de l'eau. Il est conçu pour réaliser ou compléter la réduction des particules en suspension, des coliformes, des virus, des parasites et de la turbidité grâce aux lits filtrants. À cette station, nous avons six réservoirs de filtre, la couche de sable est d'une hauteur de 1 à 1,2 m. L'opération de lavage à contre-courant du filtre est basée sur le colmatage (turbidité et chute de pression).



Figure 13 : Bassins de filtrations (**Bedahi, 2022**).

III.2.5 Adsorption

L'adsorption définit les propriétés de certains matériaux avec des molécules immobilisées (gaz, ions métalliques, molécules organiques...) à leur surface (**Degremot, 1989**). L'adoucissement est la réduction des degrés hydrologiques ; il est essentiel lorsque la dureté de l'eau est trop élevée (**Bonin, 1986**).

III.2.6 Désinfection

La désinfection est un traitement qui détruit ou élimine les micro-organismes susceptibles de transmettre des maladies ; ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation (**Desjardins, 1990**).

III.2.6.1 Méthodes de désinfection

- **Méthodes physiques** : L'eau peut être stérilisée par ébullition, mais ces méthodes sont à application limitée ou par U.V.
- **Méthodes chimiques** : on peut citer l'ozone, le permanganate de potassium Argent métallique et eau de Javel.

III.2.6.2 Produits de désinfection

➤ **Le chlore (Cl)**

C'est l'oxydant le plus largement utilisé dans la désinfection des eaux. Faible coût et facile à utiliser, en particulier dans les petites installations. Sa persistance dans le réseau de distribution est autant d'avantages qui affectent son utilisation (**Hasaly et Leclere, 1993**). En plus de son effet bactéricide, le chlore a plusieurs propriétés secondaires importantes dans le traitement de l'eau ; oxydes de fer, manganèse et sulfure d'hydrogène ; il détruit certains éléments qui donnent à l'eau un goût ou une

odeur désagréable. Il protège aussi les installations contre les algues et les boues organiques et facilite la coagulation (**Rajagopala, 1985**).

➤ Acide hypochloreux (HClO)

Comme d'autres sources possibles de chlore, on peut citer les chloramines, les sulfachloronides et les bioxydes de chlore. L'eau de javel, comme produit de ménage et sanitaire, constitue une excellente désinfection.

Chez l'homme, le chlore est un puissant irritant de l'appareil respiratoire même à de faibles concentrations. La respiration de chlore dans les endroits clos entraîne des nausées et de la toux, il est de règle générale de prendre les précautions nécessaires dans le cadre de la manipulation du chlore et ses dérivés (**Bouziati, 2000**).

L'eau de Javel est un produit toxique et corrosif surtout lorsqu'il est concentré ; elle peut provoquer des brûlures de la peau et des yeux en cas de projection.

➤ L'ozone (O₃)

L'ozone sort d'oxygène condensé, est un excellent procédé de lutte contre les microbes et les entérovirus et il est donc destiné à un plus large usage. L'ozone présente l'inconvénient d'être un gaz instable et coûteux ce qui explique sa faible rémanence (**Anonyme, 1998**).

➤ L'iode (I)

C'est un procédé extemporané de fortune : une eau fortement souillée, après traitement d'un quart d'heure avec 1/10000 d'iode ne contient plus de germes pathogènes (**anonyme, 1998**).

➤ Le permanganate de potassium (KMnO₄)

Le permanganate de potassium MnO₄K est un stérilisant efficace à dose relativement élevée (2mg/l) avec le temps de contact prolongé (24heures) (**Bonin, 1986**).

III.3 Conditions générales pour une bonne désinfection

Pour être efficace, la désinfection doit être effectuée sur une eau de bonne qualité. La teneur en matière en suspension doit être aussi réduite que possible. En effet les bactéries et les micro-organismes peuvent s'agglomérer sur les matières en suspension qui protègent de l'effet des désinfections. La teneur en MO, COT et sur tant COA (Carbone Organique Assimilable) doit être la plus faible possible (**Degremot, 1989**).

III.4 Les eaux souterraines (eau de source et eau minérale)

Il y a des microbes dans toutes les eaux souterraines, même dans celles qui sont très profondes et très bien protégées. Même les eaux minérales et les eaux de source ne sont pas vides de microbes, mais ceux-ci ne sont pas nuisibles (**Bligny et Hartemann, 2005**).

III.4.1 Eau de source

➤ Définition

Les eaux de sources sont des eaux naturelles qui doivent répondre à certains critères de sécurité pour être consommées. Elles ne peuvent être traitées et doivent provenir d'une source souterraine propre et protégée contre la pollution (**Degremont, 1989**).

Selon le décret exécutif N° 04-195 du 15 Juillet 2004 article 2 chapitre 1 de la législation algérienne : « une eau de source est une eau d'origine souterraine, propre à la consommation humaine, microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution ».

Les eaux de source sont propres à boire sans traitement. Pour enlever les éléments instables comme le gaz, le fer et le manganèse, on peut utiliser l'aération, la décantation et la filtration (**Luncet Lagradette, 2004**).

L'eau de source a des similitudes avec l'eau minérale naturelle, sauf pour sa stabilité physicochimique qui n'est pas requise pour avoir des bienfaits sur la santé. Cependant, elle doit respecter les normes de sécurité de l'eau potable pour l'humain. Eau de source gazeifiée : L'eau de source gazeuse est obtenue à partir d'une source d'eau et peut contenir du gaz carbonique. Elle peut subir des traitements autorisés pour donner son pétillant.

III.4.2 Eau minéral

➤ Définition

Les eaux minérales naturelles sont définies comme étant des eaux microbiologiquement saines provenant d'une nappe ou d'un gisement souterrain, exploitées à partir d'une ou plusieurs émergences naturelles ou forées, à proximité desquelles elles sont conditionnées. Elles se distinguent nettement des autres eaux destinées à la consommation humaine, par sa teneur spécifique en sels minéraux, oligo-éléments ou autres constituants, par leur origine hydrogéologique profonde, par leurs caractéristiques physico-chimiques qui doivent demeurer constantes, par leur pureté bactériologique naturelle (tout traitement ultérieur étant interdit) et par leur propriété favorable à la santé.

Quand on teste les eaux minérales naturelles, on trouve souvent quelques bactéries qui étaient déjà présentes naturellement. C'est un bon signe car cela veut dire

que l'eau n'a pas été traitée avec des produits pour tuer les bactéries et qu'on peut détecter facilement des contaminants éventuels.

Ces bactéries ne sont pas nocives pour l'organisme humain et sont considérées comme inertes. Des expériences sur des animaux sans flore digestive ont confirmé leur caractère non pathogène.

Cependant, il est clair que les eaux minérales naturelles ou de sources doivent être dépourvues de tout microorganisme pathogène, et qu'un traitement de désinfection est strictement interdit pour y parvenir. Cette absence de pollution microbiologique dépend exclusivement de la qualité de la source d'eau ainsi que de sa protection, ainsi que de celle de l'usine d'embouteillage (**Bligny et Hartemann, 2005**).

➤ Les types d'eaux minérales

1/ Eau minérale naturelle non gazeuse : L'eau minérale naturelle sans gaz est une eau qui ne contient pas de gaz carbonique libre en quantité supérieure à celle nécessaire pour dissoudre les sels hydrogéo-carbonatés qu'elle contient, après traitement et mise en bouteille autorisés.

2/ Eau minérale naturelle naturellement gazeuse : L'eau minérale gazeuse naturelle est une eau qui garde la même quantité de gaz que lorsqu'elle sort de source après traitement et conditionnement, en respectant les normes techniques habituelles.

3/ Eau minérale naturelle dégazéifiée : L'eau minérale naturelle gazéifiée est de l'eau minérale naturelle qui a été traitée et mise en bouteille avec une teneur en gaz carbonique différente de celle qu'elle avait à sa source.

4/ Eau minérale naturelle renforcée au gaz carbonique de la source : L'eau minérale naturelle renforcée en gaz carbonique est une eau qui a été traitée et conditionnée après avoir émergé de la source. Sa teneur en gaz carbonique est différente de celle à l'émergence, car on y ajoute du gaz carbonique provenant de la source.

5/ Eau minérale naturelle gazéifiée : L'eau minérale naturelle gazéifiée est de l'eau minérale naturelle qui a été rendue pétillante en ajoutant du gaz carbonique provenant d'autres sources après avoir subi un traitement et être emballée.

III.5 La flore naturelle des eaux de sources et des eaux minérales

Dans toutes les eaux souterraines, même les plus profondes et les mieux protégées, il y a des microbes. Par conséquent, les eaux minérales naturelles et les eaux de source ne sont pas vides de vie, mais elles ne contiennent pas de bactéries pathogènes (**Bligny et Hartemann, 2005**). Selon la directive 80/777/CEE de l'Union européenne, l'eau minérale naturelle doit contenir une quantité normale de microorganismes vivants, ce qui prouve une protection efficace de la source contre la contamination.

Lorsqu'on analyse les eaux minérales naturelles, on trouve souvent quelques bactéries vivantes. Cela prouve que l'eau est bien naturelle, car elle n'a pas été désinfectée. Ces bactéries ne sont pas dangereuses pour l'homme, comme on l'a vu grâce à des tests sur des animaux sans flore digestive. Cependant, il est important que

toute bactérie pathogène soit absente de l'eau, sans avoir recours à la désinfection qui est interdite. La qualité de l'eau dépend donc de la source et de la protection de l'usine qui l'embouteille (**Bligny et Hartemann, 2005**).

III.6 Protection des eaux minérales naturelles et des eaux de sources dans le cadre environnemental

En 1983, la première loi environnementale a été mise en place. Elle précise les principes de protection de l'environnement, notamment pour les ressources hydriques qui ont été renforcées par d'autres lois en 1996 et 2005. Une réglementation spécifique pour la protection des sites d'eaux minérales et de sources a également été promulguée, avec la mise en place d'un périmètre de protection qualitative autour de chaque point d'eau. Cette zone varie en taille en fonction des conditions hydrogéologiques et peut s'étendre sur plusieurs centaines d'hectares. Avant tout ouvrage ou aménagement, une étude d'impact est réalisée pour déterminer son incidence sur la nature (**hazzab, 2011**).

Dans les zones de protection des eaux, toutes les activités pouvant affecter la qualité de l'eau sont interdites sans autorisation de la commission permanente. Les travaux souterrains et les modifications du captage d'eau nécessitent également une approbation. La surveillance et la restauration de la qualité de l'eau souterraine sont plus complexes que celles de l'eau de surface. Les pollutions d'origine domestique, agricole et industrielle sont toujours un problème, causées par des rejets directs ou indirects (**Philippe, 2011**).

III.7 Les conditions de traitement des eaux minérales naturelles et des eaux de source ou les adjonctions autorisées

Les eaux minérales naturelle ou les eaux de sources ne peut subir aucun traitement
Autre que :

- La séparation des éléments instables tels que les composés du fer, du manganèse et du soufre ou de l'arsenic par décantation et/ou filtration le cas échéant, accélérée par une aération préalable.
- L'élimination totale ou partielle de gaz carbonique libre doit se faire par des procédés exclusivement physiques.

Le traitement de ses eaux par aération doit satisfaire l'ensemble des conditions suivantes :

- La composition physico-chimique des eaux minérales naturelles et des eaux de source en constituants et en caractéristiques ne doit pas être modifiée par le traitement.
- Les critères microbiologiques avant traitement des eaux minérales naturelles et des eaux de source doivent être respectés.

Chapitre 02:

Matériels et méthodes

I Présentation de la station de l'Algérienne des eaux ADE

L'Algérienne Des Eaux (ADE) est un établissement public à compétence nationale qui assure les services de distribution d'eau potable. Créée le 21 avril 2001. Parmi les objectifs principaux de cet établissement est l'amélioration de la gestion technique des installations dans le but de réduire les pertes d'eau. Elle mène, dans le cadre de plans annuels, des actions de réparation et remplacement de conduites d'adduction et de distribution, remplacement de vannes, remplacement et mise en place de compteurs, etc. La zone d'action de L'ADE de Tlemcen s'étale sur plusieurs communes, parmi ces communes il y a le GUT (Groupement Urbaine de Tlemcen).

L'entreprise algérienne des eaux (ex : de production de gestion de distribution d'eau d'Oran), unité de Tlemcen gère actuellement 14 communes sur les 53 de la wilaya qui représente une population de 6269 habitants, l'alimentation en eau potable à travers la wilaya est classée en quatre groupes en fonction de la situation géographique des ressources mobilisés et de la conception des réseaux et infrastructures hydrauliques existantes.

I.1 Situation géographique de la station ADE Tlemcen

L'Algérienne Des Eaux de Tlemcen est située à l'unité Abou Tachefine qui est à 4 km au Nord-ouest de Tlemcen, au pied des monts de Tlemcen appartenant au Tell et particulièrement la chaîne de Lalla Setti. Caractérisée par un climat méditerranéen avec été chaud.

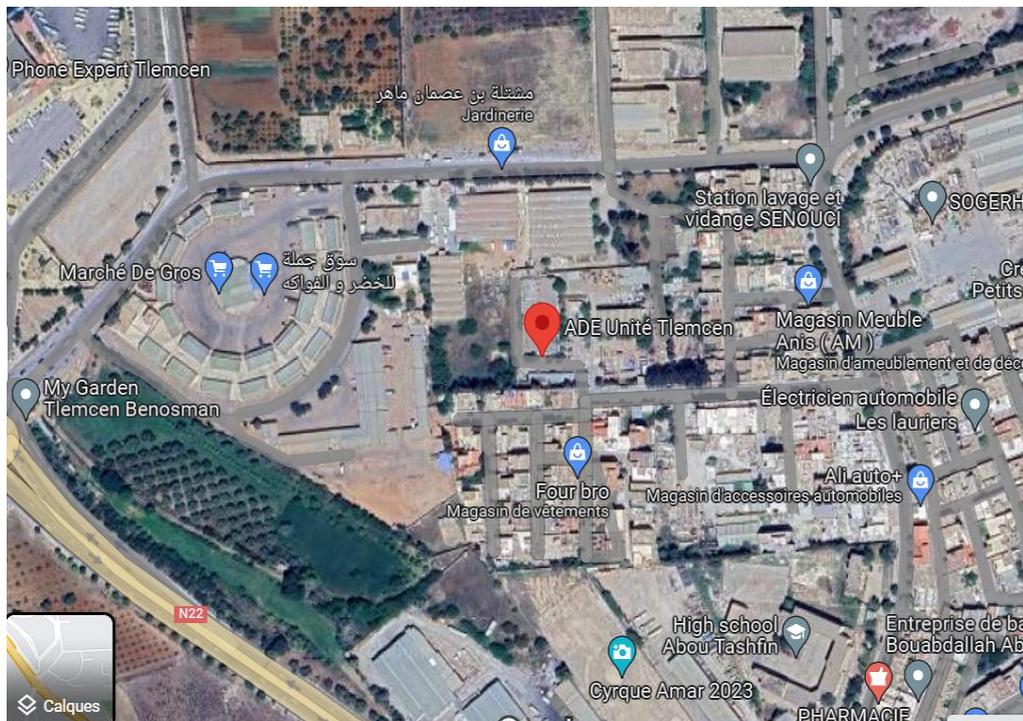


Figure 14 : Carte géographique de l'ADE.

I.2 Présentation de laboratoire ADE

On dit une eau potable, quand il satisfait à un certain nombre de caractéristiques la rendant propre à la consommation humaine.

Soucieuse de la qualité de l'eau de consommateurs, l'algérienne des eaux s'est dotée des moyens techniques et d'un laboratoire d'analyses dans lequel se fait d'une façon quotidienne des analyses d'eau des différents sites de production, de stockage et de distribution.

Le laboratoire dispose d'un bureau administratif, d'une salle physico-chimique, et d'une salle bactériologique.

Chaque salle de ces derniers est équipée par les différents matériels qui sont importants pour les analyses. Le laboratoire fait plusieurs activités résumées dans l'objectif du contrôle de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau destiné pour les habitants de la ville.

Pour l'amélioration de notre système pédagogique, nécessairement on doit par l'évaluation de toutes les actions d'enseignements entreprise.

Notre stage au sein de laboratoire de contrôle de qualité des eaux ADE-Tlemcen, est une expérience très enrichissante qui nous a permis d'appliquer nos connaissances théoriques et d'apprécier d'autres d'informations d'ordre pratique, il est évident que l'amélioration de notre situation dans le domaine socioéconomique, nécessité d'un tel stage pour compléter notre cursus d'études universitaire.

I.3 Durée et lieux de l'étude

Notre étude a été réalisée au niveau de l'Algérienne des Eaux Tlemcen du **29-03-2023** au **29-04-2023**.

Afin d'enrichir davantage notre étude une analyse physico-chimique et bactériologique comparatif entre trois types d'eau : l'eau de dessalement, l'eau de source et l'eau minéral au niveau du laboratoire de contrôle de qualité d ADE Tlemcen.

I.4 Notre zone d'étude

Pour notre étude nous avons choisi 3 zones différentes :

- Eau de source Sabra qui est situé au centre de la willaya de Tlemcen. Son chef-lieu est située à environ 20 Km à vol d'oiseau à l'Ouest de Tlemcen.
- Eau de dessalement Honaine qui est localisé au Nord de la willaya de Tlemcen, la ville est située à 70 Km au Nord-Ouest de Tlemcen, à 30 Km au Nord-est de Nedroma et a 120 Km à l'Ouest de Sidi Bel Abbes et à mi-distance géographiquement entre Gazaouite et Beni-Saf (40 Km).
- Eau minéral Saida située au centre géographique du territoire de la willaya de Saida à 164 Km au Sud-Est d'Oran, à 461 Km à l'Ouest d'Alger et 75 Km au Sud de Mascara.

I.5 Objectif de notre travail

Le but de notre travail consiste à réaliser une étude comparative physico-chimique et bactériologique sur la qualité d'eau entre l'eau de dessalement, l'eau de source et l'eau minérale, et enfin de déterminer leurs potabilités en les comparant aux normes internationales.

II Matériels et méthodes

II.1 Echantillonnage

Trois échantillonnages ont été effectués :

- **Echantillon 1** : eau de dessalement de Honaine, réalisé le **29-03-2023**.
- **Echantillon 2** : eau de source de Sabra, réalisé le **13-04-2023**.
- **Echantillon 3** : eau minérale de Saïda, réalisé le **11-04-2023**.



Figure 15 : localisation de Honaine et Sabra.

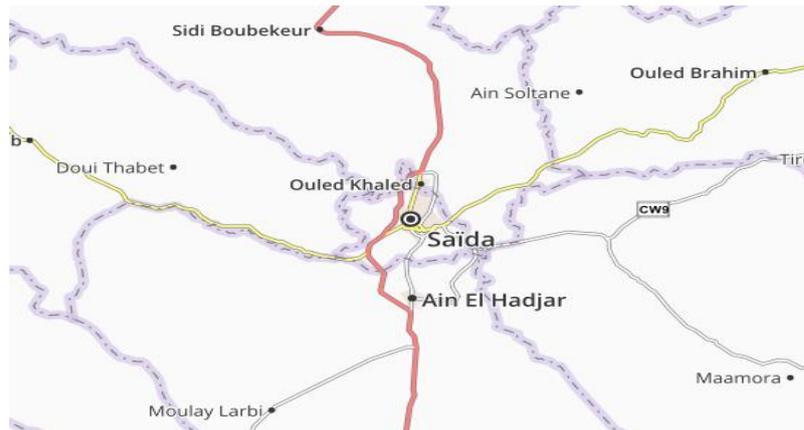


Figure 16 : carte géographique de Saïda.

Chaque échantillon comporte deux prélèvements, par des flacons dont l'un est en plastique exploité pour les analyses physico-chimiques et un autre en verre borosilicate stérile pour les analyses bactériologiques.

II.2 Les paramètres de potabilités d'eau

II.2.1 Paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques mesurés dans le laboratoire de contrôle de qualité de l'ADE sont la couleur, l'odeur, la saveur et la turbidité. Ces différents caractères doivent être appréciés au moment du prélèvement.

II.2.1.1 Evaluation de la couleur

- La couleur a été évaluée par une simple observation dans le laboratoire de contrôle de qualité de l'ADE.

II.2.1.2 Evaluation de l'odeur et la saveur

- L'odeur a été évaluée par simple sensation dans le lieu de prélèvement
- La saveur a été évaluée par dégustation de l'eau au point de prélèvement.

II.2.2 Les paramètres physico-chimiques

II.2.2.1 Mesure de pH

La mesure de potentiel hydrogène se fait par un **pH-mètre** selon les étapes suivantes : Prendre 100 ml d'eau à analyser dans un petit bécher, infiltrer l'électrode de l'appareil dans le bécher, puis effectuer une lecture après avoir laissé l'appareil se stabiliser.



Figure17 : Appareil pH –mètre.

Principe

Le pH est un paramètre d'importance primordiale pour la qualité d'une eau donnée. Il indique si l'eau présente une acidité ou une basicité trop élevée risquant de créer des conditions peu favorables à la vie des humaines, des poissons et des végétaux. Lorsque l'écosystème d'un bassin est intact, l'eau doit avoir un pH se situant entre 7 et 8,4. Dans la plupart des plans d'eau naturels qui contiennent du Ca^{2+} et sont au contact du gaz carbonique présent dans l'atmosphère, la valeur du pH se fixe autour de (8.2-8.3).

II.2.2.2 Mesure de la conductivité

Principe

La conductivité électrique d'une eau est une mesure du courant électrique conduit par les ions présents dans l'eau. Elle dépend de la concentration, nature des ions, de la température et la viscosité de la solution.

La conductivité d'une solution est définie comme la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique est le siemens par mètre(s/m) mais est généralement exprimée en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Mode opératoire

Cette mesure se fait à l'aide d'un conductimètre. Le bécher est rincé avant l'utilisation avec de l'eau distillée, prendre environ 100ml d'eau à analyser, dans le bécher, infiltrer l'électrode d'appareil multi paramètres dans le bécher, puis effectuer une lecture après avoir laissé l'appareil se stabiliser, puis noter la valeur de la conductivité en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Pour la maintenance de l'appareil rincer l'électrode après chaque mesure avec de l'eau ultra pure de $0.05 \mu\text{S}/\text{cm}$ et avec de l'acide chlorhydrique HCl à une concentration de 1%.

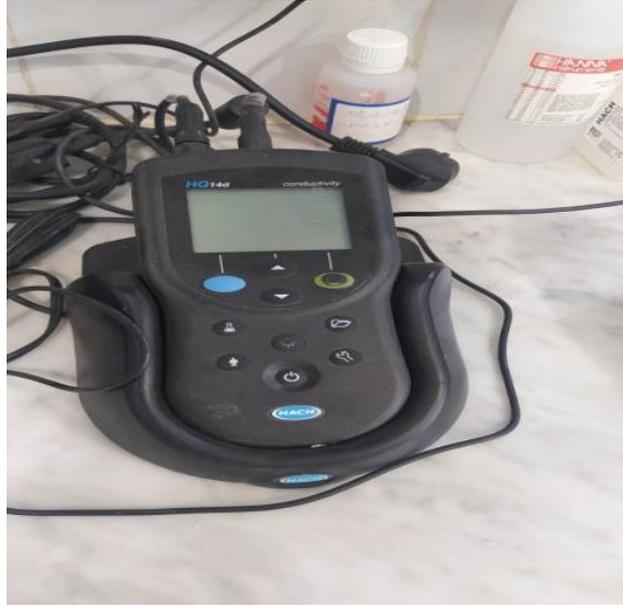


Figure 18 : Appareil conductimètre.

II.2.2.3 Mesure de la turbidité

Principe

La mesure de la turbidité de l'eau peut s'effectuer en utilisant l'effet Tyndall ou l'opacimétrie. L'effet de Tyndall est utilisé plus spécialement pour la mesure des faibles turbidités (eau de boisson). L'opacimétrie est appliquée aux eaux de fortes turbidités (eau brutes, eaux résiduaires). Quel que soit le principe utilisé, l'appareil nécessite un étalonnage.



Figure 19 : Appareil turbidimètre.

Mode opératoire

Remplir une cuvette de mesure propre avec l'échantillon à analyser qui est bien homogénéiser, essuyer avec du papier hygiénique, placer la cuvette dans le turbidimètre et effectuer la lecture à une longueur d'onde de $860 \text{ nm} \pm 30 \text{ nm}$.

II.2.2.4 Paramètres de minéralisation globale

II.2.2.4.1 Détermination de la dureté totale (TH)

Principe

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate avec le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA). La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome en milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium. La méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.



Figure 20 : le noir ériochrome.

Mode opératoire

Prendre deux fioles et introduire 10 ml de l'échantillon dans chaque une, ajouter 0,5 ml de la solution tampon et 3 gouttes de l'indicateur noir d'ériochrome1L dans chaque fiole. La solution doit se colorer en violet et son pH doit être de 10. Titrer immédiatement à l'aide de la solution d'EDTA tout en continuant d'agiter. Verser lentement, puis par goutte dès que la couleur de la solution commence à virer du violet au bleu. Le virage est atteint lorsque la couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.



Figure 21 : Virage du couleur du violet au bleu

La teneur globale en calcium et en magnésium (**Ca+Mg**) est donnée par l'équation :

$$\mathbf{C_{Ca+Mg} = C_1V_1 / V_0}$$

C_{Ca+Mg} : teneur globale en calcium et en magnésium (mg/l).

C₁ : concentration de la solution de l'EDTA (mM/l).

V₀ : volume de l'échantillon (ml).

V₁ : volume de la solution de l'EDTA utilisé pour le titrage (ml).

II.2.2.4.2 Détermination du titre alcalimétrique complet TAC

Principe

La détermination du TAC est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Mode opératoire

Nous avons effectué deux essais dont l'un est confirmatif. Ajouter 2 ml d'échantillon dans un Erlenmeyers au col large puis, ajouter deux gouttes de vert de Bromocresol (indicateur coloré). Ensuite titration goutte à goutte avec le HCL 0,02 N jusqu'au l'obtention du virage de couleur gris ou marron.

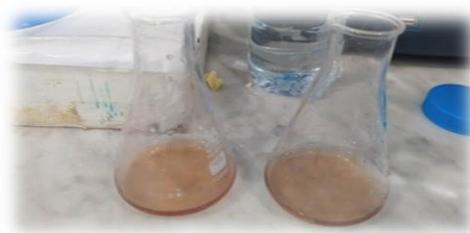


Figure 22 : Virage de couleur marron

II.2.2.4.3 Les bicarbonates HCO_3^-

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. (Aouissi, 2009)

La concentration des bicarbonates est calculée selon la relation suivante :

$$[\text{HCO}_3^-] = \text{TAC (F}^\circ) \times 12,2$$

II.2.2.4.4 Dosage de calcium

Principe

Le calcium est un composant majeur de la dureté de l'eau. Sa teneur est liée directement à la nature géologique des terrains traversés. Il existe à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme des sulfates, chlorure ...etc. Sa présence dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles, soit la dissolution des formations carbonatées CaCO_3 , soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4).

Réactif

- Hydroxyde de sodium NaOH .
- Indicateur coloré : murixide.
- Solution d'EDTA ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).



Figure 23 : indicateur coloré (murixide)

Mode opératoire

Prendre deux Erlenmeyers au col large, L'addition de 0,4 ml d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) dans chaque essai, puis nous ajoutons deux gouttes d'indicateur de murixide, en fin, titrer avec l'EDTA jusqu' au virage du rose au violet.



Figure 24 : Observation avant le virage de couleur (rose)

II.2.2.4.5 Dosage de chlorure (Cl^-)

Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives, La concentration des chlorures dans l'eau dépend aussi du terrain traversé.

Principe

Les ions de chlorure sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO_3) en présence de chromate de potassium (K_2CrO_4). La fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'un précipité rouge (chromate d'argent).

Réactifs

- Solution de chromate de potassium (K_2CrO_4)
- Solution de nitrate d'argent (AgNO_3) à 10%.

Mode opératoire

Nous avons effectué toujours deux essais : Introduire 10 ml d'eau à analyser dans chaque Erlenmeyer au col large, ensuite ajouter 2 à 3 gouttes de K_2CrO_4 (coloration jaunâtre), Titrer avec la solution de nitrate d'argent (AgNO_3) à 10% jusqu'à l'apparition d'une teinte rougeâtre.

II.2.2.4.6 Dosage de sulfates SO_4^-

Les sulfates (SO_4^-) proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse. Ils résultent également de l'activité de certaines bactéries (*chlorothiobactéries*, *rhodothiobactéries*, etc.). Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré (H_2S) toxique en sulfate. (Belghiti et al, 2013).

Principe

Echange des cations présentés dans un échantillon à travers un échangeur d'ion d'hydronium (H^+), réaction des ions sulfates présentés dans l'élut avec du chlorure de baryum pour former un précipité blanc (sulfate de baryum).

Réactifs

- Chlorure de baryum (BaCl_2)
- Solution stabilisante.

Mode opératoire

Introduire 10 ml d'échantillon dans une fiole, ajouter 5 ml de la solution stabilisante et agiter pendant 1 minute, ensuite ajouter 2 ml de solution 2 (BaCl_2) et ajuster avec l'eau distillé jusqu'au traits de gorge. L'apparition de la coloration rose indique la présence des ions de sulfate, enfin, faire la lecture au spectromètre.

II.2.2.5 Paramètres de pollution

II.2.2.5.1 Les Nitrates NO_3^-

L'ion nitrate (NO_3^-) est l'élément azoté de base de la plante et la clé des rendements élevés. Les nitrates que les racines trouvent dans le sol ont diverses origines : La dégradation de l'humus ; la matière organique (fraîche ou compostée) apportée comme fertilisant ; ou azote nitrique des engrais azotés chimiques. La présence de nitrate dans l'eau est un indice de la pollution d'origine agricole (engrais) urbaine (dysfonctionnement des réseaux d'assainissement) ou industrielle.

Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitro-salicylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

Réactifs

- Solution d'hydroxyde de sodium à 30 %.
- Solution de salicylate de sodium à 50 %.
- Tartrate double de sodium

Mode opératoire

Introduire 10 ml d'eau à analyser dans un Becher, nous ajoutons 2 gouttes de NaOH a 30 %, puis 1 ml de solution de salicylate de sodium à 50 %, après l'évaporation à sec au bain marie ou à l'étuve 75- 88 °C, ensuite prendre le résidu avec 1 ml de l'acide sulfurique, laisser reposer 10 min, puis ajouter 15 ml d'eau distillée et 15ml de tartrate double de sodium et de potassium, en fait à la fin la lecture au spectromètre.

II.2.2.5.2 Nitrite NO²⁻

Principe

La diazotation de l' amino-4-benzènesulfonamide par les nitrites en milieu acide et sa copulation avec le dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrométrique (**Rodier, 2009**).

Réactifs

- Solution de réactif.
- Solution d'acide phosphorique.
- Solution standard de 100 mg/l.

Mode d'opératoire

D'abord prendre une fiole de 50 ml bien stérile et ajouter 40 ml d'eau à analyser, ensuite ajouter 1 ml du réactif mixte et ajuster avec l'eau distillé jusqu'au traits de gorge, puis attendre 10 min. L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO²⁻. Effectuer la lecture à 543 nm.

II.2.2.5.3 L'Ammonium NH⁴⁺

L'ion ammonium NH⁴⁺ est la formule moléculaire réduite de l'azote. Il provient principalement de la dégradation des protéines naturelles contenues dans le phytoplancton et les micro-organismes. Il peut également provenir d'eaux usées municipales épurées, d'émissions industrielles ou agricoles. Il est présent dans l'eau naturelle à des concentrations allant de 0,1 à plus de 10 mg/l.

Principe

Mesure spectroscopique du composé bleu formé par la réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium. L'ion hypochlorite est généré in situ par hydrolyse alcaline du sel de sodium du dichloroisocyanurate de sodium.

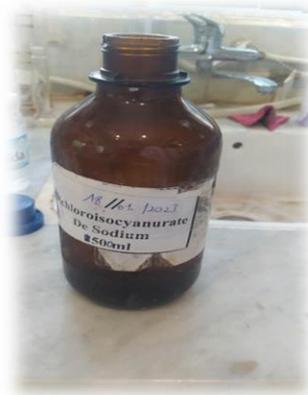


Figure 25 : Dichloroisocyanurate de sodium.

Réactifs

- Réactif coloré 1.
- Réactif incolore 2.

Mode opératoire

D'abord Prélever 20 ml de l'eau à analyser, ensuite ajouter dans l'ordre : 2 ml de réactif coloré homogénéisé, 2 ml de réactif de Dichloroisocyanurate de sodium et homogénéisé, puis effectuer les mesures spectrophotométriques. L'apparition de la couleur verdâtre indique la présence des ions d'ammonium. Enfin, Faire la lecture au spectromètre.

II.2.2.5.4 Le Phosphate (PO_4^{3-})

Le phosphate est un élément indispensable pour les organismes aquatiques, de fortes concentrations. On peut les rencontrer dans les estuaires indiquant un enrichissement à partir de sources domestiques et l'agriculture du bassin versant, et la présence d'intrants directs à l'activité industriel.

Les phosphates peuvent être d'origine organique ou minérale, le plus souvent leur teneur dans l'eau naturelle en raison de leur utilisation en agriculture, leur utilisation comme additifs dans les détergents et les agents de traitement des eaux de chaudière. L'eau de certains puits, en milieu rural, indique la proximité d'engrais, de fosses septiques ou potentiel d'infiltration du ruissellement agricole, riche en engrais.

Dans une eau trouble et salée, les niveaux de phosphore sont influencés par la nature et la concentration en particules fines due aux phénomènes d'adsorption. Dans

Matériels et méthodes

l'eau saumâtre turbide, les niveaux de phosphore sont influencés par la nature et la concentration en particules fines due aux phénomènes d'adsorption.

Principe

C'est une réaction des ions ortho-phosphates avec une solution acide contenant des ions molybdate et d'antimoine pour former un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate. Réaction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption (l'une vers 700 nm l'autre plus importante à 800 nm).

Réactifs

- Acide ascorbique.
- Réactif mixte.

Mode opératoire

Dans une fiole jaugée de 50 ml : Introduire 40 ml de l'eau à analyser, ajouter 1 ml d'acide ascorbique puis 2 ml du réactif mixte et ajuster avec l'eau distillé jusqu'au traits de gorge. Nous obtenons les résultats après 10 min (**apparition de couleur bleu = présence du phosphate**). En fin, effectuer une lecture spectrométrique a 880 nm.

II.2.3 Paramètre bactériologique

Ces analyses ont été effectuées dans le laboratoire de control de qualité de Tlemcen (ADE).

Les analyses microbiologiques habituellement effectuées sur une eau destinée à la consommation humaine sont basées sur la recherche et le dénombrement des germes suivants :

- Recherche des coliformes totaux
- Recherche des germes totaux
- Recherche des streptocoques fécaux
- Recherche des Clostridium sulfito-réducteur

II.2.3.1 Recherches de dénombrassions des germes

II.2.3.1.1 Les coliformes totaux

La recherche et le dénombrement des coliformes a été faite par la méthode de filtration sur membrane à 0,45m en milieu solide. La surface supérieure de la rampe de filtration a été flamber ainsi que la plaque poreuse, ensuite nous avons déposé la membrane sur la plaque poreuse de la rampe de filtration. Nous avons Ouvert le robinet pour laisser l'eau s'écouler, par la suite les réservoirs de la rampe ont été remplis par l'eau à analyser. Une fois le filtre est sec, nous avons récupéré avec une pince stérile et déposer la membrane sur le milieu sélectif Tergitol en faisant attention de ne pas avoir des bulles d'air. Incuber les boites de Pétri à 37°C/24h.



Figure 26 : Rompe à filtration.

a) Test confirmatif

Veillez prendre note des étapes suivantes pour réaliser cette expérience de manière appropriée :

- Utilisez une anse de platine afin d'isoler la colonie, puis réalisez des stries à la surface de la gélose de TSA pour ensemencer celle-ci.
- Délicatement, insérez l'anse de platine contenant la colonie dans le milieu Schubert en le secouant légèrement pendant quelques secondes.
- Incubez le tube à une température de 37°C pendant une durée de 48 heures.



Figure 27 : Incubateur.



Figure 28 : Membrane de filtration.

II.2.3.1.2 Recherche des germes totaux

Voici les étapes à suivre :

1. Assurez-vous d'avoir deux boîtes de Pétri stériles prêtes à l'emploi.
2. Déposez délicatement 1 ml d'eau à analyser dans chaque boîte de Pétri. Veillez à ne pas contaminer l'eau avec des particules extérieures.
3. Faites fondre environ 20 ml de gélose TGEA en surfusion à une température de 45°C. Vous pouvez utiliser un bain-marie pour atteindre cette température.
4. Versez doucement la gélose TGEA fondue dans chaque boîte, en remplissant complètement chaque boîte avec environ 20 ml de gélose. Assurez-vous de verser la gélose de manière homogène dans toute la surface de la boîte.
5. Effectuez des mouvements circulaires en forme de "8" avec les boîtes de Pétri afin de bien mélanger l'inoculum avec la gélose. Ceci permettra une répartition uniforme des microorganismes à analyser.
6. Laissez les boîtes de Pétri à température ambiante et attendez que la gélose se solidifie. Cela peut prendre quelques minutes.
7. Une fois la gélose solidifiée, placez la première boîte à une température de 37°C pour une incubation de 48 heures. Placez la deuxième boîte à une température de 22°C pour une incubation de 72 heures.

Veillez noter que ces temps d'incubation sont donnés à titre indicatif et peuvent varier en fonction des procédures spécifiques de votre laboratoire ou des organismes à analyser. Assurez-vous de respecter les protocoles de sécurité appropriés lors de la manipulation des échantillons microbiologiques.

II.2.3.1.3 Recherche des streptocoques fécaux

Principe

Rechercher et dénombrer les streptocoques fécaux considérés comme des témoins de pollution fécale.

Mode opératoire

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux se fait aussi par la méthode de filtration sur membrane à 0,45m en milieu solide. Les rompe de filtration et les membranes doivent être stériles. Récupérer avec une pince et déposer la membrane

sur le milieu Slanetz en faisant attention de ne pas avoir des bulles d'air. Incuber les boîtes de Pétri à 37° pendant 48h.

a) Test confirmatif

Pour réaliser un test confirmatif nous il faut isoler la colonie à l'aide d'une anse de platine, et l'ensemencer en stries à la surface de la gélose BEA pour le repiquage.

II.2.3.1.4 Recherche des sulfito-réducteur (Clostridium)

Selon la réglementation algérienne, une eau potable ne doit pas contenir des clostridium sulfito-réducteurs dans 20 ml qui sont souvent considérés comme des témoins de pollution fécale. L'absence de colonies entourées d'un halo noire dans l'eau de mer et l'eau traitée analysées montre que notre eau répond aux normes.

Les clostridiums se présentent sous deux formes : une forme végétative dans les eaux brutes qui ne subit aucun traitement et une forme sporulée protégée pour assurer leur survie dans les traitements.

La recherche et le dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices ont été réalisés par la méthode par incorporation en gélose en tubes profonds à partir de l'eau à analyser prendre environ 20 ml dans un flacon stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 80°C pendant 8 à 10 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des ASR (anaérobies sulfito-réducteurs) éventuellement présentes et reste seulement la forme sporulée des bactéries sulfito-réducteurs.

Après chauffage, refroidir immédiatement le flacon en question, sous l'eau de robinet (choc thermique).

- Répartir ensuite le contenu de ce flacon, dans 2 tubes différents et stériles, à raison de 10 ml par tube
- Compléter avec la gélose viande foie fondue
- Mélanger avec précaution et doucement le milieu et l'inoculum en évitant les bulles d'air et en évitant l'introduction d'oxygène.
- Laisser solidifier sur pailleuse pendant 30 minutes environ.
- L'incubation se fait à 37°C pendant 48 heures.
- Lecture Incubation à 37°C pendant 24h à 48h, après la période d'incubation sera considère comme positif, les tubes contenant des grosses colonies noires entourés a des halos noirs, qui correspond au clostridium sulfito-réducteur.
- La première lecture doit absolument être faite à 16 heures car très souvent les colonies des ASR sont envahissantes auquel cas on se trouverait en face d'un tube complètement noir rendant ainsi l'interprétation difficile voire impossible et l'analyse sera à refaire en utilisant des dilutions décimales de 10⁻¹ voire 10⁻³.
- La deuxième lecture se fera à 24 heures.
- La troisième et dernière lecture à 48 heures. Les résultats sont exprimés par le nombre des clostridiums sulfito-réducteurs par 20 ml de l'échantillon à analyser.



Figure 29 : Représentation des tubes correspondant à la recherche et dénombrement des Clostridium.



Figure 30 : bain marie.

Les résultats des analyses effectués dans ce travail sur la comparaison entre les eaux de dessalement et les eaux de sources et les eaux minérales sont interprétés selon les normes physico-chimiques et microbiologiques des normes algériennes (**Tableau Annexe 4 et 5**).

Chapitre 03:

RÉSULTATS et diSCUSSiON

I Résultats et discussions

I.1 Résultat des analyses physico-chimiques

Voici un tableau qui représente les résultats obtenus après les analyses physico-chimiques.

Paramètres (Unité)	Eau de dessalement	Eau de source	Eau minérale
Ph	8,01	7,75	7,5
Conductivité (µs/cm)	802	1117	985
Turbidité NTU	0,324	0,168	0,168
Temperature C°	25	25	25
Dureté total (TH) Mg/L	82,5	375	117,5
TAC Mg/L	60	400	292,5
Bicarbonate HCO₃⁻(Mg/L)	73,2	380	357
Calcium Mg/L	24	76	66
Magnésium Mg/L	5,4	45,8	60
Chlorure Mg/L	227,5	115	92,1
Nitrate Mg/L	1,73	15,49	25,5
Nitrite Mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Ammonium Mg/L	< 0,01	<0,01	< 0,01
Phosphate Mg/L	0,16	0,02	0,05
Sulfate Mg/L	30	27	32
Carbonate de calcium Mg/L	/	/	415

I.2 Résultat des analyses bactériologiques

Voici un tableau qui représente les résultats obtenus après les analyses bactériologiques.

Paramètres bactériologiques	Eau de dessalement	Eau de source	Eau minérale
Coliformes totaux	00	00	00
Germes totaux	22 c° : 00 37 c° : 00	22 c° : 00 37 c° : 00	22 c° : 00 37 c° : 01
Entérocoques	00	00	00
Clostridium Sulfito-réducteur	00	00	00

I.1 Discussion des résultats physico-chimique

I.1.1 Le pH

Le pH mesure la concentration des ions H^+ dans l'eau et a un grand impact sur les équilibres physico-chimiques. Une eau acide avec un pH bas est corrosive pour les canalisations, entraînant la libération de particules métalliques dangereuses pour la santé. Par contre, une eau trop basique peut être agressive pour les tissus. Les normes Algériennes de potabilité recommandent un pH entre 6,5 et 9 (Kadri et Boudersa, 2018).

Les valeurs du pH de notre échantillon (eau de dessalement Honaine, eau de source sabra et eau minéral Saida) représentées dans **la figure 31** sont situées dans les limites requises pour les eaux de consommation selon les normes Algérienne et de l'OMS (Annexe 02). Cependant le pH de dessalement (**8.01**) est plus élevé que celle de l'eau de source (**7.75**) et l'eau minérale (**7.50**), ceci est liée au traitement par les produits chimiques ajoutés qui affecte la concentration des ions H^+ dans l'eau (élévation et élimination) mais reste quand même relativement stable est dans l'énorme.

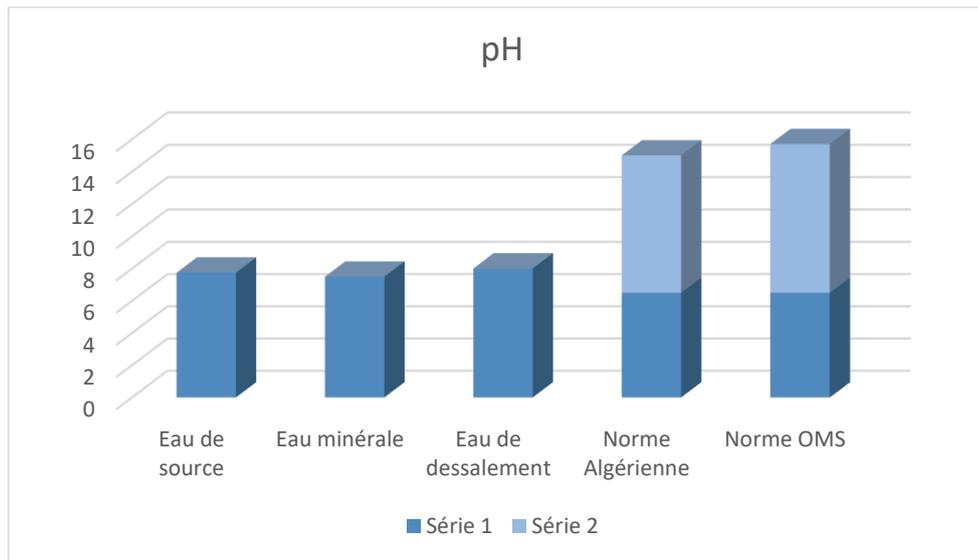


Figure 31 : Résultat de pH.

I.1.2 La température

La température de l'eau, joue un rôle non négligeable dans l'intensité de la sensation de l'eau. Elle est le facteur le plus apprécié pour une eau destinée à la consommation humaine déclarent (**Gregorio et Pierre-Marie, 2007**). La teneur moyenne de la température de nos échantillons (**figure 32**) :

- L'eau de dessalement Honaine : **T = 25°C**.
- L'eau de source sabra : **T = 25°C**.
- L'eau minérale : **T = 25°C**

Les directives du conseil de communauté européen, la réglementation française ainsi que la réglementation algérienne fixent la température de l'eau potable à 25°C.

Ce qui nous permet de dire que notre eau est dans les normes exigées par les normes Algérienne et l'OMS (**Annexe 02**), le résultat peut dépendre du cadre climatologique de la région de se leur de prélèvement et même T et prise après le transport des échantillons dans des glaciers vers le laboratoire.

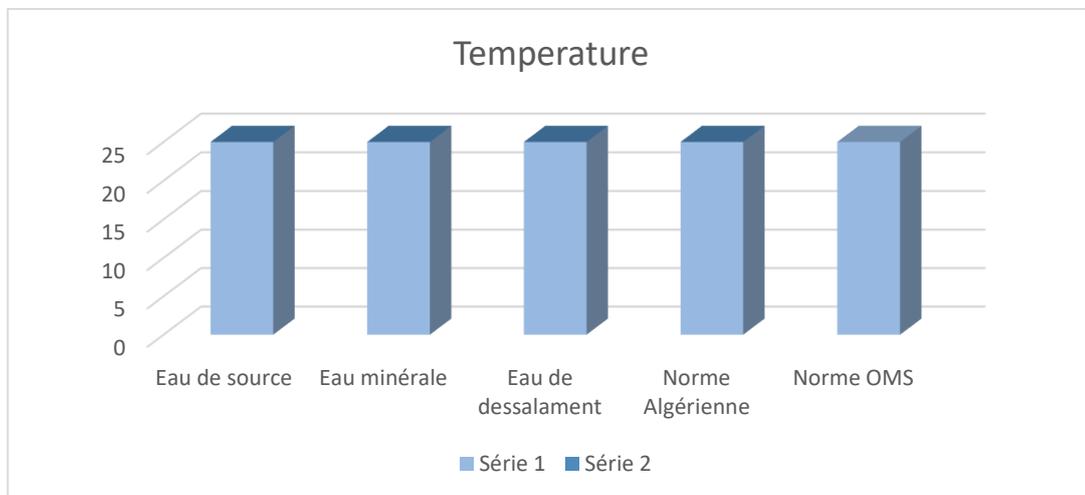


Figure 32 : Résultat de Température.

I.1.3 La conductivité

La conductivité permet de déterminer la capacité de l'eau à conduire l'électricité. En effet, elle permet de juger la quantité de sels dissous dans l'eau. La valeur de la conductivité est aussi en relation avec la nature des couches géologiques de la nappe ou de la présence des minéraux indésirables (Heriarivony *et al.*, 2015).

Les valeurs de notre échantillon représenté dans la figure 33 sont conformes à la norme Algérienne et même à celle de l'OMS (Annexe 02). En effet la valeur de conductivité de l'eau de source de sabra (1117 $\mu\text{s}/\text{cm}$) est relativement élevée par rapport à celles de l'eau de dessalement de Honaine (802 $\mu\text{s}/\text{cm}$) et l'eau minérale (985 $\mu\text{s}/\text{cm}$) due à sa richesse en sels minéraux : cette dernière modifier sa viscosité de l'eau.

Les sels se décomposent en ions chargés positivement et négativement. Cette relation entre la concentration en ions et la capacité de conduire le courant électrique fait de la conductivité une grandeur intéressante à mesurer dans l'analyse de l'eau. Du fait que le courant électrique est transporté par les ions de la solution, la conductivité augmente lorsque la concentration des ions augmente.

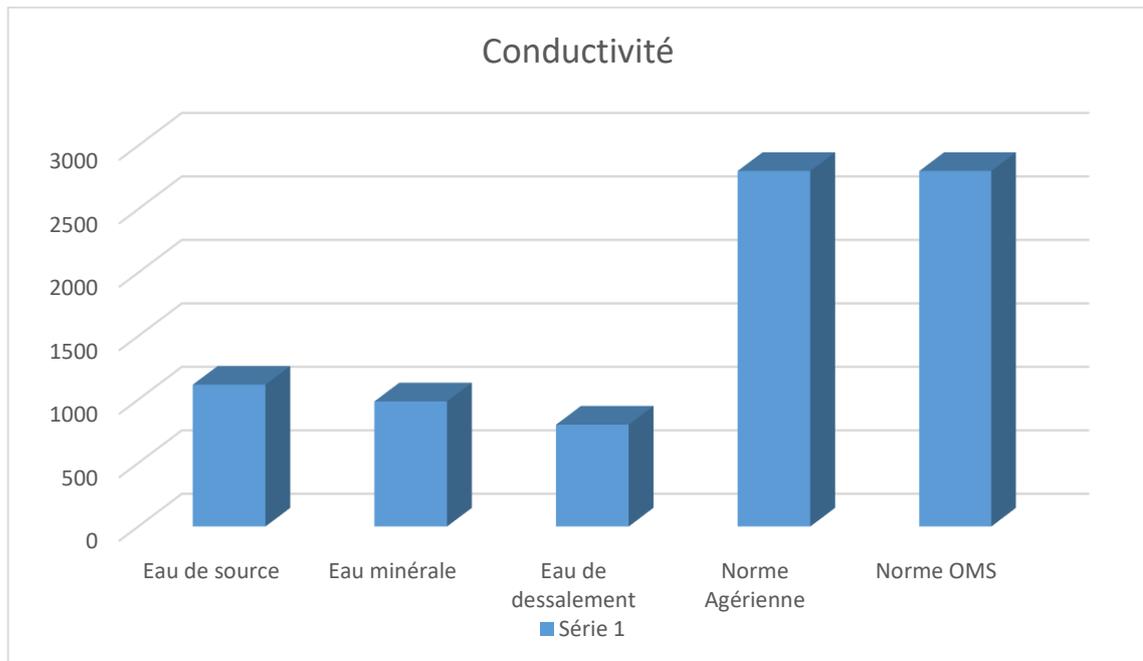


Figure 33 : Résultat de conductivité.

I.1.4 La turbidité

La mesure de la turbidité permet de donner les informations visuelles sur l'eau. Elle traduit donc la présence des particules en suspension dans l'eau (débris d'organismes microscopiques). Selon la norme Algérienne (Annexe 02) qui fixe la turbidité à 5 NTU, l'eau de dessalement a une faible turbidité puisque sa valeur est de 0.324 NTU. Il en est de même pour l'eau de source et minérale de 0.168 NTU (figure 34). Cela serait dû à la filtration de l'eau dans le sol, donc ce sont des eaux claires (Rejsek, 2002).

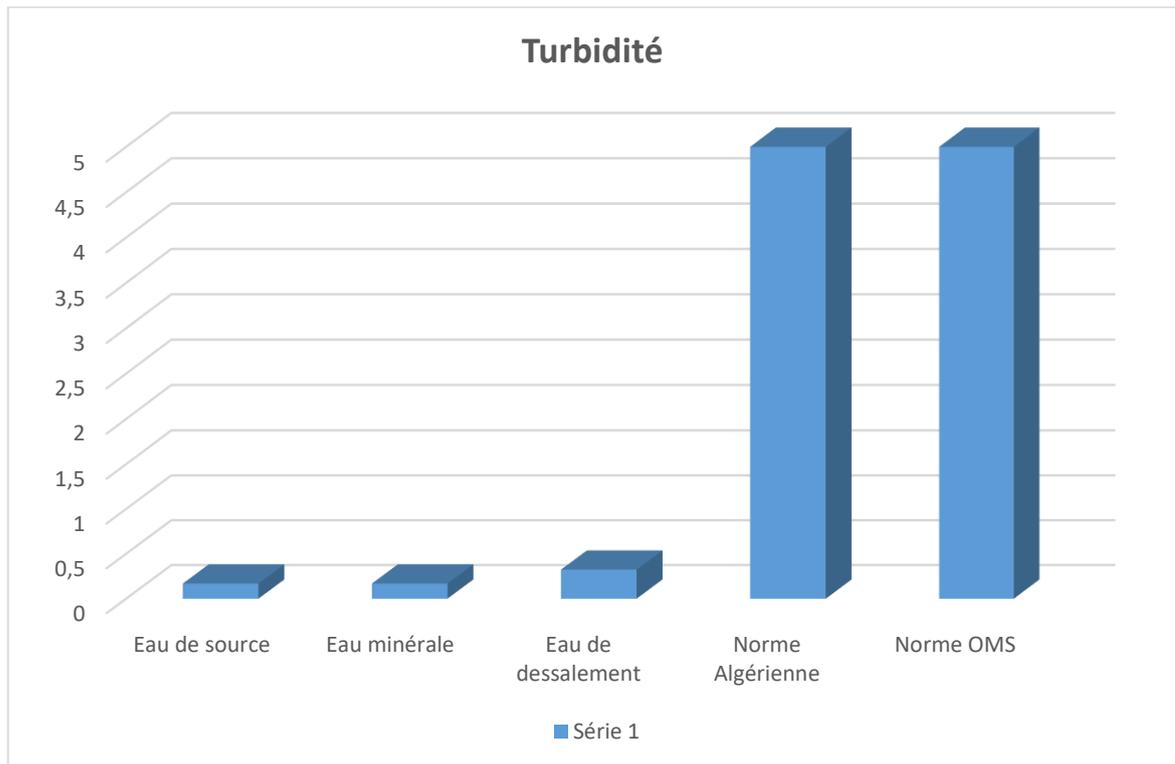


Figure 34 : Résultat de Turbidité.

I.1.5 Discussions des résultats de minéralisation globale

I.1.5.1 Les bicarbonates

La quantité de bicarbonates dans l'eau varie en fonction de la zone géographique. En Algérie, il n'y a pas de limite fixée pour ce critère car cela n'affecte pas la qualité de l'eau potable, peu importe sa concentration (Sari, 2014). D'après les résultats obtenus dans la figure, elle ne dépasse pas **600 mg/L**.

Une eau est considérée comme « riche en bicarbonate de sodium » si elle contient plus de 600mg de (NaHCO_3) par litre.

Le bicarbonate de soude peut aider à traiter les brûlures d'estomac en neutralisant l'acide gastrique (Zikos, 2020).

I.1.5.2 La dureté totale (TH)

La dureté est un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium (Sari, 2014).

D'après les résultats obtenus dans la **figure 35**, la teneur de la dureté totale de l'eau de dessalement est de (**82.5mg/L**) et celle de l'eau de source (**375mg/L**) et de l'eau minérale (**117.5mg/L**). Elles répondent aux normes indiquées par la réglementation Algérienne et l'OMS (**Annexe 02**).

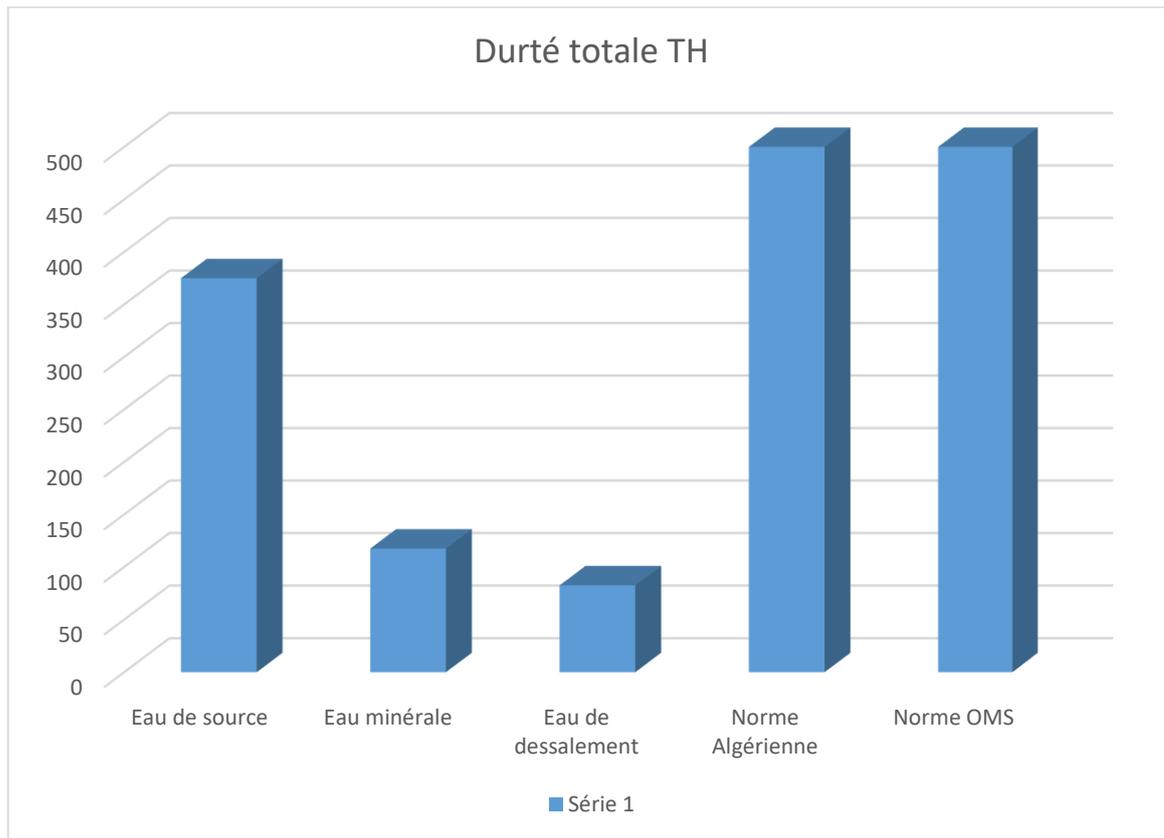


Figure 35 : Résultat de TH.

Une faible dureté ne permet pas l'élaboration de couche carbonatée pouvant participer à une protection des canalisations contre certains risques de corrosion ; par contre, une dureté élevée constitue un risque important d'entartage des canalisations.

I.1.5.3 Titre alcalimétrique complet (TAC)

L'alcalinité totale (TAC) représente la somme des hydroxydes (OH^-), des carbonates (CO_3^{2-}) et bicarbonates (HCO_3^-) dans les eaux naturelles (**Ahmouda et Biala, 2016**).

Sur le tableau nous représente la variation des différents paramètres cités ci-dessus. Nous pouvons voir que le taux d'alcalinité est différent entre les trois zones d'études.

Les résultats obtenus dans **la figure 36** ci-dessous montrent que le TAC de l'eau de dessalement (**60mg/L**) est inférieur de celle de l'eau de source (**400mg/L**) et l'eau minérale (**292.5mg/L**), mais cela reste dans la limite des normes Algérienne et L'OMS (**Annexe 02**).

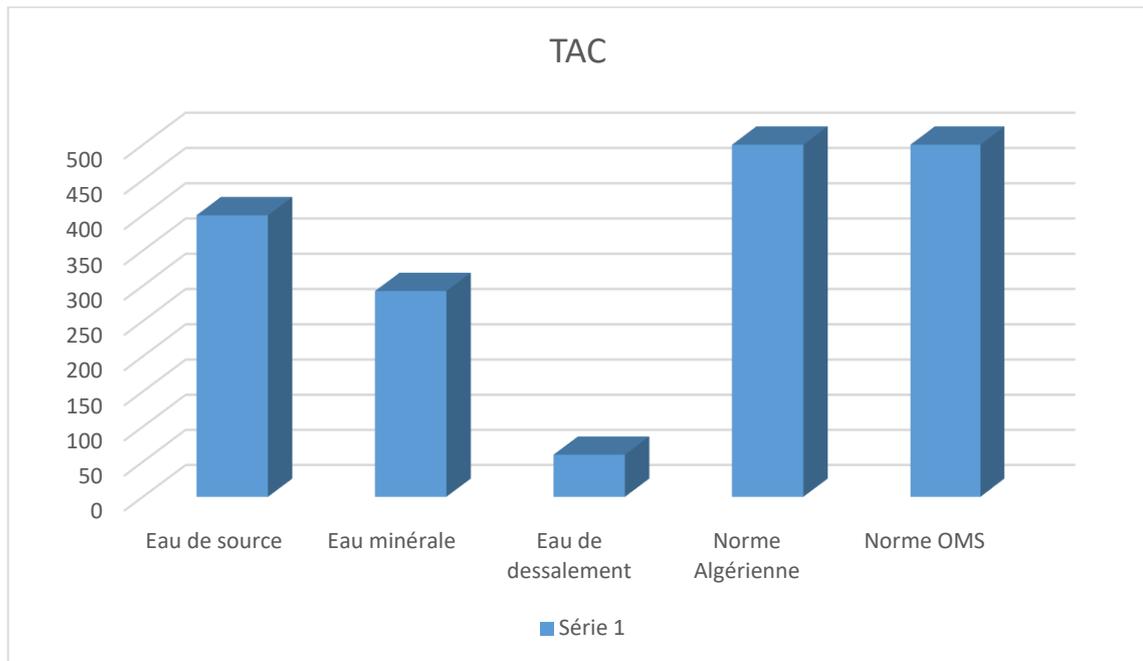


Figure 36 : Résultat de TAC.

Les eaux faiblement chargées en sels vont avoir conservé un potentiel de dissolution vis-à-vis des matériaux avec lesquels elles seront en contact (récipients, tuyaux...).

A l'inverse, les eaux riches en sels et surtout en sels alcalinoterreux auront la possibilité de laisser déposer les moins solubles de ceux-ci, elles auront tendance à produire des dépôts donnant lieu à la formation de cristaux à l'interface solide-liquide.

On parle alors des phénomènes d'agressivité et d'entartrage. Ces derniers dépendent principalement de quatre facteurs : anhydride carbonique libre (CO₂), alcalinité, température et pH. La teneur en CO₂ influence le pH :

- ✓ Si : le CO₂ libre > CO₂ équilibrant L'eau est agressive (pH acide)
- ✓ Si : le CO₂ libre = CO₂ équilibrant Eau en équilibre (pH neutre)
- ✓ Si : le CO₂ libre < CO₂ équilibrant Eau incrustante (saturée en sels dissous) pH de saturation (**Rodier, 2005**).

Lorsque l'eau est agressive (par les procédés de dessalement ex : Osmose inverse) elle provoque le phénomène de corrosion (correspond à une diminution uniforme d'épaisseur d'un métal ou d'alliage, résultant l'interaction électrochimique entre l'eau et le métal ou l'alliage et sa transformation en oxyde insolubles.)

Lorsqu'elle est incrustante elle provoque le phénomène d'entartrage qui cause le colmatage des canalisations et des membranes d'osmose inverse. Le pH de l'eau analysée rentre dans les normes et donc n'est ni agressif ni saturé, ce qui veut dire que les minéraux (CO₂, OH, HCO₃⁻, CaCO₃) sont équilibrés.

I.1.5.4 Chlorure (cl⁻)

Les ions chlorures sont toujours présents dans toutes les eaux à des concentrations différentes et sous forme des sels : chlorure de sodium (NaCl), chlorure de potassium (KCl) ou chlorure de calcium (CaCl₂) (**Kadri et Boudersa, 2018**). Les

Résultats et discussion

eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives, La concentration des chlorures dans l'eau dépend aussi du terrain (**Belghiti et al., 2013**).

D'après les normes Algériennes, pour les chlorures (500 mg/L) (**Annexe 02**) les valeurs de ce paramètre pour l'eau analysée ne dépassent pas cette norme avec (**figure 37**) :

- L'eau de dessalement : $\text{Cl}^- = 227.5\text{mg/L}$
- L'eau de source : $\text{Cl}^- = 115\text{mg/L}$
- L'eau minérale : $\text{Cl}^- = 92.1\text{mg/L}$.

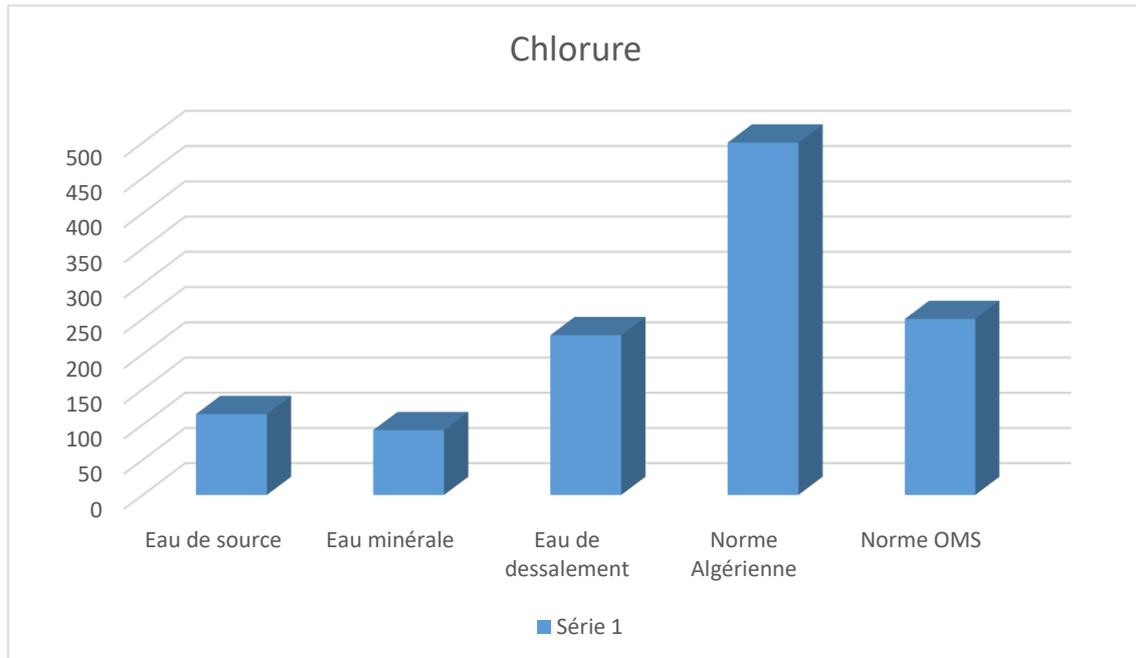


Figure 37 : Résultat de chlorure.

Ce résultat peut être expliqué par la nature des terrains traversés par cette eau telle que les formations argilo- sableuses ou argileuses, ce qui facilite la dissolution des terrains salifères. Donc elle est d'une qualité acceptable concernant le chlorure.

La présence du chlorure dans ces eaux, en raison de la structure géologique des couches de la terre, à travers lesquelles cette eau se déplace à travers des couches rocheuses et argileuses riche en ion de chlorure.

I.1.5.5 Sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates (SO_4^{2-}) proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse. Ils résultent également de l'activité de certaines bactéries (chlorothio-bactéries, rhodothio-bactéries, ...etc.). Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré (H_2S) toxique en sulfate (**Belghitiet al., 2013**). Selon les résultats obtenus dans **la figure 38** ce qui ne dépasse pas la norme algérienne (**Annexe 02**).

- L'eau de dessalement : 30mg/L
- L'eau de source : 27mg/L
- L'eau minérale : 32mg/L .

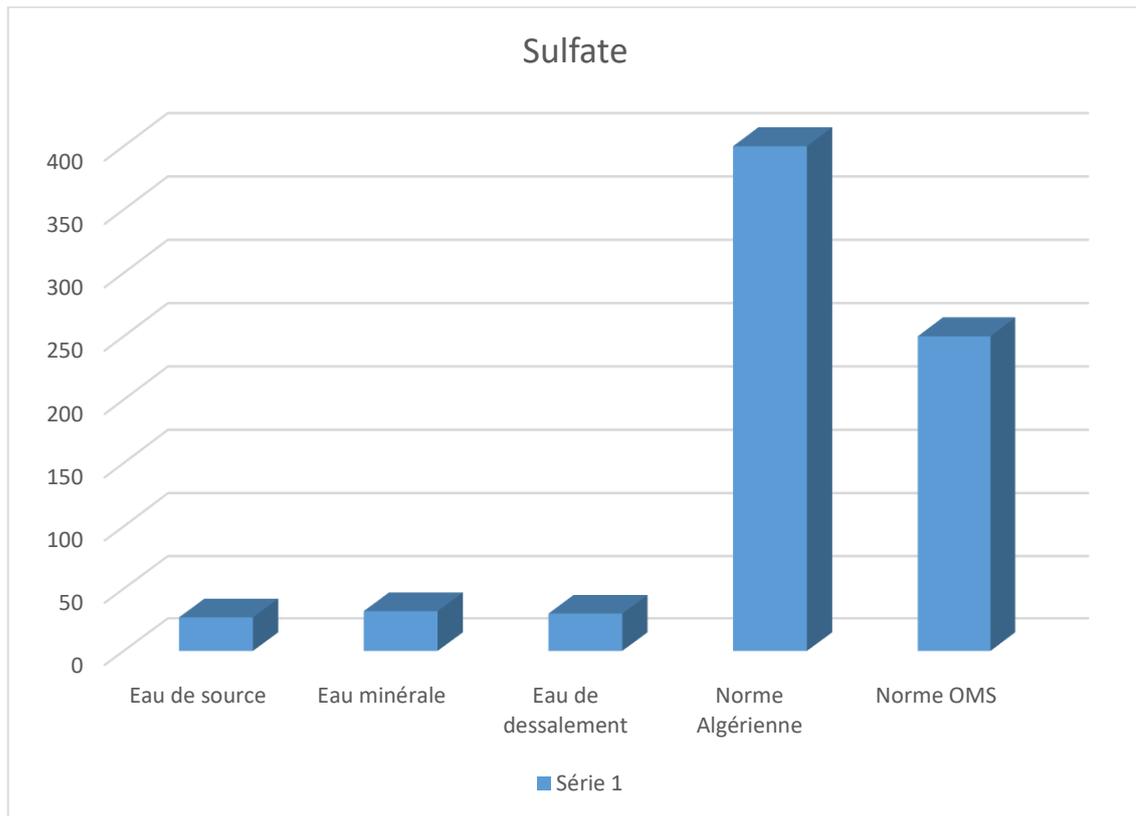


Figure 38 : Résultat de sulfate.

Les ions sulfates sont par eux-mêmes peu toxiques. Cependant des concentrations inférieures peuvent affecter les enfants et les nouveaux consommateurs d'eau qui n'y sont pas habitués (troubles gastro-intestinaux et diarrhéiques). La consommation régulière d'eau chargée en sulfates fait disparaître ces effets laxatifs.

I.1.5.6 Calcium (ca^{2+})

C'est un composant majeur de la dureté de l'eau. Il est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrain traverse (**Kadri et Boudersa, 2018**), la **figure 39** montre que la teneur en calcium de l'eau de dessalement (**24mg/L**) est inférieure par rapport l'eau de source (**76mg/L**) et minérale (**66mg/L**), peut être due à l'osmose inverse qui est un procédé de séparation membranaire qui est capable de retenir les particules dont le diamètre est entre **0.1-1nm**. C'est pourquoi la valeur de calcium enregistrée est très faible mais nos valeurs restent dans l'énorme Algérienne et l'OMS (**Annexe 02**).

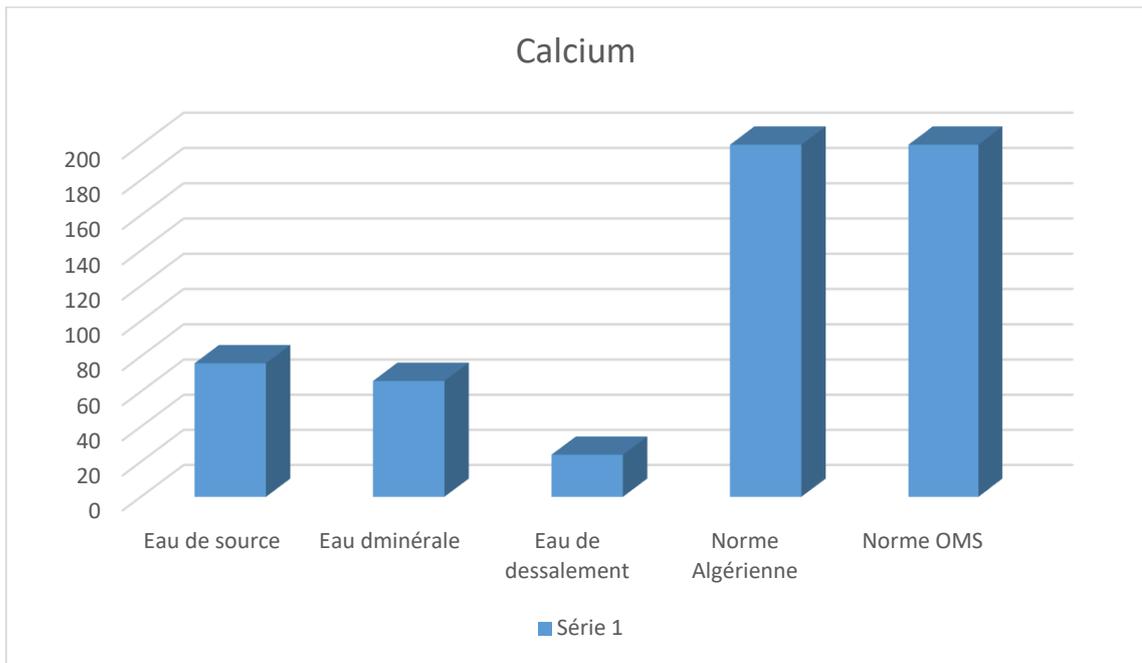


Figure 39 : Résultat de calcium.

I.1.5.7 Magnésium (Mg^{2+})

L'ion magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrés (calcaires dolomitiques, dolomies du jurassique ou du trias moyen) (Sari, 2014).

D'après les résultats obtenus dans la **figure 40**, l'eau de dessalement présente une faible concentration de Magnésium (**5.4mg/L**) par comparaison à l'eau de source (**45.8mg/L**) et l'eau minérale (**60mg /L**) à cause des procédés de dessalement impliqués à la station, mais ce dernier reste conforme au norme Algérienne et l'OMS (**Annexe 02**).

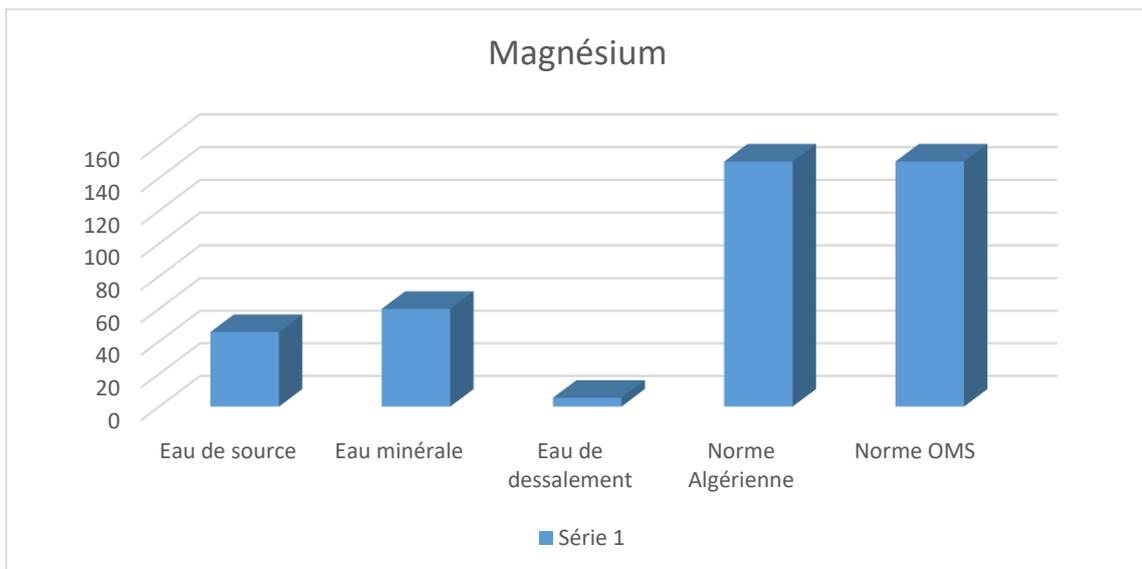


Figure 40 : Résultat de Magnésium.

I.1.6 Discussions des résultats des paramètres de pollution

I.1.6.1 Ammonium (NH₄⁺)

Cet élément constitue le produit de la réduction finale des substances organiques azotées et de la matière inorganique dans les eaux et les sols. Il provient également de l'excrétion des organismes vivants et de la réduction et la biodégradation des déchets, sans toutefois négliger les apports d'origine domestique, agricole et industrielle (**Abboudi et al., 2014**). L'ammonium provient principalement de la décomposition des protéines naturelles contenues dans le phytoplancton et les micro-organismes. Il peut provenir aussi de l'apport défluentes urbains et des rejets agricoles (**Rodier, 2005**).

Les résultats obtenus dans la figure indiquent que l'ammonium est inférieur à **(0.01mg/L)** dans nos échantillons ce qui indique que les eaux étudiées ne sont pas assujetties à un risque de pollution par ammonium (**Annexe 02**).

I.1.6.2 Phosphate

Les ions phosphates contenus dans les eaux de surface ou dans les nappes peuvent être d'origine naturelle : décomposition de la matière organique ; lessivage des minéraux, ou due aussi aux rejets industriels (agroalimentaire...etc.), domestiques (poly-phosphate des détergents), engrais (pesticides...etc.) (**Mekhloufi et Ouanoughi, 2017**).

Le phosphate est un constituant essentiel de la matière organique et est un nutriment indispensable pour les organismes vivants. Cependant il doit être considéré comme un polluant lorsqu'il est présent à de fortes concentrations dans l'environnement. Des teneurs dans l'eau supérieures à 0.5 mg/l doivent constituer un indice de pollution (**Kadri et Boudersa, 2018**).

D'après les résultats obtenus dans **la figure 41** la concentration en phosphates dans l'eau de dessalement (**0.16mg/L**), l'eau de source (**0.02mg/L**) et minérale (**0.05mg/L**) dans l'énorme de potabilité Algérienne et l'OMS (**Annexe 02**).

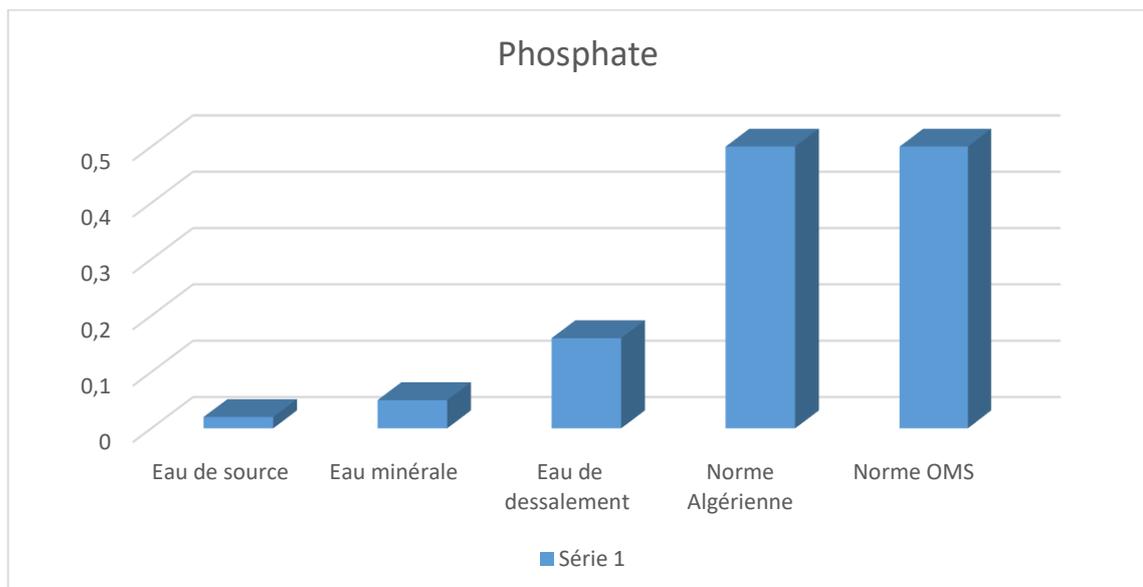


Figure 41 : Résultat de phosphate.

I.1.6.3 Nitrate

Le nitrate caractérise la concentration en ion NO_3 La concentration en nitrate dans les eaux souterraines est normalement basse, mais peut atteindre des niveaux élevés en raison de l'écoulement agricole, l'écoulement de décharge d'ordures, ou de contamination avec les déchets des animaux ou des humaines (Sari, 2014).

Les nitrates proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites et constituent ainsi l'ultime produit de la nitrification (Abboudi et al., 2014). D'après les résultats obtenus dans la figure 42, les concentrations de nitrate dans l'eau de dessalement, l'eau de source et l'eau minérale sont respectivement (1.73, 15.4 et 25.5mg/ L), qui sont inférieurs à la teneur suggérée par les normes algériennes (Annexe 02), ce qui indique que les eaux étudiées ne sont pas assujetties à un risque de pollution par les nitrates. C'est une preuve de l'absence de lessivage des engrais et de l'azote reminéralisé sur les zones de culture (le cas des zones agricoles), ou bien loin des eaux usées domestiques et parfois industrielles. Ceci nous permet de dire que cette eau analysée est de bonne qualité concernant les nitrates.

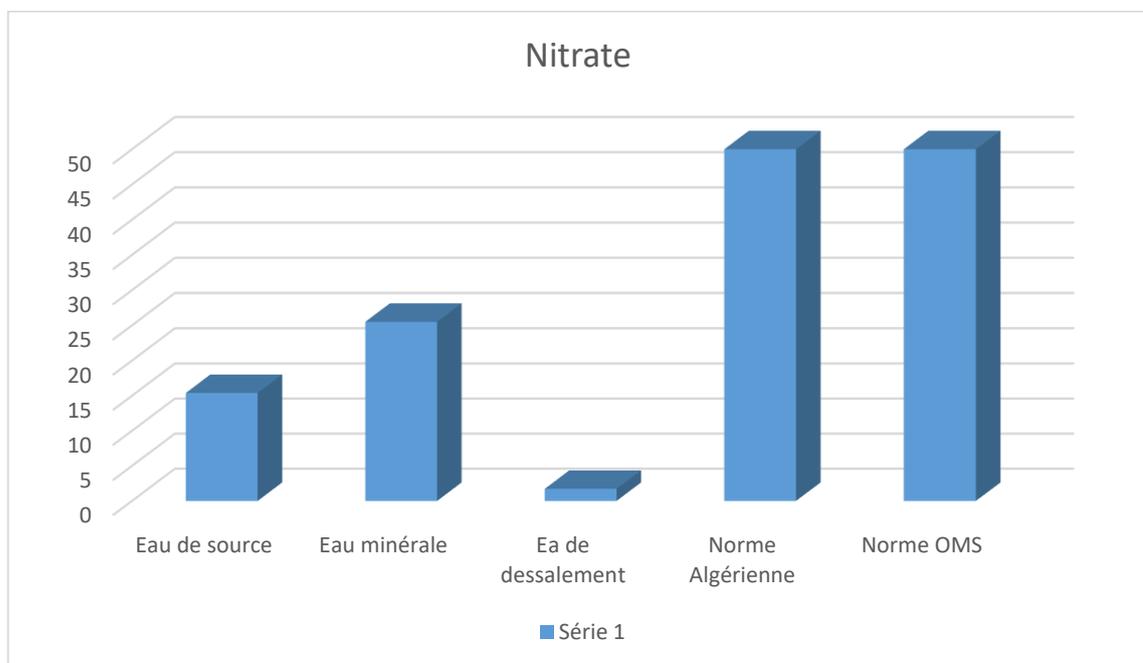


Figure 42 : Résultat de Nitrate.

I.1.6.4 Nitrite

Une eau contenant des nitrites est suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de la qualité microbiologique. Dans l'eau de distribution une quantité de nitrites supérieure à la norme algérienne fixée à 0.2 mg/l peut être nocive pour la santé (Kadri et Boudersa, 2018). Chez les mammifères, la consommation d'eau chargée de nitrites perturbe la fixation de l'oxygène par l'hémoglobine du sang. Notamment chez les jeunes enfants. Ce symptôme se nomme la méthémoglobinémie ou la maladie bleue du nourrisson (Kadri et Boudersa, 2018). D'après les résultats obtenus (figure 43), la concentration de nitrite dans l'eau de dessalement est de 0.019 mg/L, et de 0.1395 mg/L dans l'eau de source et dans l'eau minérale ce qui répond aux

Résultats et discussion

normes (**Annexe 02**). C'est une preuve de l'absence de pollution liée aux activités humaines rejets urbains, industriels et surtout agricoles et élevage intensifs). Ceci nous permet de dire que cette eau analysée est de bonne qualité concernant le nitrite.

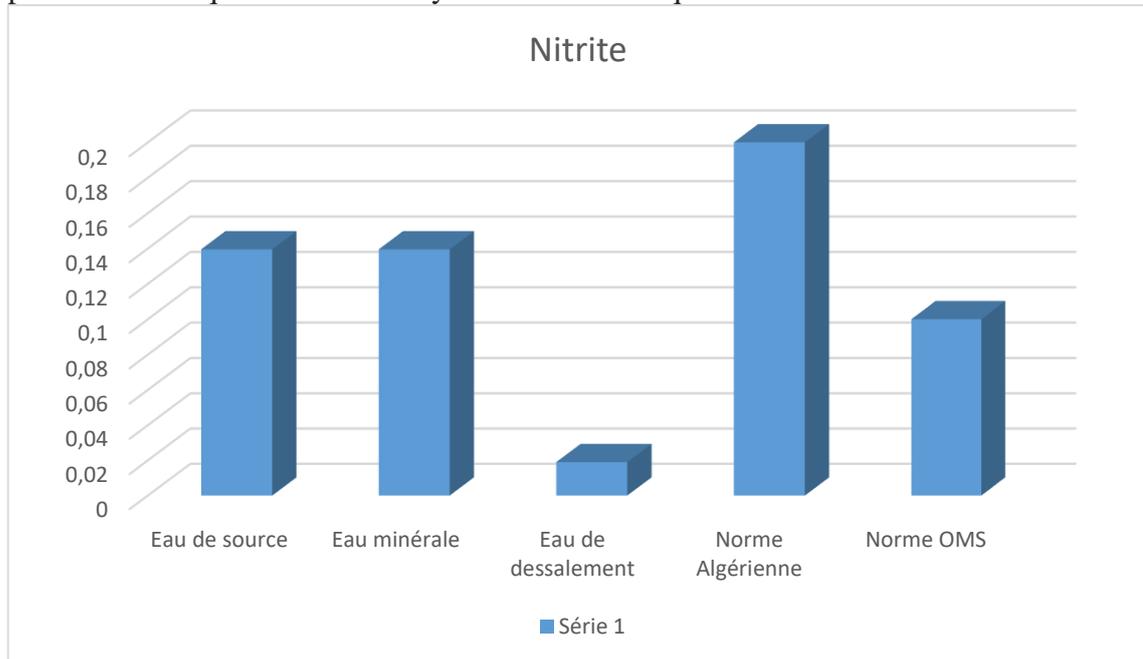


Figure 43 : Résultat de Nitrite.

I.2 Discussion des résultats microbiologiques

Les eaux souterraines sont porteuses de microorganismes pathogènes ou non pathogènes. Lorsque le pouvoir d'autoépurations du sol est très efficace, pratiquement l'eau souterraine en est dépourvue dans les conditions naturelles. Un problème particulier est posé par les aquifères karstiques au sein desquels l'autoépuration est faible ou nulle. Les eaux des nappes peu profondes sont souvent contaminées après de fortes précipitations (**Sari, 2014**).

Tableau 04 : Les résultats bactériologiques.

	Coliformes Totaux	Streptocoques fécaux	Germes totaux	Clostridium sulfito- réducteur
Eau de source	0	0	A 37 C° : 0 A 22 C° : 0	0
Eau minérale	0	0	A 37 C° : 1 A 22 C° : 0	0
Eau dessalement	0	0	A 37 C° : 0 A 22 C° : 0	0

I.2.1 Les germes totaux

Le dénombrement des germes totaux est considéré comme un type d'indicateur beaucoup plus général, vis-à-vis de toute pollution microbiologique ; celui-ci détermine la totalité de la charge bactérienne. Les résultats du dénombrement des germes totaux de l'eau minérale à **37C°** a montré la présence d'une colonie qui est peut-être dû à une contamination pendant le prélèvement ou même durant la manipulation au laboratoire, contrairement au dénombrement des germes totaux à **22C°** qui a révélé une absence totale de germes, ainsi que l'eau de source et l'eau de dessalement ont montrés une absence totale des germes totaux, donc on conclut que ces résultats sont conformes aux normes Algérienne de potabilité (**Annexe 03**).

I.2.2 Les coliformes totaux

Selon l'OMS, bien que la presque totalité des coliformes totaux soient non pathogènes, et ne présentent pas de risque pour la santé, les eaux de consommation doivent respecter scrupuleusement les valeurs suivantes : Coliformes totaux 0 UFC/250 ml (**Bérenger Bengaibona, 2010**).

D'après le résultat illustré par le tableau, on observe l'absence total de coliformes totaux dans l'eau échantillonné, cela répond aux normes de potabilité exigées par la norme Algérienne (**Annexe 03**), ainsi, cette eau est de qualité excellente en fonction des coliformes totaux. Ceci peut être en relation avec l'absence des rejets industriels.

La présence de coliformes totaux dans un réseau de distribution d'eau potable est peut-être due à une reviviscence bactérienne (formation d'un biofilm sur les parois des conduites d'eau potable), particulièrement lorsque les concentrations de chlore libre sont faibles (**Amirat et Neciri, 2017**).

I.2.3 Les streptocoques fécaux

La réglementation de notre pays exclue impérativement la présence des streptocoques fécaux dans 100 ml. C'est aussi le cas de notre eau où on a constaté l'absence totale des streptocoques fécaux dans les eaux étudiées (eau de dessalement, eau de source et eau minérale).

I.2.4 Les clostridium sulfito – réducteurs

Sont des bactéries d'origine fécale, si elles se trouvent normalement dans les matières fécales, elles peuvent également vivre et se multiplier dans les milieux naturels (**Amirat et Neciri, 2017**).

Cette bactérie est d'agents provoquant des maladies gastro-intestinales et est donc présente dans les matières fécales des animaux et des humains. La présence de l'un de ces micro-organismes dans l'eau découle en général d'une contamination fécale. Des travaux ont signalé de nombreuses éclosions en relation avec l'eau de robinet contaminée. Dans la plupart des cas, on les trouve dans l'eau du réseau de distribution contaminé qui n'était pas traitée convenablement avant la consommation (**Bengarnia, 2016**).

Selon le résultat obtenu, aucun signe de présence des clostridium sulfito-réductrice n'a été remarquée durant la lecture, ce qui nous a permis de dire qu'il

Résultats et discussion

présente une conformité à la valeur indicative de la norme Algérienne de potabilité (**Annexe 03**), donc cette eau analysée est de qualité acceptable pour le paramètre bactériologique relatif aux Clostridium sulfito-réductrice. Cette conformité résulte de l'absence des latrines et des fosses septiques susceptibles de causer une pollution fécale.

CONCLUSION

Conclusion générale

L'eau est l'élément naturel qui fait l'objet d'une surveillance attentive pour la prévention de la santé publique. La question de la qualité de l'eau au sein des programmes humanitaires se pose essentiellement à la consommation humaine et d'irrigation. Contrairement à la mauvaise qualité de l'eau qui peut être induite par des activités anthropiques ou par des phénomènes naturels, et constitue sans aucun doute une menace pour les habitats qui puisent l'eau nécessaire à leurs besoins.

Notre étude porte sur l'étude comparative de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de dessalement (Honaine), l'eau de source (Sabra) et l'eau minérale (Saida). Les différentes analyses effectuées sur les échantillons d'eau ont permis d'évaluer sa qualité qui est par la suite conclue comme une eau avec une qualité acceptable car les résultats des analyses sont conformes et en accord aux normes algériennes puisque les résultats des analyses physico-chimiques ont montrés que les caractéristiques physicochimiques de l'eau sont dans les intervalles des normes nationales ,et les résultats des analyses bactériologiques ont relevés que le dénombrement est aussi dans l'intervalle des normes bactériologiques des eaux Algériennes.

Le produit fini est une eau de très bonne qualité et destinée à la consommation humaine, selon la réglementation algérienne en vigueur.

Le stage pratique que nous avons effectué au sein de l'entreprise ADE, nous a permis non seulement d'enrichir mes connaissances sur le plan expérimental mais de nous familiariser avec le milieu professionnel.

Référence bibliographiques

Abboudi, A., Tabyaoui, H., El Hamichi, F. Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou. Maroc European Scientific Journal August 2014 édition vol.10, No.23.

Ahmouda, I. et Biala, H., 2016. Traitement des rejets de dessalement de l'eau de mer cas de « Les Dunes » ; Oran. Université de Tebessa. Mémoire de Master, 95p.

Alain Maurel, « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et d'autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce », 2006, 2^{ème} édition.

Amirat, A., Neciri, S. (2017). Etude de la qualité bactériologique de l'eau de citerne vendue dans la ville d'Ouargla. Mémoire de Master de l'Université Kasdi Merbah, Ouargla

AMITOUICHE, M., Impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu récepteur, thèse Doctorat, Université Biskra, 2016.

Amrani, C. (2017). Etude de la qualité de l'eau du barrage TAKSEBT (Tizi-ouzou). Mémoire Master de l'Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou (UMMTO).

Atallah, A., 2014. Procédé de dessalement et qualité physico chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de Honaine - teneurs : cations, anions et métaux lourds. 28p.

Aubry, P. et Gaüzère, B.A., 2011. Les maladies liées à l'eau. Médecine tropicale. 7p.

Ayad W., et Kahoul M. 2017. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits dans la région d'El-Harrouch: Microbiologie appliquée. Thèse de doctorat, université Badji Mokhtar, Annaba, 156 p.

BALDERACCHI, « L'eau dans l'organisme », 2009, Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

Bandelier P ; Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. Article publié le 29 novembre 2016 (Encyclopédie de l'énergie).

BANDELIER Philippe, « Le dessalement d'eau de mer et des eaux saumâtres ».

Barrage Sidi M'hamed Ben Taiba, Mémoire de Fin D'Etude, université djilali bouaama de

Belghiti M L., Chahlaoui, A., Bengoumi, D., El Moustaine, R. Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc).

BP 11201 Zitoune, Meknès, Maroc. Larhyss Journal, n° 14, Juin 2013, pp. 21-36.

Beneteaud, E. et Pujades, P., 2009. L'eau. Académie Versailles. 13p.

Références bibliographiques

Bengarnia, B. (2016). Contribution à l'étude de l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de la région d'oued Es-Saoura cas de Béni Abbès, Ougarta et Zeghamra. Thèse de Doctorat de l'Université Ahmed Ben Bella Oran 2-

Bérenger Bengaibona, B. (2010). Analyse comparée des qualités microbiologique et physico-chimique des eaux de pluie stockées dans des citernes en Ferro ciment : Cas des impluviums de DORI.

Mémoire de Master. Institut international d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement.

BERNARD C, « Introduction à l'étude de la médecine expérimentale », 2007, édition BiblioBazaar.

Besbes M et De Marsily G. 2017. Responsabilité & environnement. Les eaux souterraines. P : 1. Biologie, interprétation des résultats. Edition. Dunod, Paris, p 1384.

BLIGNY J, P. Hartemann. (2005). Les eaux minérales naturelles et les eaux de source : cadre réglementaire et technique. Comptes Rendus Geoscience 337(1-2) : 279-284.

BOEGLIN Jean-Claude. (2001) Propriétés des eaux naturelles. Dossier N° G1110. Environnement Technologies de l'eau. Technique de l'ingénieur.

BOIXADERA.D « Le dessalement de l'eau de mer », 2001, BRL Ingénierie.

Bouchemal F. 2017. Diagnostic de la qualité des eaux souterraines et superficielles de la région de Biskra : Hydraulique. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider, Biskra, 179 p.

BOUTOUBA .2019. Analyse physico-chimique et microbiologique de l'eau minérale. Mémoire de magistère, université Mohamed khider, Biskra.

Bouziani M., (2000) ; L'eau, De La Pénurie Maladies. Ed. Ibn-Kholdon, Oron P156.158.

Brasilia, (2013). Manuel pratique d'analyse de l'eau.4ème édition. 54, 57, 63 p.

Brémaud C. (2006), Alimentation, santé, qualité de l'eau ; environnement et du cadre de vie en Bruggen, B. Van der, Desalination by distillation and by reverse osmosis — trends towards the future, Membrane Technology, Vol .2003 (2) pages 6–9.2003.

Bushnak, A. (2012), Évaluation des meilleures technologies disponibles pour le dessalement en zones rurales/locales. Rapport final, Gestion Intégrée Durable de l'Eau - Mécanisme de Soutien (SWIM -SM).

C. Beck et D. Cassard, « Traitement des eaux de consommation », Rappels de chimie relatifs aux eaux de consommation, Session de formation continue « traitement des eaux de consommation, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg.

Cardot C., (2002) ; Les Traitement De L'eau Procède Physico-chimique Et Biologique. Ed Ellipses Danis p ; Dessalement de l'eau de mer. Article publié le 10/06/2003 (Techniques de l'ingénieur).

Références bibliographiques

Degrement, (1989) : Mémento Technique De L'eau, Technique Et Documentation, Tome1

Degremont S. 1989. Mémento technique de l'eau. Technique et documentation. Tome 1. Edition du cinquantenaire. P : 3

Delmont, J., 2016. Les enjeux de santé liés à la qualité de l'eau de boisson dans les pays en développement. GRAND LYON. 31p.

Desjardins, R. (1990). Le Traitement Des Eaux. 2ème Ed Revue Et Enrichie. Canada. Isbn : 978-2553-00643-2. P 08-47-71-111 Directive 80/777/CEE du 15 juillet 1980 modifiée par la directive 96/70/CE

Doumont, D. et Libion, F., 2006. Impact sur la santé des différents polluants : quels effets à court, moyen et long terme ? Service Communautaire de Promotion de la Santé avec le soutien de la Communauté française de Belgique. 45p

Euzen A., Jeandel C., Mosseri R., 2015 ; L'eau à découvert. CNRS Edition. 26-27 P ; par Ducharme A., Laval K. 54-55 P ; par Millot C. Expo_eau_pds2013.pdf consulté le 14/12/2014.

FERRAH Ali. (2013). Industrie de l'eau embouteillée en Algérie : Brève revue. INRAA innovation.

François R, « Dictionnaire encyclopédique d'écologie et de science de l'environnement », 2002, 2 « éme édition DUNOD. Paris.

Garreau, P., Gariepy, A., Gingras, S. et Rasmussen, P., 1999. La problématique de la pollution agricole, ses impacts sur la santé des cours d'eau et sur la santé humaine. (6211-13- 011), 75p.

Ghislain De, M., 2008. L'eau pour tous, tous pour l'eau. Sépia, CASDEN, ISBN 978-2- 84280-136-6, 119p.

Gonthier S., 2020 ; Le dessalement de l'eau : Un outil d'adaptation potentiel dans une optique de développement durable. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.). Université de Sherbrooke. Canada.

Gouvernement du Québec, 2002. Critères de qualité de l'eau ; eau de surface au Québec. Québec, 231p.

Graindorge, J. (2015)., Guide des analyses de la qualité de l'eau. Edition groupe territorial CS 40215-38516, Voiron cedex. 136, 163, 164, 165 p.

Green Facts, 2014. Ressources en eau. Schweizerische Eidgenossenschaft. 6p.

Guay, I. et Roussel, T., 2013. Critères de qualité de l'eau ; eau de surface. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs. 508p.

Guiraud, J., (1980). Microbiologie alimentaire Ed. Dunod. Paris.101, 105p.

Hanane Dach, Comparison of nanofiltration and reverse osmosis processes for a selective desalination of brackish water feeds, Thèse de doctorate mai 2008.

Références bibliographiques

- Harrat, N., 2007.** Qualité des eaux de surface de l'Est algérien et leur réactivité vis-à-vis du chlore. Université d'Annaba. Mémoire de Magister. 96p.
- Haslay C Et Leclerc H., 1993,** Microbiologie Des Eaux D'alimentation, Edition Tac Et Doc Paris.
- HAZZAB .2011.** Eaux minérales naturelles et eaux de source en Algérie Hubert et al 2002.
- HAZZAB Abdelkarim. (2011).** Eaux minérales naturelles et eaux de sources en Algérie. Comptes Rendus Geoscience.
- Health Link BC, 2013.** Maladies liées à l'eau contaminée (ou maladies hydriques) en Colombie-Britannique-Water-borne Infections in British Columbia. British Columbia. 49a, 2p.
- Hénaut, A., 2011.** Pollution de l'air et de l'eau. UPMC. 64p.
- Henri S. 2014.** L'implantation et l'exploitation par forage des masses d'eau souterraines. Edition : LACOUR. Paris. P : 1.
- Hervé, S., 2005.** Le dessalement de l'eau de mer. Direction de la Recherche, du Développement et de la Technologie, PARIS – France, n° 4, 4p.
- Huot A. 2010.** La revue Bio contact, n°200. Eau et santé. P: 132.
- James D. Birkett,** « The History of Desalination Before Large-Scale Use », 2012, in Desalination and Water Ressources - History, Development and Management of Water Resources, Vol. I. Paris: Unesco.
- Janah Y., Ait Nouh F., Kettab A., 2017 ;** Les techniques de dessalement et les énergies renouvelables. Livre. Edition Universitaire Européenne.
- Kadri, D., Boudersa, K. (2018).** Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux dans un établissement de santé (Hôpital d'Ali Mendjeli). Mémoire de Master de l'Université des Frères Mentouri Constantine.
- Kemassi A., Ouanoughi S., (1997) ;** Chloration Organique Et Effet De La Minéralisation. Mémoire. Université Mohammed Khaider Biskra. Pp13.14.26.43 khemis miliana, Faculté des Sciences et de la Technologie, P 1-49.
- Kuntz D., et Kuntz J., 2012 ;** Eau potable enjeux géopolitique : Le dessalement est-il une solution d'avenir ? Article (Wordpress.com).
- Lahouel N. et al ;** Dessalement de l'eau de Mer et les Énergies Renouvelables. Journal of Advanced Research in Science and Technology, 2015, 2(2), 271-279.
- L'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, **LEGRAND L. et LEROY P,** « Prévention de la corrosion et de l'entartrage dans les réseaux de distribution d'eau », 1995, Ed. Cifec.
- Liferki M. (2015),** Etude des propriétés physico-chimiques et Bactériologiques de l'eau du LOUISE S., (2012). La gestion durable de l'eau. Edition : DUNOD, 256p.

Références bibliographiques

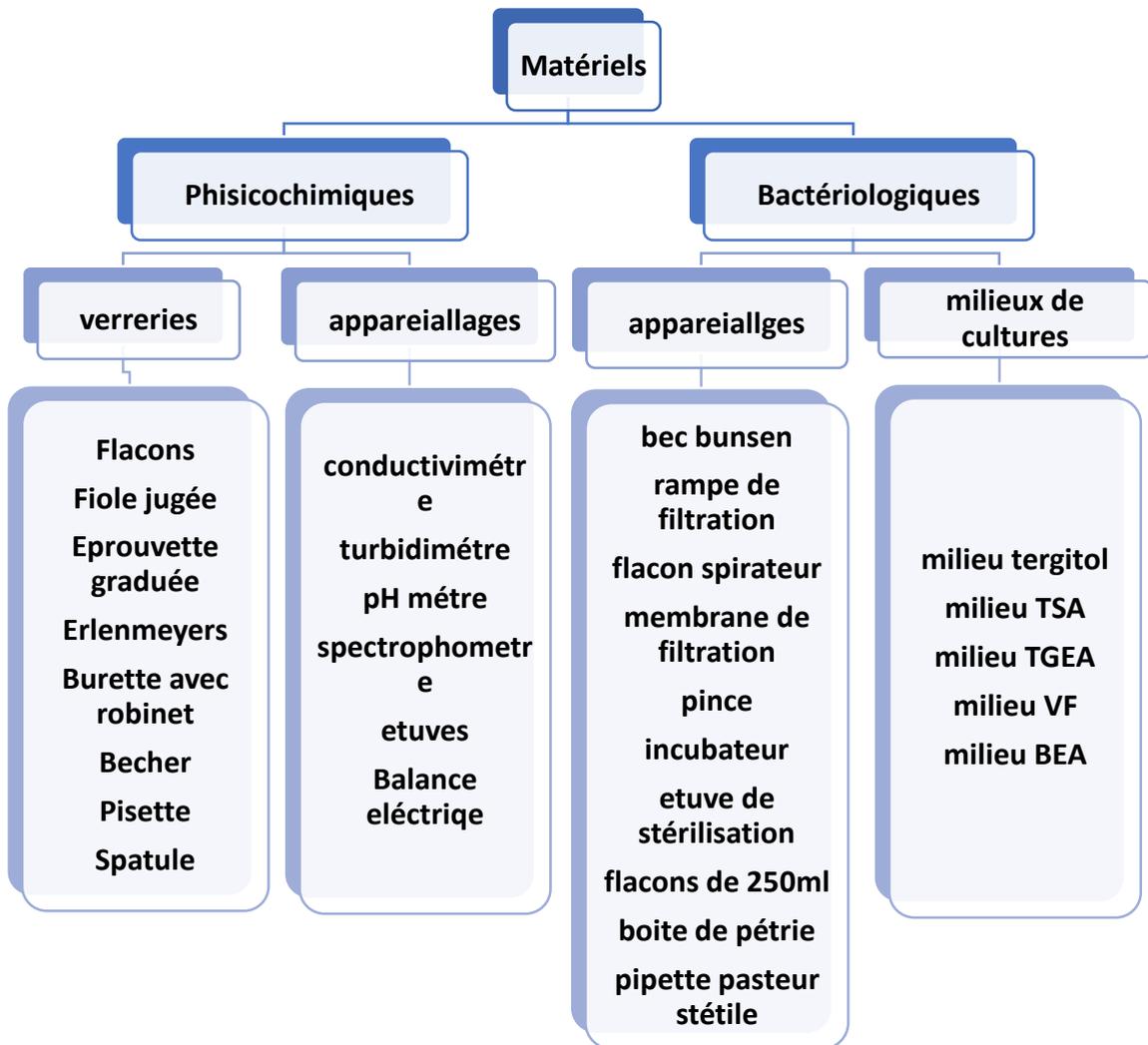
Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., Clooster M VAN. (2011), contribution à l'étude Malteser International. (2014). Lignes Directrices Sur L'eha Pour Les Acteurs De Terrain Manuel 1 : L'eau [En Ligne]. Disponible Sur : Pp34-68-7.

Maraza Z. 2015. Etude de l'effet de différents coagulants et adsorbants sur la qualité de l'eau potable de la station de Skikda : science de la matière. Thèse doctorat, Université 20 Août 1955, Skikda, 181p.

Annexes

Annexes

Annexe 01 : Les appareils utilisées dans cette étude



Annexe 02 : Normes des paramètres physico-chimiques (Normes Algérienne et OMS)

Tableau 05 : Normes des paramètres physico-chimiques (Algérienne des eaux).

Paramètres (Unité)	Norme Algérienne	Norme OMS
Ph	6,5-8,5	6,5-9,2
Température C°	25	-
Conductivité µs/cm	2800	-
Turbidité NTU	5	5
Dureté totale (TH) Mg/L	500	500
Calcium Mg/l	200	200
Magnésium Mg/L	150	150
Bicarbonate Mg/L	-	-
Sulfate Mg/L	400	250
Chlorure Mg/L	500	250
Nitrate Mg/L	50	50
Nitrite Mg/L	0,2	0,1
Phosphate Mg/L	0,5	0,5
Ammonium Mg/L	0,5	-
Salinité Mg/L	-	-
TAC Mg/L	500	500
Chlore Mg/L	0,6	0,7

Annexe 03 : Normes des paramètres bactériologiques (Normes Algérienne et OMS)

Tableau 06 : Normes des paramètres bactériologiques (Algérienne des eaux).

Paramètre	Norme Algérienne	Norme OMS
Coliforme totaux/ 100ml	200	0
Coliforme fécaux/100ml	00	0
E. coli/ 100ml	00	0
Streptocoques fécaux/100ml	00	0
Clostridium/ 100ml	00	0
Les germes a 22	100	0
Les germes a 37	10	0

Résumé

ملخص

الماء، مصدر حيوي ذو أهمية كبيرة لحياة الكائنات الحية وخاصة الإنسان. تتطلب نقص المياه العذبة في العالم حلاً مبتكرة، وتلعب عملية تحلية مياه البحر دوراً حاسماً في هذا السعي. أظهرت دراستنا المقارنة أن مياه التحلية يمكن أن تكون مصدراً آمناً وجودة للشرب، وقد تكون مقارنة أو أفضل من مياه الينابيع والمياه المعدنية. ومع ذلك، يجب أن نظل حذرين فيما يتعلق بالآثار البيئية لهذه التكنولوجيا ونواصل الاستثمار في حلول أكثر استدامة لتلبية احتياجاتنا من الماء العذب. في مدينتنا تلمسان، تتم تحليلات المياه بواسطة مختبر ADE في وحدة برية يتم تنفيذ عملنا لتحليلين نوعين من الفحوصات الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية لتحديد مطابقة المعايير المحلية للمياه الصالحة للشرب. في إطار دراستنا، تم إجراء التحاليل على ثلاث عينات (مياه التحلية ومياه الينابيع ومياه المعدنية) بقياس المعايير الفيزيائية-الكيميائية (الرقم الهيدروجيني، درجة الحرارة، النترت، النتريت، إلخ) والبحث عن الجراثيم الغير مرغوب فيها، مثل الجراثيم الاجمالية، الكوليفورم الكلي، الكوليفورم القولوني مثل الإشريشية كولاي والكلوسترديوم الذي يقوم باختزال الكبريتات. أظهرت النتائج المستخلصة أن التحاليل الفيزيائية-الكيميائية تتمتع بجودة جيدة وتستوفي معايير الصلاحية حسب المعايير الوطنية والتحليل البكتريولوجية تكشف عن عدم وجود جراثيم ممرضة وتلوث برازي. وهذا جعلنا نعتبر أن المياه الموزعة في هذه المنطقة ذات جودة جيدة وأن استهلاكها لا يشكل أي خطر على الصحة.

الكلمات الرئيسية: تحاليل فيزيائية-كيميائية، تحاليل بكتريولوجية، ماء التحلية، ماء الينابيع، ماء معدني

Abstract

Water, a vital source of great importance for the lives of living beings and especially for humans. The lack of fresh water in the world requires innovative solutions, and seawater desalination plays a crucial role in this quest. Our comparative study has shown that desalinated water can be a safe and high-quality source of drinking water, comparable or even better than spring water and mineral water. However, we must remain vigilant about the environmental implications of this technology and continue to invest in more sustainable solutions to meet our freshwater needs. In our city of Tlemcen, water analysis is carried out by the ADE Brea unit laboratory. Our work consists of performing two types of physicochemical and bacteriological analyses in order to determine the conformity of the parameters to be analyzed with Algerian drinking water standards. In the context of our study, the analyses were carried out on three samples (desalinated water, spring water, and mineral water) by measuring physicochemical parameters (pH, temperature, nitrites, nitrates, etc.) and searching for undesirable microorganisms: total germs, total coliforms, fecal coliforms such as E. coli and sulfite-reducing clostridium. The results obtained show that the physicochemical analyses are of good quality and meet the potability criteria according to national standards, and the bacteriological analyses reveal the absence of pathogenic germs and fecal contamination. This has led us to consider that the water distributed in this region is of good quality and its consumption poses no danger to health.

The keywords: physico-chemical analysis / bacteriological analysis / desalinated water
spring water / mineral water

Résumé

L'eau, source vitale d'une très grande importance, pour la vie des êtres vivants et surtout celle de l'homme. Le manque d'eau douce dans le monde nécessite des solutions

innovantes, et le dessalement de l'eau de mer joue un rôle crucial dans cette quête. Notre étude comparative a montré que l'eau de dessalement peut être une source d'eau potable sûre et de qualité, comparable voire meilleure que l'eau de source et l'eau minérale. Cependant, nous devons rester attentifs aux implications environnementales de cette technologie et continuer à investir dans des solutions plus durables pour répondre à nos besoins en eau douce. Au niveau de notre ville Tlemcen, les analyses d'eau sont effectuées par le laboratoire de l'ADE unité de Brea. Notre travail consiste à effectuer deux types d'analyses physicochimiques et bactériologiques dans le but de déterminer la conformité des paramètres à analyser aux normes algériennes de potabilité. Dans le cadre de notre étude, les analyses ont été effectuées sur trois échantillons (eau de dessalement, eau de source et eau minérale) en mesurant les paramètres physico-chimiques (pH, T°, Nitrites, Nitrates...etc) et en recherchant éventuellement les germes indésirables : Germes totaux, Coliformes totaux, Coliformes fécaux telle que *Escherichia coli* et *Clostridium sulfito-réducteurs*. Les résultats obtenus montrent que les analyses physico-chimiques présentent une bonne qualité et remplissent les critères de potabilité en se référant aux normes nationales et les analyses bactériologiques révèlent l'absence des germes pathogènes et de contamination fécale. Ce qui nous a menés à considérer que l'eau distribuée dans cette région est de bonne qualité et que sa consommation ne présente aucun danger pour la santé.

Les mots clés : analyse physico-chimiques / analyse bactériologiques / eau de dessalement / eau de source / eau minérale