

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université -Belhadj Bouchaib-d'Ain-Temouchent
Faculté des Sciences et de Technologie
Département de biologie



Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master en sciences biologiques

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Thème

**Etude de la qualité physico-chimique et microbiologique de
l'eau potable**

Soutenu le : 24/06/2024

Présenté Par :

➤ Mlle. YAHYAOUI Wafa

Devant le jury composé de :

Dr. BENNABI.F

MCA

UAT.B.A (Ain Temouchent) **Président**

Dr. CHERIF.N

MCA

UAT.B.A (Ain Temouchent) **Examineur**

Dr. CHIBANI H.R

MCA

UAT.B.A (Ain Temouchent) **Encadrante**

Année universitaire 2023/2024

Remerciements

*Avant tout je remercie ALLAH le tout puissant, de m'avoir
Accordé la force, le courage et la santé pour la réalisation de ce travail*

*Je tiens à remercier mon encadrante Mlle CHIBANI Hiba Rahman pour
l'honneur qu'elle m'a fait en dirigeant ce travail, pour ses aides, ses conseils, tout
au long de l'élaboration de ce modeste travail.*

*Je tiens également à remercier Mr BENNABI Farid d'avoir accepté de présider
ce jury.*

*Mes remerciements vont également à Mr CHERIF Nadjib qui m'a fait l'honneur
d'examiner ce travail.*

*Je tiens également à remercier tous les personnes du laboratoire de l'établissement
public « Algérienne des Eaux » région de Ain Témouchent, de m'avoir accueilli au
sein du laboratoire où j'ai effectué mon stage.*

*Je tiens à remercier chaleureusement tous ceux qui ont contribué de près ou de
loin à l'élaboration de ce travail.*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*Mes très chers parents, qui m'en encourager et soutenus tout au
long du parcours de ma vie et*

*de mes études. Ces quelques lignes ne suffisent pas, mais je tiens
à leur exprimer*

ma reconnaissance éternelle.

A Ma chère sœurs : Sarah.

A toute ma famille et

*tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de
ce travail*

Wafa

Sommaire

Résumé	
Abstract	
الملخص	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction.....	1

Partie I: Revue bibliographique

1. Définition de l'eau	3
2. Structure de la molécule d'eau.....	3
3. Répartition des ressources d'eau sur la terre	4
4. L'eau potable	5
4.1. Les sources d'eau potable.....	5
5. La pollution de l'eau	6
5.1. Les sources de la pollution de l'eau	7
5.2. Les origines de la pollution de l'eau	7
5.3. Les principaux polluants de l'eau	9
5.4. Les impacts écologiques de la pollution de l'eau	10
5.5. Les maladies à transmission hydrique	10
5.5.1. Les principales maladies à transmission hydrique.....	11
5.5.2. Les maladies à transmission hydrique liées à la présence des substances toxique.....	12
5.5.3. Les maladies à transmission hydrique en Algérie	13
6. Les normes de qualité de l'eau potable	14
6.1. Les normes de qualité selon l'OMS	15
6.2. Les normes de qualité Algérienne.....	15
7. Les paramètres de la qualité de l'eau potable	15
7.1. Les paramètres organoleptiques.....	15
7.2. Les paramètres physico-chimiques	17
7.3. Les paramètres microbiologiques	19
8. La lutte contre la pollution de l'eau	22

Partie II : matériel et méthodes

1. Prélèvement des échantillons	24
1.1. Sites de prélèvement des échantillons	25
1.2. Technique de prélèvement d'échantillons d'eau.....	25
1.3. Transport et conservation des échantillons.....	26
2. Analyses organoleptiques.....	26
2.1. Détermination de la couleur.....	26
2.2. Détermination du seuil d'odeur et de la saveur	26
2.3. Mesure de la turbidité.....	27

3.	Analyses physico-chimiques	28
3.1.	Mesure de pH.....	28
3.2.	Mesure de la température	28
3.3.	Mesure de la conductivité.....	28
3.4.	Détermination de titre alcalimétrique complet (TAC)	29
3.5.	Détermination de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH).....	29
3.5.1.	Détermination de la dureté calcique (T.Ca)	30
3.5.2.	Détermination de la dureté magnésique (T.Mg)	30
3.6.	Dosage des chlorures (Cl ⁻) (Méthode de MOHR)	31
3.7.	Dosage des Sulfates (SO ₄ ²⁻).....	31
3.8.	Dosage de fer total	32
3.9.	Dosage des Nitrites (NO ₂ ⁻)	32
3.10.	Dosage des Nitrates (NO ₃ ⁻).....	32
3.11.	Dosage de l'Ammonium (NH ₄ ⁺).....	33
3.12.	Dosage des phosphates (PO ₄ ³⁻).....	33
3.13.	Mesure du chlore.....	33
3.14.	Détermination de la matière organique	34
4.	Analyses microbiologiques	34
4.1.	Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes thermo-tolérants	35
4.2.	Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux	37
4.3.	Recherche et dénombrement des <i>Clostridium</i> -sulfito-réducteurs.....	39
4.4.	Recherche des salmonelles	40

Partie III : Résultats et discussion

1.	Analyses organoleptiques.....	43
1.1.	Détermination de la couleur.....	43
1.2.	Détermination du seuil d'odeur et de la saveur	43
1.3.	Mesure de la turbidité.....	43
2.	Analyses physico-chimiques	44
2.1.	Mesure de pH.....	44
2.2.	Mesure de la température	45
2.3.	Mesure de la conductivité.....	46
2.4.	Détermination de titre alcalimétrique complet (TAC)	47
2.5.	Détermination de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH).....	47
2.6.	Dosage des chlorures (Cl ⁻).....	49
2.7.	Dosage des Sulfates (SO ₄ ²⁻).....	50
2.8.	Dosage de fer total	51
2.9.	Dosage des Nitrites (NO ₂ ⁻)	51
2.10.	Dosage des Nitrates (NO ₃ ⁻).....	52
2.11.	Dosage de l'Ammonium (NH ₄ ⁺).....	52
2.12.	Dosage des phosphates	53
2.13.	Mesure du chlore.....	54

2.14.	Détermination de la matière organique	54
3.	Analyses microbiologiques	56
3.1.	Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes thermo-tolérants	56
3.2.	Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux.....	56
3.3.	Recherche et dénombrement des <i>Clostridium</i> -sulfito-réducteurs.....	57
3.4.	Recherche des salmonelles	58
	Conclusion	61
	Références bibliographiques	63
	Annexes	81

Résumé

L'eau est une ressource naturelle précieuse et essentielle pour de multiples usages. Son utilisation des fins alimentaires ou d'hygiène nécessite une excellente qualité physico-chimique et microbiologique. Pour apprécier la qualité des sources d'approvisionnement de la commune de Beni-Saf en eau potable, un contrôle physico-chimique et bactériologique a été réalisé et a porté sur quatre échantillons d'eau prélevés au niveau de la source de Tenikrempt et l'eau de dessalement de Chatt El Hilal. Les analyses ont été effectuées sur ces échantillons en mesurant les paramètres organoleptiques (couleur, odeur et saveur, turbidité), les paramètres physico-chimiques suivants : la température, le pH, la conductivité électrique (CE), titre alcalimétrique (TAC), la dureté (TH), le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), sulfates (SO_4^{2-}), le fer total, les chlorures (Cl^-), les nitrates (NO_3^-), les nitrites (NO_2^-), l'ammonium (NH_4^+), les phosphates (PO_4^{3-}), le chlore, la matière organique et les paramètres microbiologiques (les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux, les *Clostridium* sulfito-réducteurs et les salmonelles). Les résultats des analyses effectuées montrent que tous les paramètres analysés sont conformes avec les normes Algériennes, ce qui indique que les eaux contrôlées sont de bonne qualité physico-chimique et microbiologique et peuvent être utilisées comme eaux potables.

Mots clé : l'eau potable, qualité physico-chimique, qualité microbiologique, eau de source, eau de dessalement.

Abstract

Water is a precious and essential natural resource for multiple uses. Its use for food or hygiene purposes requires an excellent physicochemical and microbiological quality. To assess the quality of the drinking water supply sources for the commune of Beni-Saf, a physico-chemical and bacteriological control was carried out and focused on four water samples taken from the Tenikrempt source and the desalination water from Chatt El Hilal. The analyzes were carried out on these samples by measuring the organoleptic parameters (color, odor and flavor, turbidity), the following physicochemical parameters: temperature, pH, electrical conductivity (EC), alkalimetric titer (TAC), hardness (TH), calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), sulfates (SO_4^{2-}), total iron, chlorides (Cl^-), nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), ammonium (NH_4^+), phosphates (PO_4^{3-}), chlorine, organic matter and microbiological parameters (fecal coliforms, fecal streptococci, sulphite-reducing *Clostridium* and salmonella). The results of the analyzes carried out show that all the parameters analyzed comply with Algerian standards, which indicates that the controlled waters are of good physico-chemical and microbiological quality and can be used as drinking water.

Keys words: drinking water, physico-chemical quality, microbiological quality, spring water, desalinated water.

المخلص

الماء مورد طبيعي ثمين وضروري لاستخدامات متعددة. يتطلب استخدامه لأغراض الغذاء أو النظافة جودة فيزيائية وكيميائية وميكروبيولوجية ممتازة. لتقييم جودة مصادر مياه الشرب لمدينة بني صاف، تم إجراء مراقبة فيزيائية وكيميائية وميكروبيولوجية تركزت على أربع عينات مياه مأخوذة من منبع تنكربت ومياه التحلية من شاطئ الهلال. تم إجراء التحليل على هذه العينات من خلال قياس العوامل الحسية (اللون، الرائحة والنكهة، التعكر)، العوامل الفيزيائية والكيميائية التالية: درجة الحرارة، درجة الحموضة، الناقلية الكهربائية، عيار القلويات، الصلابة، الكالسيوم، المغنيسيوم، الكبريتات، إجمالي الحديد، الكلوريدات، النترات، النيتريت، الأمونيوم، الفوسفات، الكلور، والمعلقات الميكروبيولوجية (القولونيات البرازية، العقديات البرازية، المطثيات المختزلة للكبريتيت والسالمونيلا). واطهرت نتائج التحليل التي تم إجراؤها أن جميع المعايير التي تم تحليلها تتوافق مع المعايير الجزائرية، مما يدل على أن المياه الخاضعة للرقابة ذات نوعية فيزيائية وكيميائية وميكروبيولوجية جيدة ويمكن استخدامها كمياه للشرب.

الكلمات المفتاحية: مياه الشرب، الجودة الفيزيائية والكيميائية، الجودة الميكروبيولوجية، مياه الينابيع، مياه تحلية البحر.

Liste des abréviations

% : pour cent.

± : plus ou moins.

°C : Degré Celsius.

CO₂ : Dioxyde de Carbone.

Cl : chlorures

D/C : double concentration.

Fe : le fer.

g/l : Gram sur litre.

H₂S : sulfure d'hydrogène.

H : heure

mg/l : Milligramme par litre.

ml : Millilitre.

min : minutes

NH₄ : L'azote ammoniacal.

nm : Nanomètre.

NO₂ : Les Nitrites.

NO₃ : Les Nitrates.

NTU :Nephelometric Turbidity Unit.

Fe : fer

pH: potentiel d'hydrogène.

PO₃ : le phosphore.

O₂: Oxygène

S/C : simple concentration.

SFB : Bouillon Sélénite Cystéine.

SO₄²⁻ : le sulfate.

TH : titre hydrotimétrique

T.Ca : dureté calcique

T.Mg : dureté magnésique

TAC : titre alcalimétrique complet.

UFC/ml : Unité formant colonie par millilitre.

µm: micromètre.

µS/cm : micro Siemens par centimètre.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les principales maladies à transmission hydriques par type.....	11
tableau 2 : les maladies d'origine hydrique liée à la présence des substances toxiques dans l'eau	12
Tableau 3 :Les normes de la qualité organoleptique de l'eau destinée à la consommation selon le journal officiel de la république Algérienne JORA et l'OMS	16
Tableau 4 :Les normes de la qualité physico-chimiques liée à la structure naturelle de l'eau destinée à la consommation selon le journal officiel de la république Algérienne JORA et l'OMS	17
Tableau 5 : Lesnormes de la qualité physico-chimiques liée à la présence des substances indésirables dans l'eau destinée à la consommation selon le journal officiel de la république Algérienne et l'OMS.	18
Tableau 6 : Les normes de la qualité liée aux substances toxiques dans l'eau destinée à la consommation selon le journal officiel de la république Algérienne JORA et l'OMS.....	19
Tableau 7 : Les normes de la qualité microbiologique de l'eau destinée à la consommation selon le journal officiel de la république Algérienne JORA et l'OMS	22
Tableau 8 : Informations sur les échantillons étudiés.	26
Tableau 9 : La série de dilution de l'échantillon d'eau à analyser avec l'eau minérale naturelle non gazéifiée.	27
Tableau 10 : présentation des résultats des analyses organoleptiques de la source de Tenikrempt et l'eau de dessalement de Chatt El Hilal.	44
Tableau 11 : présentation des résultats des analyses physico-chimiques de la source de Tenikrempt et l'eau de dessalement de Chatt El Hilal	55
Tableau 12 : présentation des résultats des analyses microbiologiques de la source de Tinekrempt et l'eau de dessalement de Chatt El Hilal	58

Liste des figures

Figure 1 : la molécule d'eau.....	4
Figure 2 Répartition de l'eau sur la terre.....	4
Figure 3 :Répartition des maladies à transmission hydrique de l'année 2022 en Algérie	14
Figure 4 : Localisation de la source de Tinekrempt	24
Figure 5 : Localisation de la station de dessalement Chatt El Hilal.....	25
Figure 6 : Turbidimètre.....	27
Figure 7 : Mesure de pH, de température et de conductivité.....	29
Figure 8 : Dosage des chlorures	31
Figure 9 : Mesure de chlore	34
Figure 10 : La rompe de filtration.....	35
Figure 11 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes thermo-tolérants par filtration sur membrane.....	37
Figure 12 : Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux par filtration sur membrane.....	38
Figure 13 : Recherche et dénombrement des Clostridium-sulfito-réducteurs par filtration sur membrane.....	39
Figure 14 : Recherche des Salmonelles.....	45
Figure 15 : Mesure de pH.....	45
Figure 16 :Mesure de température	46
Figure 17 :Mesure de conductivité.....	46
Figure 18 :Détermination de titre alcalimétrique complet TAC	47
Figure 19 : Détermination de la dureté.....	48
Figure 20 :Détermination de la dureté calcique	48
Figure 21 : Détermination de la dureté magnésique	49
Figure 22 : Dosage des chlorures	50
Figure 23 : Dosage des sulfates.....	50
Figure 24 :Dosage du fer total.....	51
Figure 25 :Dosage des nitrites.....	51
Figure 26 : Dosage des nitrates	52
Figure 27 :Dosage d'ammonium	53
Figure 28 : Dosage de phosphates.....	53
Figure 29 :Mésure de chlore	54
Figure 30 :Détermination de la matière organique	55
Figure 31 :Recherche et dénombrement coliformes totaux.....	56
Figure 32 :Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux.....	57
Figure 33 :Recherche des Clostridium-sulfito-réducteurs.....	57
Figure 34 : Recherche des Salmonelles.....	58

Introduction

Introduction

L'existence de toutes les formes de vie sur notre planète dépend absolument de l'eau (**Sari, 2014**), Cet élément est indispensable pour le bon fonctionnement des écosystèmes, ainsi que pour nos activités quotidiennes telles que l'agriculture, l'industrie, les loisirs et l'utilisation domestique (**Schrivier-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**). Chaque année, 4 milliards de cas de maladies liées à l'eau provoquent 3,4 millions de décès dans le monde, ce qui constitue l'une des principales causes de décès, en particulier chez les enfants de moins de 5 ans qui meurent de maladies liées à l'eau (**OMS,2014**).

Aujourd'hui, la qualité de l'eau et l'environnement nous concernent tous, la qualité de l'eau et prioritairement une exigence de santé (**Tir et al., 2017**) cette qualité est appréciée à l'aide de paramètres physiques, chimiques et biologiques également appelés variables, en collectant des échantillons et en obtenant des données à des endroits spécifiques (**Britto et al, 2018 ; Tyagi et al., 2013**).

Cette étude a pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de dessalée issue de la station de dessalement de Chatt El Hilal ainsi que l'eau de la source de Tenikrempt qui constituent des sources d'approvisionnement de la ville de Beni-Saf en eau potable, Cette étude est divisée en trois parties :

- La première partie est consacrée à une étude bibliographique générale sur l'eau, l'eau potable, la pollution de l'eau et les risques qui leur sont liés et d'autre part aux normes et aux paramètres de qualité de l'eau selon les normes algérienne et l'OMS.
- La deuxième partie comporte les matériels et méthodes décrivant les points d'échantillonnages sélectionnés et les méthodes d'analyses utilisées.
- Une troisième partie porte sur les résultats d'analyses obtenue et leur discussion, suivie par une conclusion générale et perspectives.

Partie I: Revue bibliographique

1. Définition de l'eau

L'eau appelée parfois aussi oxyde de dihydrogène ou monoxyde de dihydrogène (Boyd, 2019) est un liquide inorganique naturel incolore, inodore, insipide et inflammable couvrant environ les deux tiers de la surface terrestre (Schaschke, 2014 ; Westhof, 1993). A l'état pur l'eau est sans saveur (De Parcevaux et Huber, 2007). Le goût et la couleur que l'on retrouve fréquemment dans l'eau sont dus à la présence d'autres substances dissoutes ou suspendu dedans (U.S. Navy Diving Manual, 1970). L'eau est appelée le solvant universel, bien que cette affirmation ne puisse être prise scrupuleusement, l'eau est capable de dissoudre une large gamme de substances et en plus grandes quantités que n'importe quel autre solvant (voet et voet, 2016). L'eau existe naturellement sur terre en trois états : solide (glace), liquide (eau) et gaz (la vapeur d'eau, et non un véritable gaz), sous des conditions très particulières de pression et de température (Chevallier, 2024 ; Sontin, 2005).

2. Structure de la molécule d'eau

Une molécule d'eau de formule chimique H_2O est composée d'un atome d'oxygène lié à deux atomes d'hydrogène par des liaisons covalentes ou homopolaires résultant la stabilité des atomes de cette molécule (Millot, 2015 ; Musy et Higy, 2004). Cette molécule a une structure tétraédrique ou en forme V dont deux sommets sont occupés par les atomes d'hydrogène (Bourrié, 2018; Segarra et al., 2013). La molécule d'eau possède une taille d'environ 0,25 nm ($0,25 \times 10^9$ m) de diamètre moléculaire avec un angle de liaison H-O-H de $104,52^\circ$ ainsi que la distance intramoléculaire entre les noyaux des atomes d'hydrogène et d'oxygène est de $0,9572 \text{ \AA}$ ($0,96 \cdot 10^{-10}$ m) (Boyd, 2019 ; Lehninger, 2008 ; Meng et Wang, 2023). L'atome d'oxygène étant plus électronégatif que l'atome d'hydrogène, les deux électrons de la liaison covalente sont relativement plus proches du noyau d'oxygène que des noyaux d'hydrogène. Cela confère à l'atome d'oxygène une charge partielle négative notée (δ^-) et une charge partielle positive notée (δ^+) à chacun des atomes d'hydrogène (Boyd, 2019 ; Segarra et al., 2013) (Figure 1).

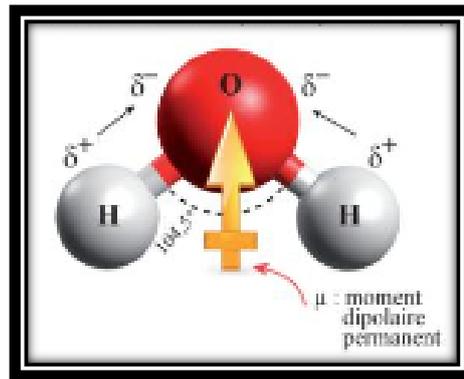


Figure 1 : la molécule d'eau (Olivier,2020).

3. Répartition des ressources d'eau sur la terre

La Terre est une planète dont 71 % de sa surface est recouverte d'eau (Musie et Gonfa, 2023). La quantité d'eau sur terre est d'environ 1,4 milliards de km³, Cependant, 97,5 % de cette quantité se trouve sous forme d'eau salée et 2,5 % sous forme d'eau douce, soit environ 35 millions de km³. 69,5 % de l'eau douce se présente sous forme de glace et de neige permanente, 30,1 % sous forme d'eau souterraine, 0,27 % sous forme d'eau dans les lacs et rivières, 0,13 % sous une autre forme (atmosphère, humidité dans le sol, marais, etc.) (Morel, 2007). Au final, les être humains ont accès à moins de 1% de l'eau douce de la planète (Bauer et al., 2010) (Figure 2).

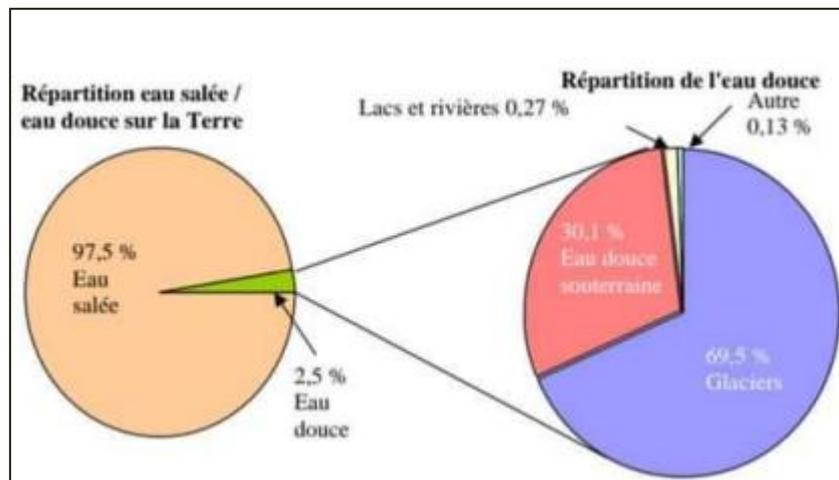


Figure 2 : Répartition de l'eau sur la terre (Bauer et al., 2010).

4. L'eau potable

L'OMS a défini l'eau potable comme une eau qui ne représente aucun risque significatif pour la santé au cours de sa consommation (Misra et Paunikar, 2023 ; OMS, 2017) et qui est dotée de caractéristiques microbiennes, chimiques et physiques qui répondent aux directives de l'OMS ou à toute autre norme nationale (Chevallier, 2024).

Cette eau est donc du point de vue sanitaire et esthétique, propre à l'alimentation et à la cuisine ainsi qu'à tous les usages domestiques dont l'hygiène personnelle (Melquiot, 2003).

L'eau destinée à la consommation humaine est généralement classée en quatre catégories principales: l'eau du robinet, l'eau de source, l'eau de table et l'eau minérale naturelle (Bauer et al., 2010).

4.1. Les sources d'eau potable

L'eau destinée à la consommation humaine peut provenir à partir de plusieurs sources ;

4.1.1. Les eaux de pluies

Les eaux de pluies sont des eaux très douces, elles sont également saturées en oxygène, O₂, en azote, N₂, et en dioxyde de carbone CO₂ et ne contiennent pas les sels dissous tels que le calcium et le magnésium (Desjardins, 1997). Ces eaux sont habituellement de bonne qualité, pour l'alimentation humaine et pour les autres usages domestiques (Brière, 2012)

Dans les régions industrialisées, la pollution atmosphérique contribue à l'acidification de l'eau de pluie, à cause des réactions avec des gaz industriels tels que le dioxyde de soufre (SO₂) et les oxydes d'azote (NO_x) et, dans une moindre mesure, l'acide chlorhydrique (HCl) (Anctil, 2016).

4.1.2. Les eaux de surfaces

Ces eaux proviennent directement de l'eau de ruissellement, qui tire elle-même son origine, de l'eau de précipitation atmosphérique. Ces eaux se trouvent à la surface de la terre et peuvent être classées en eaux courantes (par exemple fleuves, ruisseaux et rivières, etc.) et eaux stagnantes (par exemple étangs et lacs). Ces eaux peuvent être stockées artificiellement: barrages, réservoirs, bassins de stockage, etc. (Chhabra, 2022 ; Lapeysonnie, 1970).

L'avantage d'utilisation des eaux de surfaces en tant que source d'approvisionnement en eau, est qu'elles sont faciles à localiser, contrairement aux eaux souterraines, par contre elles sont facilement contaminées (polluées) par des micro-organismes et des produits chimiques provenant des rejets en amont (**Spellman, 2007**).

4.1.3. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines désignent tout les eaux qui existent sous la surface terrestre. (**Fišer et al., 2023**). Elles proviennent de l'infiltration des eaux de pluies dans l'épaisseur des couches géologiques; qui exercent un pouvoir filtrant (**Lapeyssonnie, 1970**). Leur composition naturelle dépend de la composition des formations géologiques d'où elles proviennent (**Nagy et Konya, 2009**). Ces eaux sont contenues dans des formations géologiques, appelées aquifères qui ont la capacité à la fois de les stocker et de les transmettre (**Liu et Liptak, 2000 ; Schwartz et Zhang, 2024**). Les eaux souterraines sont souvent à l'abri de toute pollution, elles sont par conséquent de bonne qualité, nécessitant de modestes traitements de potabilisation en comparaison avec les eaux de surface (**Anctil, 2017 ; UNESCO, 2022**).

4.1.4. Les eaux de mers

Les eaux de mers sont des eaux caractérisées par une importante concentration en sels dissous. La Salinité de la plupart des eaux de mer varie entre 33 000 et 37 000 mg/L, elles constituent également une source d'eau brute, exploitable en absence de moyen d'approvisionnement en eau douce (**Desjardins, 1997**).

Pour déssaler ces eaux, il existe deux techniques à base de membrane, l'électrodialyse et l'osmose inverse (**Brière, 2012**).

5. La pollution de l'eau

La pollution de l'eau se produit lorsque des contaminant, notamment des produits chimiques et des micro-organismes pathogènes, se présentent dans différents plans d'eau, entraînant la dégradation de sa qualité physico-chimique et microbiologique et la rendant nocif pour les humains ou l'environnement (**Goel et al., 2023 ; Mazumder, 2023**).

5.1. Les sources de la pollution de l'eau

La pollution de l'eau peut être classée en sources de pollution ponctuelles et diffuses (Rissman et Carpenter, 2015).

5.1.1. La pollution de source ponctuelle

Fait référence aux émissions provenant de sources de pollution ayant un point de rejet fixe et identifiable, principalement les canalisations d'eaux usées industrielles et le rejets des stations d'épuration des eaux usées (Zhang et al., 2019). Etant plus localisée, il est relativement plus facile à contrôler la pollution provenant de sources ponctuelles en réduisant les émissions de polluants (Wang et al., 2016 ; Weng et al., 2024).

5.1.2. La pollution de sources diffuse

Il s'agit d'une pollution provenant d'accumulation de sources multiples, qui n'ont pas un point de rejet fixe et également difficile à identifier et à contrôler (Nadini, 2021 ; Yohannes et Elias, 2017). Les sources diffuses comprennent les polluants issus des activités agricoles, entraînée dans les cours d'eau par lessivage ou ruissellement ainsi que les décharges et les ruissellements urbains (Maharjan et al., 2017) , forestier (Park et al., 2010) , des zones minières (Shaw et al., 2006 ; Xiao et Ji, 2007) , des autoroutes etc (Mir et al., 2017) .

5.2. Les origines de la pollution de l'eau

La qualité des eaux de surface et des eaux souterraines est affectée par des processus naturels et anthropiques (Khatri et Tyagi, 2015).

5.2.1. La pollution d'origine naturelle

Les processus naturels influencent la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines par le changement climatique, les catastrophes naturelles qui transportent les polluants au cours d'eaux, les pluies acides ainsi que les facteurs géologiques principalement l'influence des interactions eaux-roches sur la composition chimique des eaux souterraines (Akhtar et al., 2021 ; Banks et al., 1998).

5.2.2. La pollution d'origine anthropique

La pollution de l'eau peut se produire en raison d'activités anthropiques (**Warren-Vega et al., 2023**) comprenant ;

5.2.2.1. La pollution agricole

La plupart des activités agricoles intensives sont responsables de la pollution de l'eau (**Kumar et al., 2021**) en raison de la gestion inadéquate des déchets animaux (**Rey-Romero et al., 2022**), l'irrigation par inondation, ainsi que l'utilisation excessive de pesticides et d'engrais chimiques, (**Opoku-Kwanowaa et al., 2020**) qui finissent par s'infiltrer dans les eaux souterraines par lessivage ou s'écouler dans les plans d'eau de surface voisins par ruissellement (**Pradhan et al., 2022**).

5.2.2.2. La pollution industrielle

Les activités industrielles notamment les processus de fabrication et de refroidissement, produisent souvent des eaux usées chargées de métaux lourds toxiques, de colorants, de composés organiques, etc. Si ces déchets sont rejetés dans les écosystèmes aquatiques sans traitement adéquat, ils entraîneront une pollution de l'eau (**Capodaglio, 2021 ; Chowdhary et al., 2020 ; Sathya et al., 2022 ; Silva et al., 2023**).

5.2.2.3. La pollution domestique

Les activités domestiques génèrent des eaux usées divisées en eaux noires qui sont les rejets des toilettes contenant des matières fécales, de l'urine, de fortes concentrations d'agents pathogènes (**Kuramae et al., 2020 ; Zuo et al., 2021**) et des eaux grises provenant des éviers, de la douche et des machines à laver etc, contenant des niveaux élevés de détergents, de tensioactifs, de produits pharmaceutiques et de métaux lourds toxiques, reflétant l'utilisation humaine de ces produits chimiques. (**Jaine et Singh, 2019 ; Van de Walle et al., 2023**).

5.2.2.4. La pollution accidentelle

La pollution accidentelle de l'eau peut survenir suite aux déversements accidentels de pétrole résultants de fuites de pétroliers et de pipelines sous-marins, créant ainsi les marées noires (**Prior, 2023**), les fuites de matériels radioactifs (**Machu et al., 2023**) ainsi que la rupture des canalisations d'égout conduisant à la contamination des eaux souterraines et des

eau potable circulant dans les canalisations d'approvisionnement endommagées placées parallèlement (Salihu *et al.*, 2023 ; Sridhar et Parimalarenganayaki, 2024).

5.3. Les principaux polluants de l'eau

Les polluants de l'eau peuvent être divisés en polluants physiques, chimiques et biologiques (Connell et Miller, 2022).

5.3.1. Les polluants physiques

Les polluants physiques peuvent être des matières en suspension ou toute particule non dissoute, (Shah,2023), des effluents chauffés issus de processus de refroidissement des centrales électriques (Speight, 2020) et des déchets radioactifs provenant des roches des aquifères ou rejetées dans l'eau par les centrales nucléiques, les hôpitaux etc, dont les plus abondants dans l'eau sont(^{238}U) l'uranium 238 et le (^{226}Ra) le radium 226 (Karim *et al.*,2020 ; Swarup *et al.*, 1992).

5.3.2. Les polluants chimiques

Les polluants chimiques sont divisés en polluants chimiques organiques comprenant les polluants organiques persistants (POP), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les biphénylespolychlorés (PCB), les pesticides organochlorés (OP) tels que DDT et ces métabolites, les antibiotiques et les produits pharmaceutiques etc (Liu *et al.*, 2023 ; Porta *et al.*, 2014), les polluants chimiques inorganiques comprennent principalement des métaux lourds dont les plus courants sont le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le zinc (Zn), l'arsenic (As) etc (Sidana *et al.*, 2020).

5.3.3. Les polluants biologiques

Les polluants biologiques constituent une part importante de la contamination de l'eau potable (Kupich et Madela, 2020 ; Upadhyayula *et al.*, 2009) , ils incluent les bactéries pathogènes (*Escherichia coli*, *Salmonella* , *Shigella* etc.) (Wamyil *et al.*, 2023) des virus (virus de l'hépatite A, adenovirus , rotavirus, etc.), (Cioffi *et al.*, 2021) des parasites (*Giardia* , *Entamoeba* , *Cyclospora* , etc. .), et des vers parasites (*Ascaris lumbricoides* , *Ancylostomaduodenale* , *Strongyloidesstercoralis* , etc.) (Kristanti *et al.*, 2022) responsables de maladies d'origine hydrique, telles que la fièvre typhoïde, le choléra, la dysenterie, la poliomyélite, l'hépatite et la schistosomiase (Postigo *et al.*, 2018).

5.4. Les impacts écologiques de la pollution de l'eau

L'eau polluée détériorerait également la vie des écosystèmes aquatiques (**Perera et al., 2023**), le ruissellement des nutriments (phosphore et azote) provenant des engrais provoque une eutrophisation conduisant à une anoxie généralisée (**Glodowska et al., 2023 ; Juncal et al., 2023 ; Lv et al., 2010**) favorisant ainsi la dégradation anaérobie de la matière organique, cela produit le sulfure d'hydrogène, l'ammoniac, les sulfures de méthyle, et le méthane, par conséquent, l'eau d'un tel plan devient odorante et trouble (**Verma et Agarwal, 2016**). Les effluents chauffés diminuent la quantité d'oxygène dissous disponible pour les espèces aérobies (dépendantes de l'oxygène) (**Weiner et Matthews, 2003**). Les organismes aquatiques, notamment les poissons, les crustacés et les mollusques, peuvent accumuler des métaux dans leur corps par le processus de bioaccumulation (**Chan et al., 2021**). Les concentrations de ces contaminants ont tendance à augmenter à mesure qu'ils remontent la chaîne alimentaire aquatique par bioamplification, jusqu'à un niveau qui peut être hautement toxique pour les humains (**Hare, 2013 ; Saidon et al., 2024**).

5.5. Les maladies à transmission hydrique

Les maladies d'origine hydrique sont des maladies qui se transmettent par contact ou ingestion d'eau contaminée par des excréments humains ou animaux contenant des organismes pathogènes ou par des composés chimiques (**Ngowi, 2020 ; Samreen et al., 2023**). La plupart de ces maladies sont transmises par voie fécale-orale et se caractérisent par une diarrhée, entraînant souvent une déshydratation et éventuellement la mort (**Manetu et Karanja, 2021**).

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 3,4 millions de personnes, pour la plupart des enfants moins de 5 ans, meurent chaque année de maladies à transmission hydriques (**OMS, 2014**). Un assainissement inadéquat, des déficiences du traitement de l'eau, de mauvaises pratiques d'hygiène ainsi que la variabilité climatique, facilitent la propagation de ces maladies (**Ahmed et al., 2020 ; Ramírez-Castillo et al., 2015 ; Shayo et al., 2023**).

L'exposition à un agent pathogène entraînant une maladie à transmission hydrique dépend de la dose et du caractère invasif et la virulence de l'agent pathogène, ainsi que le statut immunitaire de l'individu (**OMS, 2022**).

5.5.1. Les principales maladies à transmission hydriques

Les maladies à transmission hydriques sont généralement de type bactérien, viral, protozoaire ou helminthique (parasitaire). Le tableau 1 fournit quelques exemples de maladies d'origine hydrique par type (Brenniman, 1999).

Tableau 1 : Les principales maladies à transmission hydriques par type (Bhattacharya et Sur, 2017 ; Dhal et al., 2022 ; Hollingshead et al.,2024 ; Mukhopadhyay et al., 2019 ; Salvato, 1992 ; Viasus et al., 2022) .

Type d'agent pathogène	maladie	Agent pathogène	Symptômes et durée d'incubation
Bactéries	Choléra	<i>Vibrio choléra</i> , sérovariétés O1 et O139	Quelques heures à 5 jours/Diarrhée, vomissements, soif, selles d'eau de riz, douleur
	La fièvre typhoïde	<i>Salmonella typhi</i> et <i>paratyphi</i>	7 à 21 jours/ forte fièvre, diarrhée, des dysfonctionnements cérébraux, une perforation de la paroi intestinale, une hémorragie gastro-intestinale.
	Dysentries bacillaires	<i>Shigella</i> spp.	se manifeste par le passage fréquent de selles molles mélangées à du sang et du mucus visibles et accompagnées de fièvre, de crampes abdominales et de ténésme
	Legionellose	<i>Legionella</i> spp	Le spectre clinique comprend un syndrome non pneumonique de type grippal connu sous le nom de fièvre de Pontiac et la maladie du légionnaire, qui est une présentation plus grave caractérisée par une pneumonie
Viruses	L'hépatite	Virus de l'hépatite A et E	10 à 15 jours/Fièvre, nausées, perte d'appétit, éventuellement vomissements, fatigue, maux de tête, jaunisse des yeux.
	Caliciviruses	gastroentérites	vomissements et diarrhée.
	Astroviruses		
	Ebola	Virus d'Ebola	la fièvre, les malaises, les maux de tête et les myalgies, sont les premiers symptômes courants. La diarrhée, les nausées et les vomissements commencent quelques jours plus tard et peuvent être graves
	Amibiase	<i>Entamoeba</i>	5 jours ou plus/Apparition insidieuse et

Protozoaires	(dysenterie amibienne)	<i>histolytica</i>	indéterminée, diarrhée ou constipation, selles hématurique
	Giardiase	<i>Giardia lamblia</i>	6 à 22 jours/Diarrhée, crampes abdominales, perte de poids importante, fatigue, nausées, gaz
	cryptosporidiose	<i>criptosporidium</i>	diarrhée aqueuse, des vomissements, des nausées, des crampes abdominales et une légère fièvre
Helminthes	Ascariadiase	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Environ 2 mois/Ver dans les selles, douleurs abdominales, éruption cutanée, abdomen protubérant, nausées, gros appétit
	Schistosomiase (bilharziose)	<i>Schistosomahaem atobium</i> , <i>S. mansoni</i> , <i>S. japonicum</i> , <i>S. intercalatum</i>	4 à 6 semaines ou plus/Symptômes dysentériques ou urinaires, frissons, démangeaisons cutanées, dermatite

5.5.2. Les maladies à transmission hydriques liées à la présence des substances toxiques

Bien que les agents microbiens soient la principale cause de maladies d'origine hydrique dans le monde, les contaminants chimiques présents dans l'eau potable ont été associés à un large éventail d'effets néfastes sur la santé, notamment le cancer, les maladies cardiovasculaires, les maladies neurologiques et les fausses couches (**Calderon, 2000**). Certains contaminants pénètrent dans l'eau par lessivage, déversements accidentels, ruissellement et dépôt atmosphérique. D'autres, comme les sous-produits de désinfection et le plomb, sont introduits lors du traitement ou même au niveau du robinet (**Barrett, 2014**). Le tableau 2 fournit quelques exemples des maladies d'origine hydrique liée à la présence des substances toxiques dans l'eau.

Tableau 2 : les maladies d'origine hydrique liée à la présence des substances toxiques dans l'eau (**Shayo et al., 2023**)

Métaux lourds et autres métaux	Les implications sur la santé de l'ingestion de certains de ces produits chimiques (s'ils dépassent la limite maximale acceptable)
Mercure (Hg)	Maux de tête, douleurs abdominales et diarrhée, paralysie et inflammation des gencives Dommages aux reins
Arsenic (As)	Problèmes cutanés graves, perturbateur endocrinien Cause le cancer : peau, vessie, poumon, rein, foie, prostate Nuire aux systèmes cardiovasculaire et nerveux

Cadmium (Cd)	<p>Dommmages aux reins Cancérogène, provoque une fibrose pulmonaire, une dyspnée</p>
Zinc (Zn)	<p>Des crampes d'estomac, irritations cutanées, vomissements et nausées, Troubles respiratoires, anémie et fièvre mentale</p>
Plomb (Pb)	<p>Les nourrissons et les enfants peuvent connaître des retards de développement physique ou mental, ainsi qu'une capacité d'attention et des déficits d'apprentissage mineurs, le saturnisme Troubles rénaux et hypertension artérielle chez les adultes</p>
Chrome (Cr)	<p>Nausées, troubles gastro-intestinaux, ulcères d'estomac, ulcères cutanés, dermatite allergique Dommmages aux reins et au foie Problèmes de reproduction Cancer du poumon et du nez</p>
Cuivre (Cu)	<p>Une intoxication aiguë au cuivre peut provoquer des symptômes de nausées, de vomissements, de diarrhée, de maladies gastro-intestinales, de douleurs abdominales et musculaires. Des cas graves d'intoxication au cuivre ont entraîné une anémie, une intoxication hépatique et une insuffisance rénale.</p>
Fluorure (F⁻)	<p>Fluorose squelettique, due à une consommation à long terme > 4 mg/L (un trouble osseux grave ressemblant à l'ostéoporose et caractérisé par une densité et une dureté extrêmes et une fragilité anormale des os) Les enfants peuvent avoir des dents marbrées (c'est-à-dire marbrures (décoloration) des dents chez les enfants de moins de 9 ans (à la suite d'une consommation à long terme à > 2 mg/L).</p>
Nitrates (NO₃⁻) et les nitrites (NO₂⁻)	<p>Méthémoglobinémie (syndrome du bébé bleu), a plupart des effets potentiels sur la santé sont observés chez les nourrissons de moins de 6 mois.</p>

5.5.3. Les maladies à transmission hydrique en Algérie

Depuis une décennie, la fièvre typhoïde, la dysenterie, l'hépatite virale de type « A » et les toxi-infections alimentaires collectives représentent les principales maladies à transmission hydrique qui existent en Algérie (**Kherifi et Bekiri, 2017**). Ces maladies apparaissent souvent durant la période estivale ou l'eau se consomme beaucoup, ce qui provoque des pénuries dans certaines wilayas, ainsi que les facteurs naturels et socio-économiques contribuent à cette situation. (**Kherifi et Bekiri, 2017 ; Khodja,2016**).

En effet, l'institut national de santé publique d'Algérie (INSP), a révélé qu'en 2022 le taux de maladies à transmission hydriques MTH est de 29,5% de total de maladies à déclaration obligatoire. D'après la figure 2, Ce groupe de maladie est dominé par les toxi-

infections alimentaires collectives (TIAC) qui représentent 84,7% de l'ensemble des cas, suivi de l'hépatite virale« A » (HVA) (13,2%), la dysenterie (1,7%) et enfin la fièvre typhoïde 0,4% (INSP, 2022).

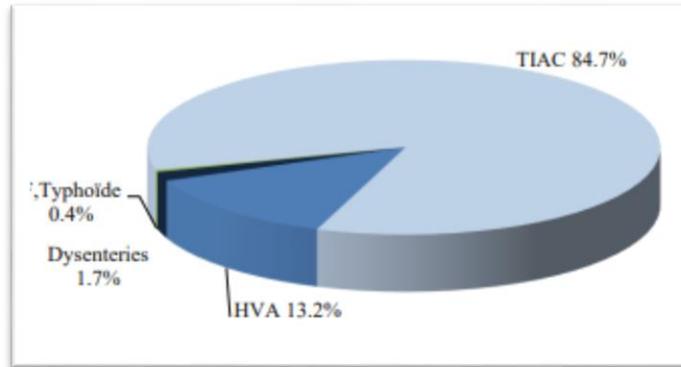


Figure 3 : Répartition des maladies à transmission hydrique de l'année 2022 en Algérie (INSP, 2022)

Afin de faire face contre les maladies à transmission hydriques, le gouvernement Algérien a mis en place en 1987 un programme national de lutte contre les maladies hydriques. Ce programme a introduit pour la première fois la notion de la multisectorialité de la prise en charge des maladies hydriques. Le programme de la lutte contre les MTH comprend : des actions relevant du secteur de l'hydraulique (réseau de distribution et d'assainissement, épurations des eaux..), des actions qui doivent être menées par les services de santé (surveillance épidémiologique, contrôles systématiques des aliments et de l'eau de boisson) et des actions qui sont prises en charge par les communes (entretien et protection des ouvrages d'adduction d'eau, l'assainissement et le contrôle des puits) (Bouziati, 2000).

6. Les normes de qualité de l'eau potable

Pour être considéré comme potable, l'eau doit répondre à des normes de qualité strictes représentée par un chiffre (concentration) qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à atteindre (Cisse, 2012 ; Dinka, 2018). Ces normes peuvent varier selon les pays et les régions (OMS, 2022). Par conséquent, la qualité de l'eau potable doit obéir à des normes définies par une réglementation nationale, il peut en résulter pour un pays en région donnée, des dispositions réglementaires différentes de la qualité de l'eau par rapport aux normes internationales (Bouziati, 2000).

Les normes de qualité de l'eau sont établies sur la base des travaux médicaux, qui définissent les doses maximales admissibles (DMA), c'est-à-dire les quantités de telle ou telle substance qu'un sujet peut absorber sans danger quotidiennement, sa vie durant, et cela permet de calculer la dose maximale tolérable dans l'eau en gardant en règle générale une marge de sécurité confortable (**Beaulieu et Fisset, 2009**).

Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur (**Cisse, 2012**).

6.1. Les normes de qualité selon l'OMS

L'organisation mondiale de la santé (OMS), publie des lignes directrices de la qualité de l'eau potable, qui fournissent un point de référence international permettant aux autorités nationales d'élaborer leurs propres réglementations et normes en fonction de conditions environnementales, socio-économiques et culturelles locales ou nationales (**OMS, 2022 ; Perveen et Amar-Ul-Haque, 2023**).

6.2. Les normes de qualité Algérienne

En Algérie, une réglementation stricte s'applique aux eaux destinées à la consommation humaine en citant le Journal Officiel de la République Algérienne qui représente les différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau de consommation humaine avec des valeurs limites. Cette réglementation élaborée par le ministère de la Santé, se donne comme objectif d'en assurer la qualité sanitaire, depuis la ressource jusqu'à l'habitation (**JORA, 2011**).

7. Les paramètres de la qualité de l'eau potable

L'eau destinée à la consommation, doit répondre à un certain nombre de critères qualitatifs et quantitatifs organoleptiques, physicochimiques et microbiologiques fixés par la réglementation qualifiée (**Hartemann, 2013**).

7.1. Les paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques de l'eau comprennent l'odeur et la saveur, la couleur et la turbidité ;

7.1.1. L'odeur et la saveur

L'odeur et la saveur peuvent provenir de contaminants chimiques inorganiques et organiques naturels et de sources ou processus biologiques (par exemple micro-organismes aquatiques), d'une contamination par des produits chimiques synthétiques, de la corrosion ou de problèmes de traitement de l'eau (par exemple chloration). Un goût et une odeur peuvent également se développer pendant le stockage et la distribution en raison de l'activité microbienne (OMS,2022).

7.1.2. La couleur

La couleur dans l'eau est due à la présence de fer, de manganèse, d'humus de plancton et de mauvaises herbes ainsi que les déchets industriels. La couleur, lorsqu'elle est remarquée dans l'eau potable, rend sa qualité esthétique inacceptable (De Zuane, 1997).

7.1.3. La turbidité

La turbidité exprime la quantité de lumière réfléchiée ou absorbée par les particules en suspension dans un échantillon d'eau et constitue une mesure de sa clarté relative. La turbidité est due à des particules solides sous forme de suspensions ou à l'état colloïdal (Drasovean et al., 2021)

Les normes algérienne et de l'OMS de qualité organoleptique de l'eau de consommation sont figurés au tableau 3.

Tableau 3: Les normes de la qualité organoleptique de l'eau destinée à la consommation selon le journal officiel de la république Algérienne JORA et l'OMS (JORA, 2011 ;OMS, 2006).

Groupe de paramètres	paramètres	Unité	Normes JORA	Norme OMS
Paramètres organoleptiques	Couleur	Mg/l platine	15	Pas de valeur guide
	Turbidité	NTU	5	5
	Odeur à 25°C	Taux dilution	4	--
	Saveur à 25°C	Taux dilution	4	--

7.2. Les paramètres physico-chimiques

L'objectivité de la plupart des paramètres physiques repose sur la valeur esthétique plutôt que sur les effets sur la santé. Mais la principale objection de certains constituants chimiques repose sur des raisons esthétiques ainsi que sur des préoccupations liées aux effets néfastes sur la santé (OMS,2011).

7.2.1. Les paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle de l'eau

Correspondent aux caractéristiques de l'eau tel que la température, le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), le totale de sels dissous (TDS), la minéralisation globale, le titre alcalimétrique complet (TA), la dureté ou titre hydrométrique (TH), le calcium (Ca^{2+}) et le magnésium (Mg^{2+}), les chlorures (Cl^-), les sodium (Na^+), le potassium (K^+), les sulfates (PO_4^{3-}), les matières en suspension. Ils concernent donc tout ce qui est relatif à la structure naturelle de l'eau (Gaid, 2022 ; JORA, 2014).

Les normes Algérienne et de l'OMS de qualité physico-chimique liée à la structure naturelle de l'eau de consommation sont figurés au tableau 4.

Tableau 4: Les normes de la qualité physico-chimiques liée à la structure naturelle de l'eau destinée à la consommation selon le journal officiel de la république Algérienne JORA et l'OMS (JORA, 2011 ; OMS, 2006).

Groupe de paramètres	paramètres	unité	Normes JORA	Norme OMS
paramètres Physico-chimiques liés à la structure naturelle de l'eau	Température	°C	25	25
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	6,5-9,5	$\geq 6,5$ et ≤ 9
	Conductivité à 20°C	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2800	--
	Dureté	mg/l de CaCO_3	500	200
	Magnésium (Mg^{2+})	mg/l	150	--
	Calcium (Ca^{2+})	mg/l	200	100
	Chlorures (Cl^-)	mg/l	500	250
	Sodium (Na^+)	mg/l	200	Pas de valeurs guides
	Potassium (K^+)	mg/l	12	12

	Sulfates (PO_4^{3-})	mg/l	400	500
	Résidus secs	mg/l	1500	--

7.2.2. Les paramètres physico-chimiques liés à présence des substances indésirables

Faisant référence aux substances dont la réglementation tolère la présence en faible quantité. Selon les normes de journal officiel de la république Algérienne JORA (2014), ils correspondent aux nitrites (NO_2^-), nitrates (NO_3^-), l'ammonium (NH_4^+), fluor (F^-), fer total, manganèse (Mn^{2+}), cuivre (Cu^{2+}), l'argent (Ag^+), zinc (Zn^{2+}) (Gaid, 2022 ; JORA, 2014) (Tableau 5).

Tableau 5: Les normes de la qualité physico-chimiques liée à la présence des substances indésirables dans l'eau destinée à la consommation selon le journal officiel de la république Algérienne et l'OMS (JORA, 2011 ; OMS, 2006).

Groupe de paramètres	paramètres	Unité	Normes JORA	Norme OMS
paramètres Physico-chimiques liés à la présence des substances indésirables	Nitrites (NO_2^-)	mg/l	0,2	0,2
	Nitrates (NO_3^-)	mg/l	50	50
	L'Amonium (NH_4^+)	mg/l	0,5	Pas de contraintes
	Fluorures	mg/l	1,5	1,5
	Fer total	mg/l	0,3	Pas de contraintes
	Manganèse	$\mu\text{g/l}$	50	40
	Cuivre	mg/l	2	2
	Zinc	mg/l	5	3

7.2.3. Les paramètres liés à la présence des substances toxiques

Comprennent principalement les substances chimiques organiques tels que les produits pharmaceutiques, les produits agrochimiques, les hydrocarbures polycycliques, etc et les substances chimiques inorganiques notamment les métaux lourds tels que l'arsenic (As), le baryum (Ba), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le plomb (Pb), le mercure (Hg), le sélénium (Se) et l'argent (Ag) etc (Mohan et al., 2014 ; JORA, 2014).

Les normes Algérienne et de l'OMS de qualité physico-chimique de l'eau de consommation humaine sont figurés au tableau 6.

Tableau 6: Les normes de la qualité liée aux substances toxiques dans l'eau destinée à la consommation selon le journal officiel de la république Algérienne JORA et l'OMS (**JORA, 2011 ; OMS, 2006**).

Groupe de paramètres	paramètres	Unité	Normes JORA	Norme OMS
paramètres liés à la présence des substances toxiques	Plomb	µg/l	10	10
	Mercure	µg/l	6	6
	Cadmium	µg/l	3	3
	Cyanures	µg/l	70	70

7.3. Les paramètres microbiologiques

Pour identifier de manière fiable la présence d'agents pathogènes, la surveillance de la qualité de l'eau doit être effectuée en recherchant des indicateurs de contamination fécale approuvés par les normes internationales et nationales (**Lugo et al., 2021**). Le terme indicateur de contamination fécale, décrit une gamme de bactéries qui habitent le tractus gastro-intestinal des animaux homéothermes, et qui sont tous excrétés de manière permanente dans les matières fécales (**Rochelle-Newall et al., 2015**).

Bien que ces bactéries ne soient généralement pas à l'origine de maladies (**Hussain, 2019**) mais leur présence indique la présence potentielle d'autres organismes plus pathogènes qui constituent un danger pour la santé humaine (**Price et Wildeboer, 2017**). Les coliformes totaux, les coliformes fécaux, *E. coli* et les Entérocoques sont actuellement utilisée comme principaux indicateurs de contamination fécale (**Wen et al., 2000**). D'autres indicateurs non spécifiques sont utilisés comme complémentaire comme les *Clostridium* sulfito-réducteurs et les Salmonelles (**Bouziyani, 2000**).

7.3.1. Les coliformes totaux

Les coliformes totaux sont un groupe de bactéries couramment présentes dans le milieu aquatique, dans le sol et la végétation, ainsi que dans les intestins des mammifères, dont les humains (**Cabral, 2010 ; Maheux et al., 2014**)

Les bactéries coliformes sont définies comme des bactéries à Gram négatif, oxydase négatif, aérobies ou anaérobies facultatifs, en forme de bâtonnet, non sporulées, qui

peuvent fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz à 35–37 °C en 48 h (Eden, 2014 ; Li et Liu, 2019) . Les coliformes totaux sont utilisés pour évaluer l'efficacité du traitement de l'eau dans l'élimination des déchets fécaux et évaluer l'intégrité des systèmes de distribution d'eau. La présence des coliformes totaux dans l'eau potable n'indique pas nécessairement une pollution fécale, car elles ne sont pas spécifiques de l'intestin des humains ou des autres mammifères à sang chaud et ils peuvent également se trouver dans l'environnement (Craun, 1997 ; Leclerc *et al.*, 2001 ; Li *et al.*, 2021 ; Tallon *et al.*, 2005).

7.3.2. Les coliformes fécaux

Les coliformes fécaux appelée aussi coliformes thermotolérants, est un sous-groupe des coliformes totaux, capables de fermenter le lactose et produire de l'acide et du gaz à $44,5 \pm 0,2$ °C dans les 48H (Sharma et Pankaj, 2018 ; Shen et Zhang, 2022). Le groupe des coliformes habitent le tractus gastro-intestinal des animaux à sang chaud, servant ainsi d'indicateurs de contamination fécale. Cependant d'autres coliformes fécaux, tels que *Klebsiella* , *Citrobacter* et *Enterobacter* , peuvent se développer dans l'environnement et être présents même en l'absence de contamination fécale. Par conséquent, les coliformes thermotolérants sont considérés comme des indicateurs de contamination fécale plus spécifiques que les coliformes totaux, mais moins qu'*E.coli* (Figueras et Borrego, 2010).

7.3.3. Les *Escherichia coli* (*E. coli*)

Les bactéries du genre *Escherichia* sont des bactéries à Gram négatif en forme de bâtonnet, non sporulées, appartenant à la famille des Enterobacteriaceae. Les *Escherichia coli* sont des coliformes thermotolérants capables de produire de l'indole à partir du tryptophane ainsi que la β -glucuronidase (Takci *et al.*, 2023). La plupart des souches d'*E.coli* sont considérées comme commensales inoffensives dans l'intestin des humains et des animaux à sang chaud, mais certaines souches sont pathogènes et peuvent provoquer des maladies (Lunestad *et al.*, 2011). Contrairement aux autres bactéries coliformes, *E. coli* est fortement associée à une contamination d'origine fécale et sa présence indique une contamination fécale récente et la présence potentielle d'agents pathogènes bactériens entériques (Li *et al.*, 2021 ; Lin et Ganesh, 2013).

7.3.4. Les Entérocoques

Les entérocoques sont des bactéries à Gram-positif, anaérobies facultatives, disposées en chaîne, oxydase et catalase positives, ils se développent à la température optimale de 35 °C

et vivent comme commensaux dans le tractus gastro-intestinal des humains et d'autres animaux à sang chaud (**Richiardi et al., 2023**). Les streptocoques fécaux ont tendance à persister plus longtemps dans l'environnement que les coliformes thermotolérants ou totaux et sont très résistants au dessèchement (**Bartram et Ballance, 1996**). Ces caractéristiques font des entérocoques des indicateurs potentiels d'une contamination moins récente qu'*E.coli* et autres coliformes (**Waideman et al., 2020**).

7.3.5. Les *Clostridium* sulfito-réducteurs

Les *clostridium* sont des bactéries à Gram-positif, strictement anaérobies, en forme de bâtonnet, sporulée, qui utilisent le sulfate comme accepteur terminal (**Du et Webb, 2011** **Muyzer et Stams, 2008**). Ils sont largement répandus dans le sol, la poussière, l'eau, les sédiments, les eaux usées et la végétation et sont considérés comme des habitants normaux du tractus intestinal des animaux et des humains (**Chaves Hernández, 2014 ; Jooste et al., 2014**). Ces bactéries résident dans l'environnement des eaux souterraines, comme les aquifères profonds (**Üstüntürk-Onan et al., 2024**). Les *Clostridium* sont utilisés comme indicateur de contamination fécale des eaux (**Todd, 2014**), en effet ils produisent des spores qui résistent très bien à la chaleur, persistent longtemps dans l'environnement et sont très résistantes aux désinfectants et leur présence dans l'eau a été suggérée qu'il pourrait s'agir d'un indicateur de contamination fécale passé (**Marcheggiani et al., 2008**).

7.3.6. Les Salmonelles

Les Salmonelles sont des bactéries à Gram négatif, anaérobie facultative, non sporulée, en forme de bâtonnet, qui appartiennent à la famille des *Enterobacteriaceae* (**Billah et al., 2024**). Les Salmonelles sont capables de survivre plusieurs semaines dans un environnement sec et plusieurs mois dans l'eau (**Hugbo et al., 2024**) ainsi que leurs présences et leurs persistance ont été signalées dans les eaux de surface telles que les rivières, les lacs et les étangs (**Liu et al., 2018**).

Les normes Algérienne et de l'OMS de qualité microbiologique de l'eau de consommation sont figurés au tableau 7.

Tableau 7: Les normes de la qualité microbiologique de l'eau destinée à la consommation selon le journal officiel de la république Algérienne JORA et l'OMS (JORA, 2011 ;OMS, 2006).

Groupe de paramètres	Paramètres	Unité	Normes JORA	Normes OMS
Paramètres microbiologiques	Coliformes fécaux (<i>E.Coli</i>)	n/ 100 ml	0	0
	Entérocoques	n/100 ml	0	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	n/ 20 ml	0	0

8. La lutte contre la pollution de l'eau

De manière générale, la restauration des écosystèmes aquatiques souffrant de pollution nécessite une approche à plusieurs volets, incluant les meilleures pratiques de gestion , par exemple, laisser ou rétablir la végétation indigène (bandes tampons) à proximité des plans d'eau ; réduire les sources de pollution et l' application d'alun pour immobiliser le phosphore ou élimination des sédiments contaminés (Wilhelm, 2009).

La lutte contre la pollution de l'eau dans l'agriculture nécessite une approche multidimensionnelle qui combine des pratiques agricoles durables telles que l'utilisation d'amendements du sol et la réutilisation des déchets agricoles (Muralikrishna et Sandeep, 2024). Actuellement, l'agriculture durable fait appel à des techniques respectueuses de l'environnement, parmi lesquelles la biofertilisation en utilisant un large éventail de biofertilisants pour augmenter la fertilité des sols sans provoquer de pollution en raison de leur biodégradabilité (Ammar et al., 2023).

Le traitement des eaux usées est avant leur rejet dans les plans d'eaux naturels ainsi que la surveillance constante de l'état opérationnel des STEP sont essentiels pour protéger l'environnement et la santé publique. (Naidoo et Olaniran, 2013 ; Zinicovscaia et Balintova, 2023).

La bioremédiation et la phytoremédiation sont considérées comme des techniques innovantes pour l'assainissement des ressources en eau polluées et sont de plus en plus reconnues comme la méthode rentable et écologique d'assainissement des ressources en eau contaminées (Bhalla et al.,2022).

Partie II : Matériels et méthodes

L'ensemble de ce travail a été réalisé au niveau de laboratoire d'analyses de l'unité Algérienne des eaux(ADE), de Chaabat El Leham, Wilaya d'Ain Témouchent, durant la période allant du 12/05/2024 au 26/05/2024. Cette étude vise l'évaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau distribuée au niveau de la ville de Béni-Saf, Wilaya d'Ain Témouchent et vérification de sa conformité aux normes algériennes des eaux potables.

5. Prélèvement des échantillons

5.1. Sites de prélèvement des échantillons

Les échantillons d'eau retenue dans la présente étude sont issus de deux points d'approvisionnement différents du système d'approvisionnement de la ville de Béni-Saf en eau potable.

- Le premier échantillon d'eau provient de la source de Tenikrempt (eau brute) (**Figure 4**).
- Le second échantillon d'eau provient de la sortie de station de dessalement de Chatt El Hilal ou Beni-Saf Water Company (eau traitée) (**Figure 5**).

Dans cette étude, deux prélèvements ont été effectués pour chaque point d'approvisionnement en eau potable choisis pour cette étude, dont un prélèvement a été destinée pour les analyses physico-chimiques et un prélèvement pour les analyses microbiologiques.



Figure 4: Localisation de la source de Tinekrempt (Google Maps, 2024).



Figure 5: Localisation de la station de dessalement Chatt El Hilal (Google Maps, 2024).

5.2. Technique de prélèvement d'échantillons d'eau

Les échantillons d'eau, ont été prélevés à partir des points d'approvisionnement en eau potable choisis pour cette étude. Le nombre d'échantillons pour chaque point est réparti comme suit : deux (2) échantillons de la source de Tenikrempt et deux (2) échantillons de l'eau de la sortie de station de dessalement BWC.

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. L'échantillon d'eau prélevé devra être homogène, représentatif et avoir été obtenu sans modification des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau soumise à l'analyse (Boeglin, 2000). Le prélèvement des échantillons d'eau a été réalisée selon les techniques décrites par Rodier *et al.*, (2009) et ISO (2004).

5.2.1. Prélèvement d'échantillons d'eau pour l'analyse physico-chimique

Des bouteilles en verre de volume de 1000ml, ont été rincées 3 fois avec l'eau à prélever, puis remplies totalement tout en évitant la présence des bulles d'air.

5.2.2. Prélèvement d'échantillons d'eau pour l'analyse microbiologique

Pour le prélèvement d'eau nécessaire à l'analyse microbiologique, la manipulation doit s'effectuer dans les meilleures conditions d'asepsie, pour cela les échantillons ont été prélevés dans des flacons en verre blanc de 200 ml, préalablement stérilisé, contenant du thiosulfate de sodium pour neutraliser le chlore (juste pour la source de Tenikrempt), les alentours du robinet d'échantillonnage ont été flambés avec la flamme d'un flambeur, après l'eau est laissé couler à débit maximum pendant 5 à 10 secondes puis à un débit moyen pendant 2 minutes, les

flacons ont été remplis au $\frac{3}{4}$ du volume, afin de maintenir en vie les bactéries aérobies et d'assurer leur agitation avant analyse.

5.3. Transport et conservation des échantillons

Une fois les prélèvements terminés, les flacons ont été étiquetés par le nom du point d'eau, ainsi que la date de prélèvement. Les échantillons ont été transportés dans une glacière isothermique à une température de 4°C et à l'obscurité pour assurer une conservation satisfaisante.

Les informations sur les échantillons étudiés sont intégralement présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8: Informations sur les échantillons étudiés.

Les sites de prélèvement	La nature de prélèvement	Le nombre de prélèvement	Date de prélèvement
Source de Tinekrempt	Eau de source (eau brute)	02	14/05/2024
Station de dessalement de Chatt El Hilal (BWC)	Eau dessalée (eau traitée)	02	14/05/2024

6. Analyses organoleptiques

Les analyses organoleptiques sont adoptées aux normes Algériennes et portent sur la détermination de la couleur, d'odeur et de la saveur ainsi que la turbidité.

6.1. Détermination de la couleur

La détermination de la couleur a été faite par spectrophotomètre HACH DR 6000[®]. Un volume de 25 ml d'échantillon d'eau a été placé dans une cuve spectrophotométrique et introduite dans le spectrophotomètre Hach DR 2010. La lecture de la couleur se fait à une longueur d'onde $\lambda = 455$ nm par référence à la couleur de l'eau distillée (ISO 7887, 1995)

6.2. Détermination du seuil d'odeur et de la saveur

Cette méthode consiste à diluer l'eau à examiner avec une eau inodore jusqu'à ce que l'odeur et la saveur initiales ne soient plus perceptibles par l'opérateur. Une série de dilution d'échantillons d'eau a été préparée avec l'eau minérale naturelle non gazéifiée. Pour un volume d'eau donné, des volumes d'eau de référence ont été ajoutés jusqu'à la disparition de l'odeur initiale et la dilution a été noté selon le tableau 9. La température de toutes les dilutions de l'eau de référence a été ajustée à 25 °C dans un bain-marie.

Deux échantillons d'eau ont été présentés simultanément aux sujets qualifiés, l'un est l'échantillon ou sa dilution et l'autre est l'eau de référence, les sujets qualifiés doivent choisir l'échantillon perçu qu'en ayant la plus grande odeur et flaveur (NF EN 1622,2006)

- **Expression des résultats :** Si le sujet qualifié est incapable de percevoir un échantillon comme différent, la dernière dilution pour laquelle une différence est perçue représente son seuil d'odeur ou saveur pour cet échantillon.

Tableau 9: La série de dilution de l'échantillon d'eau à analyser avec l'eau minérale naturelle non gazéifiée.

Dilution N°	Volume d'échantillon (ml)	Volume Eau minérale naturelle (ml)	Seuil
0	300	0	S1
1	150	150	S2
2	100	200	S3
3	75	225	S4
4	60	240	S5

6.3. Mesure de la turbidité

La turbidité a été mesurée avec un turbidimètre de marque HACH TL2300® (Figure 6). Une cuvette de mesure propre et bien essuyée avec du papier hygiénique a été remplie avec l'échantillon d'eau à analyser bien homogénéisé, puis introduite au niveau de la cellule de l'appareil. L'absence des bulles d'air a été vérifiée avant la mesure. La mesure est obtenue directement en Nephelometric Turbidity Unit (NTU) (ISO 7027, 2007).



Figure 6 : Turbidimètre.

7. Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques réalisées sur les échantillons d'eaux portent sur la mesure et détermination du pH, la température, la conductivité, titre alcalimétrique complet (TAC), la dureté (TH), les chlorures, les Sulfates, le fer total, les nitrates et les nitrites, l'Ammonium, le phosphate, le chlore et la matière organique.

7.1. Mesure de pH

La mesure de pH a été réalisée par l'utilisation d'un appareil multiparamètre de marque HACH SL1000[®]. Les électrodes de l'appareil ont été rincées avec l'eau distillée et séchées avec un papier hygiénique, puis immergées dans un bécher contenant d'eau à analyser, la mesure a été prise une fois que l'appareil est stabilisé. Après chaque mesure, les électrodes ont été rincées avec l'eau distillée (**ISO 10523, 2008**).

➤ Expression des résultats

Le résultat est donné directement en unités de pH. La valeur du pH est de 0 à 14, en $\text{pH} < 7$ l'eau est considérée comme acide et en $\text{pH} > 7$ l'eau est considéré comme alcaline. L'eau au pH de 7 est dite neutre.

7.2. Mesure de la température

Les électrodes de multiparamètre de type HACH SL1000[®] ont été immergées dans un bécher contenant d'eau à analyser, la mesure a été prise une fois que l'appareil se stabilise. Le résultat de température est donné directement en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

7.3. Mesure de la conductivité

La conductivité électrique a été mesurée par un appareil multiparamètre de marque HACH SL1000[®], en suivant la même méthode utilisée pour la mesure de pH et la température. Le résultat est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (**ISO 7888, 1985**) (**Figure 7**).



Figure 7: Mesure de pH, de température et de conductivité.

7.4. Détermination de titre alcalimétrique complet (TAC)

Dans un bécher, une quantité de 100ml d'eau à analyser a été introduite dans laquelle a été ajoutée 3 à 4 gouttes d'hélianthine, après homogénéisation, la solution obtenue a été titrée par l'acide sulfurique H_2SO_4 (N/25) jusqu'à changement de couleur du jaune à l'orange. Le volume d' H_2SO_4 versé a été lu sur la burette (ISO 9963-1, 1994)

➤ Expression des résultats

L'estimation du titre alcalimétrique complet (TAC) a été faite par l'expression suivante :

$$\text{TAC} = V_{\text{ver}} \times 2 \text{ (mg/L)}$$

D'où :

V_{ver} : c'est le volume versé de la solution d'EDTA.

La concentration de bicarbonate (HCO_3^-) est déterminée à partir de TAC par l'équation suivante :

$$[HCO_3^-] = \text{TAC} \times 12,2 \text{ (mg/L)}$$

7.5. Détermination de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)

La dureté ou titre hydrotimétrique (TH) correspond à la somme des concentrations en cations de Calcium et Magnésium à l'exception des alcalins (Rodier *et al.*, 2009). La détermination titre hydrotimétrique TH a été réalisée en introduisant dans un bécher, une quantité de 100ml d'eau à analyser dans laquelle a été ajouté 1 ml de Solution Tampon (pH=10) avec trois à quatre gouttes de Noir Erichrome T (NET), après homogénéisation, la

solution obtenue a été titrée par la solution d'E.D.T.A (N/50) jusqu'à virage de rouge violet au bleu. Le volume d'EDTA versé a été lu sur la burette (ISO 6059,1984).

➤ **Expression des résultats**

L'estimation du titre alcalimétrique complet (TAC) a été faite par l'expression suivante :

$$\text{TH} = V_{\text{ver}} \times 10 \times 4 \text{ (mg/l)}$$

D'où :

V_{ver} : c'est le volume versé de la solution d'EDTA.

7.5.1. Détermination de la dureté calcique (T.Ca)

Dans un bécher, une quantité de 20ml d'eau à analyser a été introduite dans laquelle on a ajouté 1 ml de NaOH (2N) et quelques milligrammes de poudre de Murexide qui donne la couleur grenadine, après homogénéisation, la solution obtenue a été titrée par la solution d'E.D.T.A (N/50) jusqu'à changement de couleur de grenadine au violet. Le volume d'EDTA versé a été lu sur la burette (ISO 6058, 1984) et (ISO 5667, 2004).

➤ **Expression des résultats**

L'estimation du titre alcalimétrique complet (T.Ca) a été faite par l'expression suivante :

$$\text{T.Ca} = V_{\text{ver}} \times 4 \text{ (mg/l)}$$

7.5.2. Détermination de la dureté magnésique (T.Mg)

La différence entre la dureté totale et la dureté calcique donne directement la dureté magnésique de l'eau analysée (Rodier *et al.*, 2009).

$$\text{T.Mg}^{2+} \text{ (mg/l)} = \text{TH (mg/l)} - \text{T}_{\text{Ca}^{2+}} \text{ (mg/l)}$$

D'où :

T.Mg^{2+} : la dureté magnésique

TH: la dureté totale

T_{Ca2+}: la dureté calcique

7.6. Dosage des chlorures (Cl⁻) (Méthode de MOHR)

Dans un bécher contenant 100 ml d'échantillon d'eau à analyser, un volume de 1 ml d'indicateur de chromate de potassium a été ajouté à la solution obtenue puis titré par addition goutte-à-goutte de la solution de nitrate d'argent AgNO₃, jusqu'au virage du jaune au brun rougeâtre (ISO 9297, 1989) (Figure 8).

➤ Expression des résultats

Les concentrations en chlorures exprimées en mg/l sont données par la formule suivante :

$$\text{Cl}(\text{mg/l}) = V_{\text{ver}} \times 35,453$$

D'où :

V_{ver} : c'est le volume versé de la solution de nitrate d'argent AgNO₃.



Figure 8: Dosage des chlorures

7.7. Dosage des Sulfates (SO₄²⁻)

Une prise d'essai de 100 ml d'échantillon d'eau à analyser a été prélevé, dans laquelle 5 ml de la solution stabilisante et 2 ml de chlorure de baryum ont été ajoutés, la solution obtenue a été agitée énergétiquement pendant 1 minute. La lecture a été faite par un spectrophotomètre de marque HACH SL1000[®], à la longueur d'onde $\lambda = 420\text{nm}$ (ISO 22743, 2006).

➤ **Expression des résultats**

Les résultats de dosage sont affichés directement par le spectrophotomètre en mg/l.

7.8. Dosage de fer total (Fe²⁺)

Dans un bécher contenant 50 ml d'eau à analyser acidifiée (1 ml H₂SO₄/100ml), une quantité de 1ml de chlorhydrate d'hydroxylamine a été ajoutée, la solution a été bien mélangée, puis une quantité de 2 ml de la solution tampon acétate et 2 ml de la solution phénanthroline ont été ajoutées. La solution obtenue a été conservée dans l'obscurité pendant 15 minutes. La lecture a été effectuée au spectrophotomètre de marque HACH SL1000® à la longueur d'onde $\lambda = 510$ nm (ISO 6332,1988).

➤ **Expression des résultats**

Les résultats sont affichés directement par spectrophotomètre en mg/l.

7.9. Dosage des Nitrites (NO₂⁻)

Dans un bécher contenant 50 ml d'eau à analyser, une quantité de 1 ml de réactif mixte a été ajoutée, l'apparition de la coloration rose indique la présence des nitrites. La solution obtenue a été laissée reposer pendant 10 minutes et la lecture des a été faite par un spectrophotomètre de marque HACH SL1000® à la longueur d'onde $\lambda = 543$ nm (ISO 6777, 1984).

➤ **Expression des résultats**

Les résultats de dosage sont affichés directement par le spectrophotomètre en mg/l de nitrites NO₂⁻.

7.10. Dosage des Nitrates (NO₃⁻)

Dans un bécher, une quantité de 10ml d'eau à analyser a été introduite, dans laquelle on a ajouté 3 gouttes de la solution d'hydroxyde de sodium NaOH à 30% et 1 ml de solution de salicylate de sodium à 0,5 %, le mélange obtenu a été évaporé à sec à l'étuve à 75-88 °C puis laissé refroidie. Le résidu a été pris avec 2 ml d'acide sulfurique concentré et a été laissé reposer pendant 10 minutes, puis une quantité de 15 ml d'eau distillée et 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium ont été ajoutés et la lecture des résultats a été faite par un spectrophotomètre de marque HACH SL1000® à la longueur d'onde $\lambda = 415$ nm (ISO 7890-3, 1988).

➤ **Expression des résultats**

Les résultats sont affichés directement par spectrophotomètre en mg/l de NO_3^- .

7.11. Dosage de l'Ammonium (NH_4^+)

Dans un bécher contenant 40 ml de l'eau à analyser, un volume de 4 ml de réactif coloré a été ajouté, la solution a été bien homogénéisée, puis une quantité de 4 ml de solution de dichloroisocyanurate de Na a été ajoutée, le pH doit être 12,5, la solution obtenue a été laissée reposer pendant au moins 60 minutes. Tous les dosages ont été effectués à la même température (bain-marie à 25 °C). Les lectures ont été effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre de marque HACH SL1000® à la longueur d'onde $\lambda = 655 \text{ nm}$ (ISO 7150-1, 1984).

➤ **Expression des résultats**

Les résultats sont affichés directement par spectrophotomètre en mg/l d'Ammonium NH_4^+ .

7.12. Dosage des phosphates PO_4^{3-}

Dans un pêcheur contenant 40 ml d'eau à analyser une quantité de 1 ml d'acide ascorbique et 2 ml de réactif mélange ont été ajoutés, la solution obtenue a été incubée pendant 10 minutes. L'apparition de la coloration bleue indique la présence des PO_4^{3-} (ISO 6878-1, 1998).

➤ **Expression des résultats**

Les résultats sont affichés directement par spectrophotomètre en mg/l.

7.13. Mesure du chlore

La détermination de chlore pour l'échantillon d'eau de dessalement, a été effectuée par la méthode colorimétrique, en utilisant un comparateur de chlore de marque Lovibond®. Dans un tube de 10 ml d'eau à analyser, un comprimé du réactif DPD1 (Diprophyl-phénylène diamine) a été ajouté, l'échantillon a été mélangé pour avoir un colorant rouge violet. La lecture a été effectuée avec un comparateur de couleur en tournant le disque jusqu'à obtenir la même couleur que le tube traité (ISO 7393-2, 2017) (Figure 9).

➤ **Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en mg/l.



Figure 9: Mesure de chlore

7.14. Détermination de la matière organique

Une quantité de 100 ml d'eau analyser a été versée dans un bécher, dans laquelle a été ajouté 10 ml de $H_2SO_4(N/80)$, la solution obtenue a été mise à l'ébullition, puis une quantité de 10 ml de $KMnO_4$ a été ajoutée et la solution a été laissée pendant 10 minutes. Après 10 minutes, 10 ml d'acide oxalique (N/80) a été ajouté à la solution obtenue précédemment puis titrée à chaud sous agitation avec la solution $KMnO_4$ (N/80), jusqu'à virage de la solution de l'incolore au rose clair. La valeur a été lue directement sur la burette (ISO 8467,1993).

➤ **Expression des résultats**

$$V \text{ chute burette} = MO \text{ (mg/l)}$$

8. Analyses microbiologiques

Les analyses bactériologiques ont porté sur la recherche et le dénombrement des coliformes totaux et des coliformes thermo-tolérants, des entérocoques intestinaux et des anaérobies sulfite-réducteurs. Dans cette étude, la recherche et le dénombrement de ces bactéries a été réalisée par la technique de filtration sur membrane. La recherche éventuelle des salmonelles a été aussi réalisée. Ces analyses sont adoptées aux normes de Journal Officiel de la République Algérienne.

La filtration sur membrane est une technique simple et normalisée, compte sur l'utilisation de la rompe de filtration présentée sur la figure 10 et une membrane stérile en esters de cellulose, de porosité de 0,22 ou 0,45 μm , à travers laquelle un volume déterminé d'eau à analyser est filtrée, et les bactéries présentes sont retenues à la surface de la membrane. Le filtre est transféré dans un milieu de culture. Après incubation, le nombre de colonies est compté (Rodier *et al.*, 2009).



Figure 10: La rompe de filtration

8.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes thermo-tolérants

La recherche et le dénombrement des coliformes totaux et des coliformes thermo-tolérants ont été réalisés selon les étapes suivantes :

Tout d'abord, les entonnoirs de la rampe de filtration ont été stérilisés à l'aide d'un bec bunsen puis ont été refroidi avec de l'eau distillée stérile, des membranes de 0,45 μm de porosité ont été mise en place de façon aseptique entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile. Les entonnoirs ont été remplis de façon aseptique avec 100 ml d'eau à analyser, ensuite la pompe à vide a été actionnée pour permettre le passage de l'eau à travers les membranes. Les membranes ont été retirées à l'aide d'une pince stérile et transférées à la surface d'une plaque de gélose TTC Tegitol (**Annexe1**). Les boîtes ont été incubées à 37°C pendant 24 h, et serviront à la recherche des coliformes totaux, comme l'indique la figure 11 (ISO 9308-1, 2000).

➤ **Lecture et interprétation des résultats**

Après la période d'incubation, le dénombrement est effectué sur des colonies caractéristiques, qui se présentent sous forme de petites colonies lisse légèrement bombées à

contour régulier et pigmenté, en jaune orangé ou en jaune. Le résultat est donné en nombre de germes par 100 ml.

Un repiquage de façon aléatoire de 5 à 10 colonies a été effectué à des fins de confirmation basée sur le test d'oxydase d'une part et de la production d'indole d'autre part (**Figure 11**).

4.1.2. Test d'oxydase

Tout d'abord un repiquage de 5 à 10 colonies a été effectué sur gélose TSA (**Annexe1**), à la caséine et les boîtes ont été incubées à 36°C pendant 21 h. Le test oxydase a été réalisé en imbibant un disque d'oxydase avec une goutte d'eau distillée puis en déposant une colonie caractéristique.

Une réaction positive est immédiate et se traduit par l'apparition d'une couleur violette dans les 30 secondes qui suivent.

4.1.3. Test d'indole

5 à 10 colonies caractéristiques ont été transférées séparément dans un tube contenant de bouillon au tryptophane, la colonie a été bien triturée dans le milieu, puis ce dernier a été incubé à $44 \pm 0,5^\circ\text{C}$ pendant 21 ± 3 heures, ensuite la recherche de la production d'indole a été effectuée en ajoutant 2 à 3 gouttes de réactif de Kovacs (**Annexe2**). La présence d'une coloration rouge à la surface du bouillon traduit la production d'indole à partir de tryptophane présent dans le milieu.

➤ Interprétation de test de confirmation

- Toutes colonies caractéristiques ayant une réaction négative à l'oxydase sont considérées comme des bactéries coliformes.
- Toutes colonies caractéristiques ayant une réaction négative à l'oxydase mais positif à l'indole sont considérée comme *Escherichia coli*.

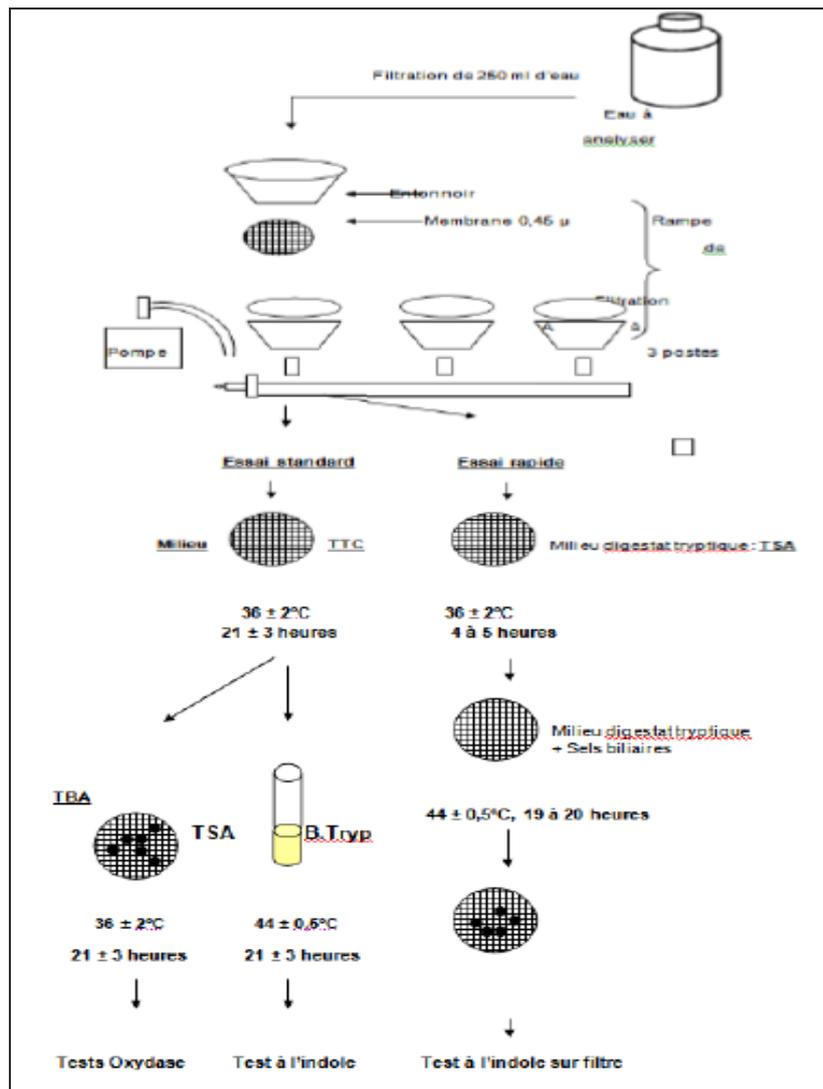


Figure 11 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes thermo-tolérants par filtration sur membrane.

4.2. Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux

Cette méthode consiste à la recherche et le dénombrement des entérocoques intestinaux, ou encore streptocoques fécaux dans l'eau destinée à la consommation humaine.

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux se fait par deux tests :

- Le test présomptif sur le milieu solide SLANETZ et BARTLEY(Annexe1).
- Le test confirmatif sur le milieu BEA (Annexe1) (ISO 7899-2, 2000).

4.2.1. Le test présomptif sur le milieu solide SLANETZ et BARTLEY

Le mode opératoire est identique à celui des coliformes, 100 ml d'eau à analyser a été filtrée aseptiquement sur une membrane de 0,45µm de porosité. La membrane a été déposée

sur la gélose SLANETZ et BARTLEY(Annexe1). Les boîtes ont été incubées à 37°C pendant 48h.

Après la période d'incubation spécifique les entérocoques intestinaux ou streptocoques du groupe D, apparaissent sous forme de petites colonies légèrement bombée à contour régulier et pigmenté en rouge, marron ou rose.

4.2.2. Le test confirmatif sur le milieu BEA

La membrane du milieu planète et Barclay a été transféré aseptiquement sur une plaque de gélose Bile Esculine Azoture (BEA) (Annexe1), préchauffé préalablement à 44 °C cette dernière a été incubé à son tour à $44 \pm 0,5^\circ\text{C}$ pendant 2h.

Les colonies caractéristiques prennent une coloration noire traduisant ainsi l'hydrolyse de l'esculine présente dans le milieu (Figure 12).

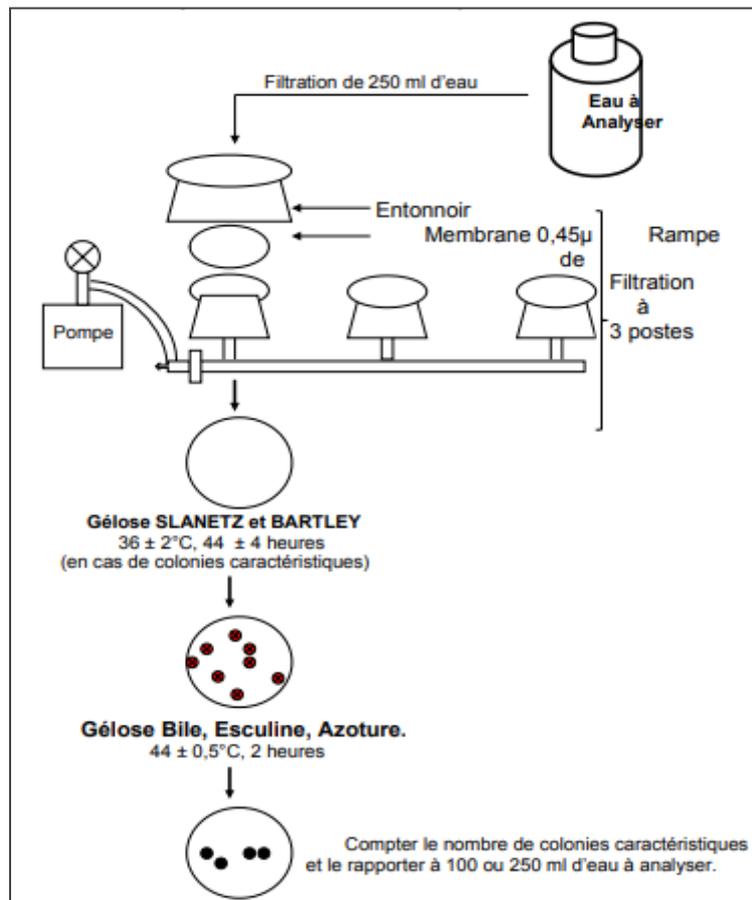


Figure 12 : Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux par filtration sur membrane.

4.3. Recherche et dénombrement des *Clostridium*-sulfito-réducteurs

Avant toute manipulation la destruction des formes végétatives est obligatoire, pour cela le flacon contenant l'échantillon d'eau à analyser, a été maintenu dans un bain mari à $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ pendant 10 à 20 min, puis refroidit immédiatement sous l'eau de robinet.

Ensuite 100ml de cet échantillon d'eau a été filtré sur une membrane stérile de $0.22\mu\text{m}$ de porosité, puis a été déposé sur la boîte de pétri, de façon à ce que la face quadrillée adhère au fond de la boîte tout en évitant les bulles d'air sous le filtre, par la suite environ 18 ml de gélose viande foie VF (**Annexe1**), fondue et refroidie, a été versé. L'incubation a été effectuée à $36 \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 20 ± 4 heures puis à $44 \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 2 à 3 heures (**ISO 6461-2, 1993**) (**Figure 13**).

➤ Lectures et interprétation des résultats

La 1^{ère} lecture a été faite après 24 h et la 2^{ème} après 48h, en considérant toute colonie noire comme résultat d'une spore de bactérie anaérobie sulfito-réductrice.

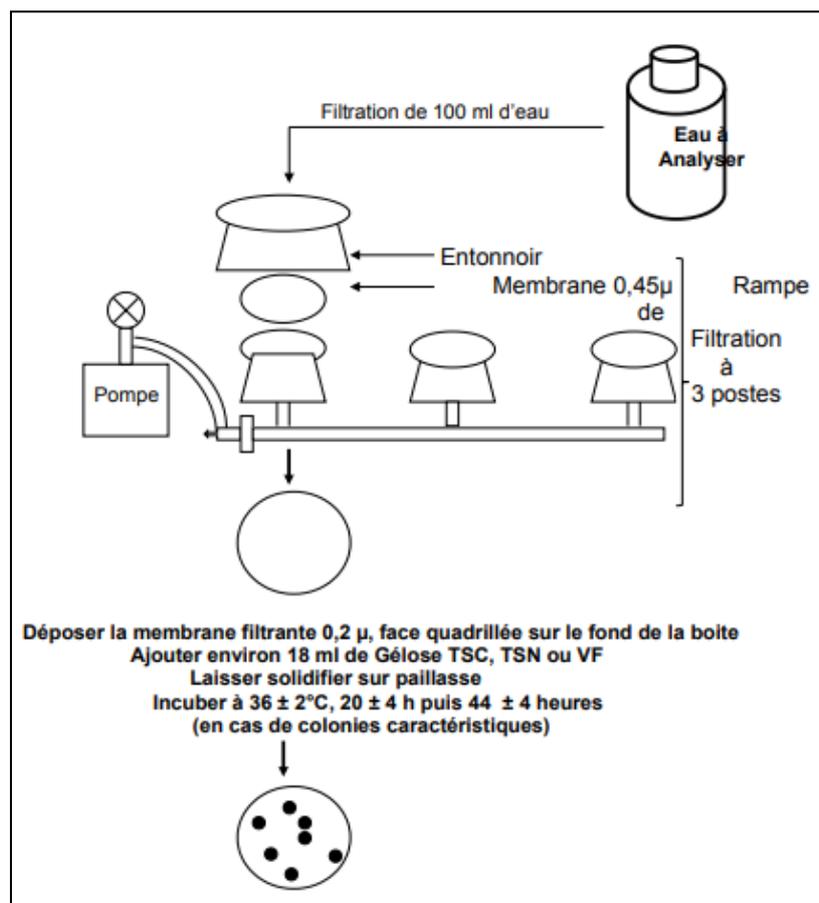


Figure 13 : Recherche et dénombrement des *Clostridium*-sulfito-réducteurs par filtration sur membrane.

4.4. Recherche des salmonelles

La recherche de salmonelle a été réalisé en 3 étapes (ISO 19250, 2010) :

4.4.1. L'étape de pré-enrichissement

Le pré-enrichissement a été effectué sur le Bouillon Sélénite-Cystéine D/C (SFB D/C) (Annexe1), réparti à raison de 100 ml par flacon, dans lequel a été introduit 50 ml d'eau à analyse, puis a été incubé à 36 ± 2 °C pendant 20 ± 4 h.

4.4.2. L'étape d'enrichissement

Ce flacon a fait l'objet :

- D'une part, d'un deuxième enrichissement sur milieu SFB S/C en tubes à raison de 1 ml.
- D'autre part, d'un isolement sur gélose Hektoen 1 (Annexe1). L'incubation a été effectuée à 36 ± 2 °C pendant 20 ± 4 h.

4.4.3. L'étape d'isolement

- D'une part, la boîte de gélose Hektoen 1a subi une lecture ;
- D'autre part, le tube de SFB S/C a fait l'objet d'un isolement sur milieu Hektoen 2, l'incubation a été effectuée à 36 ± 2 °C pendant 20 ± 4 h (Figure 14).

- **Lecture des résultats** : Colonies typiques (forte suspicion de salmonelle) : des colonies ayant un contour régulier, transparente (verte sur milieu Hektoen) avec ou sans centre noir (H_2S^+).

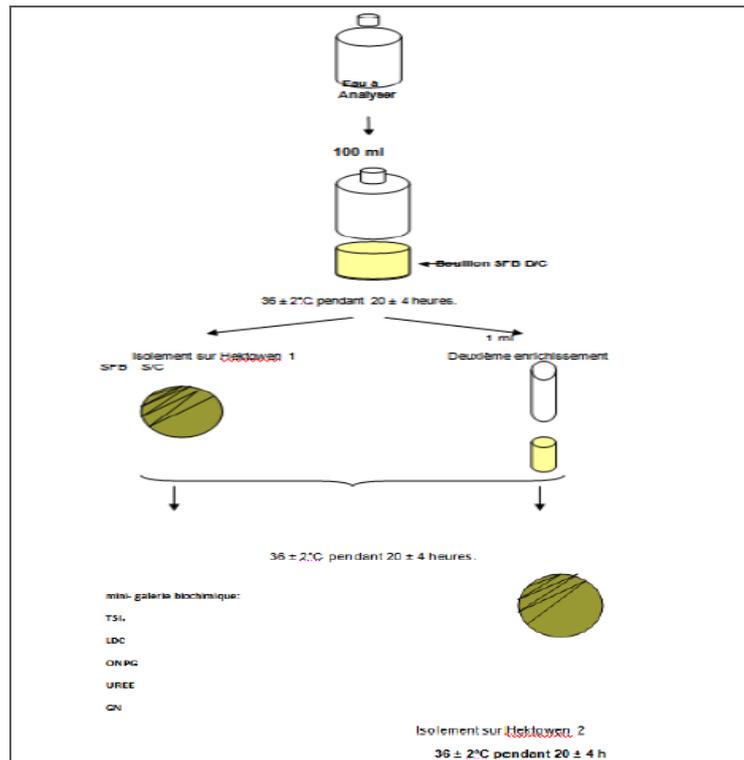


Figure 14 : Recherche des salmonelles.

Partie III : Résultats et discussion

1. Analyses organoleptiques

1.1. Détermination de la couleur

Idéalement, l'eau de boisson ne devrait pas avoir de couleur visible. La couleur de l'eau de boisson est généralement due à la présence de matière organique colorée (principalement des acides humiques et fulviques), ainsi que le de fer et d'autres métaux (OMS,2011).

L'examen des résultats obtenus dans le tableau 10, montrent que la couleur apparente pour les deux échantillons d'eau étudiée était de 0 Pt/Co, en fait ces résultats sont conformes aux normes Algériennes des eaux souterraines et des eaux traitées. Cela peut être expliqué d'une part par l'absence d'ions métalliques, qui sont les facteurs principaux de modifications de la couleur ainsi que de la matière organique colorée.

Ces résultats sont inférieurs à celles obtenues par Muhangane et *al.*,(2017) qui a mené une étude similaire sur les eaux brutes et traitée dans la municipalité de Bushenyi, en Ouganda.

1.2. Détermination du seuil d'odeur et de la saveur

L'odeur et la saveur de l'eau, ont des effets significatifs sur les perceptions et l'acceptabilité des consommateurs. Il est bien connu que le l'odeur et la saveur dépendent fondamentalement de la composition minérale de l'eau, comme elles peuvent être révélatrices d'une certaine forme de pollution. Il convient également de noter que les désinfectants et autres produits chimiques ajoutés pendant le traitement comme le chlore, influencent également l'odeur et la saveur de l'eau (Akcaalan et *al.*,2022 ; OMS, 2011).

La valeur indicative de l'odeur et de la saveur pour les deux échantillons d'eau étudiée est de l'ordre de 0 (Taux de dilution) à 25°C. Ce qui est conforme avec les normes de la réglementation Algérienne.

1.3. Mesure de la turbidité

La turbidité est causée par l'existence de matières en suspension et dissoutes dans les plans d'eau qui diffusent la lumière et rendent l'eau trouble (Nawaz et *al.*,2023). Une forte turbidité réduit l'efficacité des processus de désinfection par chloration et par la lumière ultraviolette UV, favorisant ainsi la survie des agents pathogènes (Talpur et *al.*,2024 ; Testa et *al.*,2022). Les résultats montrée dans le tableau 10 indiquent que l'eau de dessalement à une faible turbidité sa valeur est de 0.2 NTU. Il en est de même pour l'eau de source

Tenikrempt de 1.15 NTU. Ces résultats sont conformes avec les normes algériennes qui recommandent une turbidité qui ne dépasse pas 5 NTU.

La faible turbidité des eaux souterraines est dû à la filtration naturel de l'eau dans le sol, donc ce sont des eaux claires (**Rejsek, 2002**).

L'absence de la couleur apparente dans les aux souterraines ainsi que l'odeur et la saveur est due à la filtration des matières en suspension lorsque l'eau s'infiltré dans le sol tandis que le même résultat obtenu pour l'eau du dessalement est due à l'élimination de la plupart des particules responsables de la couleur et de turbidité dans l'eau pendant le processus de traitement (**Safari et al.,2012**).

Tableau 10: Présentation des résultats des analyses organoleptiques de la source de Tenikrempt et l'eau de dessalement de Chatt El Hilal.

	Source de Tenikrempt	Eau de dessalement Chatt El Hilal	Normes algérienne
Couleur (Pt/Co)	00	00	15
Odeur et flaveur (taux dilution)	00	00	4
Turbidité (NTU)	1,15	0,20	5

2. Analyses physico-chimiques

2.1. Mesure de pH

Le pH d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline, il est fonction de l'activité des ions hydrogènes H⁺ présents dans cette eau (**Ayad et Kahoul, 2016**). Les eaux acides corrodent également les tuyaux métalliques libérant ainsi les métaux lourds toxiques tandis que les eaux alcalines ont tendance à avoir une odeur et un goût désagréables (**Akcaalanet al.,2022**).

Les normes édictées par la réglementation Algérienne en matière de potabilité de l'eau recommandent un pH situé entre 6,5 et 9. En comparant les résultats obtenus dans la figure14 et le tableau11 à ces normes, il ressort que le pH de la source de Tenikrempt est de 7,38 ce qui témoigne une légère alcalinité de cette source qui semble être provenant des aquifères carbonatés.

Cependant le pH de dessalement est de8,14est donc plus élevé que celle de la source de Tenikrempt. Ces valeurs restent acceptables pour les normes algériennes de potabilité.

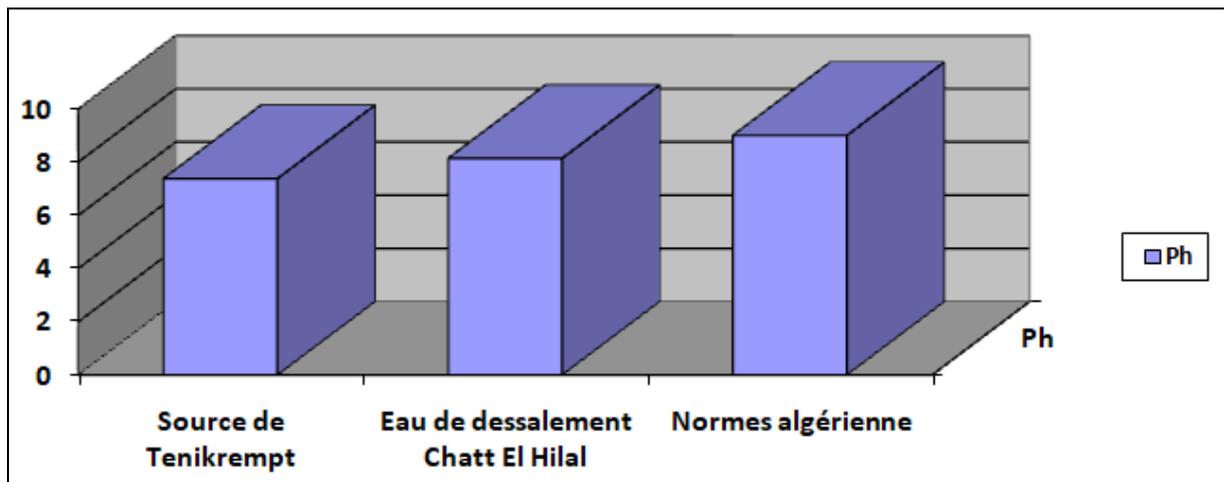


Figure 15 : Mesure de PH

2.2. Mesure de la température

La température de l'eau est une propriété physique importante, affectant la vitesse des processus chimiques et d'autres paramètres de la qualité de l'eau (par exemple, l'oxygène dissous, les nutriments ainsi que les agents pathogènes) (Kroeze et al., 2016)

Les mesures de la température d'échantillon de l'eau de source de Tenikrempt et l'eau de dessalement ont donné des valeurs de 19,2°C et 22,5°C respectivement (Tableau11) et (Figure 15), d'où elles sont en conformité avec les normes Algériennes qui recommandent des températures ne dépassant pas les 25°C.

Ces résultats peuvent être influencés par les conditions météorologiques de la région d'étude ainsi que les niveaux des eaux souterraines (cas de la source de Tenikrempt) (Agudelo-Vera et al., 2020).

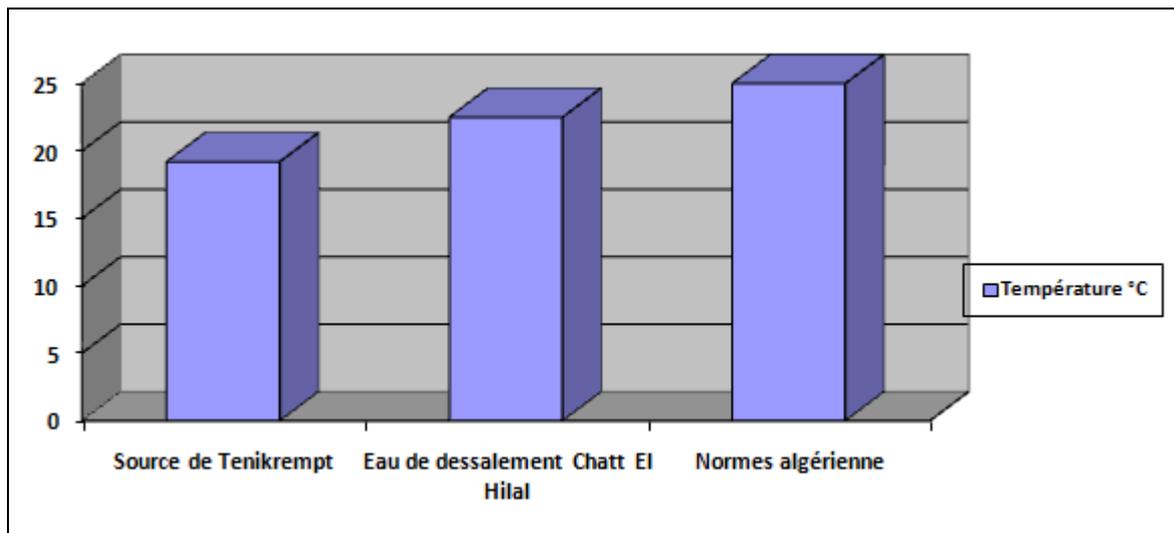


Figure 14 : Mesure de température

2.3. Mesure de la conductivité

La conductivité est la capacité de l'eau à transporter un courant électrique et varie selon le nombre et les types d'ions dans les solutions (Tyagi,2020).

Les résultats obtenus montrent que la source de Tenikrempt présente une conductivité plus élevée (1261 $\mu\text{S}/\text{cm}$) par rapport à l'eau de dessalement de Chatt El Hilal (833 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Ces résultats sont conformes aux normes et inférieurs à la valeur limite fixée par la norme Algérienne (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Tableau 11) et (Figure 16).

Cette valeur importante semble résulter du lessivage de la roche réservoir au sein de laquelle les eaux séjournent.

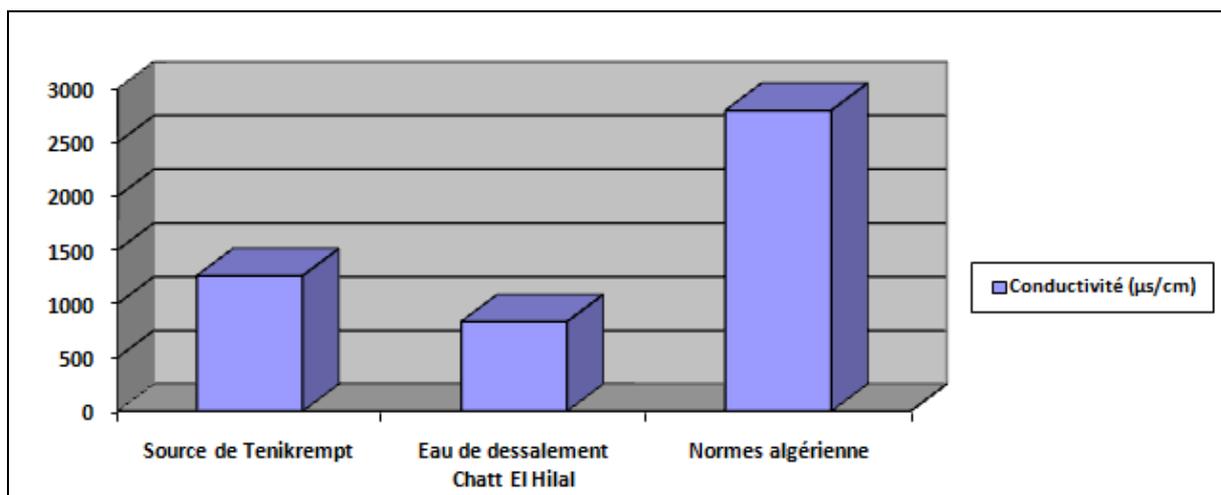


Figure 15 : Mesure de conductivité

2.4. Détermination de titre alcalimétrique complet (TAC)

Les résultats obtenus dans la figure 17 et le tableau 11, montrent que le titre alcalimétrique complet de l'eau de dessalement est de 40mg/l, cette valeur est inférieure par rapport à celle obtenue dans l'eau de source de Tenikrempt qui est de 364mg/l. Ces valeurs répondent aux normes indiquées par la réglementation Algérienne.

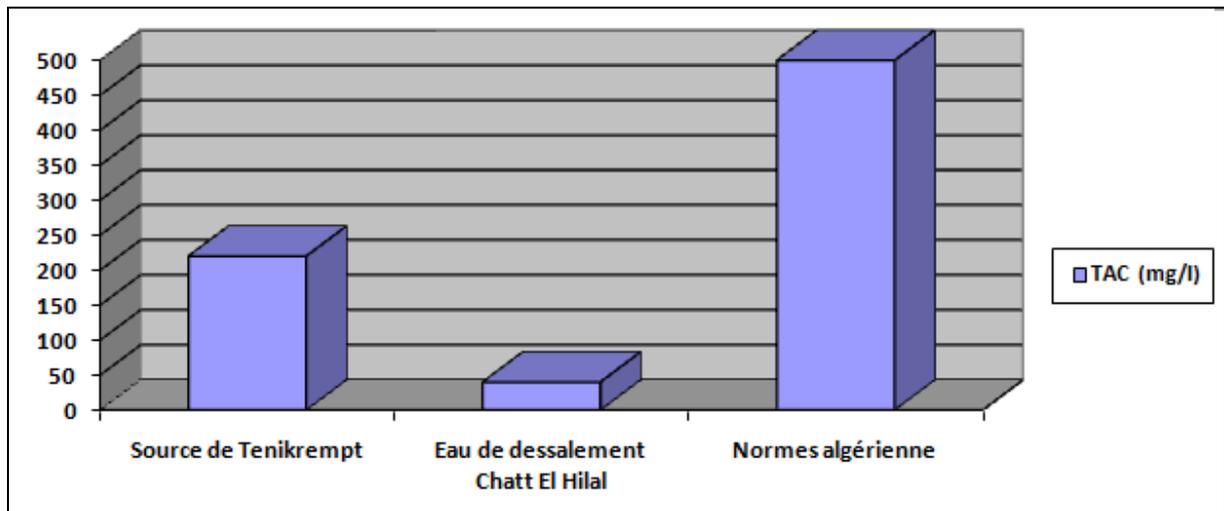


Figure 16: Détermination de titre alcalimétrique complet TAC

2.5. Détermination de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)

La dureté de l'eau est causée par la présence de concentrations élevées d'ions alcalino-terreux dans l'eau, notamment le Ca^{2+} et Mg^{2+} (Orellana et al., 2023). Les résultats obtenus dans la figure 18 et le tableau 11 montrent que le TAC de l'eau de dessalement (40mg/L) est inférieur de celle de l'eau de source de Tenikrempt (220mg/L), mais cela reste dans la limite des normes Algériennes.

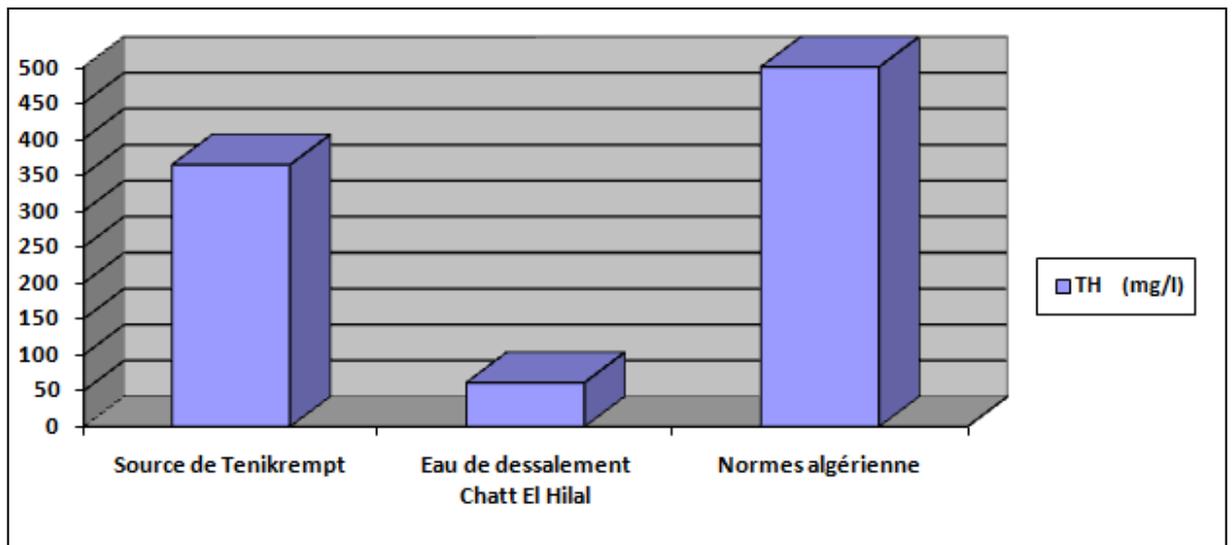


Figure 17: Détermination de la dureté

2.5.1. Détermination de la dureté calcique (T.Ca)

La concentration de calcium de l'eau de la source de Tenikremp est de 65,6 mg/l, cette valeur est supérieure par rapport à la valeur obtenue de l'eau de dessalement 17,88mg/l (**Figure19**) et (**Tableau11**) cette teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux). Ces résultats sont conformes aux normes Algériennes qui fixent une valeur maximale de 200 mg/l.

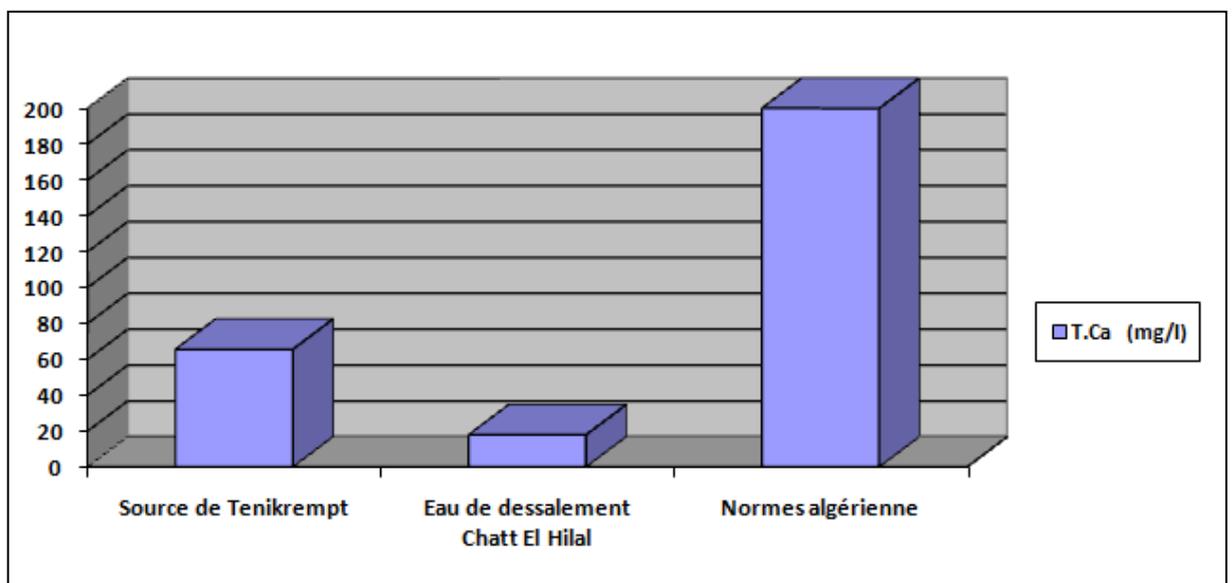


Figure 20 : Détermination de la dureté calcique

2.5.2. Détermination de la dureté magnésique (T.Mg)

Les résultats concernant des analyses de magnésium Mg^{2+} montrée dans la figure 20 et tableau 11, ont donné une concentration de 48,1 mg/l pour la source de Tenikrempt qui est supérieur par rapport à celle obtenue dans l'eau de dessalement 3,98 mg/l. Ces valeurs sont en accord avec les normes Algériennes, qui fixent une valeur maximale de 150 mg/l.

Selon Wilson-Nieuwenhuis et Holah (2019), les eaux souterraines ont une plus grande dureté que les eaux de surface, car les eaux souterraines qui traversent le calcaire augmenteront la teneur en calcium de l'eau et les eaux souterraines qui traversent la dolomite augmenteront la teneur en magnésium. En d'autres termes, les filtres résidentiels ou les systèmes RO utilisés pour traiter l'eau de dessalement éliminent pratiquement la teneur en calcium (Vitoria et al., 2014). Étant donné que l'eau déminéralisée ne contient que des quantités minimales de minéraux dissous comme le calcium et le magnésium, qui sont les principales causes de la dureté, l'eau produite peut être considérée comme une forme extrême d'eau faiblement minérale ou douce qui n'a pas été reminéralisée (Kamalpriya et al., 2023).

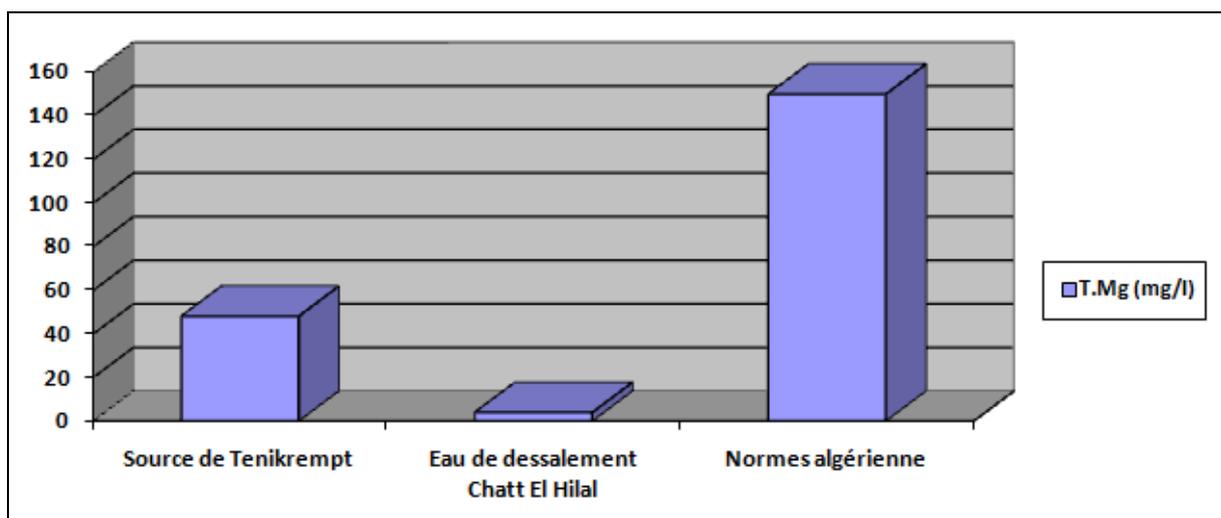


Figure 181: Détermination de la dureté magnésique

2.6. Dosage des chlorures (Cl^-)

La concentration admise des chlorures dans la réglementation algérienne est fixée en 500 mg/l. Les résultats de dosage de chlorures (Figure 21) et (Tableau 11), montrent que la source de Tenikrempt et l'eau de dessalement présentent une teneur en chlorures de 202,9 mg/l et 148,9 mg/l respectivement ce qui indique leur conformité avec les normes Algériennes.

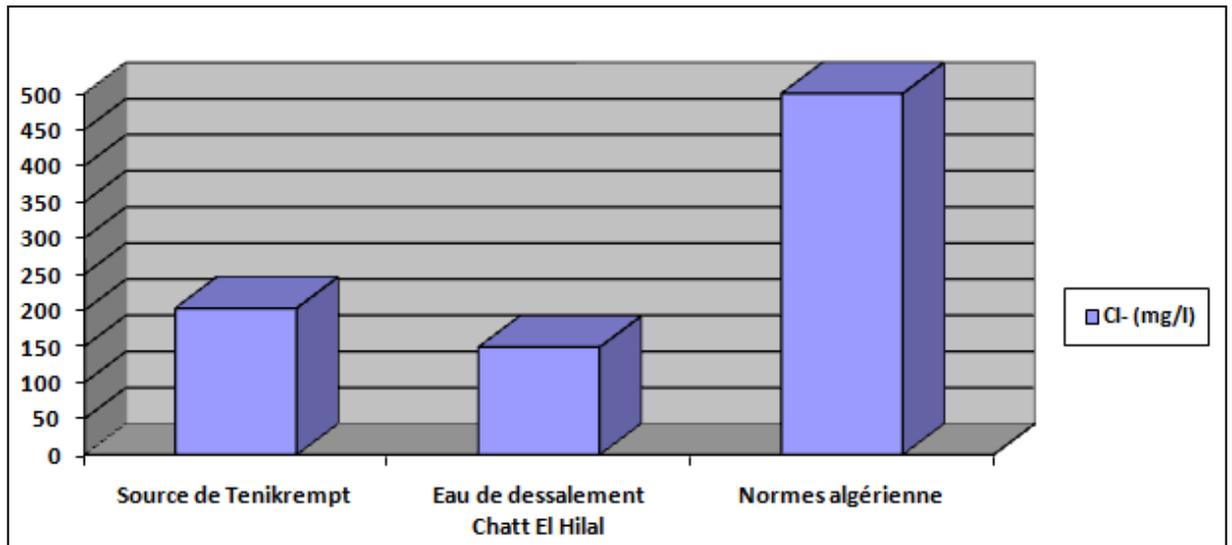


Figure 19: Dosage des chlorures

2.7. Dosage des Sulfates (SO_4^{2-})

Les résultats de dosage de sulfates enregistrés dans la figure 22 et le tableau 11, montrent une valeur de 84,88 mg/l pour la source de Tenikremp, cette valeur est supérieure à celle enregistrée dans l'eau de dessalement (1,15 mg/l). Ces résultats sont toujours conformes aux normes algériennes qui fixent une valeur maximale de 400 mg/l.

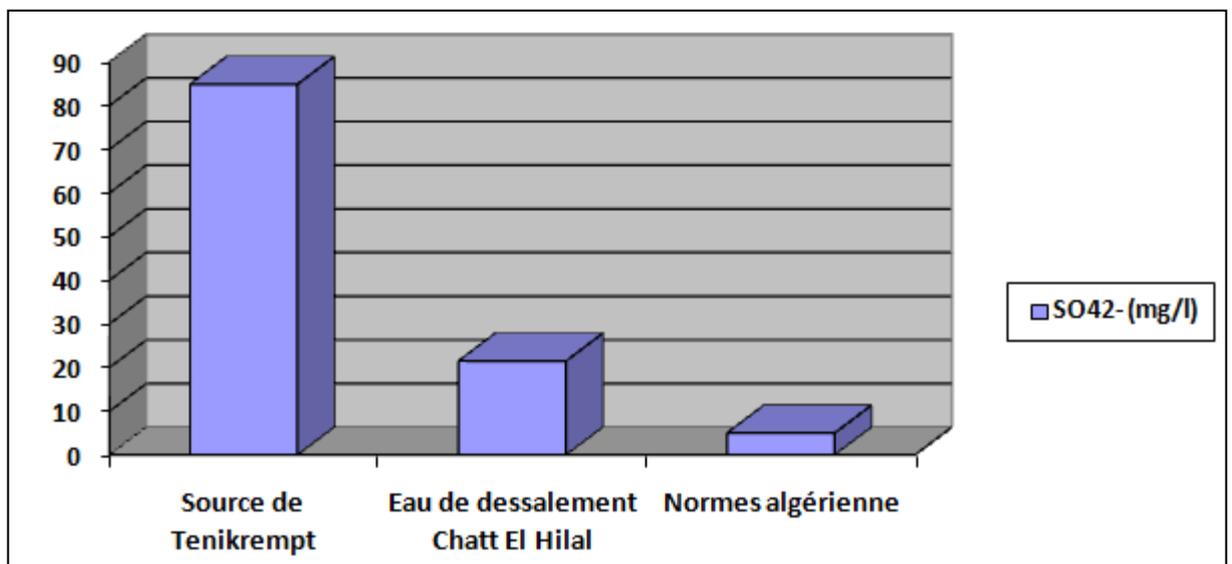


Figure 20: Dosage des sulfates

2.8. Dosage de fer total

Les résultats obtenus dans la figure 23 et le tableau 11 montrent une absence total de fer total dans l'eau de dessalement tandis qu'une valeur négligeable de 0,01 mg/l à été enregistrés la source Tenikrempt. Ces valeurs et ne dépassent pas la valeur maximale 0.3 mg/l fixé par les normes Algériennes.

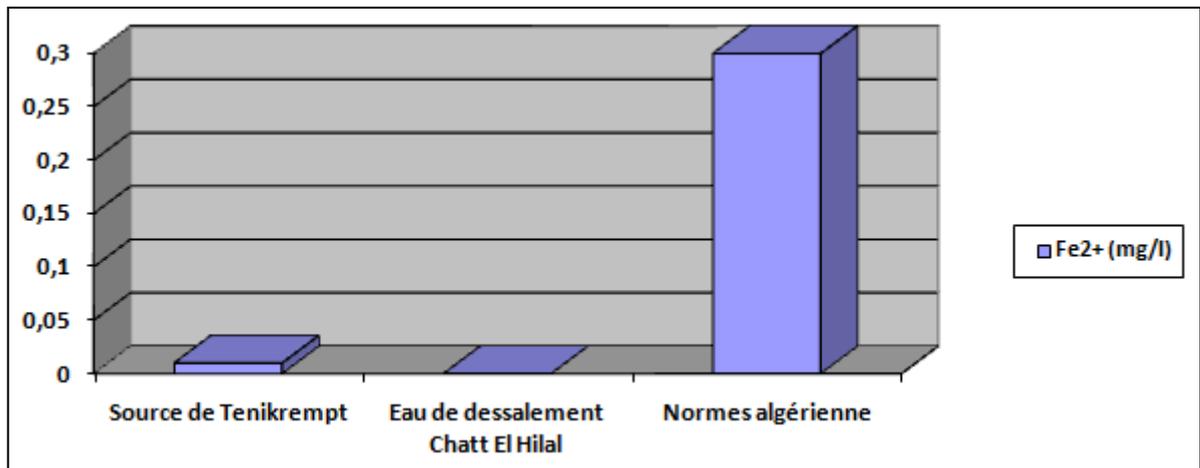


Figure 21: Dosage du fer total

2.9. Dosage des Nitrites (NO₂⁻)

D'après les résultats obtenus dans la figure 24 et le tableau 11, une absence totale de nitrite à été noté dans les deux échantillons d'eau analysée qui répond aux normes Algériennes qui fixe une limite de 0,2mg/l.

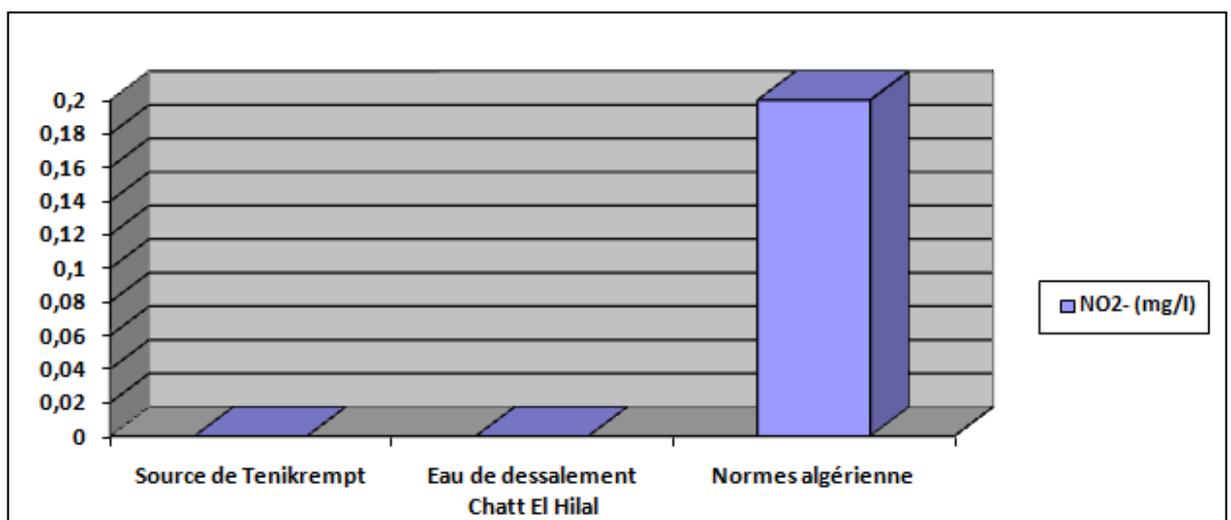


Figure 22: Dosage des nitrites

2.10. Dosage des Nitrates (NO_3^-)

La réglementation Algérienne recommande pour le cas des nitrates, une valeur maximale de 50 mg/l dans une eau destinée à la consommation.

Les résultats ont révélé que la teneur en nitrates dans la source de Tenikrempt est de 24,6 mg/l cette valeur est supérieur par rapport à celle obtenue en eau de dessalement (1,5 mg/l) (**Figure 25**) et (**Tableau 11**), ce qui est en conformité avec les normes Algériennes.

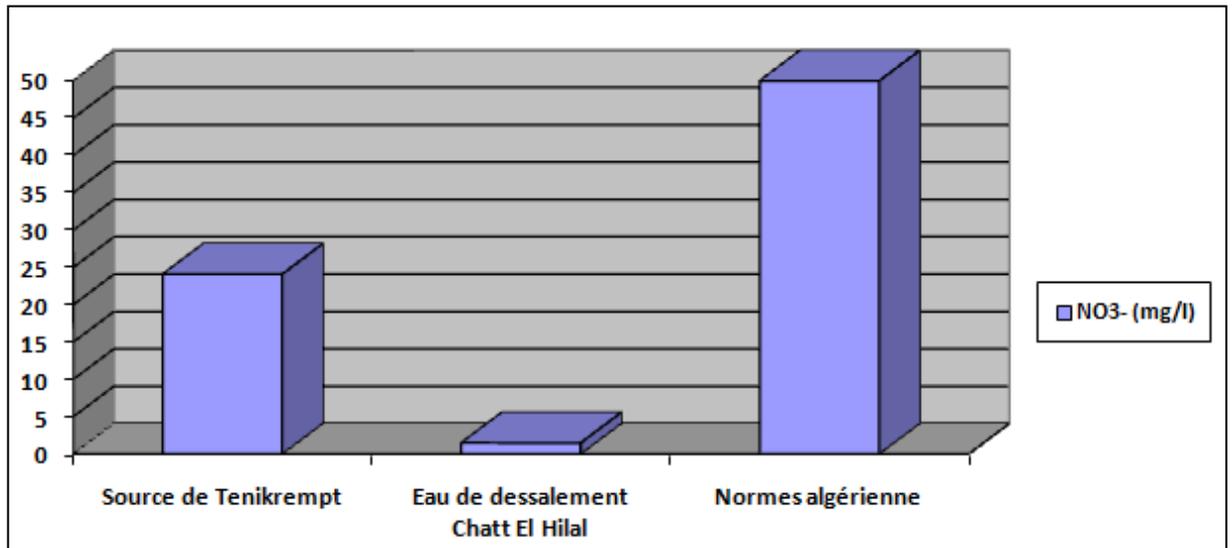


Figure 23: Dosage des nitrates

2.11. Dosage de l'Ammonium (NH_4^+)

Les résultats d'analyse montrés dans la figure 26 et le tableau 11 indiquent l'absence totale de l'ammonium dans les deux échantillons d'eau analysés, indiquant ainsi leur conformité avec les normes Algériennes qui recommandent une valeur qui ne dépasse pas 0,5 mg/l.

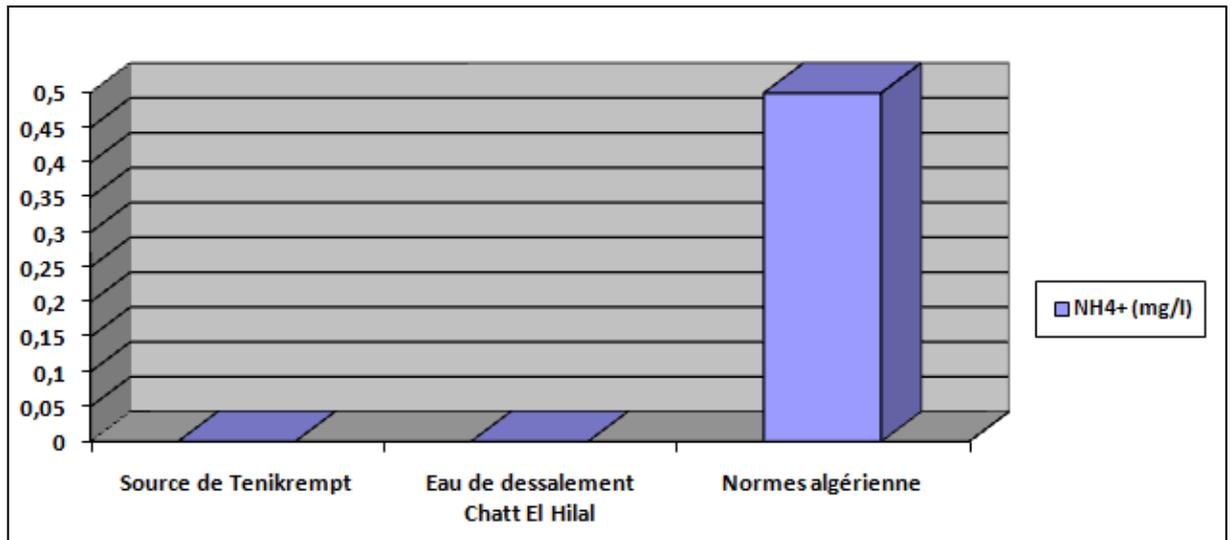


Figure 24: Dosage d'ammonium

2.12. Dosage des phosphates (PO_4^{3-})

Les phosphates sont présents dans les deux échantillons d'eau mais en quantité relativement faible. Les résultats obtenus donnent une valeur de 0,087 mg/l pour la source de Tinerkrempt et de 0,04mg/l pour l'eau de dessalement (Figure27) et (Tableau11). Ces concentrations enregistrées sont très faibles, et conforme aux normes Algériennes qui fixent une valeur maximale de 5 mg/l.

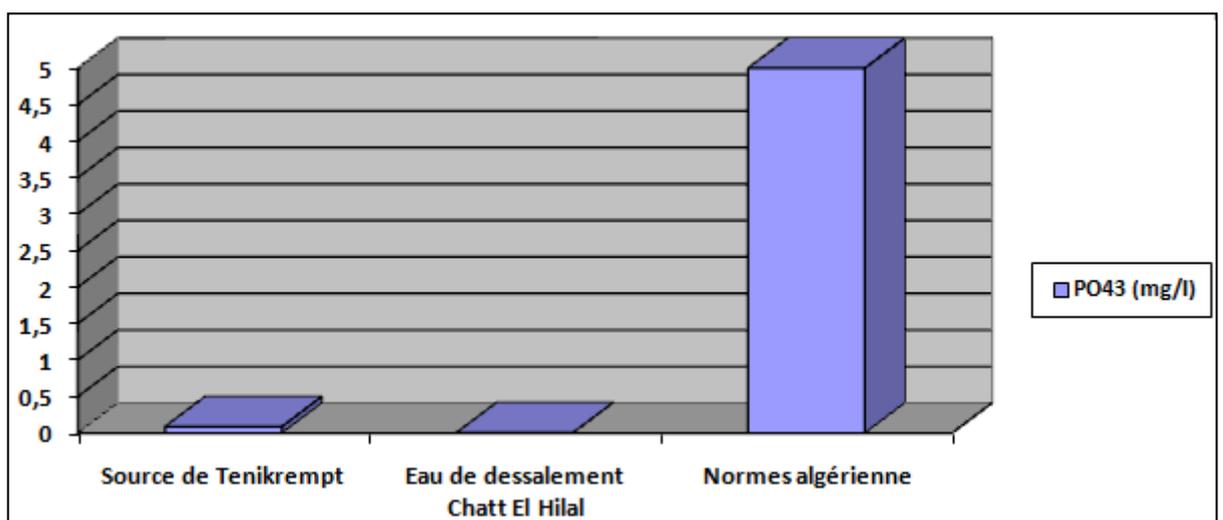


Figure 25: Dosage de phosphates

2.13. Mesure du chlore

La mesure de chlore résiduel a permis de vérifier si l'eau de dessalement est traitée par le chlore. Les résultats trouvés dans la figure 28 et le tableau 11 montrent un taux de 0,4 mg/l de chlore résiduel. Ce taux est conforme pour assurer une bonne désinfection de cet eau qui sera consommée par l'abonné, ce qui est en conforme avec les normes Algériennes exigeant un niveau minimum de 0,5 mg/l de chlore résiduel.

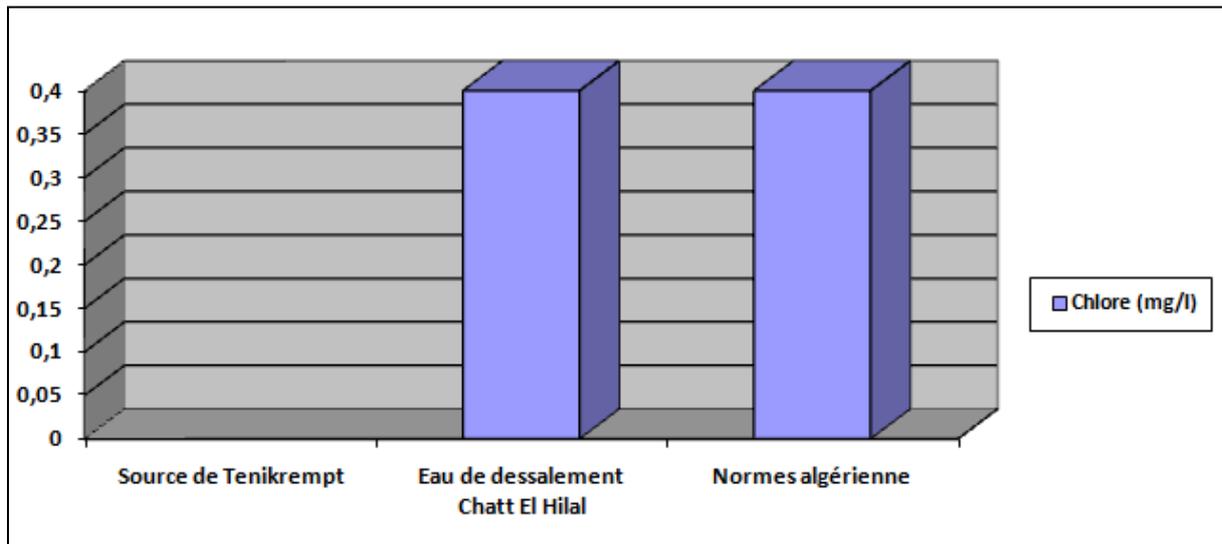


Figure 26: Mesure de chlore

2.14. Détermination de la matière organique

Les résultats de la matière organique montrent un taux de 1,3 mg/l pour la source de Tenikrempt et 0,9 mg/l pour l'eau de dessalement. Ces résultats répondent à la norme déterminée par la réglementation Algérienne qui est de 5mg/l comme indiquée dans la figure 29 et le tableau 11. La contamination par des matières organiques peut causer de graves problèmes de santé, en effet, les trihalométhanes (THM) se forment lorsque le chlore présent dans l'eau potable traitée se combine avec la matière organique naturelle présentant un danger pour la santé (Sharma et Bhattacharya, 2017).

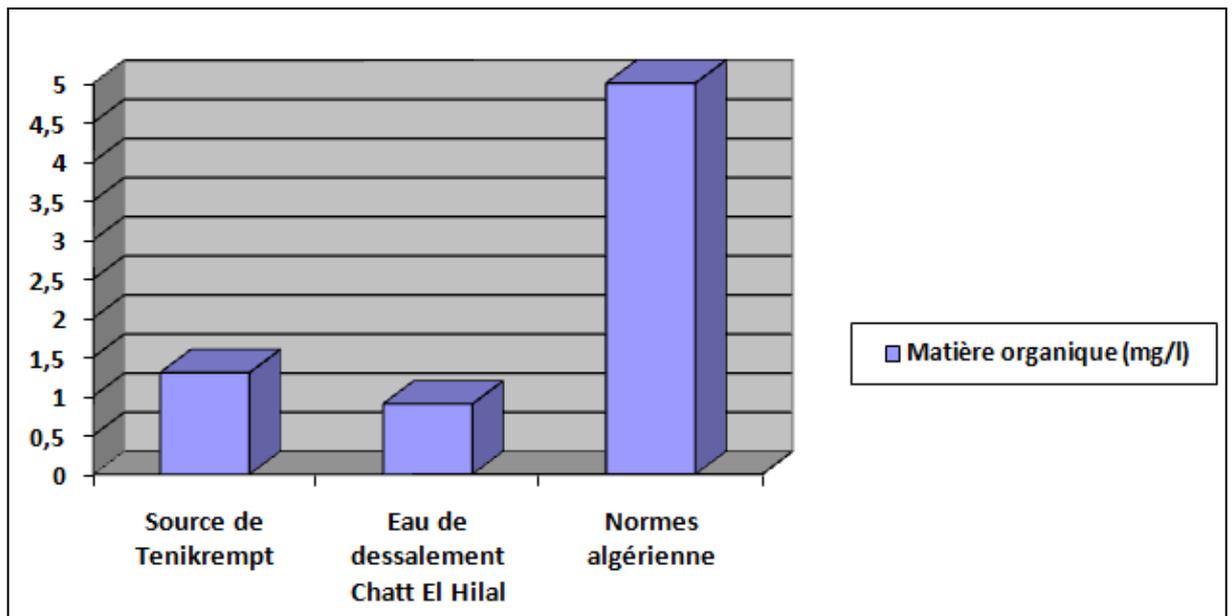


Figure 30: Détermination de la matière organique

les résultats des analyses physico-chimiques obtenus à partir de l'eau de dessalement sont dus à la technologie d'osmose inverse utilisée dans les stations de dessalement et qui élimine la plupart des ions de l'eau, en particulier les cations et anions divalents (Arvin *et al.*, 2018) tandis que pour la source de Tenikrempt, ces résultats sont liée à la nature géologique des aquifères.

Tableau 11 : présentation des résultats des analyses physico-chimiques de la source de Tenikrempt et l'eau de dessalement de Chatt El Hilal.

	Source de Tenikrempt	Eau de dessalement Chatt El Hilal	Normes algérienne
pH	7,38	8,14	≥ 6,5 et ≤9
Température °C	19,2	22,5	25
Conductivité (µs/cm)	1261	833	2800
TAC (mg/l)	220	40	500
TH (mg/l)	364	61,38	500
T.Ca (mg/l)	65,6	17,88	200
T.Mg (mg/l)	48,1	3,98	150 mg/l
Cl⁻ (mg/l)	202,9	148,9	500
SO₄²⁻ (mg/l)	84,88	21,5	5
Fer total (mg/l)	0,01	00	0,3
NO₂⁻ (mg/l)	00	00	0,2
NO₃⁻ (mg/l)	24,1	1,5	50
NH₄⁺ (mg/l)	00	00	0,5
PO₄³⁻ (mg/l)	0,087	0,004	5
Chlore (mg/l)	Pas de test de chlore	0,4	0,4

Matière organique (mg/l)	1,3	0,9	5
-------------------------------------	-----	-----	---

3. Analyses microbiologiques

3.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes thermo-tolérants

Les résultats illustrés dans le tableau 12 et la figure 30, montrent l'absence totale des coliformes totaux dans les deux échantillons d'eau analysée, cela répond aux normes de potabilité exigées par les normes Algériennes. Ces résultats sont largement tributaires par l'efficacité désinfection par chlore pour l'eau de dessalement (**Tableau11**).

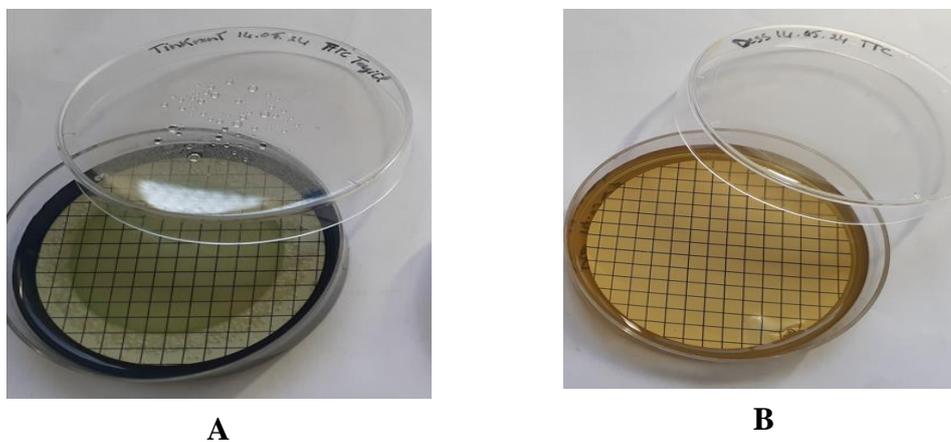


Figure 27: Recherche et dénombrement coliformes totaux ; **A** : source de Tenikrempt, **B** : eau de dessalement

3.2. Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux

La réglementation de notre pays exclue impérativement la présence des streptocoques fécaux dans 100 ml pour les eaux de surface et recommande un nombre maximal de 20UFC/100 ml. Les résultats montrés dans le tableau 12 et la figure 31 révèlent l'absence totale des streptocoques fécaux dans les échantillons d'eaux étudiées (eau de dessalement et eau de source de Tenikrempt). Ceci est en conformité avec la réglementation Algérienne.

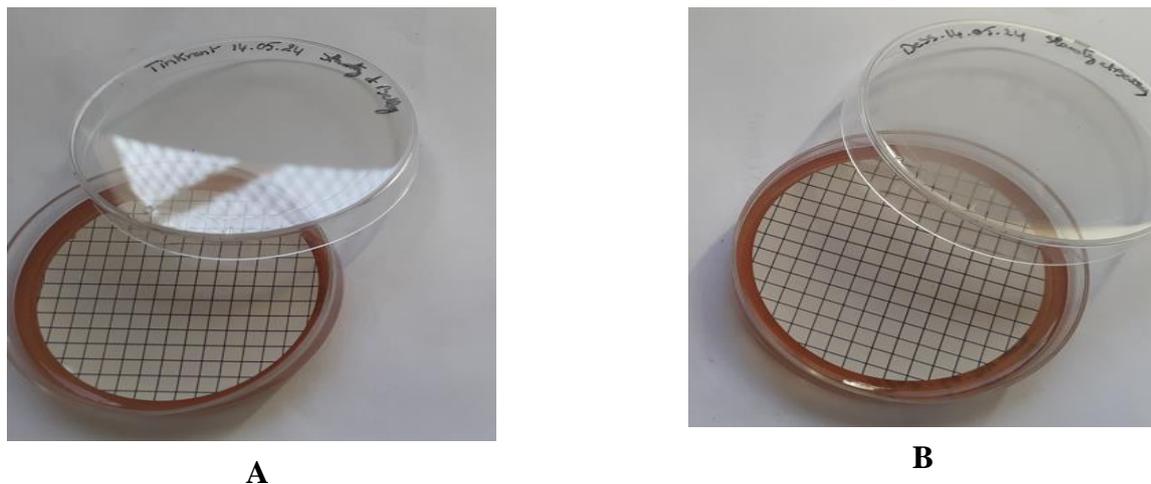


Figure 28: Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux ;**A** : source de Tenikrempt,**B** : eau de dessalement

3.3. Recherche et dénombrement des *Clostridium*-sulfito-réducteurs

Selon les normes algériennes, une eau destinée à la consommation humaine ne doit pas renfermer les spores des *Clostridium*-sulfito-réducteurs dans 20 ml. Les résultats des analyses de la source de Tenikrempt et l'eau de dessalement confirment une absence totale des *Clostridium*-sulfito-réducteurs, ces résultats répondent aux normes Algériennes (OUFC/100ml).Le tableau12 et la figure 32, représentent les résultats obtenus.

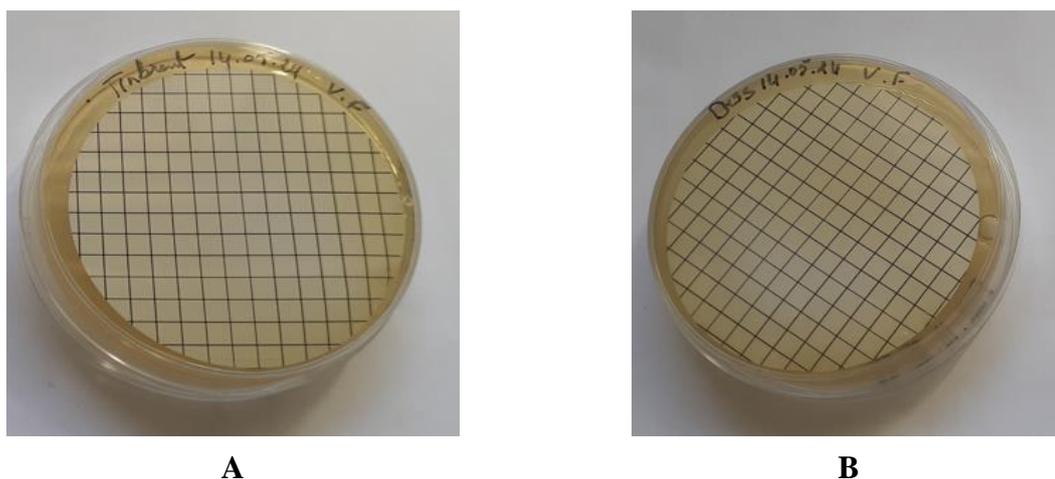


Figure 29: Recherche des *Clostridium*-sulfito-réducteurs ; **A** : source de Tenikrempt, **B** : eau de dessalement

3.4. Recherche des salmonelles

Les résultats des analyses de la source de Tenikrempt et l'eau de dessalement montrée le tableau 12 et la figure 33, indiquent une absence totale des salmonelles, ceci est en conformité avec les normes de la réglementation Algérienne qui exigent l'absence des salmonelles dans 5000 ml d'eau.

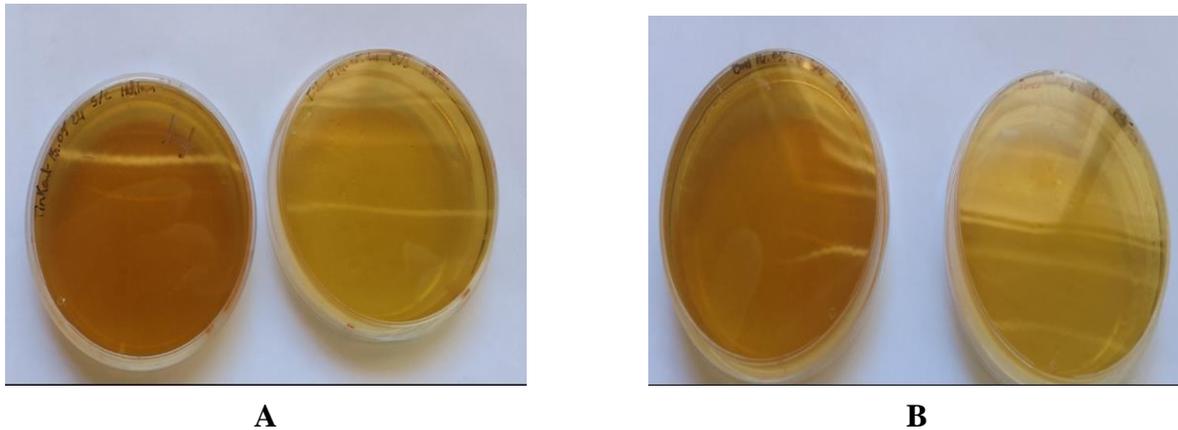


Figure 30: Recherche des salmonelles ; **A** : source de Tenikrempt, **B** : eau de dessalement

Il est à noter que de la pollution bactérienne et virale est souvent faible dans les eaux souterraines, du fait de la filtration de l'eau par le sol (Brière, 2012). Pour les eaux de dessalement, l'absence des germes recherchés est due à l'efficacité de traitement de chloration (Tableau12).

Tableau 12: présentation des résultats des analyses microbiologiques de la source de Tinekrempt et l'eau de dessalement de Chatt El Hilal.

	Source de Tinekrempt	Eau de dessalement de Chatt El Hilal	Normes algériennes
coliformes totaux (n/100ml)	Abs	Abs	20 pour eaux souterraines 0 pour eaux traitées
coliformes thermo-tolérants (<i>E.Coli</i>) (n/100ml)	Abs	Abs	20 pour les eaux souterraines 0 pour les eaux traitées
Entérocoques (n/100ml)	Abs	Abs	0
<i>Clostridium</i>-sulfito-réducteurs (n/100ml)	Abs	Abs	0

Salmonelles (abs dans 5000ml)	Abs	Abs	0
--	-----	-----	---

➤ **Abs** : absence.

Conclusion

Conclusion

L'eau constitue un élément essentiel pour l'organisme humain. Avant sa consommation il est important de vérifier ses caractéristiques. De cela, il faut faire une surveillance continue de sa qualité organoleptique, physico-chimique et microbiologique.

L'objectif principal de cette étude est l'évaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique de deux points d'approvisionnement de la ville de Beni-saf en eau potable notamment la source de Ténikrempt et l'eau dessalée issu de la station de dessalement de Chatt El Hilal (Beni-saf Water Company). Ce travail a été déroulé au niveau de laboratoire d'analyses de l'unité Algérienne Des Eaux (ADE).

Les résultats des analyses organoleptiques sur les deux sources d'approvisionnement ont révélés qu'il s'agit des eaux claires et limpides avec une absence totale de la couleur, d'odeur et de la saveur dans ces eaux.

En effet, pour les paramètres physico-chimiques, les deux échantillons d'eau analysée ont présentés des teneurs inférieures à celles prescrites dans le journal officiel, avec une forte dureté dans la source de Tenikrempt par apport à l'eau de dessalement mais qu'ils restent toujours en conformité avec les normes Algériennes.

Sur le plan bactériologique, la majorité des échantillons prélevés et analysés, ont montrée une absence totale des germes recherchés (coliformes totaux et thermo-tolérants, les enterocoques, les *clostridium* sulfito-réducteurs et les salmonelles), et qui peuvent nuire à la qualité de l'eau en question de sa potabilité, indiquant leurs conformité avec les normes Algériennes.

Aux termes de notre travail, nous pouvons conclure que les eaux contrôlées sont de bonne qualité physico-chimique et microbiologique, et peuvent être utilisées comme eaux potables.

A la lumière de cette étude, il convient ;

- ✓ d'approfondir ces résultats par des études complémentaires sur d'autres paramètres physico-chimiques non réalisée dans ce travail, comme les pesticides et les métaux lourds.
- ✓ Rechercher et identifier d'autres germes pathogènes contaminant l'eau.

Références bibliographiques

- Agudelo-Vera, C., Avvedimento, S., Boxall, J., Creaco, E., De Kater, H., Di Nardo, A., ...et Blokker, M. (2020).** Drinking water temperature around the globe: understanding, policies, challenges and opportunities. *Water*, 12(4), 1049.
- Ahmed, T., Zounemat-Kermani, M. et Scholz, M. (2020).** Climate Change, Water Quality and Water-Related Challenges: A Review with Focus on Pakistan. *International journal of environmental research and public health*, 17(22), 8518. <https://doi.org/10.3390/ijerph17228518>
- Akcaalan, R., Devesa-Garriga, R., Dietrich, A., Steinhaus, M., Dunkel, A., Mall, V., Manganelli, M., Scardala, S., Testai, E., Codd, G. A., Kozisek, F., Antonopoulou, M., Ribeiro, A. R. L., Sampaio, M. J., Hiskia, A., Triantis, T. M., Dionysiou, D. D., Puma, G. L., Lawton, L., ... et Kaloudis, T. (2022).** Water taste and odor (T&O) : Challenges, gaps and solutions from a perspective of the WaterTOP network. *Chemical Engineering Journal Advances*, 12, 100409. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.100409>
- Akhtar, N., Syakir Ishak, M. I., Bhawani, S. A. et Umar, K. (2021).** Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review. *Water*, 13(19), 2660.
- Ammar, E. E., Rady, H. A., Khattab, A. M., Amer, M. H., Mohamed, S. A., Elodamy, N. I., Al-Farga, A. et Aioub, A. A. A. (2023).** A comprehensive overview of eco-friendly bio-fertilizers extracted from living organisms. *Environmental science and pollution research international*, 30(53), 113119–113137. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30260-x>
- Anctil, F. (2016).** *L'eau et ses enjeux* (2e éd). Québec, Canada: PRESSES DE L'UNIVERSITÉ LAVAL.
- Anctil, F. (2017).** *L'eau et ses enjeux* (2e éd). Louvain-La-Neuve, Belgique: De Boeck supérieur.
- Arvin, E., Bardow, A. et Spliid, H. (2018).** Caries affected by calcium and fluoride in drinking water and family income. *Journal of water and health*, 16(1), 49–56. <https://doi.org/10.2166/wh.2017.139>
- Ayad, W et Kahoul, M. (2016).** Evaluation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de puits dans la région d'El-Harrouch (NE-Algérie) Assessment of physico-chemical and bacteriological quality of Well water in the region of El-Harrouch (NE-Algeria). *Journal of Materials and Environmental Science*, 7, 1288-1297.
- Banks, D., Midtgård, A. K., Frengstad, B., Krog, J. R. et Strand, T. (1998).** The chemistry of Norwegian groundwaters: II. The chemistry of 72 groundwaters from Quaternary sedimentary aquifers. *The Science of the total environment*, 222(1-2), 93–105. [https://doi.org/10.1016/s0048-9697\(98\)00292-7](https://doi.org/10.1016/s0048-9697(98)00292-7)
- Barrett, J. R. (2014).** Chemical contaminants in drinking water: where do we go from here?. *Environmental health perspectives*, 122(3), A80. <https://doi.org/10.1289/ehp.122-A80>

Références bibliographiques

Bartram, J et Ballance,R.(1996). *Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes.* London, Royaume-Uni: Taylor & Francis.

Bauer, W. J., Badoud, R et Löliger, J. (2010). *Science et technologie des aliments: principes de chimie des constituants et de technologie des procédés.* Lausanne, Suisse: Presses polytechniques et universitaires romandes.

Beaulieu, P et Fisset, B. (2009). Eau du robinet: une exigence de qualité. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 44(6), 294-301.

Bhalla,G., Bhalla,B., Kumar,V et Sharma,A.(2022). Bioremediation and phytoremediation of pesticides residues from contaminated water: a novel approach. Dans M.H. Dehghani, R.R. Karri and I. Anastopoulos (dir.), *Pesticides Remediation Technologies from Water and Wastewater*. Etats-Unis : Elsevier.

Bhattacharya, S.K et Sur, D. (2017). *Shigellosis.*Dans S.R. Quah (dir.), International Encyclopedia of Public Health (2e éd). Cambridge MA, États-Unis : Academic Press.

Billah, M. M et Rahman, M. S. (2024). *Salmonella* in the environment : A review on ecology, antimicrobial resistance, seafood contaminations, and human health implications. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 13, 100407.<https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100407>

Boeglin, J. C. (2000). *Contrôle des eaux douces et de consommation humaine.* France : Editions Techniques Ingénieur.

Bourrié, G. (2018). *Les sols au coeur de la zone critique 3 : Circulation de l'eau* . Royaume-Uni : ISTE Editions

Bouziani, M. (2000). *L'eau: de la pénurie aux maladies.* Tlemcen, Algérie: Editions Ibn-Khaldoun.

Brenniman, G.R. (1999). Water-borne diseases. In: Environmental Geology. Encyclopedia of Earth Science.Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-4494-1_359

Brière, F. G. (2012). *Distribution et collecte des eaux* (3é ed). Québec,Canada: Presses internationales polytechnique.

Britto, F. B., Vasco, A. N. D., Aguiar Netto, A. D. O., Garcia, C. A. B., Moraes, G. F. O., et Silva, M. G. D. (2018). Surface water quality assessment of the main tributaries in the lower São Francisco River, Sergipe. *RBRH*, 23, e28.

Boyd, C. E. (2019). *Water Quality: An Introduction* (3e éd.). Allemagne: Springer International Publishing.

Références bibliographiques

- Cabral, J.P. (2010).** Microbiologie de l'eau. Agents pathogènes bactériens et eau. *Revue internationale de recherche environnementale et de santé publique*, 7 (10), 3657-3703. <https://doi.org/10.3390/ijerph7103657>
- Calderon R. L. (2000).** The epidemiology of chemical contaminants of drinking water. *Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association*, 38(1 Suppl), S13–S20. [https://doi.org/10.1016/s0278-6915\(99\)00133-7](https://doi.org/10.1016/s0278-6915(99)00133-7)
- Capodaglio, A. G. (2021).** Fit-for-purpose urban wastewater reuse: Analysis of issues and available technologies for sustainable multiple barrier approaches. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(15), 1619-1666.
- Chan, W. S., Routh, J., Luo, C., Dario, M., Miao, Y., Luo, D. et Wei, L. (2021).** Metal accumulations in aquatic organisms and health risks in an acid mine-affected site in South China. *Environmental geochemistry and health*, 43(11), 4415–4440. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00923-0>
- Chaves Hernández, A. J. (2014). Poultry and Avian Diseases. Dans N. K. Van Alfen (dir.),** *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. Cambridge MA, Etats-Unis: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00183-2>
- Cisse, O. (2012). Les décharges d'ordures en Afrique. Mbeubeuss à Dakar au Sénégal. Dakar, Sénégal : Editions KARTHALA et IAGU.
- Chevallier, T. (2024).** *Sciences et technologie - CRPE*. Paris, France: Editions Ellipses.
- Chhabra, R. (2022).** *Salt-affected Soils and Marginal Waters: Global Perspectives and Sustainable Management*. Cham, Suisse: Springer International Publishing.
- Chowdhary, P., Bharagava, R. N., Mishra, S et Khan, N. (2020).** Role of industries in water scarcity and its adverse effects on environment and human health. Dans V. Shukla et N. Kumar (dir.), *Environmental Concerns and Sustainable Development : Air, Water and Energy Resources* (V.1). Gateway-East, Singapore: Springer Singapore.
- Cioffi, B., Ianiro, G., Iaccarino, D., D'Apice, F., Ferraro, A., Race, M., ... et Fusco, G. (2021).** A potential risk assessment tool to monitor pathogens circulation in coastal waters. *Environmental Research*, 200, 111748.
- Connell, D. W., Miller, G. J. (2022).** *Chemistry and Toxicology of Pollution: Ecological and Human Health* (2e éd) . Hoboken, Etats-Unis: John Wiley & Sons.
- Craun, G. F., Berger, P. S. et Calderon, R. L. (1997).** Coliform bacteria and waterborne disease outbreaks. *Journal-American Water Works Association*, 89(3), 96-104.
- Desjardins, R. (1997).** *Le traitement des eaux*. Québec, Canada: Presses internationales Polytechnique.

- De Zuane, J. (1997).** *Handbook of Drinking Water Quality*. New-York, Etats-Unis: Wiley&Sons .
- Dhal, A. K., Panda, C., Yun, S. I. et Mahapatra, R. K. (2022).** An update on *Cryptosporidium* biology and therapeutic avenues. *Journal of parasitic diseases : official organ of the Indian Society for Parasitology*, 46(3), 923–939. <https://doi.org/10.1007/s12639-022-01510-5>
- Dinka, M.O. (2018).** **Safe Drinking Water:** Concepts, Benefits, Principles and Standards. Dans M.Glavan (dir.), *Water Challenges of an Urbanizing World*. Rijeka, Croatia: Intech.
- Drasovean, R., Murariu, G., Drasovean, R. et Murariu, G. (2021).** Water Quality Parameters and Monitoring Soft Surface Water Quality Using Statistical Approaches. Dans I.A.Moujдин and J. K.Summers (dir.), *Promising Techniques for Wastewater Treatment and Water Quality Assessment*. Rijeka, Croatia: IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97372>
- Du, C et Webb, C. (2011).** **Engineering Fundamentals of Biotechnology.** Dans *Comprehensive Biotechnology* (2e éd). Elsevier
- Eden, R. (2014).** ENTEROBACTERIACEAE, COLIFORMS AND E. COLI : Classical and Modern Methods for Detection and Enumeration. Dans C. A. Batt et M. L. Tortorello (dir.), *Encyclopedia of Food Microbiology* (2e éd) .Cambridge Ma, Etats-Unis: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00097-5>
- Figueras, M. J. et Borrego, J. J. (2010).** New perspectives in monitoring drinking water microbial quality. *International journal of environmental research and public health*, 7(12), 4179-4202.
- Fišer, C., Brancelj, A., Yoshizawa, M., Mammola, S. et Fišer, Z. (2023).** Biological traits in groundwater. Dans F. Malard, C. Griebler et S. Rétaux, S (dir.), *Groundwater Ecology and Evolution*. Pays-Bas: Elsevier Academic Press.
- Garreau, P., Gariépy, 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
- Glodowska, M., Ma, Y., Smith, G., Kappler, A., Jetten, M., & Welte, C. U. (2023).** Nitrate leaching and its implication for Fe and As mobility in a Southeast Asian aquifer. *FEMS Microbiology Ecology*, 99(4), fiad025.
- Goel, D., Maurya, V.K, et Kumar, S. (2023).** Role of microorganism in polluted water treatment. Dans L. Morales-Oyervides, J.S. Chauhan, R.Soni et D.C. Suyal (dir.), *Current Status of Fresh Water Microbiology*. Singapore : Springer Nature Singapore.
- Hare, L. (2013).** **Trophic transfer of trace elements.** *Encyclopedia of aquatic ecotoxicology*, 1171-76.

Références bibliographiques

Hartemann, P. (2013). Eau de consommation, risque, santé. *Sciences Eaux & Territoires*, 10, 14-21. <https://doi.org/10.3917/set.010.0004>

Hollingshead, C. M., Swinkels, H. M., & Shah, S. U. (2024). Ebola Virus Disease. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.

Hugbo, E. A., Kumburu, H. H., Thomas, K., Lukumbagire, A. S., Wadugu, B., Amani, N., Kinabo, G., Hald, T. et Mmbaga, B. T. (2024). High diversity of *Salmonella* spp. from children with diarrhea, food, and environmental sources in Kilimanjaro - Tanzania: one health approach. *Frontiers in microbiology*, 14, 1277019. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1277019>

Hussain, Q.A.(2019). Bacteria: the natural indicator of environmental pollution. Dans S.A. Bandh, S. Shafi et N. Shameem(dir.), *Freshwater Microbiology Perspectives of Bacterial Dynamics in Lake Ecosystems*. Cambridge MA, Etats-Unis: Academic Press

Islam, F., Lian, Q., Ahmad, Z. U., Zappi, M. E., Yao, L. et Gang, D. D. (2018). Nonpoint source pollution. *Water Environment Research*, 90(10), 1872-1898.

Jain, C. K., & Singh, S. (2019). Best management practices for agricultural nonpoint source pollution : Policy interventions and way forward. *World Water Policy*, 5(2), 207-228. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12015>

ISO 6059.(1984). Qualité de l'eau — Dosage de la somme du calcium et du magnésium — Méthode titrimétrique à l'EDTA.

ISO 6058.(1984). Qualité de l'eau – Dosage du calcium – Méthode titrimétrique à l'EDTA.

ISO 677.(1984). Qualité de l'eau — Dosage des nitrites — Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.

ISO 7150-1.(1984).Qualité de l'eau — Dosage de l'ammonium.Partie 1: Méthode spectrométrique manuelle.

ISO 7888.(1985). Qualité de l'eau — Détermination de la conductivité électrique.

ISO 6332.(1988). Qualité de l'eau — Dosage du fer — Méthode spectrométrique à la phénanthroline-1,10.

ISO 7890-3.(1988). Qualité de l'eau — Dosage des nitrates- Partie 3: Méthode spectrométrique avec l'acide sulfosalicylique.

ISO 929.(1989). Qualité de l'eau — Dosage des chlorures — Titrage au nitrate d'argent avec du chromate comme indicateur (Méthode de Mohr).

Références bibliographiques

ISO 6461-2. (1993). Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des spores de micro-organismes anaérobies sulfito-réducteurs (clostridia). Partie 2. Méthode par filtration sur membrane.

ISO 8467.(1993). Qualité de l'eau — Détermination de l'indice de permanganate.

ISO 9963.(1994).Qualité de l'eau — Détermination de l'alcalinité.

ISO 7887.(1995).Qualité de l'eau – Examen et détermination de la couleur. Janvier 1995 (Indice de classement T 90-034).

ISO 7899-2.(2000). Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux – Partie 2 : méthode par filtration sur membrane.

ISO 9308-1.(2000). Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries coliformes – Partie 1 : méthode générale par filtration sur membranes.

ISO 5667.(2004). Qualité de l'eau – échantillonnage.

ISO 22743.(2006). Qualité de l'eau — Dosage des sulfates — Méthode par analyse en flux continu (CFA).

ISO 7027.(2007). Qualité de l'eau – détermination de la turbidité. Mars 2007 (Indice de classement : T-90-033).

ISO 10523.(2008). Qualité de l'eau — Détermination du pH.

ISO 19250.(2010). Qualité de l'eau — Recherche de *Salmonella* spp.

ISO 7393-2.(2017). Qualité de l'eau — Dosage du chlore libre et du chlore total — Partie 2: Méthode colorimétrique à la N,N-dialkylphénylène-1,4 diamine destinée aux contrôles de routine

Jooste, P.J., Anelich,L et Motarjemi,Y.(2014).Foods, Materials, Technologies and Risks.dans Y. Motarjemi (dir.), *Encyclopedia of Food Safety* (V.1).Waltham, Etats-Unis: Elsevier

JORA, (2011). Décret exécutif n° 11-125, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers: Bir -Mourad Raïs, Alger, Algérie, p25.

Juncal, M. J. L ., Masino, P., Bertone, E. et Stewart, R. A. (2023). Towards nutrient neutrality: A review of agricultural runoff mitigation strategies and the development of a decision-making framework. *Science of the Total Environment*, 874, 162408.

Références bibliographiques

- Karim, K. , Guha, S. and Beni, R. (2020)** . Radioactive Contaminants in U.S. Drinking Water and Water Quality Disparities. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8(11), 238-251.<https://doi.org/10.4236/gep.2020.811016>
- Khatri, N. et Tyagi, S. (2015)**. Influences des facteurs naturels et anthropiques sur la qualité des eaux de surface et souterraines dans les zones rurales et urbaines. *Frontières des sciences de la vie* , 8 (1), 23-39. <https://doi.org/10.1080/21553769.2014.933716>
- Kherifi, W. et Bekiri, F. (2017)**. Les maladies à transmission hydrique en Algérie. *Journal Algérien des Régions Arides*, 14.
- Khodja,M.N.(2016)**. *Population, santé et environnement en Algérie*. Saarbrücken, Allemagne : Editions-ue
- Kristanti, R. A., Hadibarata, T., Syafrudin, M., Yılmaz, M., & Abdullah, S. (2022)**.Microbiological contaminants in drinking water: Current status and challenges. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(8), 299.
- Kroeze, C., Gabbert, S., Hofstra, N., Koelmans, A. A., Li, A., Löhr, A., Ludwig, F., Strokal, M., Verburg, C., Vermeulen, L., van Vliet, M. T., de Vries, W., Wang, M. et van Wijnen, J. (2016)**. Global modelling of surface water quality : A multi-pollutant approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 23, 35-45.<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.014>
- Kumar, N., Kumar, A., Marwein, B. M., Verma, D. K et Jayabalan, I. (2021)**. Agricultural activities causing water pollution and its mitigation—A review. *International Journal of Modern Agriculture*, 10(1), 590-609.
- Kupich,I et Madela, M. (2020)**. Sorption as effective and economical method of waterborne pathogens removal.Dans M. N.Vara Prasad et A.Grobelak (dir.),*Waterborne Pathogens : Detection and Treatment*. Oxford, Royaume-Unis : Butterworth-Heinemann
- Kuramae, E. E., Dimitrov, M. R., da Silva, G. H. R., Lucheta, A. R., Mendes, L. W., Luz, R. L., Vet, L. E. M. et Fernandes, T. V. (2020)**. On-Site Blackwater Treatment Fosters Microbial Groups and Functions to Efficiently and Robustly Recover Carbon and Nutrients. *Microorganisms*, 9(1), 75. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010075>
- Lapeyssonnie, L. (1970)**. *Éléments d'hygiène et de santé publique sous les Tropiques* (2e éd). Paris, France : Gauthier-Villars.
- Leclerc, H. D. A. A., Mossel, D. A. A., Edberg, S. C. et Struijk, C. B. (2001)**. Advances in the bacteriology of the coliform group: their suitability as markers of microbial water safety. *Annual Reviews in Microbiology*, 55(1), 201-234
- Lehninger, A. L., Nelson, D. L et Cox, M. M. (2008)**. *Lehninger principles of biochemistry* (5e éd). Royaume-Uni: W. H. Freeman et Co.

Références bibliographiques

- Li, D et Liu, S. (2019).** *Water Quality Monitoring in Aquaculture*. Dans D. Li et S. Liu (dir.), *Water Quality Monitoring and Management : Basis, Technology and Case Studies*. Cambridge Ma, Etats-Unis: Academic Press.
- Li, E., Saleem, F., Edge, T. A. et Schellhorn, H. E. (2021).** Biological indicators for fecal pollution detection and source tracking: A review. *Processes*, 9(11), 2058.
- Lin, J. et Ganesh, A. (2013).** Water quality indicators: bacteria, coliphages, enteric viruses. *International journal of environmental health research*, 23(6), 484-506.
- Liu, D. H. F et Liptak, B. G. (2000).** *Groundwater and Surface Water Pollution*. Florida, Etats-Unis : CRC-Press.
- Liu, H., Whitehouse, C. A. et Li, B. (2018).** Presence and Persistence of *Salmonella* in Water: The Impact on Microbial Quality of Water and Food Safety. *Frontiers in public health*, 6, 159. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00159>
- Liu, J., Yang, F., Cai, Y., Lu, G., Li, Y., Li, M., Fan, L. et Gao, L. (2023).** Unveiling the existence and ecological hazards of trace organic pollutants in wastewater treatment plant effluents across China. *Eco-Environment & Health*, 3(1), 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2023.09.006>
- Lugo, J. L., Lugo, E. R. et Puente, M. D. L. (2021).** A systematic review of microorganisms as indicators of recreational water quality in natural and drinking water systems. *Journal of Water and Health*, 19(1), 20-28.
- Lunestad, B. T., Levsen, A. et Rosnes, J. T. (2011).** Tracing pathogens in fish production chains. Dans S. Brul, P. M. Fratamico, et T. A. McMeekin (dir.), *Tracing Pathogens in the Food Chain* (p. 433-464). Sawston, Royaume-Uni :Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857090508.4.433>
- Lv, Y., Gu, S. Z. et Guo, D. M. (2010).** Valuing environmental externalities from rice–wheat farming in the lower reaches of the Yangtze River. *Ecological Economics*, 69(7), 1436-1442.
- Machu, Éric, Brochier, T., Capet, X., Ndoya, S., Sidiki Ba, I. et Descroix, L. (2023).**..Pollutions dans un monde liquide. Dans M. Bonnin et S. Lanco Bertrand (dir.), *Planification spatiale marine en Atlantique tropicale* (1-). Marseille, France : IRD Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.44554>
- Maharjan, B. , Pachel, K. et Loigu, E. (2017).** Modélisation du ruissellement des eaux pluviales, de leur qualité et des charges polluantes dans les grands bassins versants urbains . *Actes de l'Académie estonienne des sciences* , 66 (3), 225 – 242 .<https://doi.org/10.3176/proc.2017.3.02>
- Maheux, A. F., Boudreau, D. K., Bisson, M. A., Dion-Dupont, V., Bouchard, S., Nkuranga, M., Bergeron, M. G. et Rodriguez, M. J. (2014).** Molecular method for

detection of total coliforms in drinking water samples. *Applied and environmental microbiology*, 80(14), 4074–4084. <https://doi.org/10.1128/AEM.00546-14>

Manetu, W. M. et Karanja, A. M. (2021). Waterborne Disease Risk Factors and Intervention Practices : A Review. *Open Access Library Journal*, 8(5).

<https://doi.org/10.4236/oalib.1107401>

Marcheggiani, S., Iaconelli, M., D'angelo, A., Pierdominici, E., La Rosa, G., Muscillo, M., Equestre, M., et Mancini, L. (2008). Microbiological and 16S rRNA analysis of sulphite-reducing clostridia from river sediments in central Italy. *BMC microbiology*, 8, 171. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-8-171>

Masiello, S. N., Martin, N. H., Trmčić, A., Wiedmann, M. et Boor, K. J. (2016). Identification and characterization of psychrotolerant coliform bacteria isolated from pasteurized fluid milk. *Journal of Dairy Science*, 99(1), 130-140.

Mazumder, D. (2023). Study of Wastewater treatments in Hindustan Coca-Cola plant of Khurda. Dans S. Samita et B. K. Dudam (dir.), *Sustainable Advanced Technologies for Industrial Pollution Control: Proceedings of ATIPC 2022*. Cham, Suisse : Springer Nature Switzerland.

Melquiot, P. (2003). *1.001 mots et abréviations de l'environnement et du développement durable*. Lyon, France: Edition Recyconsult.

Meng, S., Wang, E. (2023). Water: Basic Science. Allemagne: Springer Nature Singapore.

Millot, C. (2015). La molécule d'eau et la liaison hydrogène. Dans A. Euzen, C. Jeandel et R. Mosseri (dir.), *L'eau à découvert*. Paris, France : CNRS Éditions.

doi :10.4000/books.editions-cnrs.9795

Mir, AA , Kapoor, K. et Parray, JA (2017). Charge polluante du ruissellement des autoroutes : implications et mesures de contrôle en référence au Jammu-et-Cachemire, Inde . *Journal international des dernières recherches en science et technologie* , 6 (4), 30 – 34 .

Misra, P. et Paunikar, V. M. (2023). Healthy Drinking Water as a Necessity in Developing Countries Like India: A Narrative review. *Cureus*, 15(10), e47247.

<https://doi.org/10.7759/cureus.47247>

Mohan, D., Sarswat, A., Ok, Y. S. et Pittman, C. U., Jr (2014). Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent--a critical review. *Bioresource technology*, 160, 191–202.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.120>

Morel, J.(2007). Les ressources en eau sur Terre : origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique – un tour d’horizon de la littérature. Laboratoire d’économie de la production et de l’intégration internationale. France.

Muhangane, L., Nkurunungi, J. B., Yatuha, J. et Andama, M. (2017). Suitability of Drinking Water Sources from Nyaruzinga Wetland for Domestic Use in Bushenyi Municipality, Uganda. *Journal of Water Resource and Protection*, 9(13), Article 13.
<https://doi.org/10.4236/jwarp.2017.913100>

Mukhopadhyay, B., Sur, D., Gupta, S. S. et Ganguly, N. K. (2019). Typhoid fever: Control & challenges in India. *The Indian journal of medical research*, 150(5), 437–447.
https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_411_18

Muralikrishna, L. et Sandeep, G. P. (2024). Unveiling the agricultural system’s water pollution perils : A study in Thrissur and Palakkad districts of Kerala, India. *International Journal of Agriculture Extension and Social Development*, 7(4), 374-376. <https://doi.org/10.33545/26180723.2024.v7.i4e.549>

Musie, W. et Gonfa, G. (2023). Fresh water resource, scarcity, water salinity challenges and possible remedies: A review. *Heliyon*, 9(8), e18685. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18685>

Musy, A., Higy, C. (2004). *Hydrologie: Une science de la nature*. Suisse: Presses polytechniques et universitaires romandes

Muyzer, G. et Stams, A. J. (2008). The ecology and biotechnology of sulphate-reducing bacteria. *Nature reviews. Microbiology*, 6(6), 441–454. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1892>

Nadini, N. (2021). *Environmental Education* (1e éd). Gaujarat, Inde : Krishna Publication House.

Naidoo, S. et Olaniran, A. O. (2013). Treated wastewater effluent as a source of microbial pollution of surface water resources. *International journal of environmental research and public health*, 11(1), 249–270. <https://doi.org/10.3390/ijerph110100249>

Nagy, N. M et Konya, J. (2009). *Interfacial Chemistry of Rocks and Soils*. Florida, Etats-Unis : CRC Press.

Nawaz, R., Nasim, I., Irfan, A., Islam, A., Naeem, A., Ghani, N., Irshad, M. A., Latif, M., Nisa, B. U. et Ullah, R. (2023). Water Quality Index and Human Health Risk Assessment of Drinking Water in Selected Urban Areas of a Mega City. *Toxics*, 11(7), 577. <https://doi.org/10.3390/toxics11070577>

Références bibliographiques

- Ngowi, H. A. (2020).** Prevalence and pattern of waterborne parasitic infections in eastern Africa: A systematic scoping review. *Food and waterborne parasitology*, 20, e00089.<https://doi.org/10.1016/j.fawpar.2020.e00089>.
- NF T90-015-2.(2000).** Qualité de l'eau – Dosage de l'ammonium – Partie 2 : méthode spectrométrique au bleu d'indophénol.
- NF EN 1622.(2006).** Détermination du seuil d'odeur (TON) et du seuil de flaveur (TFN). Indice de classement T 90-035.
- Olivier,M.(2020).***Chimie de l'environnement* .Québec,Canada: Lab Éditions.
- OMS.(2006).***Guidelines for drinking-water quality*. Genève, Suisse: World Health Organization (WHO).
- OMS ,(2011).** *Guidelines for Drinking-Water Quality* (4e éd). Genève, Suisse: World Health Organization.
- OMS.(2014).** *Water Quality and Health.Drinking water chlorination – A review of disinfection practices and issues*. Suisse:World Health Organization.
- OMS.(2017).** *Guidelines for drinking-water quality* (4e éd).Genève, Suisse : World Health Organization.
- OMS.(2022).***Guidelines for drinking-water quality incorporating the 1st addendum* (4e éd).Suisse : World Health Organization.
- Opoku-Kwanowaa, Y., Furaha, R. K., Yan, L. et Wei, D. (2020).** Effects of planting field on groundwater and surface water pollution in China. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 48(5-6), 1900452.
- Orellana, G., Darder, M. del M., & Quílez-Alburquerque, J. (2023).** Luminescence-Based Sensors for Water Quality Analysis.In R. Narayan (Éd.), *Encyclopedia of Sensors and Biosensors (First Edition)* (p. 599-613).Elsevier.<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822548-6.00116-3>
- Park, M. J., Park, J. Y., Shin, H. J., Lee, M. S., Park, G. A., Jung, I. K. et Kim, S. J. (2010).** Projection of future climate change impacts on nonpoint source pollution loads for a forest dominant dam watershed by reflecting future vegetation canopy in a Soil and Water Assessment Tool model. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 61(8), 1975–1986.<https://doi.org/10.2166/wst.2010.109>
- Parris, K. (2014).** Impact of agriculture on water pollution in OECD countries: recent trends and future prospects. *Water Quality Management*, 33-52.

- Perveen, S. et Amar-Ul-Haque (2023).** Drinking water quality monitoring, assessment and management in Pakistan: A review. *Heliyon*, 9(3), e13872.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13872>
- Perera, I.C ., De Alwis , K.A.G et Lyanage P.I.T.(2023).** Role of microorganism in polluted water treatment. Dans L. Morales-Oyervides, J.S. Chauhan, R.Soni et D.C. Soyal (dir.), *Current Status of Fresh Water Microbiology*. Allemagne: Springer Nature Singapore.
- Porta, M., Pumarega, J., Gasull, M. et Lopez, T. (2014).** Contamination from endocrine disruptors of the general population at low and high concentrations. *Vitamins & Hormones*, 94, 167-192.
- Postigo, C., Martinez, D. E., Grondona, S. et Miglioranza, K. S. B. (2018).** Groundwater pollution: sources, mechanisms, and prevention. Dans D. A. Dellasala et M.I. Goldstein (dir.), *Encyclopedia of the Anthropocene* (V.1). Waltham MA, Etats-Unis: Elsevier
- Pradhan, S. S., Gowda, G. B., Adak, T., Guru-Pirasanna-Pandi, G., Patil, N. B., Annamalai, M., ... Rath, P. C. (2022).** Pesticides Occurrence in Water Sources and Decontamination Techniques. Dans M. L. Larramendy et S.Soloneski (dir.), *Pesticides—Updates on Toxicity, Efficacy and Risk Assessment*. London, Royaume-Unis: IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.103812>
- Price, R.G et Wildeboer, D. (2017).** E. coli as an Indicator of Contamination and Health Risk in Environmental Waters. Dans A. Samie (dir.), *Escherichia coli - Recent Advances on Physiology, Pathogenesis and Biotechnological Applications*. Rijeka, Croatia: Intech
- Prior, S. (2023).** Oil Spills. Dans F. Obaidullah (dir.), *The Ocean and Us*. Cham, Suisse: Springer International Publishing.
- Ramírez-Castillo, F. Y., Loera-Muro, A., Jacques, M., Garneau, P., Avelar-González, F. J., Harel, J. et Guerrero-Barrera, A. L. (2015).** Waterborne pathogens: detection methods and challenges. *Pathogens (Basel, Switzerland)*, 4(2), 307–334.
<https://doi.org/10.3390/pathogens4020307>
- Rey-Romero, D. C., Domínguez, I. et Oviedo-Ocaña, E. R. (2022).** Effect of agricultural activities on surface water quality from páramo ecosystems. *Environmental science and pollution research international*, 29(55), 83169–83190. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21709-6>
- Richiardi, L., Pignata, C., Fea, E., Bonetta, S., et Carraro, E. (2023).** Are indicator microorganisms predictive of pathogens in water?. *Water*, 15(16), 2964..
- Rissman, A. R. et Carpenter, S. R. (2015).** Progress on nonpoint pollution: barriers & opportunities. *Daedalus*, 144(3), 35-47.
- Rochelle-Newall, E., Nguyen, T. M., Le, T. P., Sengtaheuanghoung, O., & Ribolzi, O. (2015).** A short review of fecal indicator bacteria in tropical aquatic ecosystems: knowledge

gaps and future directions. *Frontiers in microbiology*, 6, 308.

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00308>

Rodier, J., Legube, B et Merlet, N. (2009). *L'analyse de l'eau* (9e éd). Malakoff, France: Dunod.

Safari, D., Mulongo, G. et Tumwesigye, W. (2012). Impact of human activities on the quality of water in nyaruzinga wetland of bushenyi district-Uganda. International Science Congress Association

Saidon, N. B., Szabó, R., Budai, P. et Lehel, J. (2024). Trophic transfer and biomagnification potential of environmental contaminants (heavy metals) in aquatic ecosystems. *Environmental pollution*, 340, 122815.

Samreen., Khan, M.S.A et Ahmad, I. (2023). Pathogenic biofilms in environment and industrial setups and impact on human health. Dans S.Das et N.A.Kungwani (dir.), *Understanding Microbial Biofilms Fundamentals to Applications*. Cambridge MA, Etats-Unis : Academic Press.

Salihu, C., Mohandes, S. R., Kineber, A. F., Hosseini, M. R., Elghaish, F., & Zayed, T. (2023). A Deterioration Model for Sewer Pipes Using CCTV and Artificial Intelligence. *Buildings*, 13(4), 952.

Salvato, J.A.(1992). *Environmental Engineering and Sanitation*. New Jersey, Etats-Unis : John Wiley & Sons

Sathya, K., Nagarajan, K., Carlin Geor Malar, G., Rajalakshmi, S. et Raja Lakshmi, P. (2022). A comprehensive review on comparison among effluent treatment methods and modern methods of treatment of industrial wastewater effluent from different sources. *Applied Water Science*, 12(4), 70.

Schrivier-Mazzuoli, L. (2012). La gestion durable de l'eau: ressources, qualité, organisation. France: Dunod.

Shah, A., Arjunan, A., Baroutaji, A. et Zakharova, J. (2023). A review of physicochemical and biological contaminants in drinking water and their impacts on human health. *Water Science and Engineering*.

Sharma, A et Pankaj.(2018). *Microbial Biotechnology in Environmental Monitoring and Cleanup*. Harsey PA, États-Unis: IGI Global.

Sharma, S et Bhattacharya, A. J. A. W. S. (2017). Drinking water contamination and treatment techniques. *Applied water science*, 7(3), 1043-1067. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0455-7>

Références bibliographiques

Shaw, S. A., Al, T. A. Et MacQuarrie, K. T. (2006). Mercury mobility in unsaturated gold mine tailings, Murray Brook mine, New Brunswick, Canada. *Applied Geochemistry*, 21(11), 1986-1998. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.08.009>

Shayo, G. M., Elimbinzi, E., Shao, G. N. et Fabian, C. (2023). Severity of waterborne diseases in developing countries and the effectiveness of ceramic filters for improving water quality. *Bulletin of the National Research Centre*, 47(1), 113. <https://doi.org/10.1186/s42269-023-01088-9>

Shen, C. et Zhang, Y. (2022). Total plate counts & coliform counts of pond water. Dans C. Shen et Y. Zhang (dir.), *Introductory Microbiology Lab Skills and Techniques in Food Science*. Cambridge MA, Etats-Unis: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821678-1.00003-4>

Shin, E. C. et Jeong, S. H. (2018). Natural History, Clinical Manifestations, and Pathogenesis of Hepatitis A. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 8(9), a031708. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a031708>

Schwartz, F. W et Zhang, H. (2024). *Fundamentals of Groundwater* (2e éd) . Royaume-Uni: Wiley.

Segarra J., Chauvet E., Colson-Proch C., Huille M., Labrousse M., Louet F., Metz F et Piètre E. (2013). *Biologie BCPST1*. Paris, France : Editions Ellipses.

Sidana, N., Kaur, H et Devi, P. (2020). Organic linkers for colorimetric detection of inorganic water pollutants. Dans P. Devi, P. Singh et S. K. Kansal (dir.), *Inorganic pollutant in water*. Inde : Elsevier Publisher Print.

Silva, J. A. (2023). Wastewater treatment and reuse for sustainable water resources management: a systematic literature review. *Sustainability*, 15(14), 10940.

Spellman, F. R. (2007). *The Science of Water: Concepts and Applications*, (2e éd). Florida, Etats-Unis: CRC Press.

Speight, J.G. (2020). *Natural Water Remediation : Chemistry and Technology*. Oxford, Royaume-Unis: Butterworth-Heinemann

Sridhar, D et Parimalarenganayaki, S. (2024). A Comprehensive Review on Groundwater Contamination Due to Sewer Leakage: Sources, Detection Techniques, Health Impacts, Mitigation Methods. *Water, Air, & Soil Pollution*, 235(1), 56.

Swarup, R., Mishra, S. N et Jauhari, V. P. (1992). *Environmental Water Pollution And Its Control*. New-Delhi, Inde : Mittal Publication.

- Takci, H. A. M., Ozdenefe, M. S., Kayis, F. B., Dincer, S., Takci, H. A. M., Ozdenefe, M. S., Dincer, S. et Kayis, F. B. (2023).** Bacteriological Perspective of Water Quality. Dans H. A. M. Takci, M.S.Ozdenefe, F. B. Kayis et S.Dincer (dir.), *Water Quality—New Perspectives*. Rijeka, Croatia: IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.112874>
- Tallon, P., Magajna, B., Lofranco, C. et Leung, K. T. (2005).** Microbial indicators of faecal contamination in water: a current perspective. *Water, air, and soil pollution*, 166, 139-166.
- Talpur, H. A., Talpur, S. A., Mahar, A., Rosatelli, G., Baloch, M. Y. J., Ahmed, A. et Khan, A. H. A. (2024).** Investigating drinking water quality, microbial pollution, and potential health risks in selected schools of Badin city, Pakistan. *HydroResearch*, 7, 248-256.
- Testa, G., Persichetti, G. et Bernini, R. (2022).** Optical spectroscopy for on line water monitoring. In *Instrumentation and Measurement Technologies for Water Cycle Management* (pp. 165-188). Cham: Springer International Publishing
- Tir, E., BOUNOUIRA, Y., & CHEDAD, A. (2017).**PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL QUALITY OF WATER FROM THE SOURCES OF THE COMMUNITY OF TISSEMSILT" CASE OF AIN LOURA AND AIN SFA". *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (29), 111-119.
- Todd,E.C.D.(2014).** History, Science and Methods. Dans Y.Motarjemi (dir.), *Encyclopedia of Food Safety*. Cambridge MA, Etats-unis:Academic Press.
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P. et Dobhal, R. (2013).** Water quality assessment in terms of water quality index. *American Journal of water resources*, 1(3), 34-38.
- Tyagi, R.(2020).** *Water Pollution & Treatment (Sugar Industries)*.Uttar Pradesh, Inde: BlueRose Publishers.
- UNESCO.(2022).***Eaux souterraines : rendre visible l'invisible*. Paris, France: UNESCO.
- Upadhyayula, V. K., Deng, S., Mitchell, M. C. et Smith, G. B. (2009).** Application of carbon nanotube technology for removal of contaminants in drinking water: a review. *Science of the total environment*, 408(1), 1-13.
- Üstüntürk-Onan, M., Tüccar, T., & Ilhan-Sungur, E. (2024).**Occurrence of sulfate-reducing bacteria in well water: identification of anaerobic sulfidogenic bacterial enrichment cultures. *Journal of Water and Health*, 22(4), 746-756.
- Van de Walle, A., Kim, M., Alam, M. K., Wang, X., Wu, D., Dash, S. R., ... et Kim, J. (2023).** Greywater reuse as a key enabler for improving urban wastewater management. *Environmental science and ecotechnology*, 100277.
- Viasus, D., Gaia, V., Manzur-Barbur, C. et Carratalà, J. (2022).** Legionnaires' Disease: Update on Diagnosis and Treatment. *Infectious diseases and therapy*, 11(3), 973–986.<https://doi.org/10.1007/s40121-022-00635-7>

- Vitoria, I., Maraver, F., Ferreira-Pêgo, C., Armijo, F., Moreno Aznar, L. et Salas-Salvadó, J. (2014).** The calcium concentration of public drinking waters and bottled mineral waters in Spain and its contribution to satisfying nutritional needs. *Nutricion hospitalaria*, 30(1), 188–199. <https://doi.org/10.3305/nh.2014.30.1>.
- Verma, P.S et Agarwal V.K. (2016).** Science for Ninth Class Part 1 Biology. New-Delhi, Inde : S. Chand Publishing.
- Waideman, M. A., Teixeira, V. P., Uemura, E. H., Stamford, T. M., Leal, D. A. G., Stangarlin-Fiori, L., ... et Beux, M. R. (2020).** Enterococci used as complementary indicator of fecal contamination to assess water quality from public schools in the city of Curitiba, Paraná, Brazil. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, e2019155.
- Wamyil, J. F., Chukwuanugo Nkemakonam, O., Adewale, O. S., Nabona, J., Ntulume, I., et Wamyil, F. B. (2023).** Microbiological quality of water samples obtained from water sources in Ishaka, Uganda. *SAGE Open Medicine*, 11, 20503121231194239. <https://doi.org/10.1177/20503121231194239>
- Wang, W., Liu, X., Wang, Y., Guo, X. et Lu, S. (2016).** Analysis of point source pollution and water environmental quality variation trends in the Nansi Lake basin from 2002 to 2012. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 4886-4897.
- Wang, W., Liu, X., Wang, Y., Guo, X. et Lu, S. (2016).** Analysis of point source pollution and water environmental quality variation trends in the Nansi Lake basin from 2002 to 2012. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 4886-4897.
- Warren-Vega, W. M., Campos-Rodríguez, A., Zárate-Guzmán, A. I. et Romero-Cano, L. A. (2023).** A Current Review of Water Pollutants in American Continent: Trends and Perspectives in Detection, Health Risks, and Treatment Technologies. *International journal of environmental research and public health*, 20(5), 4499. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054499>
- Wen, X., Chen, F., Lin, Y., Zhu, H., Yuan, F., Kuang, D., ... et Yuan, Z. (2020).** Microbial indicators and their use for monitoring drinking water quality—A review. *Sustainability*, 12(6), 2249.
- Weiner, R et Matthews, R. (2003).** *Environmental Engineering*. Brington, Etats - Unis: Butterworth-Heinemann Elsevier Ltd.
- Weng, M., Zhang, X., Li, P., Liu, H., Liu, Q. Et Wang, Y. (2024).** Exploring the Impact of Land Use Scales on Water Quality Based on the Random Forest Model: A Case Study of the Shaying River Basin, China. *Water*, 16(3), 420.
- Wilhelm, F.M.(2009).** Pollution of Aquatic Ecosystems I . Dans G. E. Likens (dir.), *Encyclopedia of Inland Waters* (1e éd) .Cambridge MA, Etats-Unis: Academic Press.

Wilson-Nieuwenhuis, J et Holah, J. (2019). An Overview of the Chemistry of Open Plant Cleaning and Disinfection. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21204-3>

Xiao, H. et Ji, W. (2007). Relating landscape characteristics to non-point source pollution in mine waste-located watersheds using geospatial techniques. *Journal of environmental management*, 82(1), 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.12.009>

Yohannes, H et Elias, E. (2017). Contamination of Rivers and Water Reservoirs in and Around Addis Ababa City and Actions to Combat It. *Environment Pollution and Climate Change*, 01(02). <https://doi.org/10.4172/2753-458X.1000116>

Yu, H et Shen, Z. Y. (2008). Uncertainty of non-point source pollution. *Water Resour. Prot*, 24, 1-5.

Zhang, Z., He, W., Shen, J., An, M., Gao, X., Degefu, D. M., Yuan, L., Kong, Y., Zhang, C., et Huang, J. (2019). The Driving Forces of Point Source Wastewater Emission: Case Study of COD and NH₄-N Discharges in Mainland China. *International journal of environmental research and public health*, 16(14), 2556. <https://doi.org/10.3390/ijerph16142556>

Zinicovscaia, I. et Balintova, M. (2023). Environmentally-Friendly Materials in Wastewater Treatment. *Materials (Basel, Switzerland)*, 16(18), 6181. <https://doi.org/10.3390/ma16186181>

Zuo, S., Zhou, X., Li, Z., Wang, X. et Yu, L. (2021). Investigation on recycling dry toilet generated blackwater by anaerobic digestion: from energy recovery to sanitation. *Sustainability*, 13(8), 4090.

Annexes

Annexe 1 : les milieux de culture**1. Gélose lactosée au TTC et à l'heptadécylsulfate de sodium : Milieu de base.**

Lactose	20 g
Peptone	10 g
Extrait de Levure	06 g
Extrait de viande	05 g
Bleu de bromothymol	0,05 g
Agar agar	15 à 25 g / l
Eau distillée	1000 ml

Stérilisation 121°C pendant 15 minutes, répartition du milieu à raison de 225 ml par falcon.

pH final après stérilisation à 25°C : 7,2 ± 0,1

2. Solution TTC.

Chlorure de 2,3,5-triphényltétrazolium (TTC).....	0,05 g
Eau distillée stérile	100 ml

3. Solution d'heptadécylsulfate de sodium.

Heptadécylsulfate de sodium (Tergitol 72)	0,2 g
Eau distillée stérile	100 ml

4. Milieu complet.

Milieu de base	100 ml
Solution TTC.....	05 ml

Solution d'heptadécylsulfate de sodium05 ml

Stérilisation 121°C pendant 15 minutes, répartition du milieu à raison de 225 ml par falcon.

pH final après stérilisation à 25°C : 7,2 ± 0,1

5. Bouillon au tryptophane

Digestat tryptique de caséine.....10 g

L-Tryptophane.....01 g

Chlorure de sodium.....05 g

Eau distillée1000 ml

6. Gélose tryptonée au soja (TSA).

Digestat tryptique de caséine.....15 g

Peptone de soja.....05 g

Chlorure de sodium05 g

Agar – agar15 à 25 g / l

Stérilisation 121°C pendant 15 minutes, répartition du milieu à raison de 225 ml par falcon.

pH final après stérilisation à 25°C : 7,2 ± 0,1

7. Milieu de SLANETZ et BARTLEY (Milieu de base).

Tryptose20,0 g

Extrait de Levure05,0 g

Glucose02,0 g

Hydrogénophosphate dipotassique (K₂HPO₄).....04,0 g

Azoture de Sodium (NaN₃)0,4 g

Agar – Agar08 à 18 g

Eau distillée1000 ml

Dissoudre les ingrédients dans l'eau bouillante jusqu'à dissolution complète.

- Solution TTC

Chlorure de 2,3,5-triphényltétrazolium01 g

Eau100 ml

Dissoudre l'indicateur dans l'eau par agitation. Stériliser par filtration à 0,2 µ.

- Milieu Complet.

Milieu de base1000 ml

Solution de TTC10 ml

Stérilisation 121°C pendant 15 minutes, répartition du milieu à raison de 225 ml par falcon.

pH final après stérilisation à 25°C : 7,2 ± 0,1

Après refroidissement à 50 ou 60°C, ajouter la solution TTC.

Ajuster si nécessaire le pH à l'aide d'une solution de carbonate de sodium (100g/l) ou d'hydroxyde de sodium (40g/l) ou d'acide chlorhydrique (36,5g/l).

Les boîtes coulées peuvent être gardées au réfrigérateur pendant 2 semaines.

9. Gélose à la Bile, à l'Esculine et à l'Azoture (BEA).

Tryptone.....17,0 g

Peptone03,0 g

Extrait de levure05,0 g

Bile de bœuf déshydratée.....10,0 g

Chlorure de sodium (NaCl).....05,0 g

Esculine01,0 g

Citrate d'ammonium ferrique	0,5 g
Azoture de sodium (NaN ₃).....	0,15 g
Agar – Agar	08 à 10 g
Eau distillée	1000 ml

Stérilisation 121°C pendant 15 minutes, répartition du milieu à raison de 225 ml par falcon.

pH final après stérilisation à 25°C : 7,2 ± 0,1

10. Gélose Viande Foie

Base viande foie	20 g
Glucose	0,75 g
Amidon.....	0,75 g
Sulfite de sodium.....	1,2 g
Carbonate de sodium.....	0,67 g
Agar-agar.....	11 g
Eau distillée.....	1000 ml

11. Bouillon SFB (Selenite-F Broth)

Tryptone	5,0 g
Lactose.....	4,0 g
Phosphate disodique	10,0 g
Sélénite acide de sodium	4,0 g
pH = 7,0	
Eau distillée.....	1000 ml

12. Gélose HEKTOEN

Bio-thione.....	12g
Extrait de levure.....	06g
Sels biliaires.....	09g
Lactose.....	12g
Saccharose.....	12g
Salicine.....	02g
Chlorure de sodium.....	05g
Eau distillée.....	1000 ml

Annexe 2 : les réactifs

1. Réactif de KOVAC.

Diméthyl-amino 4 Benzaldéhyde	50 g
Alcool isoamylique	750 ml
Acide chlorhydrique	250ml