

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 –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib  
Faculté des Sciences et de Technologie  
Département Sciences de la Nature et de la Vie



Projet de Fin d'Etudes  
Pour l'obtention du diplôme de Master en : : Microbiologie Appliquée  
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie  
Filière : Sciences Biologiques  
Département : Microbiologie Appliquée

Thème :

## Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits

Présenté Par :

- 1) Melle. KADDOUR RAHAL Hadjar .
- 2) Melle. MAROUF Lina Nihad .

Devant le jury composé de :

Dr . <b>Rahmani Khaled</b>	M C A	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr . <b>Kholkhal Fatima</b>	M C A	UAT.B.B (Ain Temouchent )	Examinatrice.
Dr. <b>.Bouchachia Souaad</b>	M C B	UAT.B.B (Ain Temouchent )	Encadrante.

Année Universitaire 2024/2025

## *Remerciements*

*Avant tout, nous tenons à remercier Dieu, le tout puissant qui nous a tracé le chemin de nos vies et accordé la volonté et de nous avoir donné la force, le courage et la persistance durant nos longues années d'études et surtout de nous avoir permis de finaliser ce mémoire.*

*Nous exprimons d'abord nos profonds remerciements à notre encadreur Mme., BOUCHACHIA SOUAD Maître de conférences B, au département de SNV, Université de Ain Témouchent, pour nous avoir encadré et dirigé ce travail ainsi que pour sa disponibilité, ses conseils et pour son soutien et sa patience*

*Ce travail a été réalisé au sein du Laboratoire d'analyse physicochimique et bactériologique de l'algérienne des eaux de chaabat el leham .*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury. Merci au M. Rahmani Khaled, Maître de conférences A, Université de Ain Témouchent d'avoir fait l'honneur de présider le jury et, Mme KHOLKHAL Fatima, Maître de conférences B, Université de Ain Témouchent, pour avoir accepté d'examiner et apporter leur avis sur notre étude.*

*Nous tenons aussi à exprimer nos sincères remerciements à Mme Mekranter chahinez de nous avoir permis de réaliser ce travail au sein du laboratoire. et à tous les ingénieurs de laboratoire de Microbiologie et physicochimique. Et un remerciement spécial aux membres de nos familles qui nous ont toujours aidé, soutenue et encouragé, surtout dans les moments difficiles : « Recevez ici nos remerciements et gratitudes infinis ».*

*Enfin, nous souhaitons adresser nos remerciements à toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide et soutien.*

*Hadjar &*

*Lina*

## **Dédicace**

*Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir accordé la puissance et la volonté pour la réalisation de ce travail*

*Je dédie cet événement marquant de ma vie à :*

*À ma chère et précieuse mère, A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur*

*la femme la plus forte, la plus aimante et la plus inspirante que je connaisse.  
ce travail est le fruit de tes efforts, des longues années de sacrifices auxquels tu as consentis. J'ai en mémoire la ferme volonté que t'animait de me voir réussir dans mes études.*

*Je ne trouverai jamais assez de mots pour t'exprimer toute ma gratitude et mon affection , Merci de tout cœur ma mère, Merci pour votre amour inestimable, votre sacrifice, votre confiance et votre soutien et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer .que dieu vous accorde santé et longue vie.*

*À le plus grand amour dans mon cœur, à la prunelle de mes yeux, le meilleur guide dans ma vie et qui n'a jamais été cessé de m'encourager , **Le meilleur père.** Paix à son âme.*

*Ce travail est l'aboutissement d'un chemin que tu as tracé par tes sacrifices, j'aurais tant que tu sois encore là à mes côtés afin de partager cette joie, malheureusement le destin en a décidé autrement.*

*Là où je suis arrivée aujourd'hui c'est grâce à vous **MES CHERS PARENTS** que je le dois, je vous aime trop .*

*À mon futur époux, merci Pour ton soutien constant, ta présence apaisante ,Je t'adresse ma sincère gratitude , Reçoit à ton tour le témoignage de mon respect et de ma reconnaissance infinie. ...*

*À mes sœur **Halima** , **Amina** , **khadidja** qui m'ont toujours donné de l'espoir et cru en mes capacités. Merci d'avoir toujours été là pour moi!*

*A mes oncles , pour leurs encouragements et leur soutien moral*

*A mon beau père et ma belle mère , soient particulièrement remerciées.*

*À A ma chère binôme **Lina** ,tu est une complice fidèle.Ta bienveillance , et ta constance*

*Merci pour ta patience, ton énergie, ton amitié sincère et tous ces fous rires qui ont illuminé cette aventure.*

*À ma famille, et À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, recevez ici l'expression de ma profonde gratitude.*

**Hadjar**

## Dédicace

*En premier, je remercie ALLAH, le tout puissant de m'avoir accordé la force, le courage et les moyens pour la réalisation de ce travail.*

*A ma mère fatima , ma raison de réussite, l'exemple parfait de la femme idéale, le symbole de l'amour, la tendresse, la sympathie et le sacrifice, qui m'a toujours orienté pour acquérir le bonheur dans cette vie*

*Maman C'est a vous que je dois mon succès, Merci d'etre la toujours pour Moi Merci pour votre amour inconditionnel, votre soutien indéfectible et votre encouragements constants tout au long de mes études. Votre confiance en moi a été une source inestimable de motivation.*

*À mon cher père, Abd'El Kader -Allah yarahimo -, qui ma donnée toujours le courage, l'espoir et la chance d'atteindre mes butes, qui m'a toujours et d'un grand secours par son soutien et son encouragement poursuivre mes rêves. Son absence physique est compensée par la force de son souvenir qui m'accompagne dans ce travail."*

*A mon cher frère Mohamed Taha et mes chères adorables Sœurs : razane , layal et maria , Merci d'avoir toujours été là pour moi! Je vous souhaite beaucoup de bonheur et de réussite. Restons unis et solidaires.*

*A mon oncle aboubaker en témoignage de mon affection fraternelle et ma profonde estime.*

*À mon enseignante de Coran, Dr nour El houda Vos enseignements m'ont aidé à réformer mon cœur et mon esprit.. Que Dieu vous bénisse, vous et votre savoir*

*À celui qui m'a guidé vers le Coran ma chère aicha Ton savoir, ta patience et ton dévouement ont illuminé mon chemin. . Merci du fond du cœur. Que dieu vous bénisse*

*A mon grand-père et mes grandes mères Merci pour vos encouragements constants et vos prières*

*A ma chère khadidja merci infiniment pour ton soutien et ta présence dans ma vie depuis mon enfance*

*A ma chère binôme hadjar ma meilleure , je voudrais tout d'abord te remercier pour les années passées ensemble , pour partagé les moments heureux et tristes , je suis tellement reconnaissante pour ton soutien , merci d'etre la , tu es une amie précieuse .*

*À tout ce qui ma encourager de proche et de loin de finir ce travail, a tous ceux qui mon rendu la vie facile avec son amour et ses prières.*

*Lina*

## Table des matières

Remerciements

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

1. Définition .....	4
2. Les eaux de surface .....	4
3. Les eaux souterraines .....	4
3.1. Origine des eaux souterraines .....	5
3.2. Les facteurs influençant la qualité des eaux souterraines .....	5
3.2.1. Influence de la géologie .....	6
3.2.3. Influence du climat .....	7
4. Les eaux de puits .....	7
4.1. Les types de puits .....	7
4.1.1. puits traditionnel .....	7
5. Qualité des eaux .....	8
5.1. Qualité organoleptiques .....	8
5.2. Qualité bactériologique .....	9
5.3. Qualité physico-chimiques .....	11
5.3.1. Température .....	11
5.3.2. Potentiel Hydrogène (pH) .....	12
5.3.3. La turbidité .....	12
5.3.3. La conductivité électrique : .....	12
5.3.4. Dureté totale (TH) .....	13
5.3.5. Le magnésium .....	13
5.3.6. Le Calcium .....	13
5.3.7. Le Sodium .....	13
5.3.8. Le Potassium .....	14
5.3.9. Les nitrites .....	14
5.3.10. Nitrates .....	14
6. La pollution des eaux .....	15
6.1. Les types de pollutions : .....	15

7. Les risques liés à la présence des substances chimiques dans l'eau :	16
8. Les maladies à transmission hydrique	19
1. Normes de la qualité de l'eau	23
1.1 La réglementation Algérienne	23
1.1.1 Qualité et contrôle des eaux souterraines	24
1.2. Normes de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) relatives à la qualité de l'eau	29
1. Zone d'étude et échantillonnage	33
1.1. Présentation de la zone d'étude :	33
1.2. Échantillonnage	35
2. Conservation et Transport:	35
3. Justification du choix des forages	36
4. Les analyses bactériologiques	36
4.1. Recherche et dénombrement des Microorganismes revivifiables à 22 et à 37°C dans les eaux	36
4.2. Recherche et dénombrement des Escherichia coli et des bactéries coliformes par la méthode de filtration	37
4.3. Recherche et dénombrement des Entérocoques intestinaux et Streptocoques	39
4.4. Recherche et dénombrement des Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices	40
4.5. Recherche de Salmonelles	41
5. Les analyses physico-chimiques	42
5.1. Le potentiel d'hydrogène (pH)	42
5.2. La conductivité	42
5.3. La turbidité	43
5.4. La température	43
5.5. Dureté ou titre hydrotimétrique ( TH)	43
5.6. Dosage des chlorures	43
5.7. Dosage de l'Ammonium	45
5.8 Détermination du Phosphore	46
Résultats et Discussion	48
1. Résultats des dénombrements des micro-organismes présents dans l'eau	48
2. Résultats des analyses physico-chimiques	49
CONCLUSION	59
Références bibliographiques	61
ANNEXE	75
<b>Résumé</b>	<b>77</b>



## *Liste des figures*

Figure N° 1 les facteurs influencant la qualite des eaux souterraines .....	6
Figure N°2localisation géographique forage Terbane sidi ouaryache .....	34
Figure N°3 Localisation géographique forage Sidi Djelloul Beni Saf .....	34
Figure N°4 localisation géographique forage Barrette Ain Temouchent .....	34
Figure N°5 localisation géographique forage Fondoro Ain EL Kihal .....	34
Figure N°6 localisation géographique forage El Amir Abd El Kader.....	35
Figure N°7 localisation géographique puit Grayiya Hassi El Ghala .....	35
Figure N°8 Recherche des Microorganismes revivifiabes à 22 et à 37°C dans les eaux ...	37
Figure N°9 Recherche et dénombrement des Escherichia coli et des bactéries coliformes	39
Figure N°10 Recherche et dénombrement des Entérocoques intestinaux et Streptocoques	40
Figure N° 11 Recherche et dénombrement des Spores de bactéries anaérobies sulfito- réductrices .....	41
Figure N°12 Recherche de Salmonelles .....	42
Figure N° 13 Variation du pH des échantillons d'eau.....	49
Figure N° 14 Variation de la conductivité des échantillons d'eau .....	50
Figure N°15 Variation de la turbidité des échantillons d'eau .....	52
Figure N°16 Variation de la température des échantillons d'eau.....	53
Figure N° 17 Variation du titre hydrotimétrique des échantillons d'eau .....	54
Figure N° 18 Variation du chlorure des échantillons d'eau .....	55
Figure N°19 Variation de l'Ammonium des échantillons d'eau .....	56
Figure N° 20 Variation du phosphore des échantillons d'eau.....	57

## *Liste tableau*

Tableau 1 : Principales infections humaines transmissibles par l'eau.....	19
Tableau 2 Paramètres Physico-Chimiques, Microbiologiques et Organoleptiques des Eaux Superficielles et Souterraines .....	24
Tableau 3 Caractéristique de qualité d'une eau de source .....	26
Tableau 4 Norme de l'OMS sur la qualité des eaux.....	30
Tableau 5 Sites d'échantillonnage.....	34

## **Liste des abréviations**

**ADE** : l'Algérienne des Eaux

**ASR** : anaérobies sulfite-réductrices

**EC** : conductivité électrique

**EDTA**: "acide éthylène diamine tétraacétique"

**EPA** : L'Environmental Protection Agency

**FC** : facteur de correction

**ISO** : International Organization for Standardization

**JOA** : Journal Officiel Algérien

**MES** : les matières en suspension

**MTH** : maladies à transmission hydrique

**NTU** : Nephelometric Turbidity Unit

**OMS** : organisation mondiale de santé

**ONU** : l'Organisation des Nations Unies

**PVC** : polyvinyle de chlorure

**TA** : titre alcalimétrique

**TAC** : titre alcalimétrique complet

**TGEA** : gélose-tryptone-extrait de levure

**TH** : titre hydrotimétrique

**TSA** : tryptonée au soja agar

**TSC** : Tryptone-Sulfite-Cyclosérine

**TSN** : Tryptone sulfite néomycine

**TTC** : chlorure de triphényltétrazolium

**VF** : viande foie

**VHA** : virus de l'hépatite A

**WHO** : World Health Organization

## Résumé

La présente étude vise à évaluer la qualité bactériologique et physico-chimique de six échantillons d'eau prélevés dans la région d'Ain Temouchent, comprenant cinq échantillons d'eau de forage (S1 à S5) et un échantillon d'eau de puits (P1). Les analyses bactériologiques ont été réalisées par la méthode de filtration sur membrane. Parallèlement, les analyses physico-chimiques ont été menées conformément aux normes ISO et aux normes algériennes. Les résultats indiquent l'absence complète de microorganismes tels que les coliformes totaux et fécaux, les streptocoques, *Clostridium* et *Salmonella* dans l'ensemble des échantillons, attestant d'une excellente qualité microbiologique conforme aux normes algériennes et à celles de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Sur le plan physico-chimique, le pH des eaux de forage présente une moyenne de 7,48, tandis que celui du puits est de 7,1 a conductivité électrique varie fortement, allant de 3,35  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (S1) à 1911  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (S2) pour les forages, et s'élève à 966  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour le puits. La turbidité est faible, comprise entre 0,20 NTU (S2) et 2,64 NTU (S1), avec une valeur de 1,15 NTU pour le puits. Les températures mesurées affichent une moyenne de 18,9 °C pour les forages et de 15,8 °C pour le puits, La dureté totale oscille autour d'une moyenne de 35,2 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . Les concentrations en chlorures varient de 106,35 mg/L (P1) à 377,9 mg/L (S1). Les teneurs en Ammonium sont comprises entre 0 et 0,443 mg/L, tandis que les concentrations en phosphore varient de 0,01 mg/L (S3) à 0,443 mg/L (S5). Ces résultats indiquent que les eaux analysées présentent une qualité microbiologique impeccable et une qualité physico-chimique satisfaisante, garantissant leur aptitude à la consommation humaine sous réserve d'un suivi régulier.

**Mots Clés :** Eau de puits, Eau de forage, Qualité de l'eau, Analyse bactériologique, Analyse physico-chimique

## **Abstract**

The present study aims to evaluate the bacteriological and physicochemical quality of six water samples collected in the Ain Temouchent region, including five borehole water samples (S1 to S5) and one well water sample (P1). Bacteriological analyses were conducted using the membrane filtration method. Simultaneously, physicochemical analyses were carried out in accordance with ISO standards and Algerian regulations. The results indicate the complete absence of microorganisms such as total and fecal coliforms, streptococci, Clostridium, and Salmonella in all samples, demonstrating excellent microbiological quality compliant with Algerian standards and those of the World Health Organization (WHO). Physicochemically, the pH of the borehole waters averages 7.48, while that of the well is 7.1. Electrical conductivity varies widely, ranging from 3.35  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (S1) to 1911  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (S2) for the boreholes, and is 966  $\mu\text{S}/\text{cm}$  for the well. Turbidity is low, between 0.20 NTU (S2) and 2.64 NTU (S1), with a value of 1.15 NTU for the well. Measured temperatures average 18.9 °C for the boreholes and 15.8 °C for the well. Total hardness fluctuates around an average of 35.2 mg/L CaCO<sub>3</sub>. Chloride concentrations range from 106.35 mg/L (P1) to 377.9 mg/L (S1). Ammonium levels vary between 0 and 0.443 mg/L, while phosphorus concentrations range from 0.01 mg/L (S3) to 0.443 mg/L (S5). These results indicate that the analyzed waters have impeccable microbiological quality and satisfactory physicochemical quality, ensuring their suitability for human consumption subject to regular monitoring.

**Keywords:** Well water, Borehole water, Water quality, Bacteriological analysis, Physicochemical analysis

## ملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الجودة البكتريولوجية والفيزيائية والكيميائية لست عينات مياه جُمعت من منطقة عين تموشنت، بما في ذلك خمس عينات من مياه الآبار (S1) إلى (S5) وعينة واحدة من مياه الآبار (P1). أُجريت التحاليل البكتريولوجية باستخدام طريقة الترشيح الغشائي، كما أُجريت التحاليل الفيزيائية والكيميائية وفقاً للمعايير الجزائرية والمعايير الدولية. ISO أشارت النتائج إلى خلو جميع العينات تماماً من الكائنات الدقيقة، مثل القولونيات الكلية والبرازية، والمكورات العقدية، والكلوستريديوم، والسالمونيلا، مما يُظهر جودة ميكروبيولوجية ممتازة وفقاً للمعايير الجزائرية ومنظمة الصحة العالمية. على المستوى الفيزيائي والكيميائي، يبلغ متوسط الرقم الهيدروجيني لمياه الحفر 7.48، بينما يبلغ متوسط الرقم الهيدروجيني للبئر 7.1. تختلف الموصلية الكهربائية اختلافاً كبيراً، حيث تتراوح بين 3.35 ميكرو سيمنز/سم (S1) و 1911 ميكرو سيمنز/سم (S2) لعمليات الحفر، وترتفع إلى 966 ميكرو سيمنز/سم للبئر. العكارة منخفضة، وتتراوح بين 0.20 وحدة حرارية بريطانية (NTU) و 2.64 وحدة حرارية بريطانية (S1)، بقيمة 1.15 وحدة حرارية بريطانية للبئر. تُظهر درجات الحرارة المقاسة متوسط 18.9 درجة مئوية لعمليات الحفر و 15.8 درجة مئوية للبئر. تتراوح الصلابة الكلية حول متوسط 35.2 ملغم/لتر من كربونات الكالسيوم. (CaCO<sub>3</sub>) تتراوح تركيزات الكلوريد بين 106.35 ملغم/لتر (P1) و 377.9 ملغم/لتر (S1). تتراوح مستويات الأمونيوم بين 0 و 0.443 ملغم/لتر، بينما تتراوح تركيزات الفوسفور بين 0.01 ملغم/لتر (S3) و 0.443 ملغم/لتر (S5). تشير هذه النتائج إلى أن المياه المُحللة تتمتع بجودة ميكروبيولوجية ممتازة وجودة فيزيائية وكيميائية مُرضية، مما يضمن ملاءمتها للاستهلاك البشري مع الخضوع للمراقبة الدورية.

الكلمات المفتاحية: مياه الآبار، مياه الآبار الجوفية، جودة المياه، التحليل البكتريولوجي، التحليل

الفيزيائي والكيميائي

# **Introduction**

## Introduction

---

L'eau, qu'elle soit en surface ou souterraine, est la ressource naturelle la plus essentielle et la plus importante pour le maintien de la vie sur Terre ainsi que pour la croissance durable des secteurs socioéconomiques tels que l'irrigation et l'industrialisation. L'eau, sous toutes ses formes, est un composant indispensable des processus hydro-géo-écologiques ainsi que de divers autres processus métaboliques, physiologiques et écologiques des êtres vivants( **Kumar et al., 2022**)

L'eau souterraine est l'une des ressources naturelles les plus précieuses à la surface de la Terre et est utilisée pour l'eau potable, les activités industrielles et les activités agricoles (**Dubey et al., 2022**). Un écosystème aquatique sain dépend des caractéristiques physico-chimiques et biologiques du système. L'urbanisation et l'industrialisation ont conduit à la dégradation des eaux de surface et souterraines (**Muniraj et al., 2023**).

La qualité des eaux souterraines est affectée par l'augmentation des activités anthropiques, et toute pollution, qu'elle soit physique ou chimique, entraîne des modifications de la qualité du milieu récepteur . Des contaminants chimiques sont présents dans l'eau potable à travers le monde, ce qui pourrait potentiellement menacer la santé humaine. De plus, la plupart des sources se trouvent à proximité de ravins où la défécation en plein air est courante, et les déchets emportés par les inondations affectent également la qualité de l'eau (**Meride et Ayenew, 2016**).

L'eau souterraine représente une source importante d'eau potable et sa qualité est actuellement menacée par une combinaison de surexploitation et de contamination microbiologique et chimique. Selon la source, l'eau brute peut contenir une grande variété de micro-organismes hétérotrophes inoffensifs tels que *Flavobacterium spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Acinetobacter spp.*, *Moraxella spp.*, *Chromobacterium*, *Achromobacter spp.* et *Alcaligenes spp.*, ainsi que de nombreuses bactéries non identifiées. Traditionnellement, la qualité microbiologique de l'eau potable est évaluée en surveillant les bactéries non pathogènes d'origine fécale (bactéries indicatrices fécales (**Aydin , 2006**).

## Introduction

---

L'eau contaminée et l'assainissement inadéquat sont associés à la transmission de maladies telles que le choléra, la diarrhée, la dysenterie, l'hépatite A, la typhoïde et la polio. Des services d'eau et d'assainissement déficients, insuffisants ou mal gérés exposent les individus à des risques sanitaires évitables. La gestion insuffisante des eaux usées urbaines, industrielles et agricoles entraîne la contamination dangereuse ou la pollution chimique de l'eau potable de centaines de millions de personnes. La présence naturelle de substances chimiques, notamment dans les eaux souterraines, peut présenter des risques pour la santé, comme l'arsenic et le fluor, tandis que d'autres substances, telles que le plomb, peuvent se retrouver à des niveaux élevés dans l'eau potable en raison de la lixiviation provenant des composants en contact avec l'approvisionnement en eau (OMS, 2023).

Les eaux issues de puits et de forages constituent une source essentielle d'approvisionnement en eau. Néanmoins, la présence de polluants physico-chimiques tels que les nitrates et les métaux lourds, ainsi que d'agents pathogènes bactériologiques comme E. coli et les entérocoques, représente un enjeu majeur pour la santé publique en ce qui concerne la contamination de ces eaux.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux provenant des puits et des forages, afin de déterminer leur conformité aux réglementations et de mettre en évidence les risques éventuels pour la santé publique.

Le mémoire est structuré en deux grandes parties :

➤ La première partie constitue une revue bibliographique, divisée en deux chapitres : le premier présente une description des eaux souterraines, détaillant leurs différents types ainsi que leur qualité, tandis que le second aborde la réglementation des eaux souterraines en examinant la législation algérienne et les normes de l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

La deuxième partie est consacrée à la partie expérimentale : le chapitre « Matériels et méthodes » décrit les diverses techniques d'analyses physico-chimiques et microbiologiques appliquées aux eaux de puits et de forage. La section « Résultats et discussion » expose les principaux résultats obtenus, accompagnés de leur interprétation. Enfin, le manuscrit se termine par une conclusion suivie de perspectives

# **Etude bibliographique**

I.1.L'eau

**1.Définition**

L'eau est une substance chimique essentielle à la vie, composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène, formant la molécule H<sub>2</sub>O. Elle existe sous trois états physiques (liquide, solide et gazeux) et joue un rôle fondamental dans les processus biologiques, climatiques et géologiques de la Terre (**Chaplin, 2001**). L'eau est indispensable à la survie de tous les êtres vivants. C'est donc une ressource non substituable. Cependant, elle peut aussi contenir des parasites responsables de la transmission de maladies dites hydriques. Elle constitue donc, un élément essentiel de la vie biologique. Non seulement, elle est un nutriment vital, mais elle est aussi impliquée dans de nombreuses fonctions physiologiques essentielles telles que la digestion, l'absorption, la thermorégulation et l'élimination des déchets (**Balloy et al., 2019**).

**2. Les eaux de surface**

Les eaux de surface sont divisées par les chercheurs en deux grandes familles, d'une part les eaux courantes, d'autre part les eaux stagnantes (**Bartout & Touchart, 2013**). Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement soit, les fleuves, les rivières, les barrages, les mares, et les marigots (**Degremont, 2005**). Les eaux superficielles, ou eaux de surface, doivent subir un traitement en plusieurs étapes pour être utilisées pour la boisson et les usages domestiques (**Molinie, 2009**).

**I.3. Les eaux souterraines**

Il est fréquent de penser que le terme « eaux souterraines » désigne toutes les eaux qui se trouvent dans les sous-sols. Les hydrogéologues et les hydrologues font toutefois une distinction entre les eaux souterraines appartenant à la zone saturée (où tous les interstices sont complètement remplis d'eau) et celles appartenant à la zone non saturée (où les interstices contiennent à la fois de l'eau et de l'air). Ils emploient le terme « eaux souterraines » dans le premier cas et ainsi désignent l'eau située sous la surface 4 de la nappe (**ONU , 2022**).

Les eaux souterraines représentent environ 20 % de l'approvisionnement mondial. Les puits sont l'une des principales sources d'eau souterraine. Dans de nombreux endroits, les puits fournissent un approvisionnement fiable et abondant en eau pour la boisson, l'irrigation et les industries (**Jyothilekshmi et al., 2019**).

On entend par « eau souterraine » l'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels que les sables et les graviers. Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas rassemblée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain (**Myrand, 2008**).

### 3.1. Origine des eaux souterraines

La plupart des eaux souterraines ont pour origine les eaux pluviales (pluie ou neige). Si elles ne sont pas perdues par évaporation, transpiration ou écoulement, l'eau de ces sources peut s'infiltrer dans les sols. Les quantités d'eau des précipitations sont retenues très difficilement sur le sol sec formant un film sur la surface et dans les micro pores des particules du sol. Aux niveaux intermédiaires, les films de l'eau recouvrent les particules solides, mais de l'air est encore présent dans les sols (vides). En profondeur et en présence de quantités adéquates d'eau, tous les vides sont remplis pour produire une zone de saturation, le niveau supérieur représente la table de l'eau. L'eau présente dans une zone de saturation est appelée eau souterraine (**Stanley et Manahan, 2005**).

### 3.2. Les facteurs influençant la qualité des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont connues pour être le deuxième plus grand réservoir d'eau douce au monde, après les eaux de surface. Au fil des ans, les eaux souterraines ont déjà subi une pression écrasante pour satisfaire les besoins humains des activités artificielles dans le monde entier. Entre-temps, l'empreinte la plus notable des activités humaines est l'impact du changement climatique. Le changement climatique a le potentiel de modifier les propriétés physiques et chimiques des eaux souterraines, affectant ainsi leurs fonctions écologiques (**Phuong et al., 2024**).

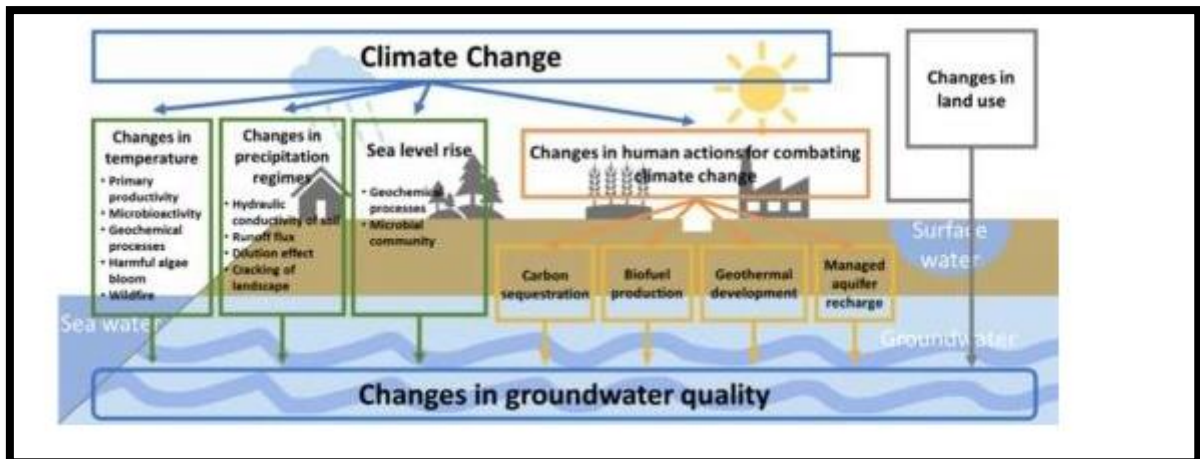


Figure N° 1 les facteurs influençant la qualité des eaux souterraines( *Phuong et al., 2024* )

La qualité de l'eau est influencée par plusieurs facteurs, notamment la géologie, les activités humaines et le climat.

### 3.2.1. Influence de la géologie

La nature des roches et des sols traversés par l'eau influence sa composition chimique :

- Les roches calcaires augmentent la dureté de l'eau en libérant du calcium et du magnésium (**Hem, 1985**).
- Les roches volcaniques enrichissent l'eau en minéraux tels que le fluorure et le silicium (**Edmunds et Smedley, 1996**).
- Les formations géologiques riches en métaux lourds, comme l'arsenic et le plomb, peuvent contaminer l'eau souterraine (**Smedleyb et Kinniburgh, 2002**).

### 3.2.2. Influence des activités humaines

Les activités anthropiques ont un impact majeur sur la qualité de l'eau :

- L'agriculture contribue à la pollution par les nitrates et les pesticides (**Galloway et al., 2008**).
- L'industrie rejette des métaux lourds et des polluants organiques (**Alloway, 2013**).
- L'urbanisation et l'assainissement insuffisant favorisent la contamination microbiologique (**Craun et al., 2010**).

### **3.2.3. Influence du climat**

Le climat influence la qualité de l'eau de plusieurs manières :

- Les précipitations fortes peuvent entraîner le ruissellement des polluants vers les eaux de surface (**Delpla *et al.*, 2009**).
- Les sécheresses réduisent la dilution des contaminants et augmentent leur concentration (**Kundzewicz *et al.*, 2007**).
- Les températures élevées favorisent la prolifération des micro-organismes pathogènes (**OMS, 2008**).

## **4. Les eaux de puits**

On peut tenter de définir un puits de captage d'eau comme étant un ouvrage réalisé en dessous de la surface du sol dans le but de permettre l'exhaure des eaux qui peuvent s'y trouver incluses ou y circuler. Un puits ne peut fournir de l'eau que s'il rencontre une nappe. Les nappes peuvent être partout mais leur qualité, leur débit et leur profondeur sont très variables. Généralement le puits a une profondeur moyenne ou faible (inférieur à 100 m) et un diamètre supérieur à 1,20 m. Les puits, jadis creusés à la main, à l'aide de pics, par des puisatiers, notamment dans les roches consolidées (craie, grès, partie superficielle altérée des granites), sont à peu près tombés en désuétude. Le choix de l'emplacement du puits doit être fait par les services chargés de l'hydraulique en tenant compte des désirs de la population et de l'hydrogéologie du terrain (**Collin, 2004 ; Emand Barres et Roux, 1999**).

### **4.1. Les types de puits**

#### **4.1.1. puits traditionnel**

C'est un trou creusé dans le sol avec et par des lois des parois, protégé par des pierres maçonnées ou de béton simplement protégé à la truelle. Ils ont un faible cout, et leur longévité dépasse rarement 20ans.

#### **4.1.2. puits moderne**

Un puits moderne est un ouvrage de grand diamètre (1 à 2m) dont les parois sont consolidées avec du béton armé, coulé derrière de confuses métallique, du sol jusqu'à l'eau, on l'appelle cuvelage en béton armé, son cout est élève, néanmoins il est solide et peut aller jusqu'à un siècle pour sa longévité. on poursuit le creusement avec des moyens permettant d'obtenir une hauteur de mise en eau satisfaisante de l'ordre de 5 à 6 mètres et cette partie du puits se nomme captage, les parois sont aménagés avec des buses filtrantes laissant entrer l'eau mais empêchant que les parois ne s'effondrent ou le choix sera à faire soit au puits traditionnel ou soit au puits moderne. Il n'existe pas de modèle standard de captage de la source car chaque source possède ses caractéristiques propres à elle. Par ailleurs le captage d'une source doit comporter l'aménagement que voici ; Une chambre de captage qui son rôle est de collecter le fil d'eau, elle doit être : En maçonnerie dans le cas d'un captage sur un terrain rocheux, et elle doit être constitué d'une captivité propre et isolé par un lit d'argile dans le cas d'un captage sur un terrain meuble (**Kazadi Katompa et al., 2022** ).

### **5. Qualité des eaux**

La qualité de l'eau des puits privés est une préoccupation majeure et il est nécessaire de comprendre ce qui motive les propriétaires de puits à entretenir leurs puits et à procéder à des tests d'eau réguliers. Les théories sur les comportements liés à la santé, comme le modèle de croyance en la santé (**Champion et Skinner, 2008**) .L'eau que nous consommons est systématiquement traitée avant d'arriver à nos robinets ,Si des traces de micropolluants sont détectées dans certaines ressources en eau, leur présence dans l'eau du robinet après traitement de potabilisation est, soit indétectable, soit à une quantité si infime qu'elle ne fait pas courir de risque pour la santé (**Nathalie , 2019** ). La surveillance de la qualité de l'eau des puits correspond à la conduite des analyses, de tests et d'observation de certains paramètres. L'objectif principale de ce suivi de la qualité de l'eau est de vérifié que l'eau distribuée remplit les critères de potabilité, irrigation.....etc. C'est un moyen de protéger la santé publique (**Muriel, 2010**).

#### **5.1. Qualité organoleptiques**

Les facteurs organoleptiques (couleur, saveur, turbidité et odeur) constituent souvent les facteurs d'alerte pour une pollution sans présenter à coup sûr un risque pour la santé (**Genoudet, 2001**).

### ∞ Couleur :

Les variations de la couleur de l'eau peut être attribuées à la variation de la quantité de substances humiques dissoutes et colloïdales. La couleur élevée de l'eau dans les sources augmente le coût du traitement de l'eau (**Dupont, 1978**). La couleur de l'eau est due, généralement, à la présence de substances colorées provenant essentiellement de la décomposition des matières végétales, des algues, des substances minérales (en particulier le fer et le manganèse) et des rejets industriels (teintures). Une coloration de l'eau est indésirable, car elle suscite toujours un doute sur sa potabilité. Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire (**Degrémont, 1989**).

### ∞ Odeur

Toute odeur est un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition l'odeur peut être définie comme : L'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles. La qualité de cette sensation particulière provoquée par chacune de ces substances (**Rodier, 2005**).

### ∞ Goût et saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque la boisson est dans la bouche. La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (**Rodier et al., 2009**)

## 5.2. Qualité bactériologique

C'est le paramètre le plus important de la qualité de l'eau potable. Elle se mesure par la présence d'organismes indicateurs de pollution : les Germes totaux et les Coliformes qui vivent normalement dans les intestins humains et animaux. Les bactéries indicatrices de contamination fécale sont les Coliformes connus sous le nom d'*Escherichia coli* (*E.coli*), les Streptocoques fécaux et les Clostridium sulfitoréducteurs.

Elles se multiplient très facilement et sont utilisées généralement comme germes tests de contamination fécale (**Ahonon, 2011**).

### ☞ Les Germes totaux

La numération des germes aérobies mésophiles ou germes totaux, vise à estimer la densité de la population bactérienne générale dans l'eau potable. Elle permet ainsi une appréciation globale de la salubrité générale d'une eau, sans toutefois déterminer les sources de contamination (Levallois, 2003). D'une manière générale, ce dénombrement est utilisé comme indicateur de pollution et également comme indicateur d'efficacité de traitement, en particulier des traitements physiques comme la filtration par le sol, qui devrait entraîner soit une très forte diminution de la concentration bactérienne, soit même une absence de bactéries (El Haissoffi *et al.*, 2011).

### ☞ Les Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau car ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale. Les coliformes totaux sont définis comme étant des bactéries en forme de bâtonnet, aérobies ou anaérobies facultatives, possédant l'enzyme  $\beta$ -galactosidase permettant l'hydrolyse du lactose à 35°C afin de produire des colonies rouges avec reflet métallique sur un milieu gélosé approprié (Archibald, 2000; CEAEQ, 2000; Edberg *et al.*, 2000). La plupart des espèces sont non pathogènes et ne représentent pas de risque direct pour la santé, à l'exception de certaines souches d'*Escherichia coli* (*E. coli*) ainsi que de rares bactéries pathogènes opportunistes (Edberg *et al.*, 2000; OMS, 2000).

### ☞ Les Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermotolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux ont la capacité de fermenter le lactose à une température de 44,5°C. L'espèce la plus habituellement associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia coli* (*E. coli*) (Elmund *et al.*, 1999; Edberg *et al.*, 2000).

*E.coli* est la seule bactérie indicatrice qui représente sans équivoque une contamination d'origine fécale animale ou humaine. Sa détection dans une eau doit être considérée comme reflétant la présence possible des germes pathogènes d'origine entérique. *E. coli* est considérée en fait comme le meilleur indicateur de contamination fécale de l'eau (Edberg *et al.*, 2000) qui selon son origine, comporte des risques plus ou moins importants d'infection à caractère entérique (Bopp *et al.*, 1999).

### ☞ Les Streptocoques fécaux

Les entérocoques font partie d'un groupe de bactéries naturellement présentes dans la flore intestinale des animaux et des humains; certains streptocoques fécaux sont très apparentés aux entérocoques et sont encore utilisés à titre d'indicateurs de contamination fécale (**Gleeson et Gray, 1997**). Ils se retrouvent habituellement dans les eaux souterraines à la suite d'une pollution d'origine fécale (**Gleeson et Gray, 1997 ; Edberg et al., 2000**). La très grande majorité des entérocoques, surtout ceux retrouvés en milieu naturel, ne possèdent pas un pouvoir pathogène particulier envers les humains; ce sont plutôt des microorganismes pathogènes opportunistes infectant des personnes à risque comme les immunodéprimées (**Edmond et al., 1995 ; Madani et al., 1999**).

### ☞ Les Clostridium sulfito-réducteurs

Parmi les paramètres retenus pour déterminer la qualité microbiologique d'une eau d'alimentation, les Clostridium sulfito-réducteurs sont pris en compte aussi. Les Clostridium sulfito-réducteurs sont souvent utilisés comme des témoins de pollution fécale. La forme spore, beaucoup plus résistante que les formes végétatives, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux, permettrait ainsi de détecter une pollution fécale ancienne ou intermittente. Sans débattre de l'intérêt réel d'une telle indication concernant la date de la pollution, il faut cependant considérer que si les Clostridium sulfito-réducteurs peuvent certes être des germes fécaux, ce sont encore des germes telluriques et que, de ce fait, aucune spécificité d'origine fécale ne peut être attribuée à leur mise en évidence (**Rodier et al., 2009**).

## 5.3. Qualité physico-chimiques

Les qualités physico-chimiques de l'eau se basent sur des paramètres qualitatifs relativement facile à déterminer. Parmi ces paramètres on distingue les suivants :

### 5.3.1. Température

La température est un paramètre important dans l'étude et la surveillance des eaux soient souterraines ou superficielles, les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs, saisonniers et autres (**Philippo et al., 1981**) .

C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle important dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels et dans la détermination du pH, pour la compréhension de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques (**Rodier et al., 2005**).

### 5.3.2. Potentiel Hydrogène (pH)

C'est l'un des paramètres les plus importants pour la qualité de l'eau. Il caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend des facteurs multiples, dont l'origine de l'eau (**Rodier, 2009**). Le pH de l'eau mesure la concentration des protons  $H^+$  contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acidité carbonique (**Makhouk, 2011**). 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. Dans les eaux naturelles cette activité est due à des différentes causes en particulier l'ionisation de l'acide carbonique et de ses sels (**Rodier et al., 2009**).

### 5.3.3. La turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité de l'eau a pour origine la présence de matières en suspension (argile, limons, particules fibreuses ou organique, micro-organismes...), étant souvent lié à des phénomènes pluviométriques dans les eaux superficielles et dans certaines eaux souterraines (nappes peu profondes). La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre. Et sont exprimées en unités et correspondent à une mesure optique de passage de lumière. D'autres unités comparables sont employées, l'unité néphélométrique de turbidité ou NTU (**Joel, 2003**).

### 5.3.3. La conductivité électrique :

La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique ; Elle détermine la teneur globale des minéraux présent dans une solution : une eau douce accusera généralement une conductivité basse et bien au contraire une eau dite dure affichera une conductivité élevée. Elle est également en fonction de la température de l'eau, et proportionnelle à la minéralisation (**Bremaude et al., 2006**).

L'unité de mesure de la conductivité est siemens/cm (S/cm):  $1S /m = 104\mu S/cm = 103 S/m$ . La minéralisation de l'eau (teneur globale en espèces minérales) peut entraîner selon les cas, un

gout salé (variable 6 selon la nature des sels présents), une concentration de la corrosion, et les dépôts dans les tuyauteries (Joel, 2003).

### 5.3.4.Dureté totale (TH)

La dureté de l'eau est due à la présence de calcium et dans une moindre mesure, de magnésium. On l'exprime généralement en quantité équivalente de carbonate de calcium Une dureté supérieure 200 mg/L peut provoquer l'entartrage  $\text{CaCO}_3$  (excès calcaire) du système de distribution et entraîner une consommation excessive de savon avec formation d'écume. La concentration du calcium dans l'eau de consommation n'est pas généralement élevée par rapport au besoin journalier (2 g/j) (Hawa, 2001) .

### 5.3.5.Le magnésium

Le magnésium est plus abondant après le calcium par rapport au sodium et au potassium. Le magnésium est l'un des éléments les plus répons dans la nature, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires. Il constitue un élément significatif de la dureté de l'eau (Rodier *et al.*, 2002). La dureté manganésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale. Le magnésium en excès donne une saveur amère à l'eau (Kemmer, 1984). L'ion magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrés (calcaires dolomitiques, dolomies du jurassique ou du trias moyen) (Rodier, 2009).

### 5.3.6.Le Calcium

C'est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Il existe principalement à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre sous forme sulfate, chlorure...etc (Rodier *et al.*, 2005). Le calcium est l'élément présent dans toutes les eaux naturelles (Benamar *et al.*, 2011). Le calcium ne pose pas des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage (Gaujour, 1995).

### 5.3.7.Le Sodium

C'est un élément dont les concentrations dans l'eau varient d'une région à une autre (Bouziyani, 2000). Son origine peut être naturelle (mer, terrain salé....) ; humaine (10 à 15 g Na Cl dans les urines /jour) ou industrielle (potasse, industrie pétrolière). Les eaux très riches en

sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées (**Rodier et al., 2005**).

### **5.3.8. Le Potassium**

Le potassium est étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est très répandue dans la nature sous forme de 21 sels. Il joue un rôle important dans l'équilibre électrolytique de l'organisme et règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules (**Mercier, 2000**). Sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 5 à 10 mg.L-1 (**Rodier et al., 2009**).

### **5.3.9. Les nitrites**

Les nitrites sont répandus dans le sol, dans les eaux et dans les plantes, mais en quantités relativement faibles. Ils résultent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une réduction des nitrates. Ils peuvent aussi provenir de l'étape de traitement des eaux en cas de gestion inadéquate des filtres à sable, des filtres à charbon actif ou des étapes de nitrification-dénitrification biologique. (**Bouziyani, 2000 ; Savary, 2010**) . Les ions nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et les ions nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) .Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène, est la nitratisation. Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates, appelée dénitrification. Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. La toxicité augmente avec la température (**Rodier, 2005**) .Toutefois, une eau renfermant une quantité élevée de nitrites est considérée comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de la qualité microbiologique (**Bouziyani, 2000 ; Savary, 2010**).

### **5.3.10. Nitrates**

Le nitrate, sel de l'acide nitrique, a pour formule chimique  $\text{NO}_3^-$  . Pour se former, il a donc besoin d'azote (N) et d'oxygène (O) .Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitrifiantes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates. Les nitrates ne sont pas toxiques ; mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Les nitrates sont

naturellement présents dans l'eau mais selon les milieux, leur concentration varie de 0,1 à 1 mg.L-1 pour l'eau souterraine. (**Demdoum, 2010**).

### **6.La pollution des eaux**

La pollution des eaux constitue une des facettes de la crise environnementale certes ancienne, mais dont la gravité ne s'est pas nécessairement estompée malgré l'accumulation de régimes réglementaires. Elle se traduit par des effets très spécifiques dus aux particularités écologiques propres au milieu aquatique . Pendant longtemps la solution préconisée par les pouvoirs publics et les entreprises fut la suivante : « the solution to pollution is dilution ». Or le phénomène de dissolution des polluants rencontre ses limites, notamment s'agissant des matières insolubles et des déchets solides ( **Sadeleer et Martens , 2022**). Toute pollution de l'Eau est une altération, dans un sens défavorable, d'une ou plusieurs caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques de cette eau provoquée par le rejet de produits liquides, solides ou gazeux (**Marcel, 1974**). La pollution de l'eau est définie comme toute altération physique, chimique ou biologique de la qualité de l'eau qui la rend impropre à son usage naturel ou humain (**Chapman, 1996**).

#### **6.1.Les types de pollutions :**

##### **➤ Pollution physique**

La pollution physique est due à des modifications des caractéristiques physiques de l'eau, telles que la turbidité, la température et la présence de déchets solides (**Bilotta et Brazier, 2008**). Elle comprend, la radioactivité , les matières en suspension (MES) et la chaleur . La radioactivité est potentiellement le polluant physique le plus dangereux, car elle implique des rayonnements X, B et  $\gamma$  de diverses puissances. Certaines roches et minerais contiennent des éléments instables et radioactifs, tels que l'uranium, le radium et le thorium, dont l'accumulation dans l'organisme peut provoquer des toxicités (**Ramade, 2000**). Les matières en suspension (MES) constituent les matières insolubles, minérales ou Organiques, biodégradables ou non. Elles provoquent une diminution de la production Photosynthétique (**ASE , 2010**) . Elles augmentent la turbidité de l'eau qui réduit la pénétration de la lumière (Charbonneau, 1977). L'augmentation de la température de l'eau de surface diminue la solubilité des gaz, en particulier de l'oxygène, ce qui réduit la capacité d'autoépuration des eaux de surface et entraîne une augmentation de la matière organique (**Ramade, 2000**).

➤ **Pollution chimique**

La pollution chimique de l'eau devient de nos jours une préoccupation de santé publique qui prend des formes multiples, certaines formes de pollution chimique échappent souvent aux méthodes ordinaires de traitement de l'eau et posent par conséquent des problèmes complexes de pollution ; tant au niveau des eaux de surface qu'au niveau des nappes souterraines (**Kourchi, 2010**). Les polluants chimiques sont divers :

- Les métaux lourds, tels que le plomb et le chrome, ont un impact sur les caractéristiques sensorielles de l'eau et sont dangereux, même à faible dose, car ils s'accumulent dans la chaîne alimentaire et peuvent causer de graves dommages à l'organisme humain ;
- Les pesticides (Les insecticides, herbicides et fongicides) sont des produits chimiques utilisés pour protéger les plantes contre les organismes nuisibles et leur présence dans l'eau peut être due à leur utilisation en agriculture ;
- Les micropolluants englobent des substances chimiques d'origine minérale et Organique telles que des pesticides, des détergents et des hydrocarbures (**Ramade, 2000**).

**7. Les risques liés à la présence des substances chimiques dans l'eau :**

L'être humain trouve une grande part de ses besoins en substances minérales dans l'eau de boisson. C'est en général la présence d'un excès de certains éléments qui peut induire soit directement, soit indirectement, des effets néfastes pour la santé. Les effets ne se manifestent généralement qu'à moyen ou long terme et peuvent prendre des formes très diverses telles que cancérogénicité, mutagénicité, troubles métaboliques (**Savary, 2010**). A moyen terme, des pathologies ont été identifiées, induites par le fluor c'est la fluorose dentaire qui peut être apparaitre à partir de 4mg.L-1 de fluor, ou les nitrates qui se transforment en nitrites dans l'estomac. Ces nitrites peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine du sang en méthémoglobine, impropre à fixer l'oxygène. Ce phénomène est à l'origine de cyanoses, surtout chez les nourrissons (**Laferriere et al., 1995**).

A long terme, le rôle néfaste de macroconstituants des eaux (sodium, dureté, etc.) n'a pas été confirmé. En revanche, certains microconstituants sont réellement impliqués dans un risque hydrique, tels des métaux lourds (plomb, cadmium) ; Le plomb par exemple passe dans le sang et va perturber de nombreux mécanismes biochimiques, touchant

principalement le système nerveux mais ainsi d'autres fonctions, comme la reproduction. Les enfants exposés de manière prolongée à de faibles doses de plomb peuvent aussi développer un saturnisme : Une maladie caractérisée par divers troubles pouvant être irréversibles (**Laurence, 2003 ; Douard et Lebental, 2013**).

D'autres interrogations subsistent pour certaines molécules organiques comme les pesticides et d'une manière plus générale, pour les sous-produits minéraux ou organiques de la désinfection (chloration surtout) des eaux, en termes de risque cancérogène (**Morris, 1995 ; Cantor, 1997**). Donc d'une façon générale, le risque chimique peut être lié, soit à la contamination de l'eau brute, soit durant le traitement de l'eau (dérivés de coagulants, sous-produits de désinfection), soit au transport de l'eau par des contaminants présents dans les tuyaux tels que le plomb, l'amiante et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (**Hartemann, 2004**).

➤ **Pollution microbiologique**

La pollution microbiologique de l'eau est causée par la présence de micro-organismes pathogènes tels que des bactéries, des virus, des protozoaires et des parasites. Ces micro-organismes proviennent généralement de matières fécales humaines ou animales et peuvent entraîner des maladies infectieuses graves (**Leclerc *et al.*, 2002**).

**Contamination par les eaux usées**

Les bactéries et virus présents dans les eaux usées causent des maladies hydriques (**OMS, 2022**).

**Déjections animales et agriculture**

Les pathogènes zoonotiques contaminent les eaux de surface et souterraines (**Gerba et Smith, 2005**).

**Prolifération d'algues et cyanobactéries**

Les efflorescences algales produisent des toxines nocives pour l'eau potable.

**Principaux micro-organismes responsables de la contamination de l'eau**

Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites et les algues. Ils sont peu nombreux dans les eaux de nappes du fait des conditions habituellement anaérobies et des faibles quantités de nutriment disponibles. Le transfert de matière organique dans la nappe favorise leur prolifération (**Bouziani, 2000**).

∞ **Les Bactéries**

- ✓ *Escherichia coli* (*E. coli*) : Indicateur clé de contamination fécale (**Edberg et al., 2000**).
- ✓ *Salmonella spp.* : Responsable de la salmonellose (**Leclerc et al., 2002**).
- ✓ *Campylobacter spp.* : Provoque des diarrhées aiguës (**Hunter et Thompson, 2005**).
- ✓ *Vibrio cholerae* : Agent du choléra (**Payment et Locas, 2011**).

∞ **Les Virus**

- ✓ Norovirus : Responsable d'épidémies de gastro-entérites (**Gibson, 2014**).
- ✓ Rotavirus : Provoque des diarrhées sévères (**Craun et al., 2010**).

∞ **Protozoaires**

- ✓ *Giardia lamblia* : Provoque la giardiase (**Hunter et Thompson, 2005**).
- ✓ *Cryptosporidium parvum* : Causant la cryptosporidiose (**Ashbolt, 2004**).
- ✓ *Entamoeba histolytica* : Responsable de l'amibiase (**Bitton, 2014**).
- ✓ *Ascaris lumbricoides* : Ver rond causant l'ascaridiose (**Bitton, 2014**).
- ✓ *Trichuris trichiura* : Responsable de la trichocéphalose (**Bitton, 2014**).

**8. Les maladies à transmission hydrique**

Les maladies à transmission hydrique (MTH), sont à l'origine de la mortalité élevée des populations des pays en voie de développement. L'eau contaminée par les microorganismes est une source d'infections très importante (**Madigan et Martink, 2007**).

Selon le type de micro-organismes, la dose infectieuse, les voies d'exposition aux agents infectieux, nécessaires pour provoquer la maladie, est très variable. En général, la dose nécessaire est plus faible dans le cas des virus et des protozoaires qu'avec les bactéries. Ainsi, l'ingestion de 1 à 10 particules virales ou de quelques kystes de protozoaires peut provoquer la maladie alors qu'une concentration de  $10^3$  à  $10^6$  organismes est nécessaire dans le cas de certaines bactéries (**François, 2008**), (Tableau N°1).

**Tableau 1 : Principales infections humaines transmissibles par l'eau (Hartemann, 2004).**

Pathologies	Agent responsable	Origine la plus fréquente
Pathologie digestive :  • Fièvres typhoïde  • Gastro-entérites        • Choléra • Hépatites A, E	Salmonella typhi (PARA A – B)  • E. coli Salmonella sp. Shigella sp. Yersinia Campylobacter • Giardia Cryptosporidium • Rotavirus Vibrio cholerae Virus	Aliments Eau de boisson (EB) EB  Aliments crus  Baignades   EB, Aliments
Pathologie respiratoire ORL :  • Légionellose	Legionella sp.	Eaux aérosolisées Compostage

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mycoses pulmonaires</li> <li>• Affections ORL</li> <li>• Méningo-encéphalites Amibiennes</li> </ul>	<p>Aspergillus sp Actinomycetes Thermophiles Adénovirus Reovirus</p>	<p>Piscines Baignades Baignades (eau douce)</p>
<p>Pathologie cutanéomuqueuse :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dermatomycoses</li> <li>• Candidoses</li> <li>• Leptospirose</li> <li>• Suppurations Bactériennes</li> <li>• Dermatites</li> </ul>	<p>Dermatophytes Candida albicans</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leptospires</li> <li>• Streptocoque hémolytique du groupe A</li> <li>• Staphylococcus</li> <li>• Pseudomonas Furcocercaires</li> </ul>	<p>Métiers au contact de l'eau piscines, baignades, eaux usées, terrassement</p>

❖ **Le choléra**

C'est une maladie infectieuse diarrhéique à caractère épidémique, d'origine bactérienne, transmise par voie digestive. (**Roux, 2002**). L'agent pathogène de Choléra est un bacille Gram- : *Vibrio cholerae*. Il s'agit d'une bactérie appartenant à la famille des Vibrionaceae et au genre du cholerae. La transmission de ce germe est donc hydrique ou inter-humaine: eaux polluées, produits marins contaminés, fruits et légumes irrigués, mains sales (toilette et transport des cadavres, repas) (**Aubry, 2013**).

❖ **La fièvre typhoïde**

La fièvre typhoïde (du grec tymphos, torpeur) ou typhus abdominal est une maladie infectieuse découverte en 1818 par Pierre Bretonneau, causée par une bactérie de la famille Entérobactérie, du genre des salmonelles dont les espèces responsables sont: *Salmonella enterica*, *Salmonella typhi* ou *Salmonella paratyphi* A, B et C. C'est une maladie bactérienne

transmissible strictement humaine. Elle est provoquée par des salmonelles que l'on trouve dans le lait, la nourriture ou l'eau contaminée (**Jamai et al., 2010**).

❖ **La gastro-entérite**

Appelée familièrement « gastro », est une inflammation intestinale faisant suite à une infection touchant les muqueuses présentes dans l'estomac et l'intestin. Cette pathologie est due dans la majorité des cas à un virus ou plus rarement à des bactéries. La gastro-entérite bactérienne est généralement transmise par l'eau ou par les aliments souillés et causée par des salmonelles, des staphylocoques et des shigelles. Elle se manifeste essentiellement par les symptômes suivants : des nausées, des vomissements, des crampes abdominales et de la diarrhée (**Masschelein, 1996**).

❖ **La dysenterie**

Terme générique qui caractérise des maladies entraînant une diarrhée douloureuse et sanglante accompagnée de coliques, de nausées et de vomissements. Il existe la dysenterie bacillaire ou shigellose (causée par diverses bactéries), dysenterie amibienne ou amibiase (causée par des amibes). Seule la shigellose peut entraîner la mort, les taux de mortalité peuvent atteindre 20% (**Briere, 2000**).

**9. Traitement des eaux souterraines :**

La moitié des eaux souterraines que nous consommons n'a besoin d'aucun traitement (**Myrand, 2008**), mais certaines d'entre elles présentent toutefois, naturellement, des teneurs excessives en certains éléments (fer, manganèse, turbidité). D'autres dépourvues de protection naturelle, sont soumises à des pollutions ponctuelles (souvent accidentelles), diffuses (nitrates et produits phytosanitaires) ou microbiologiques (liées à certains aquifères sensibles tels que les milieux fissurés karstiques ou à des contaminations de proximité au niveau des installations de captage) et donc doivent subir un traitement spécifique avant mise en distribution (**Jestin, 2006**). Le traitement de ces eaux souterraines comportera en générale les étapes suivantes (le nombre et le choix des étapes étant fonction de la qualité de l'eau) :

- ✓ Décantation : celle-ci peut être accélérée par l'addition d'un flocculant (sels de fer ou d'aluminium)

- ✓ Filtration sur lit de sable, cette opération étant parfois combinée à la première, ou plus récemment sur filtres en matériaux céramiques ou cellulosiques
- ✓ Elimination des composés organiques ou minéraux indésirables ou en excès par passage sur charbon actif (adsorption des molécules organiques) ou sur résine échangeuse des ions (élimination des sels minéraux) (**Jestin, 2006**).
- ✓ Désinfection par traitement oxydant à l’ozone, au chlore, au bioxyde de chlore ou aux dichloramines, qui élimine les micro-organismes
- ✓ Post-chloration, avant envoi dans le réseau, ou les réservoirs de façon à maintenir une teneur résiduelle en chlore libre actif de 0,1 mg.L-1 environ (**Festy et al., 2003**).

### **1. Normes de la qualité de l'eau**

Afin de définir régulièrement une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nuisibles et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne désigne 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 (**Alouane, 2012**). Globalement, les qualités de l'eau de boisson doit obéir à des normes définies par une réglementation nationale. Il peut en résulter, pour un pays ou une région donnée, des dispositions réglementaires différentes de la qualité de l'eau, par rapport aux normes internationales (**Bouziyani, 2000**).

#### **1.1 La réglementation Algérienne**

La Réglementation algérienne concernant les eaux souterraines est principalement définie par la loi n°05-12 du 4 août 2005 sur l'eau, complétée par divers décrets exécutifs et arrêtés détaillant ses modalités d'application.

Cette loi établit que les eaux souterraines, incluant celles identifiées comme eaux de source, eaux minérales naturelles et eaux thermales, sont légalement définies comme telles dès lors qu'elles sont observées ou découvertes, notamment suite à des travaux de fouille ou de forages d'exploration effectués par des entités publiques ou privées (**Art 46**).

Tout déversement ou rejet d'eaux usées, quelle qu'en soit la nature, est strictement interdit dans les puits, forages, galeries de captage, fontaines, abreuvoirs publics, oueds à sec et canaux. De même, tout dépôt ou enfouissement de matières insalubres susceptibles de polluer les eaux souterraines par infiltration naturelle ou par recharge artificielle est prohibé. Il est également interdit d'introduire des matières insalubres dans les ouvrages et installations hydrauliques destinés à l'alimentation en eau. Enfin, le dépôt ou l'enfouissement de cadavres d'animaux dans les oueds, lacs, étangs, ainsi qu'à proximité des puits, forages, galeries de captage, fontaines et abreuvoirs publics, constitue une infraction grave à la protection des ressources en eau (**Art 46**).

### 1.1.1 Qualité et contrôle des eaux souterraines

Le décret exécutif de 2011 fixe les normes relatives aux paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux souterraines destinées à l'alimentation en eau potable (Tableau N°2).

**Tableau N° 2 Paramètres Physico-Chimiques, Microbiologiques et Organoleptiques des Eaux Superficielles et Souterraines selon le Journal Officiel Algérien, 2011**

Groupes de paramètres	Paramètres	Unité	Valeur maximale	
			Eaux superficielle	Eaux souterraines
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Echelle P	200	20
	Odeur (taux dilution 25°)	-	20	3
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Chlorures	Mg/1Ci	600	500
	Concentration en ions hydrogène (ph)	Unité Ph	≥ 6,5 et ≤ 9	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité	µS/cm à 20 °C	2800	2800
	Demande biochimique en oxygène (DBO5)	Mg /1 O2	7	< 3
	Demande chimique en oxygène (DCO)	Mg /1 O2	30	-
	Matières en suspension	Mg /1	25	25
	Sulfates	Mg /1 SO4	400	400
	Taux de saturation en oxygène dissous	%O2	30	> 70

**Normes et Réglementations sur la Qualité de l'Eau**

	<b>Température</b>	<b>°C</b>	<b>25</b>	<b>25</b>
<b>Paramètres chimiques</b>	<b>Ammonium</b>	<b>Mg /l</b>	<b>4</b>	<b>0,5</b>
	<b>Baryum</b>	<b>Mg /l</b>	<b>1</b>	<b>0,7</b>
	<b>Bore</b>	<b>Mg /l</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
	<b>Fer dissous</b>	<b>Mg /l</b>	<b>1</b>	<b>0,3</b>
	<b>Fluor</b>	<b>Mg /l</b>	<b>2</b>	<b>1,5</b>
	<b>Manganèse</b>	<b>Mg /l</b>	<b>1</b>	<b>0,05</b>
	<b>Nitrates</b>	<b>Mg /l NO3</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
	<b>Phosphore</b>	<b>Mg /l</b>	<b>10</b>	<b>5</b>
	<b>Arsenic</b>	<b>µg/l</b>	<b>100</b>	<b>10</b>
	<b>Cadmium</b>	<b>µg/l</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
	<b>Chrome</b>	<b>µg/l</b>	<b>100</b>	<b>50</b>
	<b>Cuivre</b>	<b>Mg /l</b>	<b>2</b>	<b>0,05</b>
	<b>Cyanures</b>	<b>µg/l</b>	<b>100</b>	<b>50</b>
	<b>Mercure</b>	<b>µg/l</b>	<b>10</b>	<b>6</b>
	<b>Plomb</b>	<b>µg/l</b>	<b>50</b>	<b>10</b>
	<b>Sélénium</b>	<b>µg/l</b>	<b>50</b>	<b>10</b>
	<b>Zinc</b>	<b>Mg /l</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
	<b>Hydrocarbures polycliques aromatiques</b>	<b>µg/l</b>	<b>1</b>	<b>0,2</b>
	<b>Hydrocarbures dissous</b>	<b>µg/l</b>	<b>1000</b>	<b>10</b>
	<b>Phénols</b>	<b>µg/l</b>	<b>2</b>	<b>0,5</b>
<b>Agents de surface</b>	<b>Mg /l</b>	<b>0,5</b>	<b>0,2</b>	
<b>Azote kjeldhal</b>	<b>Mg /l</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	
<b>Pesticides</b>	<b>µg/l</b>	<b>1</b>	<b>0,5</b>	
<b>paramètres microbiologiques</b>	<b>Escherichia coli</b>	<b>n/100ml</b>	<b>20,000</b>	<b>20</b>
	<b>Entérocoques</b>	<b>n/100ml</b>	<b>10,000</b>	<b>20</b>

	<b>Salmonelles</b>	—	<b>Absence dans 1000ml</b>	<b>Absence dans 5000ml</b>
--	--------------------	---	----------------------------	----------------------------

La réglementation de l'année 2000 fixe les caractéristiques des eaux de source, notamment en ce qui concerne leur contrôle et leur qualité sanitaire (Tableau N°3)

**Tableau N°3 Caractéristique de qualité d'une eau de source selon le Journal Officiel Algérien, 2000**

<b>CARACTERISTIQUES</b>	<b>UNITE</b>	<b>CONCENTRATION</b>
<b>1-Caractéristiques organoleptiques:</b>		
<b>Couleur</b>	<b>Mg/l de platine (en référence à l'échelle platine / cobalt)</b>	<b>au maximum 25</b>
<b>Odeur (seuil de perception à 25° C)</b>	—	<b>au maximum 4</b>
<b>Saveur (seuil de perception à 25° C)</b>	—	<b>au maximum 4</b>
<b>Turbidité</b>	<b>Unité JACKSON</b>	<b>au minimum 2</b>
<b>2- Caractéristiques physico-chimiques liées à la structure naturelle de l'eau:</b>		
<b>P.H.</b>	<b>Unité PH</b>	<b>6,5 à 8,5</b>
<b>Conductivité (à 20° C)</b>	<b>nous/cm</b>	<b>au maximum 2.800</b>
<b>Dureté</b>	<b>mg/l de CaCO3</b>	<b>100 à 500</b>
		<b>200 à 500</b>

<b>Chlorures</b>	<b>mg/l(IC)</b>	<b>200 à 400</b>
<b>Sulfates</b>	<b>mg/l (SO4)</b>	<b>75 à 200</b>
<b>Calcium</b>	<b>mg/l (Ca)</b>	<b>150</b>
<b>Magnésium</b>	<b>mg/l (Mg)</b>	<b>200</b>
<b>Sodium</b>	<b>mg/l(Na)</b>	<b>20</b>
<b>Potassium</b>	<b>mg/l(K)</b>	<b>0,2</b>
<b>Aluminium total</b>	<b>mg/l</b>	<b>au maximum 3</b>
<b>Oxydabilité au permanganate de potassium</b>	<b>mg/l en oxygène</b>	<b>1.500 à 2.000</b>
<b>Résidus secs après dessiccation à 180° C</b>	<b>mg/l</b>	
<b>3- Caractéristiques concernant les substances indésirables:</b>		<b>au maximum 50</b>
<b>Nitrates</b>	<b>mg/l de NO3</b>	<b>au maximum 0,1</b>
<b>Nitrites</b>	<b>mg/l de NO2</b>	<b>au maximum 0,5</b>
<b>Ammonium</b>	<b>mg/l de NH4</b>	<b>au maximum 1</b>
<b>Dioxyde d'azote</b>	<b>mg/l en N(1)</b>	<b>0,2 à 2</b>

<b>Fluor</b>	<b>mg/l de F</b>	<b>Ne doit pas être décelable orgaleptiquement</b>
<b>Hydrogène sulfuré</b>		<b>au maximum 0,3</b>
<b>Fer</b>	<b>mg/l (Fe)</b>	<b>au maximum 0,5</b>
<b>Manganèse</b>	<b>mg/l (Mn)</b>	<b>au maximum 1,5</b>
<b>Cuivre</b>	<b>mg/l (Cu)</b>	<b>au maximum 5</b>
<b>Zinc</b>	<b>mg/l (Zn)</b>	<b>au maximum 0,05</b>
<b>Argent</b>	<b>mg/l (Ag)</b>	
<b>4- Caractéristiques concernant les substances toxiques:</b>		<b>0,05</b>
<b>Arsenic</b>		<b>0,01</b>
<b>Cadmium</b>	<b>mg/l(As)</b>	<b>0,05</b>
<b>Cyanure</b>	<b>mg/l (Cd)</b>	<b>0,05</b>
<b>Chrome total</b>	<b>mg/l (Cn)</b>	<b>0,001</b>
<b>Mercure</b>	<b>mg/l (Cr)</b>	<b>0,05</b>
<b>Plomb</b>	<b>mg/l (Hg)</b>	<b>0,01</b>
	<b>mg/l (Pb)</b>	

<p><b>Sélénium</b></p>	<p><b>mg/l(Se)</b></p>	
<p><b>Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A):</b></p>	<p><b>ug/l</b></p>	<p><b>0,2</b></p>
<p><b>* pour le total des 6 substances suivantes:</b></p>		
<p><b>fluoranthène,</b></p>		
<p><b>benzo (3,4) fluoranthène</b></p>		
<p><b>benzo (11,12) fluoranthène</b></p>		
<p><b>benzo (3,4) pyrène</b></p>		
<p><b>benzo (1,12) pérylène</b></p>	<p><b>ug/l</b></p>	<p><b>0,01</b></p>
<p><b>indéno (1,2,3cd) pyrène</b></p>		
<p><b>* benzo (3,4) pyrène</b></p>		

**1.2. Normes de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) relatives à la qualité de l'eau**

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) élabore une série de recommandations concernant la qualité de l'eau, incluant l'eau potable, l'utilisation sécurisée des eaux usées et la qualité des eaux de baignade. Ces recommandations reposent sur une approche de gestion des risques. Depuis 2004, les Directives de qualité pour l'eau potable encouragent la mise en place d'un cadre visant à assurer la sécurité sanitaire de l'eau consommée. Ce cadre préconise la définition d'objectifs sanitaires, ainsi que l'élaboration et la mise en œuvre par les fournisseurs

**Normes et Réglementations sur la Qualité de l'Eau**

---

de plans de gestion de la salubrité de l'eau, permettant d'identifier et de maîtriser les risques de manière optimale, depuis la source jusqu'au consommateur (OMS, 2023).

L'OMS établit, pour chaque paramètre, des recommandations qui peuvent être adaptées dans chaque pays, en fonction de l'état sanitaire et des conditions économiques, pour aboutir aux normes réglementaires nationales (OMS, 1994).

L'élaboration des normes de potabilité est basée sur les études scientifiques montrant les effets nocifs sur la santé des éléments physico-chimiques à partir d'une certaine concentration maximale à ne pas dépasser. La norme est représentée par une valeur chiffrée, qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser pour une substance donnée, ou une limite inférieure à respecter ou encore une fourchette comprise entre un minimum et un maximum (OMS, 2000).(Tableau N°4)

**Tableau N°4 Norme de l'OMS sur la qualité des eaux (OMS, 2011)**

paramètres chimiques	Concentration ioniques		Pourcentage des ouvrages ayant de (s) teneur (s) en élément (s) dépassant (s) la norme OMS
	Maximum	Norme (OMS 2011)	
PH (unité Ph )	5,20	6,5-8,5	22%
C.E (µs/cm)	246	500	----
TH (mg/l)	324	100	33%
TDS(mg/l)	405,8	500	--
HCO3-(mg/l)	175,7	500	--
CL-(mg/l)	39,76	250	--
SO4(mg/l)	29,76	250	--
NO3(mg/l)	75,24	45	28%
NO2(mg/l)	1,9	3	--
F(mg/l)	1,99	1,5	5,55%

<b>Mg(mg/l)</b>	<b>22,35</b>	<b>50</b>	<b>--</b>
<b>Na (mg/l)</b>	<b>16,49</b>	<b>200</b>	<b>--</b>
<b>Ca (mg/l)</b>	<b>124,8</b>	<b>75</b>	<b>--</b>
<b>K (mg/l)</b>	<b>16,49</b>	<b>200</b>	<b>--</b>
<b>Fe<sup>2</sup>(mg/l)</b>	<b>1,85</b>	<b>0,3</b>	<b>33%</b>

# **Matériel et méthodes**

Le présent travail porte sur l'analyse physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines, avec un intérêt initial porté sur les eaux de puits. Cependant, pendant la phase de prélèvement des échantillons, il a été difficile d'atteindre un nombre adéquat de puits opérationnels dans la zone d'étude en raison de leur absence, de leur assèchement ou de restrictions d'accès. Pour surmonter cette contrainte et garantir la poursuite de l'étude, nous avons prélevé cinq échantillons d'eau de forage ainsi qu'un échantillon d'un puits accessible. Ce choix méthodologique repose sur le fait que les eaux de puits et les eaux de forage proviennent généralement des mêmes nappes phréatiques et présentent des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques comparables. Par conséquent, en regroupant ces six échantillons, il est possible de garantir la pertinence de l'analyse sans altérer l'objectif principal de l'étude, qui vise à évaluer la qualité des ressources souterraines dans la région examinée.

Ce travail a été réalisé au laboratoire de l'Algérienne des Eaux (ADE), situé à Chaâbat El Leham, dans la wilaya d'Aïn Témouchent.





### **1. Zone d'étude et échantillonnage**



Initialement, l'étude prévoyait de collecter des échantillons d'eau provenant de puits traditionnels situés dans la wilaya d'Aïn Témouchent. Les forages sélectionnés sont alimentés par les mêmes nappes phréatiques que les puits traditionnels, ce qui garantit une représentativité acceptable pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines.

#### **1.1. Présentation de la zone d'étude :**

La région d'étude est située dans la wilaya d'Aïn Témouchent. Cinq échantillons d'eau de forage, désignés de S1 à S5, ont été prélevés dans divers sites caractéristiques de la région : Terbane Sidi Ouaryache (S1), Sidi Djelloul Beni Saf (S2), Barrette Aïn Témouchent (S3), Fondoro Aïn El Kihal (S4) et El Amir Abd El Kader (S5). De plus, un prélèvement a été effectué dans un puits spécifique, nommé P1, localisé à Grayiya Hassi El Ghala.

Tableau N°5 Sites d'échantillonnage

Echantillons	Région	Localisation géographique	Date de prélèvement
S1	Terbane Sidi Ouaryache	 <p><b>Figure 2 localisation géographique forage Terbane sidi ouaryache</b></p>	16/03/2025
S2	Sidi Djelloul Beni Saf	 <p><b>Figure 3 Localisation géographique forage Sidi Djelloul Beni Saf</b></p>	16/03/2025
S3	Barrette Ain Témouchent	 <p><b>Figure 4 localisation géographique forage Barrette Ain Temouchent</b></p>	23/03/2025
S4	Fondoro Ain El Kihal	 <p><b>Figure 5 localisation géographique forage Fondoro Ain EL Kihal</b></p>	20/03/2025

<p>S5</p> <p>P1</p>	<p>El Amir Abd El Kader</p> <p>Grayiya Hassi El Ghala.</p>	 <p><b>Figure 6 localisation géographique forage El Amir Abd El Kader</b></p>  <p><b>Figure 7 localisation géographique puit Grayiya Hassi El Ghala.</b></p>	<p>24/03/2025</p> <p>27/02/2025</p>
---------------------	--	--	-------------------------------------

## 1.2.Échantillonnage

Les prélèvements ont été réalisés sur cinq forages sélectionnés dans la région d'Ain Temouchent. Les campagnes d'échantillonnage ont été réalisées au cours des mois de mars et avril, période correspondant à la saison humide. Les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques ont été collectés dans des flacons en polyéthylène ou en verre préalablement rincés trois fois avec l'eau du puits.

Pour les analyses bactériologiques, des flacons stériles d'environ 500 ml ont été utilisés. Le prélèvement a été effectué en respectant les conditions d'asepsie pour éviter toute contamination externe (ne pas toucher l'ouverture du flacon, prélever directement le jet de la pompe si possible, ou utiliser un préleveur stérile).

## 2. Conservation et Transport:

Immédiatement après le prélèvement, les échantillons ont été étiquetés (identifiant du puits, date, heure). Ils ont été conservés dans une glacière maintenue à environ 4°C et transportés rapidement au laboratoire pour analyse (idéalement dans les 24 heures, surtout pour les

paramètres microbiologiques et certains paramètres physico-chimiques instables) afin de minimiser les modifications (Latheef *et al.*, 2024).

### 3. Justification du choix des forages

Les forages ont été choisis comme alternative en raison :

- De leur accessibilité dans la zone d'étude.
- De leur capacité à fournir une eau issue des nappes phréatiques profondes, similaires à celles alimentant les puits.

### 4. Les analyses bactériologiques

#### 4.1. Recherche et dénombrement des Microorganismes revivifiables à 22 et à 37°C dans les eaux

##### ➤ Mode Opératoire

A partir de l'eau à analyser (SM = 1) et/ou des dilutions décimales  $10^{-1}$  et  $10^{-2}$ , porter aseptiquement 1 ml en double dans deux boîtes de Pétri vides, numérotées et préparées à cet usage comme l'indique **la Figure N°** ci-après. Compléter ensuite avec environ 19 ml de gélose TGEA fondue puis refroidie à  $45 \pm 2^\circ\text{C}$ . Le temps qui s'écoule entre le moment où l'on a distribué l'inoculum dans la boîte et celui où le milieu est coulé ne doit pas excéder 15 minutes. Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose, sur une surface fraîche et horizontale. Laisser solidifier les boîtes sur paille, puis rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose ou de gélose blanche. Cette double couche, a un rôle protecteur contre les contaminations externes diverses. Les boîtes seront partagées en deux séries distinctes :

- ✓ La première série sera incubée à  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant  $68 \pm 4$  heures, .
- ✓ La seconde série sera incubée à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$ , pendant  $44 \pm 4^\circ\text{C}$  heures. (ISO 6222, 1999)

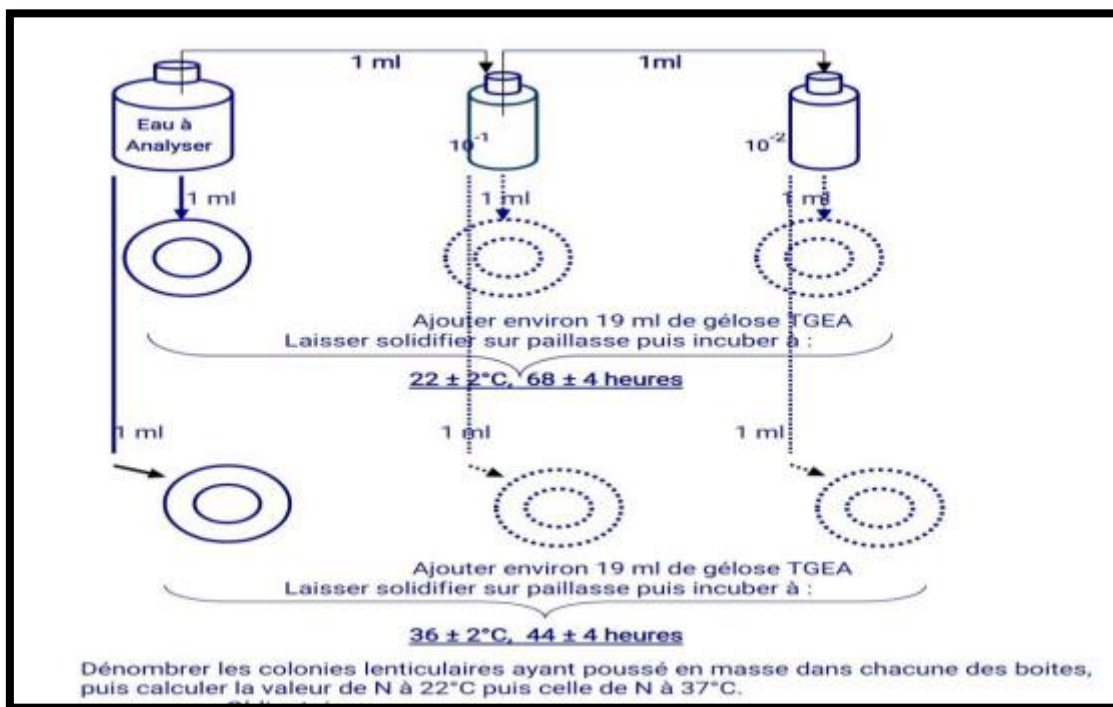


Figure 8 Recherche des Microorganismes revivifiants à 22 et à 37°C dans les eaux

#### 4.2. Recherche et dénombrement des Escherichia coli et des bactéries coliformes par la méthode de filtration

##### ➤ Mode Opératoire

- ✓ Tout d'abord, il faudrait stériliser l'entonnoir gradué en acier inoxydable ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen.
- ✓ Les refroidir tout de suite après, avec l'eau à analyser si on en dispose en quantité suffisante ou bien avec de l'eau distillée stérile.
- ✓ Mettre en place de façon aseptique une membrane de porosité nominale de  $0,45 \mu$  entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- ✓ Fixer ce dispositif avec la pince correspondante.
- ✓ Déposer ensuite aseptiquement 100 ou 250 ml d'eau à analyser, selon les types d'eaux à analyser, devant un bec bunsen.
- ✓ Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane.
- ✓ Retirer l'entonnoir puis transférer immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince à bouts arrondis stérile, sur la surface d'une plaque de

gélose TTC préalablement préparée. Cette dernière sera incubée couvercle en bas à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$

Pendant  $21 \pm 3$  heures voire  $44 \pm 4$  heures et servira à la recherche des bactéries coliformes, suivie de l'identification biochimique des *Escherichia coli*.

✓ Après la période d'incubation spécifiée, dénombrer les colonies caractéristiques qui se présentent sous forme de petites colonies lisses légèrement bombées à contours réguliers et pigmentés en jaune orangé ou en jaune (lactose positives).

✓ Repiquer de façon aléatoire 5 à 10 colonies à des fins de confirmation basée sur le test à l'oxydase d'une part et la production d'indole d'autre part (NA 764, 2017).

#### ➤ Test à l'oxydase.

Pour les besoins de ce test, effectuer tout d'abord un repiquage sur gélose TSA à la caséine de 5 à 10 colonies, à incuber à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant  $21 \pm 2$  heures, puis effectuer le test de l'une des façons suivantes : Imbiber un disque d'oxydase avec une goutte d'eau distillée stérile puis déposer une colonie caractéristique. Verser 2 à 3 gouttes du réactif à l'oxydase préparé extemporanément (Tétraméthyl-p-phénylènediamine) sur un papier filtre puis étaler dessus une partie de la culture.

Dans les deux cas la réaction positive est immédiate et se traduit par un virage au bleu violet foncé.

#### ➤ Test à l'indole.

Pour cela, transférer chaque colonie caractéristique séparément (5 à 10) dans un tube contenant 3 ml de bouillon au tryptophane. Bien triturer la colonie dans le milieu puis incuber ce dernier à  $44 \pm 0,5^\circ\text{C}$  pendant  $21 \pm 3$  heures puis rechercher la production d'indole en ajoutant 2 à 3 gouttes du réactif de Kowacs. La présence d'une coloration rouge à la surface du bouillon traduit la production d'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu.

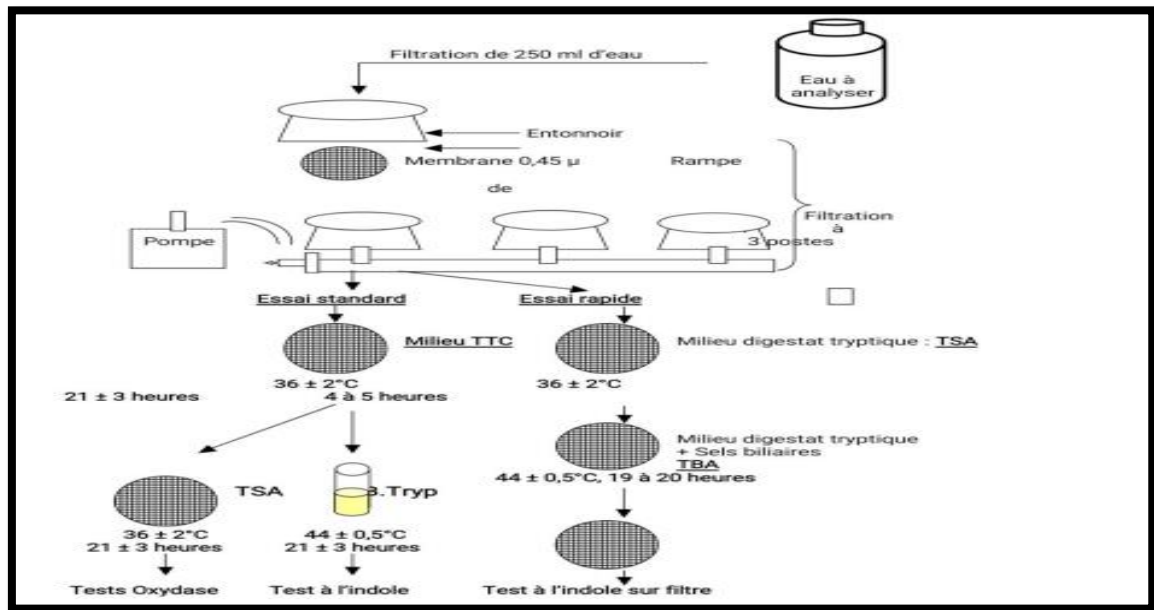


Figure 9 Recherche et dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries coliformes

#### 4.3. Recherche et dénombrement des Entérocoques intestinaux et Streptocoques

##### ➤ Mode Opérateur

- ✓ Mettre en place de façon aseptique une membrane de porosité nominale de 0,45 µ entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- ✓ Fixer ce dispositif avec la pince correspondante.
- ✓ Déposer ensuite aseptiquement 100 ou 250 ml d'eau à analyser, selon les types d'eaux à analyser, devant un bec bunsen.
- ✓ Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane.
- ✓ Retirer l'entonnoir puis transférer immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince à bouts arrondis stérile, à la surface d'une plaque de gélose SLANETZ et BARTLEY préalablement préparée.
- ✓ Cette dernière sera incubée couvercle en bas à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant  $44 \pm 4$  heures (ISO 7899-2, 2000).

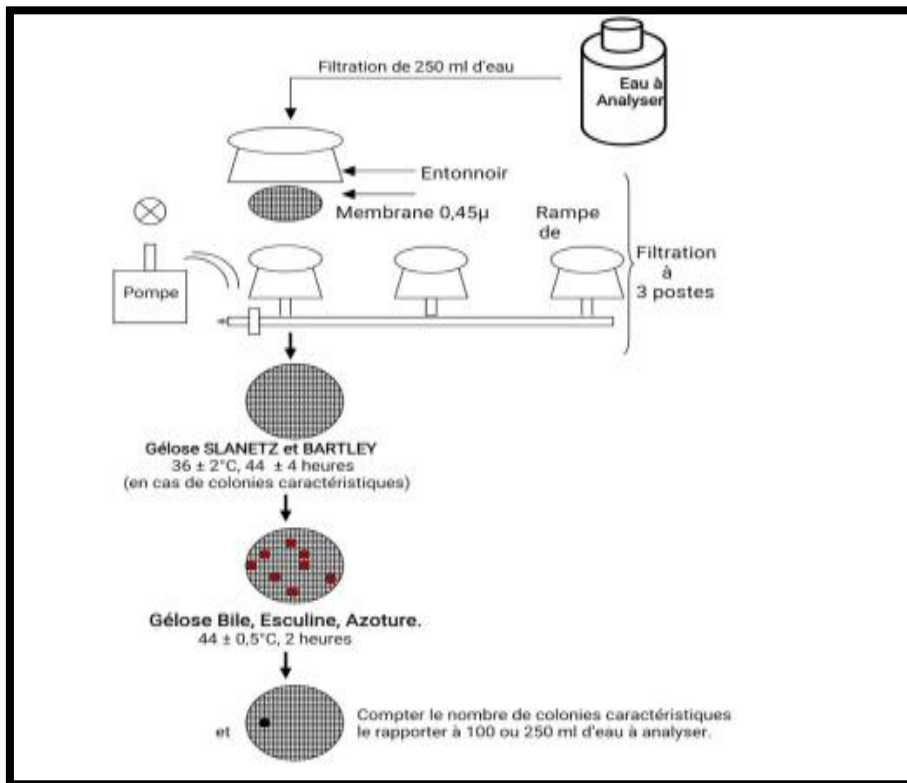


Figure N°10 Recherche et dénombrement des Entérocoques intestinaux et Streptocoques

#### 4.4. Recherche et dénombrement des Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices

##### ➤ Mode Opératoire

- ✓ Déposer ensuite aseptiquement 100 ml, devant un bec bunsen.
- ✓ Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane
- ✓ Retirer l'entonnoir, enlever la membrane à l'aide de pinces stériles puis la placer dans une boîte de façon à ce que la face quadrillée adhère au fond de la boîte tout en évitant les bulles d'air sous le filtre.
- ✓ Verser par la suite environ 18 ml de gélose TSC, TSN ou à défaut gélose VF, fondue puis refroidie à  $47 \pm 1^\circ\text{C}$  (ISO 6461-2,1986).

**Remarque :** si on utilise de la gélose VF, il faudrait au préalable chauffer l'eau à une température de  $75^\circ\text{C}$  pendant 15 minutes dans le but d'éliminer les formes végétatives. Après solidification sur paille, cette boîte sera incubée couvercle en bas à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant  $20 \pm 4$  heures puis  $44 \pm 4$  heures.

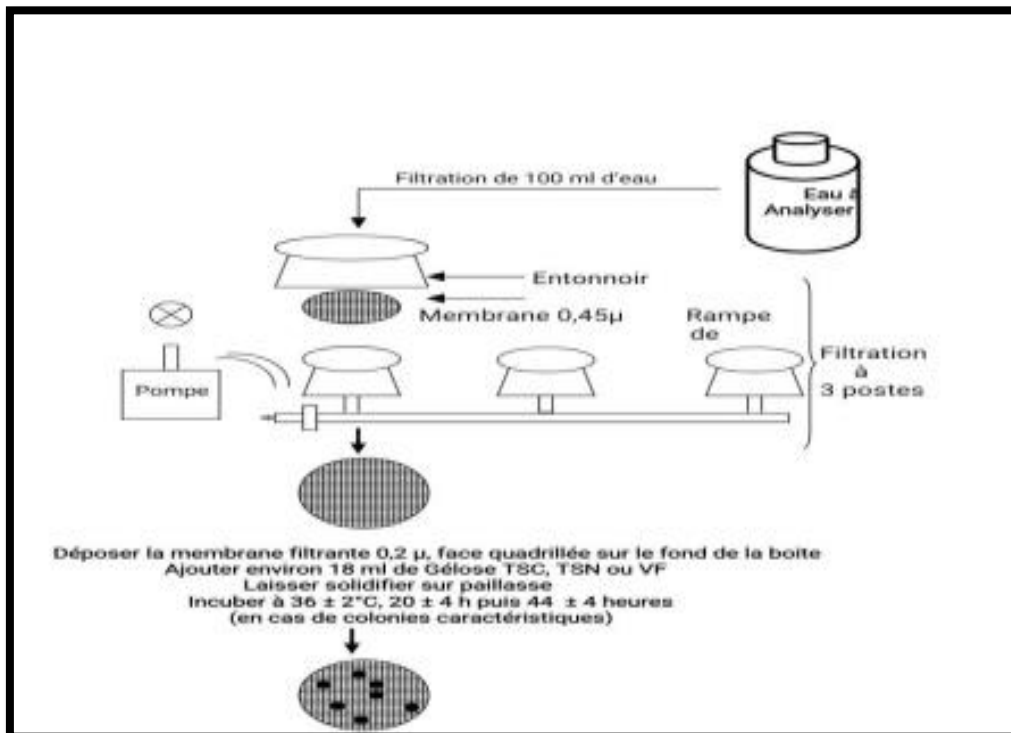
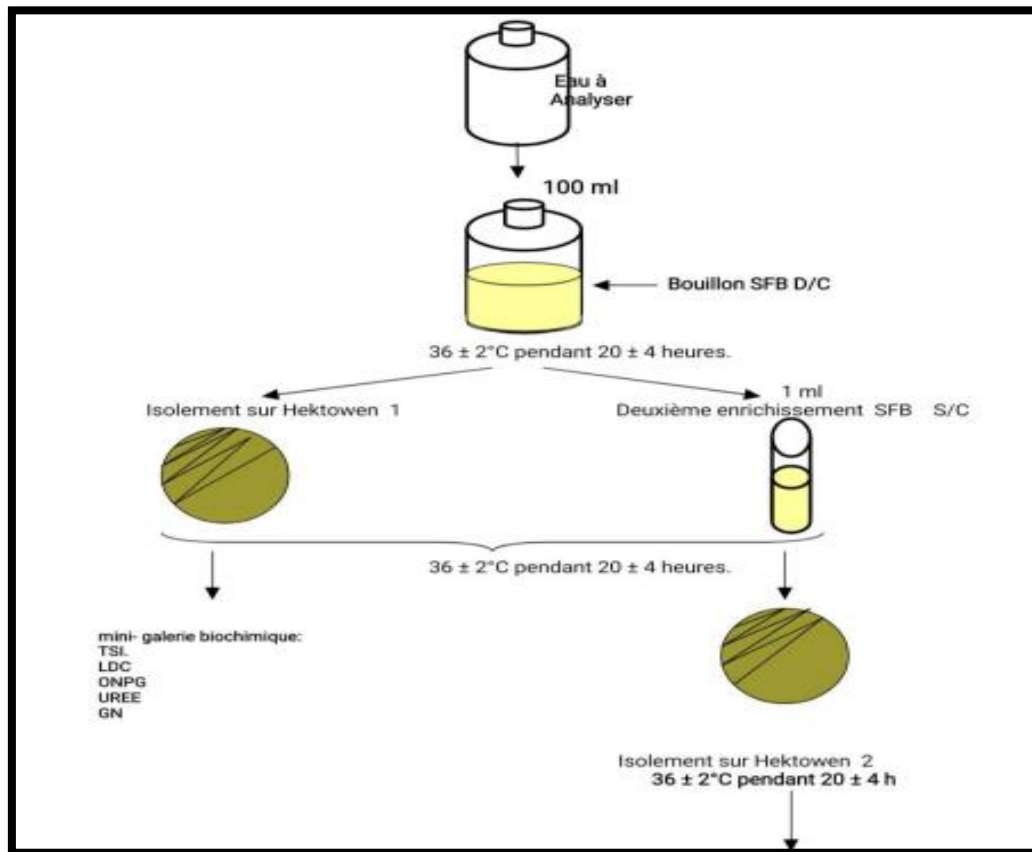


Figure N° 11 Recherche et dénombrement des Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices

#### 4.5. Recherche de Salmonelles

La recherche de *Salmonella* dans l'eau requiert habituellement une étape de concentration. Dans la mesure où les *Salmonella* peuvent être présentes en faible nombre et avoir subi une altération dans l'environnement aqueux, leur recherche dans l'eau nécessite habituellement une étape de préenrichissement (ISO 19250, 2010).

La détection de *Salmonella* dans un échantillon d'eau en milieu liquide s'effectue habituellement en plusieurs phases, comme l'indique la figure n°5. Elle commence par un pré-enrichissement destiné à favoriser la multiplication des *Salmonella*, souvent présentes en très faible quantité dans l'eau. Cette étape est suivie d'un enrichissement sélectif qui permet de favoriser la croissance spécifique de cette bactérie. Ensuite, on procède à l'isolement des colonies bactériennes, puis à leur identification et confirmation pour valider la présence de *Salmonella*.



**Figure 12 Recherche de Salmonelles**

## 5. Les analyses physico-chimiques

### 5.1. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est déterminé à l'aide d'un pH-mètre portable muni d'une électrode en verre, préalablement lavée à l'eau distillée ; cette électrode est immergée dans l'échantillon jusqu'à ce que la lecture se stabilise.

### 5.2. La conductivité

La mesure de la conductivité est effectuée à l'aide d'un conductimètre portable, dont les électrodes sont préalablement nettoyées avant chaque utilisation, puis plongées dans l'eau jusqu'à ce qu'une valeur stable soit atteinte, fournissant ainsi des informations sur la concentration en ions dissous.

### 5.3. La turbidité

La turbidité, qui est un indicateur de la présence de particules en suspension, est évaluée au moyen d'un turbidimètre en introduisant l'échantillon dans une cuvette propre et exempte de bulles d'air.

### 5.4. La température

La température est mesurée in situ à l'aide d'un thermomètre numérique. Il est préconisé de réaliser toutes ces mesures sur site, directement après le prélèvement, afin de prévenir toute altération des paramètres, et de procéder à l'étalonnage régulier des instruments conformément aux recommandations du fabricant. Ces mesures de précaution assurent la fiabilité des résultats et facilitent une évaluation précise de la qualité de l'eau provenant des forages et des puits.

### 5.5. Dureté ou titre hydrotimétrique ( TH)

#### ➤ Mode opératoire

Introduire 50 mL d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 mL, ajouter 4 mL de solution tampon et trois gouttes de solution de noir ériochrome T. La solution se colore en rouge foncé ou violet, le pH doit être de 10. En maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu. Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA (**Rodier, 2009**).

### 5.6. Dosage des chlorures

#### ➤ Mode opératoire

Introduire 100 ml de l'échantillon dans une capsule en porcelaine blanche ou dans une fiole ou dans un bêcher conique, placé sur un fond blanc. Ajouter 1 ml d'indicateur de chromate de potassium (b) et titrer la solution par addition goutte à goutte de solution de nitrate d'Argent jusqu'à ce que la solution prenne une couleur rougeâtre. Après addition d'une goutte de solution de Chlorure de Sodium cette coloration doit disparaître.

Titrer une solution à blanc en utilisant 100 ml d'eau distillée à la place d'échantillon pour essai. La valeur de l'essai à blanc ne devrait pas dépasser 0.2 ml de Nitrate d'Argent (a), dans le cas contraire, vérifier la pureté de l'eau ( **ISO 9297, 1989**).

### ➤ Expression des résultats

La concentration en chlorure  $P_{Ci}$  exprimée en milligrammes par litre, est donnée par formule

$$P_a = \frac{(V_s - V_b)}{V_a} C f$$

Où

- ❖  $P_a$  : est la concentration en milligramme par litre de chlorure.
- ❖  $V_a$  : est le volume, en millilitres de l'échantillon pour essai (maximum 100 ml ; les dilutions doivent être prises en compte).
- ❖  $V_b$ : est le volume, en millilitres de solution de Nitrates d'Argent utilisée pour le titrage du blanc.
- ❖  $V_s$ : est le volume, en millilitres de solution de Nitrates d'Argent utilisée pour le titrage de du l'échantillon.
- ❖  $C$ : est la concentration réelle exprimée en moles d'AgNO<sub>3</sub> par litre, de la solution de Nitrate d'Argent.
- ❖  $f$  : est le facteur de conversion  $f=35453$  mg/mol

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

### 5.7. Dosage de l'Ammonium

#### ➤ Mode opératoire

✓ Dissoudre 130 g de salicylate de sodium et 130 g de citrate trisodique di hydrate dans l'eau contenue dans une fiole de 1000ml, ajouter 0,97 g de nitroprussiate de sodium et compléter à 1000ml avec de l'eau distillée. Cette solution est conservée dans un flacon en verre brun et est stable au moins deux semaines.

✓ Dissoudre 32 g d'hydroxyde de sodium dans 500ml d'eau et laisser refroidir à température ambiante, ajouter 2 g de Dichloroisocyanurate di-hydraté, compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée. Cette solution est conservée dans un flacon en verre brun et est stable au moins deux semaines.

✓ Dissoudre 0,297g de chlorure d'ammonium (séché à 105°C pendant au moins 2h) dans 1000 ml d'eau distillée. Cette solution est conservée dans un flacon en verre et est stable au moins un mois.

✓ Prélever à l'aide une pipette 1ml de la solution étalon d'ammonium de 100mg/l. Verser dans une fiole de 100 ml et compléter au volume avec de l'eau distillée. Préparer cette solution le jour de l'emploi. La durée de conservation ne dépasse pas 24h.

✓ Dissoudre 100 g d'hydroxyde de potassium dans 100 ml d'eau distillée. Refroidir la solution et ajouter 900 ml d'éthanol 95%. Conserver dans un récipient en polyéthylène.

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l d'ammonium (ISO-7150-1, 1984).

**5.8 Détermination du Phosphore****➤ Mode opératoire**

✓ Introduire 500 ml  $\pm$  5 ml d'eau dans un bécher de 2L. Ajouter avec précaution, sous agitation et refroidissement continu, 500 ml  $\pm$  5 ml d'acide sulfurique ( $p = 1.84$  g/ml). Bien mélanger et laisser la solution refroidir à température ambiante.

✓ Dissoudre 13 g  $\pm$  0.5 g d'heptamolybdate d'ammonium tétrahydraté  $[(NH_4)_6Mo_7O_{24}, 4H_2O]$  dans 100 ml  $\pm$  5 ml d'eau. Dissoudre 0.35 g  $\pm$  0.05 g de tartrate de potassium et d'antimoine hémihydraté  $[K(SbO)C_4H_4O_6, ^\wedge H_2O]$  dans 100 ml  $\pm$  5 ml d'eau. Ajouter, tout en agitant, la solution de molybdate à 300 ml  $\pm$  5 ml d'une solution d'acide sulfurique à 9 mol/L. Ajouter la solution de tartrate et bien mélanger. Conservé dans une bouteille en verre brun, ce réactif est stable pendant au moins deux mois (**ISO 6878/1, 1998**).

✓ Dissoudre 10 g  $\pm$  0.5 g d'acide ascorbique ( $C_6H_8O_6$ ) dans 100 ml d'eau. Cette solution est stable pendant deux semaines si elle est conservée dans une bouteille en verre brun au réfrigérateur et peut être utilisée tant qu'aucune coloration n'apparaît.

✓ Sécher quelques grammes de dihydrogénophosphate de potassium jusqu'à masse constante à 105°C. Dissoudre 0.2197 g  $\pm$  0.0002 g de  $KH_2PO_4$  dans environ 800 ml  $\pm$  10 ml d'eau dans une fiole jaugée de 1000 ml. Ajouter 10 ml  $\pm$  0.5 ml de solution d'acide sulfurique (dilution de H) et compléter au volume avec de l'eau.

✓ Conserver dans un flacon en verre bouché, cette solution est stable pendant au moins trois mois. Une réfrigération à environ 4 °C est recommandée.

✓ Introduire, à l'aide d'une pipette, 20 ml  $\pm$  0.01 ml de la solution mère d'orthophosphates dans une fiole jaugée de 500 ml. Compléter au volume avec de l'eau et bien mélanger. Préparer et utiliser cette solution le jour de l'emploi.

## **Résultat et discussion**

### Résultats et Discussion

#### 1. Résultats des dénombrements des micro-organismes présents dans l'eau

Les résultats bactériologiques obtenus montrent une absence totale de ces microorganismes dans 100 ml d'eau pour tous les échantillons testés, ainsi qu'une absence de Salmonella. L'absence de bactéries indicatrices de contamination fécale et pathogène témoigne de la haute qualité microbiologique des eaux. En effet, l'absence de coliformes totaux et fécaux ainsi que des streptocoques et entérocoques suggère que ces eaux ne sont pas contaminées par des matières fécales récentes. De plus, l'absence de *Clostridium* et de Salmonella, des bactéries fréquemment liées à des risques sanitaires significatifs, témoigne de la qualité potable de ces eaux et de l'absence de danger microbiologique immédiat. Ces résultats confirment que les eaux des forages et des puits analysées respectent les normes sanitaires en vigueur pour l'eau potable. Ces résultats ont révélé que ces eaux sont de qualité bactériologique satisfaisante.

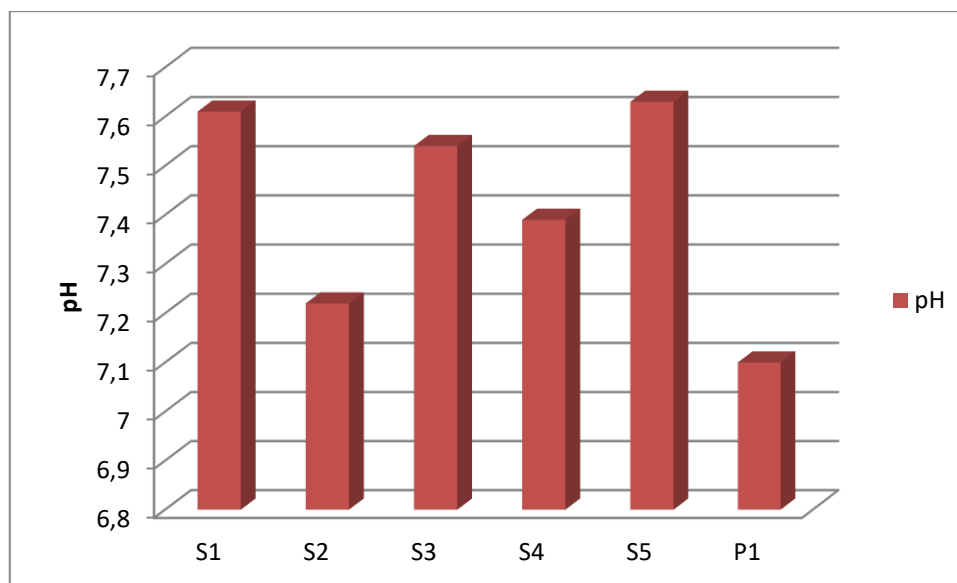
L'élimination des bactéries coliformes dans l'eau potable est essentielle pour la santé publique. Les bactéries coliformes servent d'indicateurs d'une possible contamination fécale, qui peut contenir des agents pathogènes dangereux tels que E. coli, Salmonella et Giardia. L'ingestion d'eau contaminée par des bactéries coliformes peut entraîner des troubles gastro-intestinaux, tels que diarrhée et vomissements, et dans les cas extrêmes, des infections plus graves (Boas *et al.*, 2025).

Selon Haijoubi *et al.* (2017) les bactéries entériques, notamment les formes sporulées des sulfito-réducteurs comme *Clostridium perfringens*, indiquent une contamination fécale ancienne en raison de leur capacité à persister plus longtemps en milieu aquatique. En revanche, l'absence de ces bactéries dans les puits s'explique par leur moindre abondance dans la flore intestinale des humains et des animaux.

La contamination de la nappe des puits dépend de la perméabilité du sol, de la profondeur de la nappe, de l'absence ou l'inadaptation des ouvrages d'assainissement, de la mauvaise gestion des ordures et de la méthode de puisage (Sonsy, 2015). Ces facteurs confirment l'importance d'une bonne gestion adéquate de l'assainissement et de la préservation des puits afin d'assurer la qualité des prélèvements d'eau. Il est crucial d'avoir une conception adéquate et de maintenir correctement les infrastructures d'assainissement, en plus d'adopter une gestion efficace des déchets et une méthode de prélèvement appropriée, afin de réduire la contamination des nappes phréatiques et de garantir la conformité des résultats des analyses de l'eau.

## 2. Résultats des analyses physico-chimiques

### 2.1. Le potentiel d'hydrogène (pH)



**Figure N° 13** Variation du pH des échantillons d'eau

Les valeurs du pH des échantillons d'eau de forage (S1, S2, S3, S4, S5) varient entre 7,22 et 7,63. La valeur la plus élevée du pH est de 7,63 au niveau du forage S5, tandis que la plus faible est de 7,22 au niveau du forage S2. La moyenne des pH pour ces eaux de forage est d'environ 7,48. Pour le puits, le pH mesuré est de 7,1, ce qui est légèrement inférieur aux valeurs observées dans les eaux de forage (**Figure N° 13**).

Les valeurs de pH mesurées dans les eaux des forages (entre 7,22 et 7,63) ainsi que celle du puits (7,1) respectent les normes fixées par le Journal Officiel Algérien. Selon le décret exécutif publié dans le Journal Officiel Algérien (**JORA, 2011**), le pH des eaux souterraines destinées à la consommation humaine doit être compris entre 6,5 et 9. Les résultats obtenus sont conformes aux exigences réglementaires nationales, garantissant que ces eaux présentent un pH adapté à la consommation humaine.

En effet, selon les normes de l'OMS, le pH de l'eau potable doit se situer idéalement entre 6,5 et 9,5 pour garantir une eau sûre et adaptée à la consommation humaine. Les résultats obtenus, proches de la neutralité et légèrement alcalins, sont donc conformes à ces critères internationaux, assurant ainsi que le pH de ces eaux ne présente pas de risque pour la santé et contribue à une bonne qualité de l'eau potable

Le pH bas peut provoquer un goût acide dans l'eau potable. Un pH faible peut entraîner la corrosion, et une eau acide peut lessiver des métaux tels que le plomb (Pb), le manganèse (Mn), le cuivre (Cu), le fer (Fe), etc., présents dans le sol. Dans ces conditions, l'eau devient toxique pour l'homme en fonction de la concentration des métaux lessivés (Latheef *et al.*, 2024).

## 2.2. La conductivité

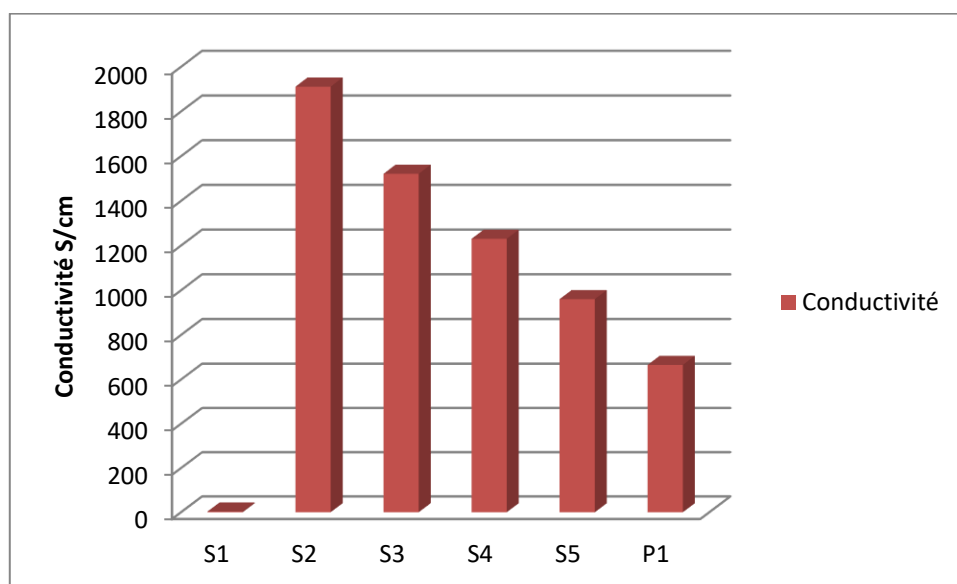


Figure N° 14 Variation de la conductivité des échantillons d'eau

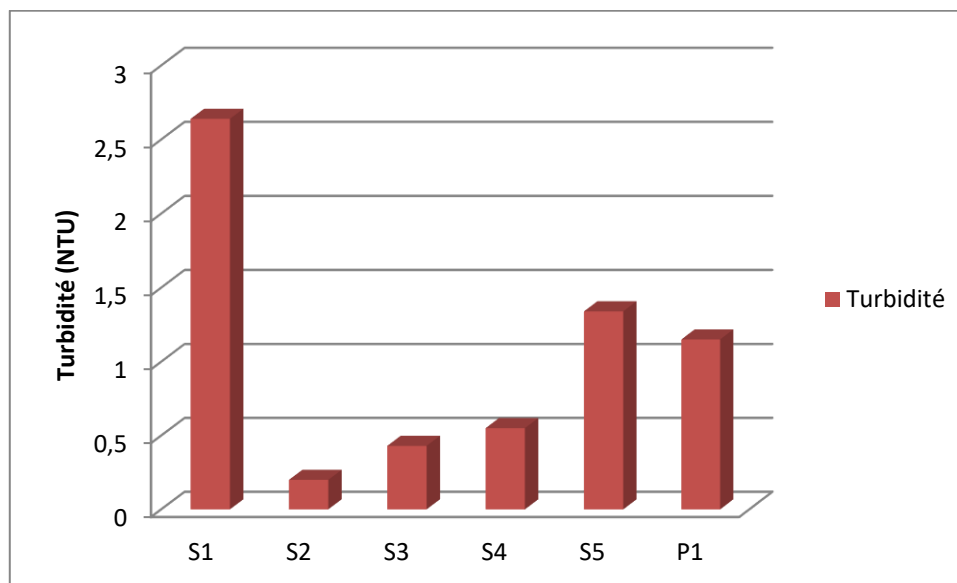
La conductivité électrique est la mesure de la capacité d'une solution à laisser passer un courant électrique, c'est-à-dire à permettre le déplacement libre des charges électriques, principalement les ions présents dans la solution (Christ et Wernli, 2014).

Les valeurs de conductivité mesurées dans les échantillons d'eau de forage (S1 à S5) varient considérablement, allant de 3,35  $\mu\text{S/cm}$  à 1911  $\mu\text{S/cm}$ . La conductivité la plus élevée a été enregistrée dans l'échantillon S2 avec une valeur de 1911  $\mu\text{S/cm}$ , tandis que la plus faible valeur est celle de S1, très faible avec seulement 3,35  $\mu\text{S/cm}$ . La moyenne des conductivités pour les eaux de forage est d'environ 1128  $\mu\text{S/cm}$ , ce qui illustre une variation importante entre les différents points de prélèvement. En comparaison, la conductivité mesurée dans l'eau du puits P1 est de 966  $\mu\text{S/cm}$ , une valeur proche de la moyenne des eaux de forage, mais nettement inférieure à la valeur maximale observée. Ces résultats suggèrent une hétérogénéité notable dans la qualité de l'eau des forages, avec des différences possibles liées à la nature géologique ou à la profondeur des points d'échantillonnage (Figure N° 14).

Les résultats de conductivité des eaux de forage (variant de 3,35 à 1911  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et du puits P1 (966  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) se situent globalement dans les limites des normes algériennes. En effet, selon les normes algériennes, la conductivité maximale admissible pour une eau potable est fixée à 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Selon les normes de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la conductivité électrique (EC) de l'eau ne doit pas dépasser 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  afin d'assurer une qualité acceptable et limiter une minéralisation excessive. Dans notre étude, les valeurs de conductivité électrique des échantillons d'eau de forage dépassent cette limite, à l'exception du forage S1 qui présente une EC inférieure à 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Le forage S1, quant à lui, offre une eau dont la qualité physico-chimique est conforme aux recommandations de l'OMS.

## 2.3. La turbidité



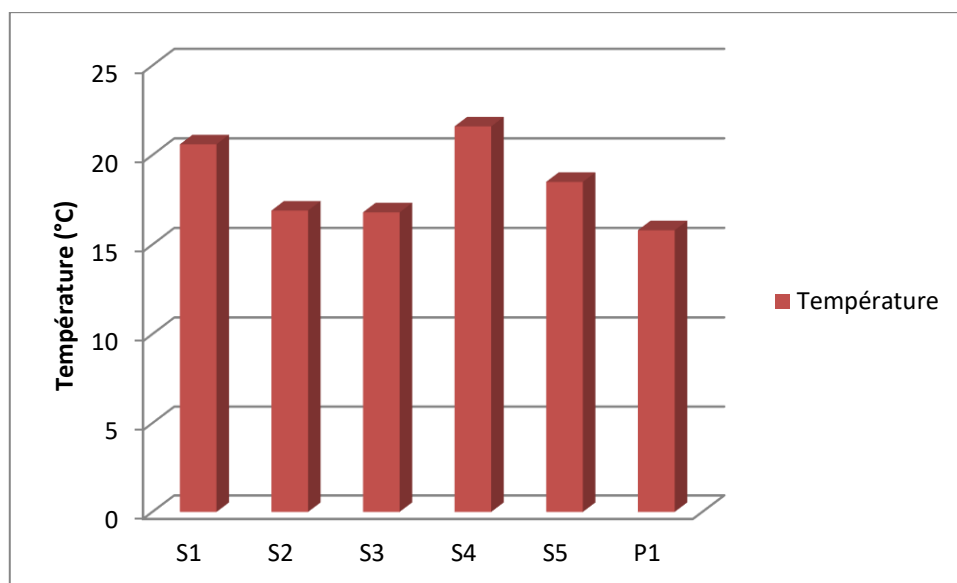
**Figure N°15 Variation de la turbidité des échantillons d'eau**

Les résultats des analyses de turbidité effectuées sur cinq échantillons d'eau de forage (S1, S2, S3, S4, S5) et un échantillon provenant du puits P1 montrent une variation notable. La turbidité des eaux de forage varie entre 0,20 NTU (échantillon S2) et 2,64 NTU (échantillon S1), avec une valeur moyenne de 1,03 NTU. Pour le puits P1, la turbidité enregistrée est de 1,15 NTU, ce qui se situe dans la moyenne des échantillons de forage. Ces résultats indiquent que l'échantillon S1 présente la turbidité la plus élevée, tandis que S2 affiche la valeur la plus faible parmi les eaux de forage analysées ( **Figure N°15**).

La turbidité est une mesure du degré auquel l'eau perd sa transparence en raison de la présence de particules en suspension. Plus la concentration de solides en suspension totale dans l'eau est élevée, plus l'eau paraît trouble et plus la turbidité est élevée. La turbidité peut être causée par l'érosion des sols, le rejet de déchets, le ruissellement urbain, les poissons fouisseurs comme la carpe qui remuent les sédiments, les animaux domestiques jouant dans l'eau, ainsi que la croissance des algues. Les eaux turbides se réchauffent davantage car les particules en suspension absorbent la chaleur du soleil, ce qui entraîne une baisse des niveaux d'oxygène (l'eau chaude contient moins d'oxygène que l'eau froide) ( **Patel et Vashi, 2015**).

Selon le décret exécutif algérien n°13 du 9 mars 2014 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, la turbidité maximale admissible pour l'eau potable est généralement fixée à 5 NTU. De même, l'OMS recommande une limite maximale de turbidité de 5 NTU pour l'eau potable, Les résultats des échantillons analysés sont conformes aux critères réglementaires.

#### 2.4. La température



**Figure N°16 Variation de la température des échantillons d'eau**

Les températures mesurées dans les échantillons d'eau de forage (S1 à S5) varient entre 16,8 °C et 21,6 °C, avec une température moyenne de 18,9 °C. La température la plus élevée a été enregistrée dans l'échantillon S4 (21,6 °C), tandis que la plus basse est celle de S3 (16,8 °C). En comparaison, la température de l'eau du puits P1 est légèrement inférieure, s'élevant à 15,8 °C. Ces valeurs sont conformes aux normes de température pour l'eau potable fixées à la fois par le Journal Officiel Algérien (2011), qui établit une température maximale de 25 °C, et par l'Organisation mondiale de la santé (2011), qui limite la température à 30 °C. **(Figure N° 16)**

En effet, les eaux souterraines sont moins sensibles aux variations de température que les eaux superficielles (**Kouame et al., 2021**). Une température élevée favorise la croissance des micro-organismes, peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur (OMS, 1994). Par contre une température inférieure à 10°C ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements des eaux (**Rodier et al., 2009**).

## 2.5. Dureté ou titre hydrotimétrique ( TH)

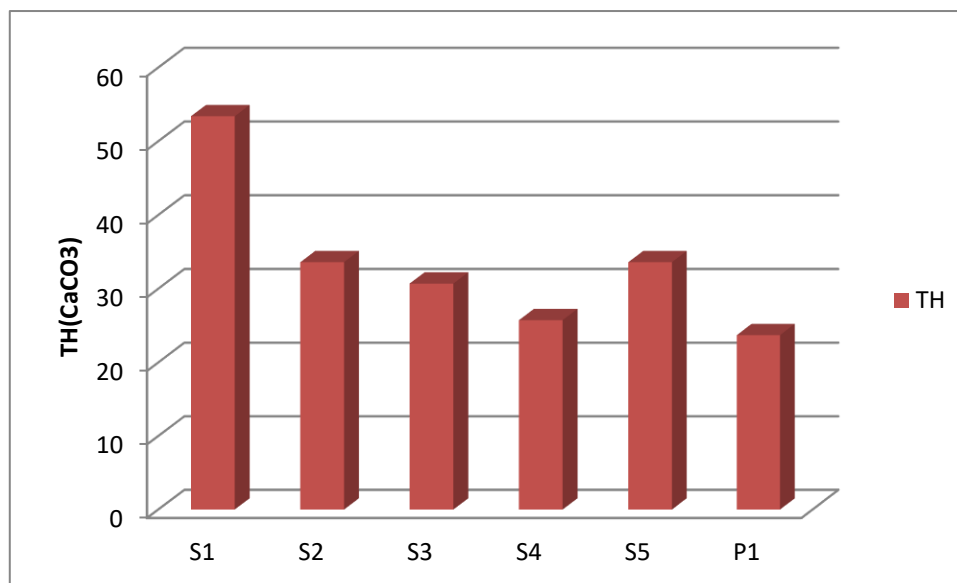


Figure N° 17 Variation du titre hydrotimétrique des échantillons d'eau

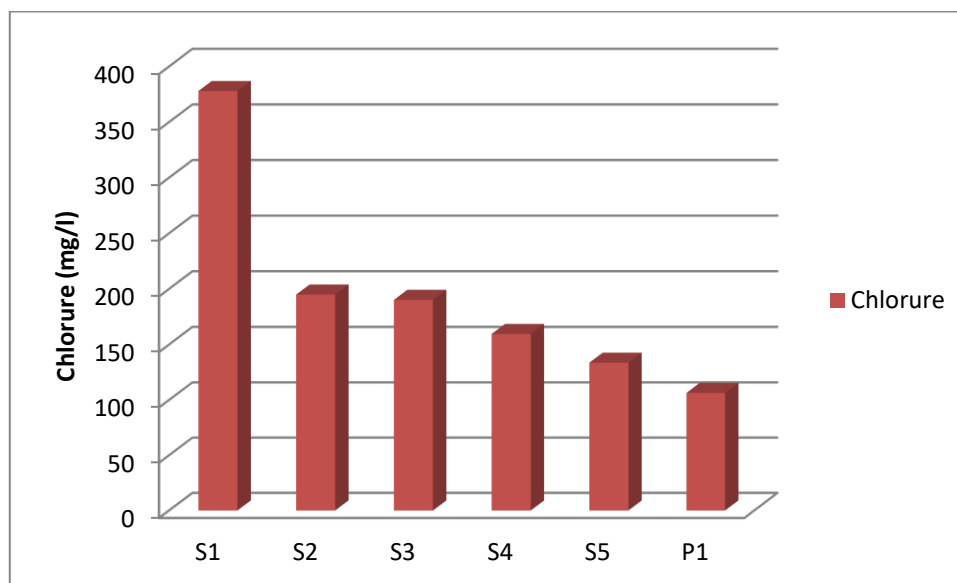
La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène (Rodier, 2009).

Les résultats de dureté totale (TH) mesurés dans les eaux (S1 à S5) varient entre 25,74 mg/L de CaCO<sub>3</sub> et 53,4 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, avec une valeur moyenne d'environ 35,2 mg/L de CaCO<sub>3</sub>. La plus grande valeur enregistrée est de 53,4 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (S1), tandis que la plus

faible est de 25,74 °F (S4). Pour le puits P1, la dureté totale est de 23,71 °F, ce qui est légèrement inférieur aux valeurs mesurées dans les eaux de forage (Figure N°17).

En comparaison avec les normes algériennes officielles et les recommandations de l'OMS, les valeurs de dureté de l'eau sont généralement considérées comme acceptables pour la consommation humaine. Selon le Journal Officiel Algérien de 2014, la norme algérienne fixe une valeur maximale de dureté totale à 500 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, tandis que l'OMS recommande une limite plus basse, autour de 100 mg/L de CaCO<sub>3</sub>.

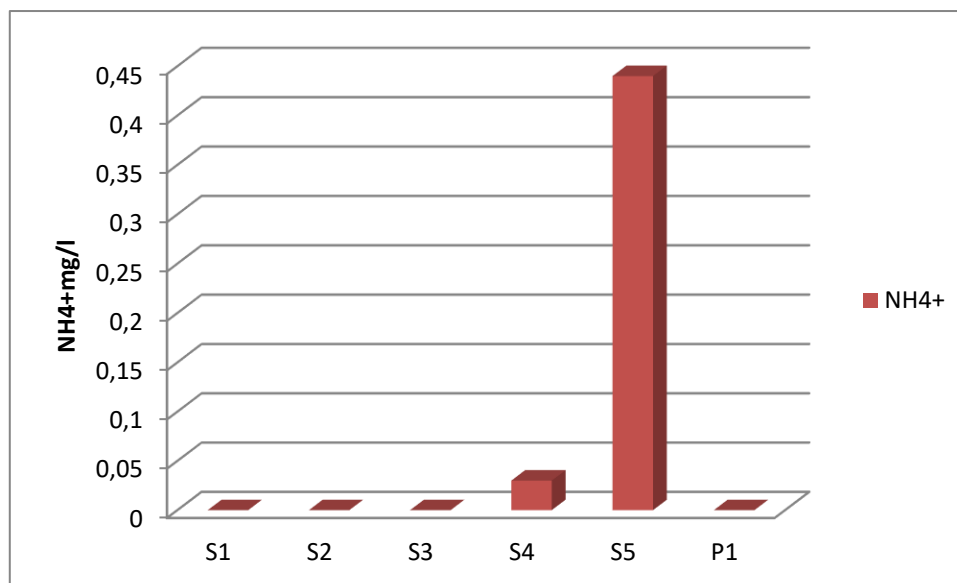
## 5.6. Dosage des chlorures

**Figure N° 18 Variation du chlorure des échantillons d'eau**

Les concentrations en chlorure des cinq échantillons d'eau de forage présentent une variation allant de 133,65 mg/L à 377,9 mg/L, avec un maximum observé à l'échantillon S1, atteignant 377,9 mg/L. Le puits P1 présente une teneur plus faible en chlorure, soit 106,35 mg/L (**Figure N°18**). En comparant ces valeurs avec la réglementation algérienne, qui fixe généralement la limite maximale recommandée pour les chlorures dans l'eau potable autour de 250 mg/L, on constate que l'échantillon S1 dépasse largement cette norme, ce qui pourrait compromettre la potabilité de cette source sans traitement préalable. Les autres forages ainsi que le puits se situent en dessous ou à proximité de cette limite, ce qui suggère une qualité

jugée acceptable en fonction de ces critères. En outre, les directives de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) établissent une limite maximale de 250 mg/L pour les chlorures afin de prévenir l'apparition d'une saveur salée désagréable et de potentielles répercussions sur la santé. De cette manière, seul l'échantillon S1 dépasse ce seuil, alors que les autres échantillons sont conformes aux normes de l'OMS. Selon **Meride et Ayenew (2016)** les eaux de surface ont souvent une faible concentration en chlorures comparées aux eaux souterraines. Le chlorure joue un rôle clé dans l'activité métabolique du corps humain ainsi que dans d'autres processus physiologiques importants. Une concentration élevée en chlorures endommage les tuyaux et structures métalliques, ainsi que les plantes en croissance

## 2.7. L'Ammonium

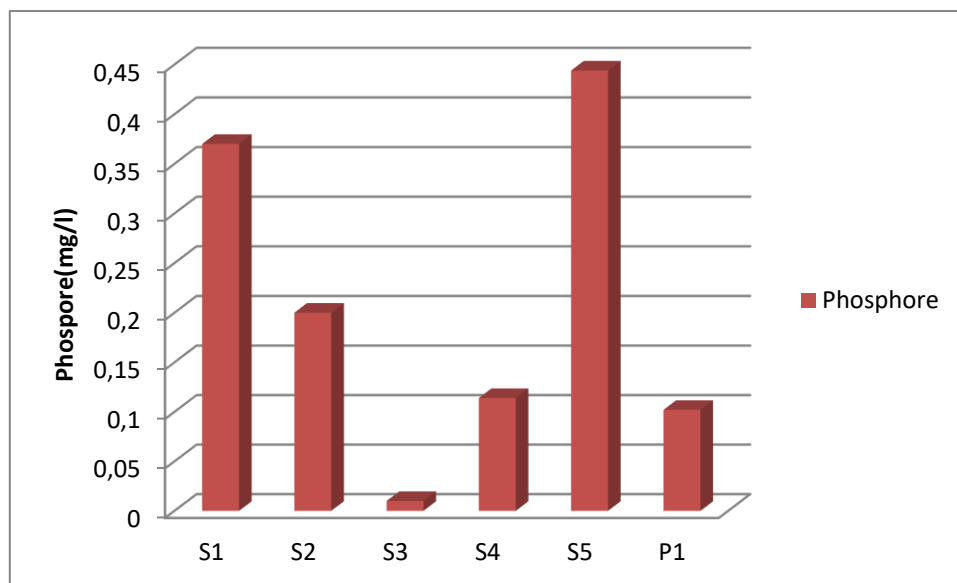


**Figure N°19** Variation de l'Ammonium des échantillons d'eau

Les résultats des analyses chimiques effectuées sur les cinq échantillons d'eau de forage (s1 à s5) ainsi que sur le puits (p1) révèlent des concentrations d'ammonium allant de 0 mg/L à 0,443 mg/L. De manière plus spécifique, les échantillons s1, s2, s3 et le puits p1 ne présentent aucune trace détectable d'ammonium, ce qui témoigne d'une qualité d'eau satisfaisante à cet endroit. L'échantillon s4 révèle une concentration basse de 0,03 mg/L, alors que l'échantillon s5 présente la concentration la plus élevée de 0,443 mg/L (**Figure N°19**).

En comparant ces résultats avec la réglementation algérienne et les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), il apparaît que toutes les concentrations mesurées sont inférieures à la limite maximale admissible fixée à 0,5 mg/L. Cette conformité implique que l'eau prélevée ne comporte pas de risque immédiat associé à la présence d'ammonium, pouvant signaler une contamination organique ou compromettre l'efficacité du processus de désinfection. Cependant, la concentration relativement élevée observée dans l'échantillon s5 nécessite une attention particulière et une surveillance régulière afin d'éviter tout dépassement ultérieur des seuils réglementaires. Dans l'ensemble, ces résultats indiquent une qualité chimique satisfaisante de l'eau en termes d'ammonium, conforme aux normes sanitaires en vigueur en Algérie.

## 2.8. Le Phosphore



**Figure N° 20** Variation du phosphore des échantillons d'eau

Les niveaux de phosphore relevés dans les cinq échantillons d'eau de forage sont de 0,37 mg/L, 0,2 mg/L, 0,01 mg/L, 0,114 mg/L et 0,443 mg/L respectivement, alors que celui de l'eau du puits s'élève à 0,102 mg/L (**Figure N°20**).

Ces valeurs restent largement inférieures à la limite réglementaire algérienne fixée à 5 mg/L, ce qui indique une bonne qualité chimique des eaux analysées vis-à-vis du phosphore. Cette situation indique qu'il n'y a pas de contamination significative provenant de sources de phosphore telles que les engrais ou les rejets industriels. Une variation est observée parmi les échantillons, la concentration la plus élevée étant présente dans l'échantillon s5 et la plus faible dans s3, tandis que le puits affiche une concentration similaire à s4. ces résultats confirment que les eaux des forages et des puits étudiés sont conformes aux normes algériennes et ne présentent aucun risque associé à un excès de phosphore.

# Conclusion

# Conclusion

---

## CONCLUSION

Les analyses bactériologiques effectuées sur les cinq échantillons d'eau de forage (S1 à S5) ainsi que sur l'échantillon provenant du puits (P1) démontrent l'absence complète de microorganismes indicateurs de contamination fécale tels que les coliformes totaux et fécaux, les streptocoques, les entérocoques et le Clostridium, ainsi que l'absence de Salmonella. Ces résultats confirment une qualité microbiologique excellente, en conformité avec les normes sanitaires Algérienne et à l'échelle internationale.

Sur le plan physico-chimique, les paramètres mesurés tels que le pH, la conductivité, la turbidité, la dureté totale, les chlorures, l'ammonium, la température et le phosphore respectent globalement les normes nationales ainsi que les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

Les eaux des forages et du puits étudiés à Ain Temouchent présentent une qualité microbiologique irréprochable et une qualité physico-chimique satisfaisante, conforme aux normes algériennes et aux recommandations internationales, garantissant leur aptitude à la consommation humaine sous réserve d'une surveillance régulière et d'un contrôle ponctuel des paramètres dépassant les seuils recommandés.

Il est important de mettre en place une surveillance constante en effectuant un suivi régulier des paramètres microbiologiques et physico-chimiques pour détecter rapidement toute altération de la qualité de l'eau, en particulier dans les zones présentant une conductivité et une concentration élevées en chlorures. Il est nécessaire de mettre en œuvre une gestion spécifique des sources de pollution. Une analyse approfondie des raisons des fluctuations de la conductivité et des chlorures, notamment dans le forage S1, sera réalisée afin de mieux appréhender les influences géologiques ou anthropiques, telles que l'agriculture et les rejets domestiques, et de mettre en place des actions correctives adéquates. En ce qui concerne les eaux présentant des dépassements ponctuels, il sera nécessaire d'envisager des traitements.

# Références

### **Références bibliographiques**

- **Alley, W. M., Reilly, T. E., et Franke, O. L. (1999).** Sustainability of ground-water resources. US Geological Survey Circular.
- **Alley, W. M., Reilly, T. E., et Franke, O. L. (2002).** Sustainability of ground-water resources. US Geological Survey Circular 1186.
- **Alloway, B. J. (2013).** Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Springer Science & Business Media.
- **Alloway, B.J. (2013).** Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. Springer Science & Business Media.
- **Bitton, G. (2014).** Microbiology of Drinking Water: Production and Distribution. John Wiley & Sons.
- **BOUZIANI Mustafa ,2006** L'eau dans tous ses états: Source de vie, ressource épuisable, maladies hydriques, pollutions chimiques, Editions DAR EL GHARB, Oran, 2006, p25 – 62 et p 178 – 217
- **Chaplin, M. (2001).** Water: its importance to life. \*Biochemistry and Molecular Biology Education\*,29(2), 54-59.
- **Chapman, D. (1996).** Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. UNESCO, WHO, UNEP
- **Craun, G.F., et al. (2010).** Causes of outbreaks associated with drinking water. Clinical Microbiology Reviews, 23(3), 507-528.
- **Delpla, I., et al. (2009).** Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. Environment International, 35(8), 1225-1233.
- **Dingman, S. L. (2015).** Physical Hydrology. Waveland Press.
- **Dudgeon, D., et al. (2006).** Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. Biological reviews.
- **Edmunds, W.M., et Smedley, P.L. (1996).** Groundwater geochemistry and health.

## *Références bibliographiques*

---

- **Environmental Protection Agency (EPA). (2021).** Water Pollution and Its Impact on Ecosystems. Washington, D.C.1) Les types de pollution de l'eau :
- **Freeze, R. A., et Cherry, J. A. (1979).** Groundwater. Prentice Hall.
- **Galloway, J.N., et al. (2008).** Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, 320(5878), 889-892.
- **Gibson, K. E. (2014).** Viral pathogens in water: Occurrence and
- **Hauissi, A., Houhmdi, M.(2014)** Contribution à l'étude de la qualité de l'eau de quelques sources et puits dans les communes de Belkebir et Boumahra Ahmed (Wilaya de Guelma, Nord est Algérien).
- **Hawa, S. (2001) :** Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la Ville de Bamako. Université de Bamako. p21
- **Hem, J.D. (1985).** Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254.
- **Hornberger, G. M., Raffensperger, J. P., Wiberg, P. L., et Eshleman, K. N. (2014).** Elements of Physical Hydrology. Johns Hopkins University Press.
- **Jepson, P. D., et Law, R. J. (2016).** Persistent pollutants, persistent threats. *Science*.
- **Payment, P., et Locas, A. (2011).** Pathogens in water: Correlation
- **Smedley, P.L., et Kinniburgh, D.G. (2002).** A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5), 517-568.
- **Smith, V. H., Tilman, G. D., et Nekola, J. C. (1999).** Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*.
- **Vitousek, P. M., et al. (1997).** Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications*.
- **WHO (2008).** Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization.

- **Zedler, J. B., et Kercher, S. (2005)**. Wetland resources: status, trends, ecosystem services, and restorability. Annual Review of Environment and Resources

**ISO 6333 , NA 2064**

**NA 749**

-**Ahonon A.S., (2011)**. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface dans les zones montagneuses du sud-ouest du TOGO : cas du Canton de la vie, Master international, environnement eau et santé, Université de Lome, TOGO, 35p.

-**Alouane H., (2012)**. Evaluation des teneurs en nitrates dans les sols et dans les eaux captées et émergentes en zones à vocation agricole ; Impact des nitrates sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, Mémoire de Magister, Gestion des déchets : Évaluation et Solutions Environnementales, Université Mentouri Constantine, 49p

**Analyse de l'eau j . Rodier , : 2004** p 214 8<sup>ème</sup> édition / Norme ISO 5667 : 2004 ( f )

-**André LALLEMAND-BARRÈS et Jean-Claude ROUX, , 1999** Périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine: Guide méthodologique et réglementaire, 2<sup>ème</sup> Edition, Edition BRGM, 1999, p 14 – 20 et p24.

-**Andriamiradis L., (2005)**. Mémento technique de l'eau, 2<sup>ème</sup> édition, Degremont. P: 8.

Applied Geochemistry, 11(4), 517-524.

-**Archembault C., Galtier P., Jouty A. & Murally O. (2003)**. Captage des eaux souterraines par puits à drains rayonnants. L'Eau, l'industrie, les nuisances, (265), 67-75.

-**Archibald F., (2000)**. The presence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill water systems - a cause for concern? Water Qual Res J. Canada, 35, PP:1-22.

-**ASE Association santé environnement France- Pollution de l'eau : Origines et impacts. Synthèse 2010**

-**Ashbolt, N. J. (2004)**. Microbial contamination of drinking water and

## Références bibliographiques

---

- Ashbolt, N. J. (2004).** Microbial contamination of drinking water and disease outcomes. associated with waterborne diseases. *Critical Reviews in Microbiology*, 28(4), 371-409.
- Aubry P, (2013).** Choléra, Mise à jour le 03/10/2013, médecine tropicale, PP: 1-4.
- Ayad Wissem, (2017) :** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'el-Harrouch (willaya de Skikda), Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat 3 ème cycle LMD en Microbiologie, Université Badji Mokhtar – Annaba, P4-7-9
- Bartherlin J., Cheru L., (1999).** Origine des éléments indésirables ou toxiques dans les eaux souterraines, Rap .B.R.G.M.R 40448, 25p.
- Bartout P. et Touchart L. (2013).** L'inventaire des plans d'eau français : outil d'une meilleure gestion des eaux de surface. In *Annales de géographie* No.3, PP : 266-289 .
- Beaudoin B., (2012).** Problématique écotoxicologique actualisée des fluorures dans les eaux municipales, Centre universitaire de formation en environnement, Québec, Canada, 98p
- Belataf M., Boukrine F., Zellagui A., (2004).** Les maladies à transmission hydrique : Choléra, Fièvre typhoïde, Shigellose, Amibiase, Hépatites virales à transmission fécoorale, Edit, PP : 148-150
- Benamar N., Mouadih N., Benamar A., (2011).** Étude de la biodiversité et de la pollution dans les canaux de l'Ouest algérien: le cas de l'oued Cheliff, Colloque international, Usages écologiques, économiques et sociaux de l'eau agricole en méditerranée: quels enjeux pour quels services ?, Université de Provence, Marseille, 20-21 janvier 2011, 6 p.
- Beriére G., (2000).** Distribution et collecte des eaux, 2ème édition, Ecole polytechnique de Montréal, PP: 3-19.
- Bilotta, G. S., et Brazier, R. E. (2008).** Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, 42(12), 2849-2861.
- Bontoux. (1993) :** Introduction à l'étude des eaux douces : qualité et santé, eaux naturelles, eaux usées, eaux de boissons. 2 ème édition : Cebedoc. P : 81-82-120.

## ***Références bibliographiques***

---

- Bopp C., Brenner F., Wells J., Strockbine N., (1999).** Escherichia, Shigella and Salmonella, In Manual of clinical microbiology (Eds, Patrick R. Murray and American Society for Microbiology) American Society for Microbiology Press, Washington, D.C., PP : 459-474.
- Boudjadja, M. Messahel et H. Pauc, , 2003** Ressources Hydriques En Algérie Du Nord, Revue Des Sciences De L'eau, 2003, p. 05
- BouselsalB.(2017).** Forage d'eau procédés et mesures. Polycopié de cours, UKMO.
- Boussinesq M., (1997).** L'onchocercose humaine en Afrique, Médecine Tropicale 1997, Vol 57, N°4, PP : 389-400
- Bouziani M., (2000).** L'eau de la pénurie aux maladies, Edition ibn khaldoun, 247p.
- Bouziani, M. (2000) :** L'eau de la pénurie aux maladies, Edition Ibn Khaldoun, (Oran). p247
- Boyd, 2015 ,** CE Boyd Qualité de l'eau Éditions Springer International , Suisse ( 2015
- Bremaude C., Claisse J.R., Leulier F., Thibault J., Ulrich E., (2006).** Alimentation, santé, qualité de l'environnement et du cadre de vie en milieu rurale, Edition Educagri, Dijon, France, PP : 220-221
- Cahier de chloration, (1996) :** Chloration en milieu rural dans les pays en voie de développement Actes de la réunion organisée par le pS-Eau Juin 1996 (réédition 2005), p5-7-8-10-12.
- Cantor K.P., (1997).** Drinking water and cancer, Cancer causes and control, N°8, PP:292–308
- Carmichael, W. W. (2001).** Human and Ecological Risk Assessment, 7(5), 1393-1407
- CEAEQ., (2000),** Recherche et dénombrement des coliformes totaux; méthode par filtration sur membrane, Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec, 25 p.

## ***Références bibliographiques***

---

-**CEAEQ., (2000)**, Recherche et dénombrement des coliformes totaux; méthode par filtration sur membrane, Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec, 25 p.

-**Chaker H. K., Slimani A., (2014)**. Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux d'abreuvements des ruminants dans la zone semi aride d'Oum El Bouaghi : Nord-est de l'Algérie, Institut des sciences agronomiques, université d'El Tarf, Algérie, 10p.

-**Champion VL , CS Skinner** Le modèle de croyance en matière de santé K. Glanz , BK Rimer , K. Viswanath (éd.) , Comportement en matière de santé et éducation à la santé : théorie, recherche et pratique , Jossey-Bass , San Francisco, États-Unis ( **2008** ) , pp. 45 – 65

-**Charbonneau J.P. (1977)**. Encyclopédie de l'écologie : le présent en question. France : Larousse, 471p

-**Chartier Marcel M.** Les types de pollutions de l'eau . In: Norois, n°82, **Avril-Juin 1974**. pp. 183-193;

-**Chevalier P., (2003)**. Coliformes totaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 4 p

**Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.**

-**Collin J.J., (2004)**. Les eaux souterraines : Connaissance et gestion, HERMANN, Editeurs des sciences et des arts, Paris, PP: 27-49. Emand Barres A.L., Roux J.C., (1999). Périmètre de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine ; Guide méthodologique et réglementaire, Edition BRGM, manuels et méthodes n°33, 2ème édition, P19.control strategies.Current Opinion in Virology, 4, 50-57.

-**Craun, G. F., et al. (2010)**. Causes of outbreaks associated with drinking water.

-**DEGREMONT G., (1989)** : Memento technique de l'eau. Tome 1. 9ème Edition, Cinquantenaire, Paris, 592 p

-**Degremont G., (2005)**. Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10ème édition, Edit. Tec et doc, PP: 3- 38.

## **Références bibliographiques**

---

- Degremont. (1989).** Mémento technique de l'eau, Technique et documentation. Tome 1, P : 5,24,25.
- Degremont. (2005) :** «Mémento technique de l'eau », Deuxième édition Tom1, . P 39-50
- DegremontG. (2005).** Mémento technique de l'eau. Tome 1, 10ème édition, Edit, Tecetdoc,p : 3 -4.
- Demdoum A., (2010).** Etude hydrogéochimique et impact de la pollution sur les eaux de la région d'el Eulma, Doctorat d'état, Faculté des Sciences de la Terre, Université Mentouri Constantine, 205p disease outcomes. Toxicology, 198(1-3), 229-238.
- Douard P., Lebental B. (2013).** Plomb et qualité de l'eau potable : Analyse et évaluation de l'efficacité des actions engagées pour respecter la future limite de qualité de 10µg/l de plomb dans l'eau du robinet et propositions d'actions, conseil général de l'environnement et du développement durable, 73p.drinking water.Clinical Microbiology Reviews, 23(3), 507-528.
- Edberg S.C., Rice E.W., Karlin R.J., Allen M.J., (2000).** Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection, Journal of Applied Microbiology, N°88, PP: 106-116.
- Edberg, S. C., Rice, E. W., Karlin, R. J., et Allen, M. J. (2000).**Escherichia coli as an indicator.
- Edmond M.B., Ober J.F., Weinbaum, D.L., Pfaller M. A., Hwang T., Sanford M.D., Wenzel R.P., (1995).** Vancomycin-resistant Enterococcus faecium bacteremia : risk factors for infection, Clin Infect Dis, Vol 20, N°5, PP: 1126-1133.
- El Haissoufi H., Berrada S., Merzouki M., Aabouch M., Bennani L., Benlemlih M., Idir M., Zanibou A., Bennis Y., El Ouali lalami A., (2011).** Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès, Maroc, Rev. Microbiol. Ind. San et Environn, Vol 5, N°1, PP: 37-68.
- Elmund G.K., Allen M.J., Rice E.W., (1999).** Comparison of Escherichia coli, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency, Water Environ.Res, N°71, PP : 332-339.

## ***Références bibliographiques***

---

- Festy B., Hartemann P., Ledrans M., Levallois P., Payment P., Tricard D., (2003).** Qualité de l'eau, In : Environnement et santé publique, fondements et pratiques, Tec & Doc, Paris, PP : 333-368.
- Fetter, CW (2001).** *Hydrogéologie appliquée* (4e éd.). Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall.
- François A., (2008).** L'eau et ses enjeux, Edition de Boeck, P134
- G. Schuitema/ T. Hooks / F. McDermott /Journal de gestion de l'environnement Volume 267 ,1 août 2020, 110654**
- Gaujour D., (1995).** La pollution des milieux aquatiques : Aide mémoire. 2éme édition, Lavoisier, P49.
- Genoutdet. (2001) :** L'eau de robinet : de la source au verre. Extrait de dossier de bulletin de l'association médicale Kouzmine internationale Dupont A , Hydraulique urbaine , Tom1,1978, p. 65
- Gerba, C. P., & Smith, J. E. (2005).** Journal of Environmental Quality, 34(1), 42-48.
- Gleeson C., Gray N., (1997).**The coliform index and waterborne disease: problems of microbial drinking water assessment, E & FN Spoon, London, 194 p.
- Gouvernement du Quebec., (2004).** Etude du risque de gastro-entérite chez les familles utilisant l'eau d'un puits domestique, Direction risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Institut national de santé publique, Québec, p 08
- Hartemann P., (2004).** Contamination des eaux en milieu professionnel, EMCToxicologie Pathologie, Elsevier, PP : 63-78.
- Hunter, P. R., et Thompson, R. C. A. (2005).** The zoonotic transmission of Giardia and Cryptosporidium. International Journal for Parasitology, 35(11-12), 1181-1190.

**-Jamai N., Kouider A. F., Halilem F., (2010).** La fièvre typhoïde, mémoire de fin d'étude, Université Abou Bar Belkaïed, Faculté de médecine, Département de Pharmacie, Tlemcen, 23p.

**-Jestin E., (2006).** La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaire, agence de l'eau Seine-Normandie, Hérouville Saint Clair, PP : 17-32. 34p.

**-Joel, G. (2003) :** La qualité de l'eau potable, technique et responsabilités. Paris, France.p 65.

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

**-Journal Officiel de la République Algérienne (JORA), (2011).** Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers: Bir-Mourad Raïs, Alger, Algérie, PP: 7-25.

**-Journal officiel de la république algérienne-JORA. 2014.** Décret exécutif n° 14 - 96 du 2 Joumada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 modifiant et complétant le décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

**-Jyothilekshmi S., Shilpa Sajan<sup>1</sup>, Anjali P., Yadhu Krishnan R., Amal Kumar S., Reshmi Sudhakaran<sup>1</sup>, Neethu Franklin and R. Pratap Chandran** International Journal of Advanced Research in Biological Sciences Volume 6, Issue 6 **-2019**

**-Kahoul, M. et Touhami, M. (2014) :** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la Ville d'Annaba. Larhyss Journal, 19 : 129-138.

**-KAZADI KATOMPA ,NGELEKA MULAMBA** Fontaine , MAYAYA BOY Jean Bosco , Hugues DIBWE DIAMUMANPANDAIOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) e-ISSN: 2278-1684,p-ISSN: 2320-334X, Volume 19, Issue 6 Ser. II (Nov. – Dec. 2022), PP 27-36 )

## ***Références bibliographiques***

---

**-KEMMER F., 1984.** Manuelle de l'eau .Edition : Lavoisier technique et documentation : 95- 96-112.

**-Khelili, R et Lazali, D. (2015) :** Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Harraza (Wilaya de Ain Defla). p10

**-Khelili, R et Lazali, D. (2015) :** Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Harraza (Wilaya de Ain Defla). p10

**-Kourchi. (2010) :** Achèvement du système d'épuration de la ville de Draa el mizan. Mémoire fin d'étude UMMTO. p27.

**-Kundzewicz, Z.W., et al. (2007).** Freshwater resources and their management.

**-Laferriere M., Nadeau A., Malenfant G., (1995).** La contamination par les nitrates : Prévention des risques à la santé, P38.

**-Laurence M., (2003).** Réduire le plomb dans l'eau de robinet : enjeux, réglementation, actions, Direction de l'eau, Direction générale de la santé, 26p.

**-Leclerc, H., Schwartzbrod, L., & Dei-Cas, E. (2002).** Microbial agents associated with waterborne diseases. Critical Reviews in Microbiology, 28(4), 371-409.

**-Levallois P., (2003).** Bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 3p

**-Madani T. A. A., Kabani A., Orr P., Nicolle L., (1999).** Enterococcal bacteremia in a tertiary care centre in Winnipeg, Canadian Journal of Infectious Diseases, Vol 10, PP : 57- 63

**-Madigan M., Martinko J., (2007).** Biologie des microorganismes, 11ème édition, Pearson.éducation, Paris, PP : 918-932.

**-Makhoukh, M. (2011) :** Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya.(Maroc).p46

**-Makhoukh, M. (2011) :** Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya.(Maroc).p46

## ***Références bibliographiques***

---

- Masschelein W.J., (1996).** Processus unitaire du traitement de l'eau potable, Edition CEBE, DOC spilliége, PP : 181-345.
- Masschelein W.J., (1996).** Processus unitaire du traitement de l'eau potable, Edition CEBE, DOC spilliége, PP : 181-345.
- Menad, K et Metadjer. (2012) :** Traitement des eaux saumâtre par l'osmose inverse cas de l'eau de Khemis Miliana. Université Khemis Miliana.p14.
- Molinie L. (2009).** Dispositifs rustiques d'alimentation et de Traitement de l'eau potable pour des services de petites tailles en régions défavorisées.Agro Paris Tech, Montpellier,Cedex 4, 7p
- Morris R.D., (1995).** Drinking water and cancer, Environmental Health Perspectives, 103(suppl8), PP: 225–231.
- Muriel H., (2010).** Suivi de la qualité de l'eau produite et distribuée : Elaborer et mettre en œuvre un plan des sécurités sanitaire des eaux, Direction des affaires sanitaires et sociales de la nouvelle Caldonie, Santé et environnement, NOUMEA cedex, P 02
- Myrand D., (2008).** Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées, Québec, P04.
- Nathalie Davoisne ,Centre d'Information sur l'Eau. 02 mai 2019**
- OMS. (1994) :** Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 1, recommandations, Organisation mondiale de la Santé, 2ème édition, p 202.
- OMS., (2000).** Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 2, critères d'hygiène et documentation à l'appui, 2ème édition, 1050 p.
- OMS., (2006).** Paludisme: lutte antivectorielle et protection individuelle, Série de Rapports techniques, N°936, 71p.
- OMS., (2012).** Prévention et lutte contre l'hépatite virale, Organisation mondiale de la Santé, Genève, P04.

## ***Références bibliographiques***

---

**-ONU Publié en 2022** par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture, 7, Place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France

**-Organisation Mondiale de la Santé-OMS, 2000.** La silicose. Aide-mémoire, No 238, Centre des médias, 2000.

**-P. Balloy Mwanza, J.P. Katond et P. Hanocq Tropicultura 2295-8010 Volume 37 (2019) Numéro 2, 627**

**-Philippo P, Pommery J, Thomas P. (1981).** Evolution d'une eau de surface au cours des traitements de potabilisation ; comportement des espèces métalliques au contact des matières humiques, J.fr.Hydrobiol.

**-Phuong Uyen Dao , Arnaud Guillaume Heuzard , Thi Xuan Hoa Le , Jing Zhao , Ran Yin , Chii Shang , Chihhao Fan / La science de l'environnement total Volume 912 ,20 ,20 février 2024**

**-Piar Roux R., (2002).** Le choléra : épidémiologie et transmission, Expérience tirée de plusieurs interventions humanitaires réalisées en Afrique, dans l'Océan Indien et en Amérique Centrale, Bull Soc Pathol Exot, Vol 95, N°5, PP : 345-350.

**-Ramade F. (2000).** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Edit Dunod, Paris, 370p

**-Rejsek, F. (2002) :** Analyses des eaux, les aspects réglementaires et techniques. Edition Scérén CRDP AQUITAINE. Bordeaux. p 109.

**-Remini B., Achour B., Albergel J. (2011).** Timimoun's foggara (Algeria) :An héritage in danger. Arabian Journal of Géosciences (Springer), Vol. 4, n° 3, pp. 495- 506

**-RODIER J. BAZIN C. BROUTON J-C. CHAMBOU P. CHAMPSAUR H.; 2002,** Analyse de l'eau, 8ème édition Dunod-Paris. p 945 1078.

**-Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., (2005).** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.

## ***Références bibliographiques***

---

- Rodier J., Legube B., Merlet N. (2009).** L'analyse de l'eau, 9 ème édition, p.1579 édition, Ed. Dunod
- Rodier, J. (2005) :** L'analyse de l'eau, Eaux résiduaires, Eaux de mer. 8ème édition. Dunod. Paris, p .1383 ,1479.
- Rodier, J. (2009)** .L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. (9ème édition). Paris : Dunod.
- Rodier, J., Legube, B., et Merlet, N.** L'analyse de l'eau. 9eme édition entièrement mise à jour. Dunod paris, **2009**, p. 86,78,50
- Roland VILAGINES,** Eau, environnement et santé publique: Introduction à l'hydrologie, Editions TEC & DOC, Paris, **2000**, p 3 – 32 et p 103.
- Sadeleer Nicolas., Martens Gauthier ,** La politique communautaire de l'eau, une protection juridictionnelle stricte pour sauvegarder une ressource fondamentale : l'exemple des eaux de surface Blogdroiteuropeen, **November 2022 .**
- Salesse E. (2001).** Du nouveau à propos des galeries de captage émergentes. Quelques réflexions sur les actes du séminaire du Collège de France de mars 2000. Pierre Briant (éd.), Irrigation et drainage dans l'Antiquité. Qanâts et canalisations souterraines en Iran, en Egypte et en Grèce (Séminaire du Collège de France, mars 2000), Collection Persika 2 (2001). Topoi ,Orient-Occident, 11(2), 711-736.
- Savary P., (2010).** Guide des analyses de la qualité de l'eau, territorial édition, Voiron, PP : 10-179.
- Service de l'Eau (SEVESC). (2013).** Qualité de l'eau potable en sortie de l'usine de traitement d'eau potable de Versailles et Saint Cloud, 11p
- Stanley E. Manahan,** 'Environmental Chemistry – Eight edition', CRC Press, **2005**
- Valverde A.L., (2008).** Comprendre le cycle de l'eau, bulletin de l'OMM, Vol 57, N°3, 55p

## ***Références bibliographiques***

---

-**WHO (2022)**. Guidelines for Drinking-Water Quality.with microbial indicators. Ground Water, 49(1), 4-11.

-**World Health Organization (WHO). (2022)**. Guidelines for Drinking-Water Quality. Geneva, Switzerland.

-**Zoungrana E.I., (2009)**. La poliomyélite, 12 Mai 2009, 9p

# Annexe

---

## ANNEXE

### DETERMINATION DE LA CONDUCTIVITE

#### Réactifs et matériels :

##### Réactifs :

Standard de conductivité HACH à 1000  $\mu$ S/cm

Standard de conductivité à 1413  $\mu$ S/cm (0.01 M de KCl)

Agitateur magnétique, barreaux magnétiques ( NA 749 )

#### Préparation des standards

Standard de conductivité HACH à 1000  $\mu$ S/cm : solution commercialisée ou préparée à partir de NaCl à  $491 \pm 2,5$  mg/L.

Standard de conductivité à 1413  $\mu$ S/cm : solution commercialisée ou préparée à partir de KCl à 0,01 M. ( NA 749 )

#### Réactifs et matériels

##### Réactifs :

##### Standards:

< 0.1 NTU formazine (100 ml) HACH 20

NTU formazine (100 ml) HACH 200

NTU formazine (100 ml) HACH 4000

NTU formazine (100 ml) HACH

**Huile de silicone ISO 7024 , 1999 ( F ) qualité de l'eau**

### DETERMINATION DE L'ALCALINITE TITRE ALCALIMETRIQUE SIMPLE (TA) ET TITRE ALCALIMETRIQUE COMPLET (TAC)

#### Réactifs et matériel :

##### Réactifs :

a) Acide chlorhydrique (HCl) concentré à 37 %.

b) Solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 0.01 N

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

### DETERMINATION DES SULFATES

# Annexe

---

## Réactifs et matériel

### Réactifs

#### Solution stabilisante

Dans une fiole jaugée de 1000 ml, mettre 100 ml d'eau distillée, ajouter successivement 60 ml d'acide chlorhydrique pur (HCl :  $d= 1.19$ ), 200 ml d'éthanol ( $C_2H_5OH$ ), 150 g de chlorure de sodium (NaCl) et 100 ml de glycérol ; compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée.

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

#### Solution de chlorure de baryum ( $BaCl_2$ ) à 0.01N

Peser 150g de chlorure de baryum ( $BaCl_2$ ), ajouter 5 ml d'acide chlorhydrique ; dans une fiole de 1000ml et compléter jusqu'au trait de jauge. Cette solution se conserve deux semaines en flacon brun à 4°C.

#### Solution mère de sulfates à 1 g/l à partir de sulfate de sodium ( $Na_2SO_4$ )

Peser 1,479 g de sulfate de sodium ( $Na_2SO_4$ ), la mettre dans une fiole jaugée de 1000 ml et compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée. La solution se conserve pendant 2 mois si elle est mise à l'abri de la lumière dans un flacon brun à 4°C.

## DETERMINATION DU pH

### Réactifs et matériels □ Réactifs

Eau distillée ;

Solution tampon à pH 4,01

Solution tampon à pH 7,00

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

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

Solution de KCl à 3 mol/l.

## DETERMINATION DU PHOSPHORE PAR SPECTROMETRIE A L'AIDE DU MOLYBDATE D'AMMONIUM

### Réactifs et matériel

#### Réactifs

Acide sulfurique à 9 mol/L

Introduire 500 ml  $\pm$  5 ml d'eau dans un bécher de 2L. Ajouter avec précaution, sous agitation et refroidissement continu, 500 ml  $\pm$  5 ml d'acide sulfurique ( $p = 1.84$  g/ml). Bien mélanger et laisser la solution refroidir à température ambiante.

### **Réactif mélange (solution molybdate acide)**

Dissoudre 13 g  $\pm$  0.5 g d'heptamolybdate d'ammonium tétrahydraté  $[(NH_4)_6Mo_7O_{24}, 4H_2O]$  dans 100 ml  $\pm$  5 ml d'eau. Dissoudre 0.35 g  $\pm$  0.05 g de tartrate de potassium et d'antimoine hémihydraté  $[K(SbO)C_4H_4O_6, ^\wedge H_2O]$  dans 100 ml  $\pm$  5 ml d'eau. Ajouter, tout en agitant, la solution de molybdate à 300 ml  $\pm$  5 ml d'une solution d'acide sulfurique à 9 mol/L. Ajouter la solution de tartrate et bien mélanger. Conservé dans une bouteille en verre brun, ce réactif est stable pendant au moins deux mois.

### **Acide ascorbique, solution, p = 100 g/l**

Dissoudre 10 g  $\pm$  0.5 g d'acide ascorbique ( $C_6H_8O_6$ ) dans 100 ml d'eau. Cette solution est stable pendant deux semaines si elle est conservée dans une bouteille en verre brun au réfrigérateur et peut être utilisée tant qu'aucune coloration n'apparaît.

### **Orthophosphates, solution mère, p = 50 mg/l**

Sécher quelques grammes de dihydrogénophosphate de potassium jusqu'à masse constante à 105°C. Dissoudre 0.2197 g  $\pm$  0.0002 g de  $KH_2PO_4$  dans environ 800 ml  $\pm$  10 ml d'eau dans une fiole jaugée de 1000 ml. Ajouter 10 ml  $\pm$  0.5 ml de solution d'acide sulfurique (dilution de H) et compléter au volume avec de l'eau.

Conserver dans un flacon en verre bouché, cette solution est stable pendant au moins trois mois. Une réfrigération à environ 4 °C est recommandée.

### **Orthophosphates, solution étalon, p = 2 mg/l**

Introduire, à l'aide d'une pipette, 20 ml  $\pm$  0.01 ml de la solution mère d'orthophosphates dans une fiole jaugée de 500 ml. Compléter au volume avec de l'eau et bien mélanger. Préparer et utiliser cette solution le jour de l'emploi.

## **DOSAGE DE LA SOMME DU CALCIUM ET MAGNESIUM PAR METHODE TITRIMETRIQUE A L'EDTA**

Réactifs et matériels

### **Réactifs**

#### **Calcium, solution étalon de référence à 0,01 mol/l**

Sécher un échantillon de carbonate de calcium pur pendant 2 heures à 150 °C et laisser refroidir à la température ambiante dans un dessiccateur.

## Annexe

---

En introduire 1,001 g dans une fiole conique de 500 ml, et l'humidifier avec de l'eau. Ajouter goutte à goutte de l'acide chlorhydrique à 4 mol/l jusqu'à ce que tout le carbonate soit dissous.

Eviter un excès d'acide. Ajouter 200 ml d'eau et porter à ébullition quelques minutes afin d'éliminer le dioxyde de carbone. Refroidir et ajouter quelques gouttes de l'indicateur au rouge de méthyle. Ajouter une solution ammoniacale à 3 mol/l jusqu'à ce que la solution devienne orange. Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1000 ml et amener au volume avec de l'eau distillée.

1 ml de la solution contient 0,4008 mg (0,01 mmol) de calcium.

### **EDTA, solution titrée à 0,01 mol/l**

Sécher une portion d'EDTA, sel disodique dihydraté ( $C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2 \cdot 2H_2O$ ) à 80°C pendant 2 heures (étuve), dissoudre ensuite 3,725 g du sel sec dans de l'eau distillée et diluer à 1000 ml dans une fiole jaugée.

Conserver la solution d'EDTA dans une bouteille en verre ou en polyéthylène et en vérifier le titre de temps à autre (fréquence hebdomadaire et voir calcul de facteur de correction).

### **Solution tampon pH 10**

Dissoudre 67,5 g de chlorure d'ammonium ( $NH_4Cl$ ) dans 570 ml de solution ammoniacale [25 % (m/m) ;  $Q_{20} = 0.91$  g/ml].

Ajouter ensuite 5 g du sel disodique de magnésium de l'EDTA ( $C_{10}H_{12}N_2O_8Na_2Mg$ ) et diluer à 1000 ml avec de l'eau distillée. Conserver la solution dans une bouteille en polyéthylène (durée de conservation 3 mois). Diluer 10 ml de cette solution dans une fiole de 100 ml (dilution au 1/10ème) avec de l'eau distillée et vérifier que le pH est de  $10,0 \pm 0,5$ .

### **Mordant noir 11, indicateur**

Dissoudre 0,5 g de sel de sodium de mordant noir 11 (acide [hydroxy-1 naphthylazo-2) nitro-6 naphthol-2 sulfonique-4] ( $C_{20}H_{12}N_3O_7SNa$ ) dans 100 ml de triéthanolamine [ $(HOCH_2)_3N$ ]. Il est possible d'ajouter jusqu'à 25 ml d'éthanol à la place de la triéthanolamine, afin de diminuer la viscosité de la solution.

Cet indicateur est aussi appelé noir ériochrome T (NET). Un mélange de 1 g de noir ériochrome et de 100 g de chlorure de sodium ( $NaCl$ ) peut-être utilisé comme indicateur

## **DOSAGE DES NITRATES PAR SPECTROMETRIE D'ABSORPTION MOLECULAIRE**

### **5.1. Réactifs et matériel □ Réactifs**

## Annexe

---

### **Solution de Salicylate de Sodium à 0.5%**

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

### **Solution d'hydroxyde de Sodium à 30%.**

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

### **Solution de tartrate double de sodium et de potassium**

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

Conserver dans un flacon en polyéthylène.

### **Acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentré.**

### **Solution mère de nitrate à 1000 mg/l**

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

### **Solution fille étalon de nitrate 10 mg/l**

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

## **DOSAGE DES NITRITES PAR SPECTROMETRIE D'ABSORPTION**

### **MOLECULAIRE**

#### **Réactifs et matériel**

#### **Réactifs**

#### **Réactif mixte**

Dissoudre 40 gr d'4-amino-2-naphtylsulfonamide (NH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>SO<sub>2</sub>NH<sub>2</sub>) dans un mélange formé de 100ml d'acide orthophosphorique et de 500ml d'eau. Ajouter 2 gr de dichlorhydrate de N-(1-naphtyl)-1,2-diamino-éthane (C<sub>10</sub>H<sub>7</sub>NH-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-NH<sub>2</sub>-2HCl), compléter le volume à 1000 ml avec de l'eau distillée.

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

#### **Solution étalon mère de nitrites 100 mg/l**

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

#### **Solution étalon fille de nitrites 1 mg/l**

## Annexe

---

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

Cette solution est préparée le jour de l'emploi.

### **DOSAGE DU CALCIUM METHODE TITRIMETRIQUE A L'EDTA**

#### **Réactifs et matériels**

#### **Réactifs**

#### **Hydroxyde de sodium, solution 2 N**

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

#### **Calcium, solution de référence à 100 mg/l**

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

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

#### **EDTA, solution titrée 0,01 mol/l**

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

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

#### **Murexide (indicateur)**