

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة عمار تليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT
كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
قسم البيولوجيا
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : Microbiologie Fondamentale et Appliquée

Thème

**Etude de la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau des puits de
la région de Laghouat.**

Présenté par :

- MESSAOUDI FAIZA
- BRICHI NOURA

Devant le jury :

- | | | |
|-------------------------|-----------------------------|-----|
| • Président : | CHAIBI RACHID | Pr |
| • Examineur : | KOUADRI YOUCEF | MCB |
| • Encadrant : | BENHASSINE MOHAMED EL AMINE | MAA |
| • Co-encadrant : | HAMIDA LAMINE | MAB |

Soutenu publiquement le : 2022/2023

Remerciements

Nous exprimons d'abord nos profonds remerciements à **Dieu** qui nous a donné le courage et la volonté d'achever ce travail.

Nous tenons à remercier particulièrement nos parents; notre succès demeure de loin le fruit de longues années de sacrifices et d'éducation.

Nos sentiments de reconnaissance et nos remerciements vont à notre **encadrant Dr. BENHASSINE M.E** pour ses conseils, ses encouragements, sa patience, sa compétence, ses qualités humaines et scientifiques resteront pour nous un exemple, qui nous en permis de bien mener ce travail. Le suivi et l'orientation dont nous avons pu bénéficier. Nous sommes constamment impressionnés de constater à quel point elle nous a poussé pour atteindre nos buts et d'avoir identifié et stimulé nos potentiels.

Nos remerciements les plus sincères vont également à notre **Co-encadrant Mr HAMIDA LAMINE** veuillez trouver ici l'expression de nos profonds sentiments de respects pour le soutien que vous n'aviez cessé de nous parler.

Nos remerciements vont au président de jury **Pr. CHAIBI RACHID** de nous avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury.

Nos vifs remerciements s'adressent aussi au **Mr. KOUADRI YUCEF** qui a accepté d'examiner notre travail avec la bienveillance et nous en sommes très honorées.

Un remerciement spécial à **Madame MAHFOUDI ROKIA** pour sa disponibilité et sa sympathie.

Un grand merci à l'équipe du laboratoire d'ADE pour leurs gentillesse et serviabilité.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :

A ceux qui m'ont soutenu, mais qui sont décédés avant d'avoir vu mon

Travail..... Mon père, que Dieu lui fasse miséricorde

À celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoirs, à la source d'amour

Incessible, à la mère des sentiments fragiles qui ma bénie par ces

Prières..... ma mère

*à mes chères frères et sœurs et leurs enfants pour leurs disponibilités, leur soutien
moral et Leur encouragement.*

A toutes les personnes de ma grande famille

A mes meilleures amies

Faiza

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

À Mon père Tu as travaillé sans réserve pour le bonheur collectif dans la dignité. Ton humour, ta tolérance, ton autorité de père ont fait de nous ce que nous sommes aujourd'hui, tu es le meilleur père, nous sommes fier de toi.

À la bougie qui éclaire ma route vers la réussite celle qui m'a appris le savoir-faire, qui m'a donné le courage dans les moments difficiles, à ma mère, que dieu la garde.

À mes Sœurs Lina et Yasmine et mon frère Ahmed .

À tous mes amis et collègues

À tous les étudiants de la promotion 2018/2019

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

NOURA.

ملخص

تعتبر المياه الجوفية مصدر للاستهلاك البشري، على الرغم من خلوها عادة من التلوث، فمن الممكن أن تكون هذه المياه ملوثة بيولوجيًا أو فيزيائيًا أو كيميائيًا .

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية لعشر عينات من آبار تقع في مواقع مختلفة من منطقة الأغواط

تشير نتائج التحليل الفيزيائي والكيميائي لعينات المياه المأخوذة أثناء دراستنا إلى أن المياه من آبار مدينة الأغواط تتجاوز أحيانًا المعايير الفيزيائية والكيميائية لجودة مياه الشرب التي تتطلبها المواصفات الجزائرية غير انه لايشكل خطر على صحة الانسان لانه ارتفاع طفيف.

إلا أن نتائج التحليل البكتيريولوجي تظهر أن مياه الآبار العشر غير ملوثة ، مما يعني أنه يمكن استهلاكها واستخدامها للري.

لذلك ، فإن استخدام المياه من هذه الآبار لا يشكل مخاطر صحية كبيرة على السكان.

الكلمات المفتاحية: الأغواط ، المياه ، الآبار ، الجودة الفيزيائية والكيميائية ، البكتيريولوجية.

Résumé

L'eau souterraine est considérée comme une source destinée à l'alimentation humaine. Bien qu'elle soit normalement exempte de toute contamination, il est possible que ces eaux soient polluées biologiquement, physiquement ou chimiquement.

L'objectif de cette étude est d'évaluer les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques d'un échantillon de dix puits situés dans différentes localités de la région de Laghouat.

Les résultats de l'analyse physique et chimique des échantillons d'eau prélevés lors de notre étude indiquent que l'eau des puits de la ville de Laghouat dépasse parfois les normes physiques et chimiques de qualité de l'eau potable requises par les normes algériennes , mais elle ne représente pas de danger pour la santé humaine car il s'agit d'une légère augmentation.

Cependant, les résultats de l'analyse bactériologique montrent que l'eau des dix puits n'est pas contaminée, ce qui signifie qu'elle peut être consommée et utilisée pour l'irrigation.

Par conséquent, l'utilisation de l'eau provenant de ces puits ne présente pas de risques sanitaires majeurs pour la population.

Mots clés : Laghouat, Eau, puits, qualité physico-chimique, bactériologique.

Abstract

Groundwater is considered a source for human consumption. Although normally free from contamination, it is possible that these waters are biologically, physically or chemically polluted.

The objective of this study is to evaluate the physico-chemical and microbiological characteristics of a sample of ten wells located in different localities of the Laghouat region.

The results of the physical and chemical analysis of the water samples taken during our study indicate that the water from the wells of the city of Laghouat sometimes exceeds the physical and chemical standards of drinking water quality required by Algerian standards but it does not pose a danger to human health because it is a slight rise.

However, the results of the bacteriological analysis show that the water from the ten wells is not contaminated, which means that it can be consumed and used for irrigation.

Therefore, the use of water from these wells does not present major health risks for the population.

Keywords: Laghouat, Water, wells, physico-chemical quality, bacteriological

Tables des Matières

Table des matières

Remerciements

Résumé

Liste des Abréviations I

Liste des Tableaux..... II

Liste des Figures..... III

Introduction 1

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Ressources hydriques 4

1. Généralités..... 4

2. Définition de l'eau..... 4

3. Les types de l'eau..... 4

5. Différence entre l'hydrologie et l'hydrogéologie 7

6. Cycle de l'eau..... 7

7. Différents types de puits..... 8

8. Désinfection de puits 8

Chapitre II: Pollution, Risques et Traitement De L'eau..... 11

I.Pollution de l'eau..... 11

1. Qualité de l'eau de consommation 11

2. Qualité des eaux souterraines 11

3. Les paramètres physicochimiques..... 11

4. Paramètres bactériologiques..... 15

5. Normes de la qualité de l'eau 18

6. Pollution de l'eau 19

7. Sources de pollution 19

8. Différents types de pollution des eaux 20

II.Risques liés à l'eau..... 23

1. Les maladies à transmission hydrique..... 23

1.1. Maladies d'origine bactérienne..... 23

1.2. Maladies à mains sales 23

1.3. Maladies d'origine virale 24

1.4. Maladies d'origine parasitaire..... 25

2. Risques liés à la présence des substances chimiques dans l'eau 26

Tables des Matières

3.	Evaluation des risques hydriques	26
3.1.	Evaluation des risques chimiques	26
3.2.	Evaluation des risques microbiologiques.....	26
III.	Traitement de l'eau.....	27
1.	Traitement physico-chimique.....	27
2.	Pré-chloration	28
3.	Dioxyde de chlore	28
4.	Clarification.....	28
5.	Filtration	29
DEUXIEME PARTIE: Matériel et méthodes		
chapitre 1:	Matériels et Méthode.....	31
1.	Objectif.....	31
2.	Présentation de la zone d'étude	31
3.	Choix des sites.....	33
4.	Echantillonnage	34
5.	Techniques de prélèvement	35
6.	Transport des échantillons.....	36
7.	Matériels et méthodes.....	37
7.1.	Paramètres physico-chimiques.....	37
7.2.	Traitement Des Données	47
7.2.1.	La classification hiérarchique ascendante (CHA).....	47
7.2.2	L'analyse en composantes principales (ACP).....	46
7.2.3	Le test du coude de Cattell.....	48
8/	Analyses bactériologiques.....	49
8.1.	Recherche et dénombrement des coliformes totaux, fécaux et identification <i>d'E.coli</i>	49
8.2.	Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs.....	50
8.3.	Recherche du germes totaux (ISO 6222)	53
8.4.	Dénombrement des Entérocoques intestinaux (Streptocoques Fécaux)	55
chapitre II:	Résultats Et Discussion	57
1.	Les résultats des analyses physico-chimiques.....	58
2.	Analyss physico-chimique de l'eau du puits par test statistique (CHA et ACP).....	60
2.1.	Analyse multi variées des données	61
2.2.	Analyse des correspondances multiples (ACM).....	62

Tables des Matières

3. Analyses bactériologiques	65
3.1. Résultats des Coliformes totaux à 37°C.....	66
3.2. Résultats des Clostridium sulfito-réducteurs	67
3.3. Résultats du germes totaux a 37°C et 22°C	68
3.4. Résultats des Entérocoques intestinaux (des streptocoquesfécaux).....	70
Conclusion.....	72
Références bibliographique.....	74
Annexe	79

Listes des Abréviations

Liste des Abréviations

% : pour cent.

(-) : négatif.

(+) : positif.

°C : degré Celsius.

ADE : Algériennes des eaux

AFNOR : Association Française de Normalisation

AgNO₃ : Nitrate d'argent.

BCPL : Bouillon Lactose au Pourpre de Bromocresol

CO₃²⁻ : carbonate.

D/C : Double concentration.

d : densité

E. coli : Escherichia coli

EDTA : Éthylène Diamine Tétra-Acétique.

g/l: gramme par litre.

H : heure.

H : hydrogène.

H⁺ : ion d'hydrogène.

H₂O : Eau.

FTAM : flore total aérobie mésophile.

HCL : Acide chlorhydrique.

Na OH : D'hydroxyde de sodium.

nm : Nanomètre.

NPP : Nombre le plus probable.

NTU : Nephlo turbidité unité.

OMS : Organisation mondiale de santé.

S/C : Simple concentration.

TAC: Titre alcalimétrique complet.

TH : Titre hydrométrique.

Ms : Micro Siemens

Listes des Tableaux

Liste des Tableaux

Titre	page
Tableau n° 01 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité	12
Tableau n°02 : Qualité de l'eau en fonction de résidus sec	13
Tableau n°3 : Normes physico-chimiques des eaux souterraines	18
Tableau n°4 : Normes bactériologiques des eaux souterraines	19
Tableau n°05 : Origines et natures de différentes sources de pollution de l'eau	20
Tableau n°06 : Les différents virus pathogènes pour l'homme rencontrées dans l'eau	22
Tableau n°07 : les Virus pathogènes pour l'homme rencontrées dans l'eau	24
Tableau n°08 : Les différents types des parasites	25
Tableau 09 : Les résultats d'analyses physicochimique des eaux des puits.	55
Tableau 10 : Matrice de corrélation des paramètres	56
Tableau n°11 : Valeurs propres	57
Tableau n°12 : Contributions des variables (%)	57
Tableau 13 : Résultats des Coliformes totaux à 37°C	61

Listes des Figures

Liste des Figures

Figures	Pages
Figure 01: Cycle de l'eau	07
Figure 02: Localisation de la zone d'accueil de l'inventaire, la wilaya de Laghouat	31
Figure 03: Localisation des sites d'échantillonnage au niveau de la ville de Laghouat	33
Figure 04: Carte de répartition des points d'eaux agricoles à travers la wilaya de Laghouat	33
Figure 05: Exemple d'affichage d'un fichier KMZ à l'aide de l'application Google Earth pour les points d'eaux agricoles de la wilaya de Laghouat.	34
Figure 06: Un exploitant dans la wilaya de Laghouat	35
Figure 07: prélèvement de l'eau du puits	36
Figure 08 : pH mètre et turbidimètre et thermomètre intégré	38
Figure 09 : Appareil conductimètre	39
Figure 10 : Réactifs et détermination de la dureté totale par titrimétrie à l'EDTA	40
Figure 11: Les réactifs nécessaires pour le dosage du Ca ²	41
Figure 12: Spectrophotomètre	42
Figure 13 : Réactifs utilisés pour le dosage des nitrates	44
Figure 14 : Réactifs utilisés pour le dosage des phosphates	45
Figure 15: Appareil Dr LANGE (JENWAY) pour le dosage du sodium	46
Figure 16 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux et des coliformes fécaux.	49
Figure 17: réactif de Kovacs	50
Figure 18: Diagramme de dénombrement des Clostridium sulfito-réducteur	51
Figure 19: Recherche et dénombrement des germes totaux.	52
Figure 20: digramme de Dénombrement Streptocoques Fécaux	54
Figure 21 : Projection des variables sur le premier plan factoriel	58
Figure 22 : Projection des individus sur le premier plan factoriel	59
Figure 23: Dendrogramme de la classification hiérarchique ascendante des puits	60
Figure 24: Résultats des Coliformes totaux à 37°C	62
Figure 25: Résultats des Clostridium sulfito-réducteurs.	63
Figure 26: Les résultats Germe totaux.	64
Figure 27: Résultats des Entérocoques intestinaux	64

Introduction

Introduction

Introduction

L'eau est un élément essentiel à la vie et joue un rôle primordial dans d'innombrables activités humaines. Cependant, dans certaines régions arides et semi-arides, l'eau peut être rare ou de mauvaise qualité (Moussa, 2014).

L'importance de l'eau dans l'économie humaine ne cesse de croître. Sous l'impact des besoins énormes de la civilisation moderne, nous avons progressivement abandonné l'utilisation des sources et des eaux souterraines au profit d'une utilisation croissante des eaux de surface. Par conséquent, en raison du développement rapide de la technologie industrielle moderne, de l'augmentation de la population et de l'amélioration du niveau de vie, l'approvisionnement en eau douce est devenu de plus en plus difficile (Moussa, 2014).

La qualité physico-chimique et biologique d'une eau est essentielle pour garantir son acceptabilité, la protection des consommateurs et la préservation de la santé des réseaux de distribution (OMS, 2000). Les eaux souterraines représentent environ 97% de la quantité totale d'eau douce présente dans les écosystèmes continentaux (Bosca, 2002). Selon Merzoug et al. (2010), entre 75% et 90% de la population mondiale dépend des eaux souterraines.

Plusieurs études de recherche ont conclu que la pollution des eaux souterraines provient à la fois de facteurs géologiques et anthropiques. Cela inclut notamment l'infiltration des eaux usées et l'utilisation d'engrais chimiques dans l'agriculture (Nouayti et al., 2015 ; Aka et al., 2013 ; Ahoussi et al., 2013 ; Lagnika et al., 2014 ; Amadou et al., 2014). D'autres études ont montré que la contamination des eaux souterraines est associée à la présence de fosses septiques, à l'absence de traitement, à l'absence de réseaux d'assainissement et à un non-respect des conditions de santé publique (Guessoum et al., 2014 ; Fakhri et al., 2014 ; Degbey et al., 2010).

En Algérie, les eaux de surface constituent notre principale source d'approvisionnement en eau potable. Cependant, de plus en plus de particuliers et de municipalités se tournent vers les eaux souterraines qui renferment des quantités importantes d'eau exploitables (Chekroun, 2007). Malheureusement, les eaux souterraines en Algérie sont polluées par des infiltrations provenant de la surface. De plus, une surexploitation des nappes aquifères entraîne des dommages irréversibles, réduisant leur capacité à stocker l'eau et provoquant des affaissements de terrain.

Introduction

Dans certaines régions d'Algérie, l'approvisionnement en quantités suffisantes d'eau potable et l'assainissement posent des problèmes, mettant ainsi en péril la qualité de l'eau et la santé publique (Rémini, 2010).

Dans ce contexte spécifique, notre étude a pour objectif de caractériser les qualités physicochimiques et microbiologiques de dix échantillons prélevés dans différentes localités de la région de Laghouat.

Notre manuscrit est divisé en deux parties. La première partie comprend :

Le premier chapitre qui rappelle les notions sur les ressources hydriques et l'eau en général, en mettant l'accent sur leurs différents types et leurs caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques.

Le deuxième chapitre aborde les différentes pollutions qui affectent l'eau, ainsi que les maladies transmises par voie hydrique, et explore les méthodes de traitement correspondantes.

La partie expérimentale est consacrée à la méthodologie utilisée pour analyser la qualité des échantillons d'eau provenant de puits. Elle comprend les sections suivantes : matériel, méthodes, résultats et discussions. Enfin, nous concluons avec une synthèse générale des résultats obtenus.

Introduction

PREMIERE PARTIE :
ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1: Ressources hydriques

1. Généralités

Aussi connue sous le nom d'hydroxyde, l'eau est omniprésente dans la nature. C'est un composé liquide incolore, inodore et insipide, mais qui possède des propriétés complexes en raison de sa polarisation et de sa composition en différents sels minéraux, a un pH neutre, et c'est un excellent solvant dans la composition de la plupart des organismes vivants. Vivant (Bernard, 2007).

L'eau se trouve dans les biosphères sous trois états : solide, liquide et gazeux selon des conditions de température et de pression spécifiques.

L'eau possède des propriétés physico-chimiques très remarquables par rapport aux autres liquides car c'est un excellent solvant qui dissout de nombreux gaz, minéraux et organiques, ionise les électrolytes et disperse les stéroïdes chargés (Michard, 2002).

2. Définition de l'eau

L'eau est un élément essentiel à la vie, et elle occupe une proportion très importante dans la composition de tous les êtres vivants. La molécule d'eau est une combinaison d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène, et le symbole est H₂O. L'eau en tant que liquide est considérée comme un solvant universel, elle gèle à 0°C et se transforme en vapeur à 100°C, qui est son point d'ébullition, mais sa principale caractéristique est incolore et inodore (Gerard. G., 1999).

3. Les types de l'eau

L'eau destinée à la consommation humaine désigne l'eau de distribution publique (eau du robinet), l'eau conditionnée (eau de source, eau minérale naturelle et eau potable traitée) et l'eau potable des puits privés. . L'eau extraite du milieu naturel n'est généralement pas disponible pour la consommation humaine directe. Il doit être transformé selon les exigences réglementaires de qualité en tous points du web afin qu'il puisse être consommé par tous sans risque. Toutes les eaux potables n'ont pas la même composition chimique, car elles ne contiennent pas toutes les mêmes minéraux considérés comme des paramètres de l'espace et du temps. Avec l'augmentation de la population mondiale et le développement de l'économie terrestre, la consommation d'eau a presque doublé au cours des cinquante dernières années (Rabiet. M., 2006).

a. Eaux de pluie

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour la consommation humaine. Elles sont très douces par la présence d'oxygène et d'azote et l'absence des sels dissous, comme les sels de magnésium et de calcium. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être souillées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités utilisent cette source d'eau (Desjardins, 1997 et Ofeep, 2003). Inquante dernières années (Rabiet. M., 2006).

b. Les eaux de mer

Les mers sont les grandes masses d'eau salée qui recouvrent les deux-tiers de la surface du globe terrestre, et elles représentent près de 97,4 % de la capacité des grands réservoirs d'eau à la surface de la terre (Dinnart. E., 2003). La teneur moyenne en sel varie en fonction de l'arrivée d'eau douce (pluies et fleuves), plus il y a d'eau douce, moins il y a de sel. Le dessalement de l'eau de mer et celui des eaux saumâtres constitue, aux dernières années, la solution à la pénurie d'eau dans de nombreuses parties du monde. Cependant, le coût de dessalement demeure encore trop élevé. unités de dessalement dans les provinces sahariennes depuis près d'une vingtaine d'années (El Ghachtoul Y et al., 2005).

c. Les eaux de surface

Sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles proviennent soit par des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit par les eaux de ruissellement (fleuves, rivières, barrages, mares, marigots). Elles sont caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable (Degremont., 2005). En plus, ces eaux superficielles doivent subir un traitement en plusieurs étapes pour être utilisées pour la boisson et les usages domestiques. Elles ne peuvent être utilisées sans traitement. De plus, pour envisager d'alimenter des populations à partir d'eaux de surface, il faut éviter les conditions favorisant l'érosion des sols, les conditions non hygiéniques et les pollutions accidentelles et chroniques (Molinie., 2009).

d. Les eaux souterraines

On trouve les eaux souterraines sous la plupart des terres émergées du globe. Leur origine est due à l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varie en fonction de sa porosité et de sa structure géologique. Les eaux souterraines sont généralement d'excellente qualité physico-

chimique et bactériologique (Cardot. C., 1999). Elles restent jusqu'à présent les meilleures ressources en eau potable (Margat. J., 1992).

e. L'eau de source

Une source peut être définie comme l'apparition à la surface du sol de l'eau d'une nappe aquifère souterraine. Toute source est alimentée par une portion de la nappe aquifère qui lui a donnée naissance (Gomella G. et al., 1974).

4. Différents types de nappes

a. Nappe libre

Cette nappe est directement alimentée par les eaux de ruissellement. Très sensibles à la pollution, elle est à l'origine des sources et des forages (Cardot, 2010).

b. Nappe captive

Les nappes captive est séparée de la surface du sol par une couche imperméable. Elle n'est pas donc pas alimentée directement par le sol. Elle se situe à de grandes profondeurs et par conséquence est peu sensible aux pollutions. Enfin, les réserves d'eau à l'aplomb des fleuves ou rivières constituent les nappes alluviales (Cardot, 2010)

c. Nappe phréatique

Les nappes phréatiques sont celles qui se reposent sur la première couche imperméable, en loin de niveau du sol. Elles sont toujours libres et souvent contaminées. Ces nappes revêtent une importance énorme pour l'approvisionnement en eau, car elles constituent les plus grandes réserves d'eau potable dans la plupart des régions du monde(Ayad, 2017).

d. Nappe alluviale

Elle est contenue dans les grands épandages de sables, graviers et galets des fleuves et des rivières, la nappe alluviale est le lieu privilégié des échanges avec les cours d'eau et les zones humides. Ce type de nappe peut être réalimenté par les crues et restituer à l'inverse de l'eau dans les cours d'eau en période de sécheresse (Ofeep, 2003).

e. Nappe albien

La nappe de l'Albien se trouve en grande partie dans le Sahara algérien, elle est composée en grande majorité d'eau saumâtre, donc impropre à la consommation humaine sans dessalement (web 2 : 3) .

5. Différence entre l'hydrologie et l'hydrogéologie

L'hydrologie évoque les quantités d'eau qui transitent en crue ou en étiage L'hydrogéologie concerne les eaux du sous-sol. S'appuyant sur de nombreux outils de mesures, de calcul et sur des modèles, ces sciences nécessitent toujours une forte expertise humaine. (web1)

6. Cycle de l'eau

L'eau est un élément sous trois formes (liquide, gazeuse et solide) et subit un cycle perpétuel. L'évaporation lente et constante des rivières, des lacs et des océans provoque la formation de nuages dans la haute atmosphère, qui se condensent en pluie. Des eaux et des lacs qui s'évaporent d'une part et sont sujets à l'infiltration par le sol d'autre part. Une partie du lixiviat est absorbée et nourrie par la végétation (évapotranspiration) avant d'être rejetée dans l'atmosphère. D'autres parties peuvent s'accumuler sous terre pour former des aquifères souterrains, qui à leur tour peuvent former des sources qui émergent à la surface (Maïga F.S., 2002).

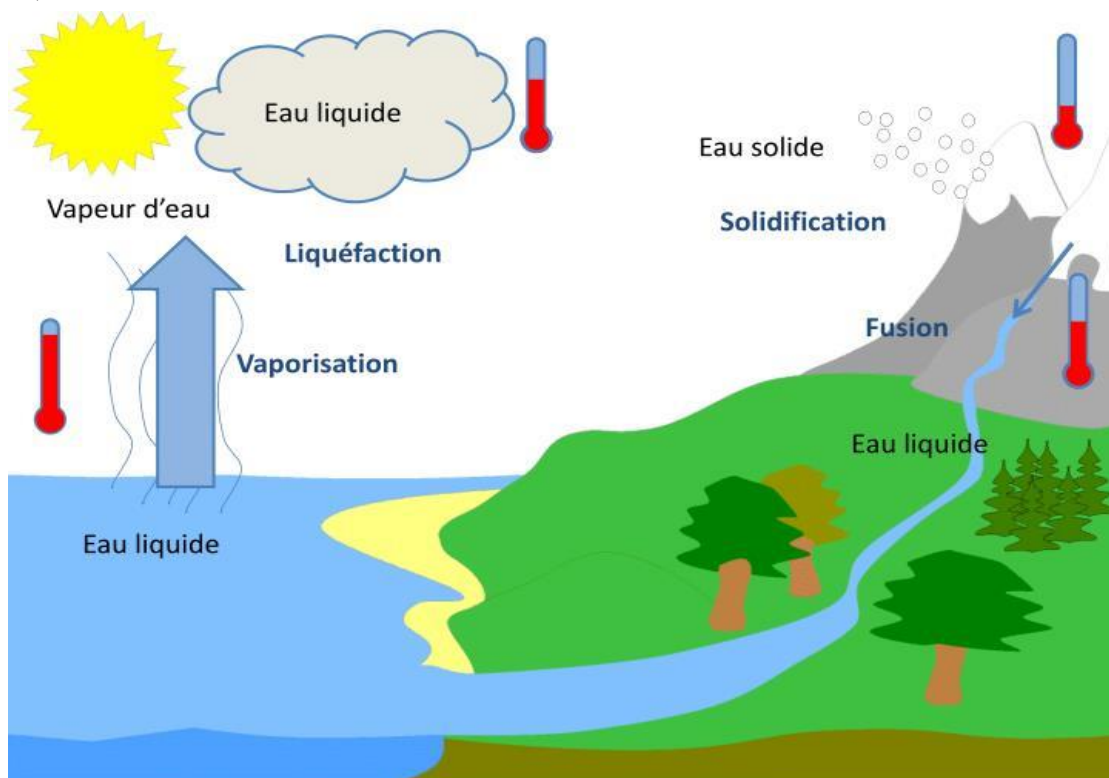


Figure 01: Cycle de l'eau (CIE., 2013).

7. Différents types de puits**a. Puits forcés à la sondeuse**

Le diamètre du tubage qui a été foré et abattu est petit, c'est-à-dire 10 à 20 cm. Les puits de forage peuvent être alimentés à partir d'aquifères de couverture ou d'aquifères rocheux. Les fosses de mort-terrain consistent en des puits construits dans des aquifères de mort-terrain (couches sédimentaires au-dessus de la roche solide souvent appelées morts-terrains), généralement constitués de sable et de gravier, mais aussi de limon et d'argile (Simpson et al., 2007 Year).

b. Puits à pointe filtrante

Les diamètres de tubage des puits ponctuels et des caissons sont plus petits, à savoir

– Celles-ci vont de 2,5 à 5 cm. Les puits écrans sont des aquifères de sable et de gravier qui peuvent être creusés ou extrudés (poussés dans le sol à l'aide de jets d'eau sous pression). Les puits à pointe de sable ne sont généralement construits que dans des sols meubles (peu ou pas de pierre) et là où la nappe phréatique est peu profonde (Simpson et al., 2007).

c. Puits de grand diamètre

Les puits de grand diamètre sont généralement construits avec des tuiles en béton préfabriquées ou des tuyaux en acier galvanisé ondulé d'un diamètre de 60 à 120 cm. Les coquilles plus anciennes peuvent également être en brique, en pierre ou même en bois, et le revêtement est très perméable à l'eau de surface, qui peut envahir les parties de la coquille qui se trouvent au-dessus de la nappe phréatique.

Les puits précédemment creusés avec des pioches et des pelles sont maintenant creusés avec du matériel de creusement. Leur profondeur dépasse rarement 9m. Les puits à tarière construits à l'aide de trépan ont une profondeur moyenne de 15 m, mais peuvent atteindre 30 m (Simpson et al., 2007).

8. Désinfection de puits

La désinfection est basée sur l'utilisation de chlore. Le chlore a l'avantage d'être disponible presque partout, simple à doser et à utiliser, et rapidement soluble dans l'eau. En revanche, il s'agit d'une substance dangereuse qui doit être stockée et manipulée avec précaution et qui est inefficace contre certains kystes, comme *Cryptosporidium*, un protozoaire responsable de la plupart des maladies diarrhéiques dans le monde (OMS, 2013).

Chapitre II:

Pollution, Risques et Traitement De L'eau

Chapitre II: Pollution, Risques et Traitement De L'eau**I. Pollution de l'eau****i. Qualité de l'eau de consommation**

La qualité de l'eau potable est évaluée à partir des critères de qualité. L'eau est considérée souvent comme un symbole de pureté, elle est progressivement devenue le produit alimentaire le plus surveillé, et est soumise aux normes de qualité les plus sévères (Defranceschi, 1996 ; Mddefp, 2013). La surveillance de la qualité de l'eau correspond à la conduite des analyses, de tests et d'observation de certains paramètres à des points clés du réseau d'alimentation en eau potable. L'objectif principale de ce suivi de la qualité de l'eau est de vérifier que l'eau distribuée remplit les critères de potabilité. C'est un moyen de protéger la santé publique (Muriel, 2010).

ii. Qualité des eaux souterraines

Étant donné que les eaux souterraines sont généralement pures sur le plan bactériologique (Unicef, 1999), la qualité naturelle de l'eau souterraine ne concerne pas seulement les aspects sanitaires et techniques de l'eau potable. Il faut se souvenir en particulier que l'eau des nappes alimente les rivières et que, par conséquent, certaines propriétés chimiques et microbiologiques des eaux souterraines peuvent avoir des incidences sur la vie aquatique (Collin, 2004).

iii. Les paramètres physicochimiques**a. La température**

La température de l'eau est un facteur important dans la production biologique. Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; en particulier sa densité sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques (HCEFLCD., 2006).

b. Potentiel d'hydrogène ph

Le pH ou le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène (H^+), il est inférieur ou supérieur à 7 suivant que l'eau est acide ou basique. Il n'a pas de la signification hygiénique mais il représente une notion importante de la détermination de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous

(Abdesselem. A., 1999) Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (Dussart., 1966; Bermond et al., 1973).

c. La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm² de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m) : $1\text{S /m} = 104 \mu\text{S/cm} = 103 \text{ S/m}$. La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau (HCEFLCD., 2006). En effet, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation (Bremaude et al., 2006).

La qualité de l'eau en fonction de la conductivité est définie de la manière suivante dans le tableau :

Tableau n° 01: Qualité de l'eau en fonction de la conductivité

Conductivité électrique	Qualité de l'eau
de 50 à 400 $\mu\text{S/cm}$	Qualité excellente
de 400 à 750 $\mu\text{S/cm}$	Bonne qualité
de 750 à 1500 $\mu\text{S/cm}$	Qualité médiocre mais eau utilisable
Conductivité > de 1500 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation excessive

d. Résidus secs

Le résidu sec donne une information sur la teneur en substances dissoutes et en suspension non volatiles (le taux des éléments minéraux), obtenues après une évaporation d'eau (Berne et al., 1991). Une eau dont la teneur en résidu sec est extrêmement faible peut être inacceptable à la consommation en raison de son goût. Selon les quantités recueillies, elles sont classifiées comme suit:

Tableau n°02 : Qualité de l'eau en fonction de résidus sec

Résidu sec	Qualité de l'eau
Plus de 1500 mg/l	Eau riche en sels minéraux
Entre 500 et 1500 mg/l	Eau moyennement minéralisée
Entre 50 et 500 mg/l	Eau faiblement minéralisée
Résidu sec < 50 mg/l	Eau très faiblement minéralisée

e. Le chlorure

Le chlorure (Cl⁻) est un ion négatif du chlorure (Cl); cet élément est très abondant dans l'environnement. Il est présent dans l'eau, le sol, roches, ainsi que dans de nombreuses aliments. Dans une goutte d'eau chlorure .Les teneurs en chlorures des eaux extrêmement variées sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confèrent à l'eau à partir de 250 mg/l surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium (Rodier. J., 2005).

f. Les Nitrates

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol par décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels (Samake., 2002).

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau. Leurs concentrations dans les eaux naturelles sont comprises entre 1 et 10 mg/l. Cependant leurs teneurs dans les eaux usées non traitées sont faibles (UNEP/MAP/MEDPOL., 2004).

g. Nitrites

Les nitrites NO₂ - proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une réduction des nitrates. Une eau renferme une quantité élevée de nitrites (supérieur à 1 mg/l d'eau). Les valeurs limitent recommandées pour les nitrites dans l'eau de boisson, sont de

0,1mg/l pour les pays de l'union européenne et l'Algérie et des doses inférieures à 1 mg/l pour l'OMS (Boualem., R).

h. Manganèse Mn+2

Le manganèse est un oligo-élément indispensable à notre organisme, cet élément ne présente donc aucun danger pour la santé publique. Suivant son degré d'oxydation, le manganèse se présente sous forme suivantes :

+2 : Mn II : L'ion manganoux Mn+2 sous forme dissoute.

+3 : Mn III : Mn₂O₃ sesquioxyde de manganèse qui n'existe que sous forme de précipité.

+4 : Mn IV : L'ion manganique Mn+4 sous forme dissoute et le précipité de dioxyde de manganèse MnO₂ (Cardot, 1999).

i. Calcium Ca+2

Le calcium est un métal alcalino- terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Il est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa présence en grande quantité peut être due à la dissolution du gypse. Le calcium est le composant majeur de la dureté de l'eau. Cependant, une eau chargée en sels de calcium est dite « dure » et une pauvre en cet élément est dite « douce » (Potelon et al.,1998).

j. Oxygène dissous (O₂)

L'oxygène dissous est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des animaux aquatiques (Gharbi , 2019).

k. Matière Oxydable (MO)

Les MO susceptible d'être rencontrées dans les eaux sont constitués par les produits de décomposition d'origine animale ou végétale, élaborés sous l'influence des micro-organismes (Gharbi ,2019).

l. Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC)

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence des carbonates et hydroxydes (Rodier et al., 2009).

m. La dureté (TH)

La dureté totale ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. La dureté totale est surtout proportionnelle aux concentrations en calcium et magnésium. L'utilisation d'une eau de haute dureté entraîne l'entartrage (crouste de calcaire dans les réservoirs d'eau), et une consommation excessive de savon.

n. La Turbidité

La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques, etc.). Il est important de connaître la teneur de la turbidité lorsqu'on envisage de traiter l'eau car elle facilite le développement des germes indicateurs de contamination, réduit l'efficacité des désinfectants et accroît la consommation de chlore tout en diminuant son efficacité (Rodier J et al., 2009)

o. L'unité: °F = degré français.

Un °F correspond à la dureté d'une solution contenant 10 mg/l de CaCO₃. Un °F équivaut à 10 mg de calcium par litre (Villiers J et al., 2005).

iv. Paramètres bactériologiques

L'analyse bactériologique de l'eau a pour but de mettre en évidence la présence des bactéries qui modifient l'aptitude d'une eau à une utilisation donnée, ces organismes indicatrice de contamination fécale possèdent plusieurs caractéristiques telles que :

- la provenance exclusive des matières fécales des animaux à sang chaud.
- la résistance aux antiseptiques voisins de ceux des bactéries pathogènes.
- leur non-prolifération anarchique dans la nature.
- la production des réactions simples et spécifiques au cours de leur étude.

-leur apparition en très grand nombre dans le milieu par rapport aux germes pathogènes. En général, les germes utilisés sont les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux (Mbeukam k. E., 2013)

a. Les FTAM

La recherche des germes totaux se réalisent à la température 37°C (Merabet. S., 2011).

b. Les coliformes totaux

Les coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent indirectement associés à une pollution d'origine fécale. Les coliformes fécaux sont définis comme étant des bactéries en forme de bâtonnet, aérobies ou anaérobies facultatives, possédant l'enzyme β -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). Les principaux genres inclus dans les groupes: *Citrobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella* et *Serratia* (CEAEQ., 2000). La presque totalité des espèces sont non pathogènes et ne représente pas de risque direct pour la santé (Edberg et al., 2000).

c. Coliformes fécaux ou Coliformes thermo- tolérants

Les coliformes fécaux ou coliformes thermo tolérants correspondent à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés (caractéristiques des coliformes) après incubation à la température de 44 °C (Edberg et al., 2000). *Escherichia coli* est sans doute le plus spécifique de tous les germes de contamination fécale. Le terme « *Escherichia coli* présumé » correspond à des coliformes thermo-tolérants qui produisent de l'indole à partir du tryptophane à 44 °C et ont des caractères biochimiques Propres à cette espèce (Bourgeois. C., 1996).

d. Genre *Escherichia*

Le genre *Escherichia* comprend cinq espèces : *E. coli*, *E. fergusonii*, *E. hermannii*, *E. vulneris*, et une espèce très rare isolée des blattes: *E. blattae*. Ces espèces sont différenciées sur la base de l'hybridation ADN/ADN et par leurs caractères biochimiques respectifs. (Leminor et al., 1989). Leur présence dans l'eau signifie que cette récent est contaminée par une pollution d'origine fécale et qu'elle peut donc contenir des microorganismes pathogènes. Bien que la plupart de ces bactéries ne soit pas pathogènes (FNS, 2013) .

e. **Clostridium sulfito-réducteur :**

En dehors des streptocoques fécaux et *E. coli* qui sont des indices de contamination fécale récente, du fait que leur survie dans l'eau peut être très courte, les clostridiums sulfitoréducteurs représentent l'indice d'une contamination fécale ancienne, ils sont résistants aux conditions défavorables grâce à la sporulation, ils sont des bactéries anaérobies strictes, sporulés, Gram positif réduisent les sulfites en sulfures et dont la plupart des espèces est mobile (Gregorio C et al., 2007).

f. **Pseudomonadaceae**

La famille des Pseudomonadaceae renferme des bacilles Gram négatif, mobiles par une ciliature polaire (rarement immobile), chimio- organotrophes et aérobies stricts. (Leminor et al.,1989) *P. aeruginosa* : Sur le plan médical *P. aeruginosa* est présentée comme une bactérie «Pathogène opportuniste » qui ne détermine des maladies que chez des sujets immunodéprimés ou bien après inoculation agressive ; ces infections à *P. aeruginosa* sont remarquablement polymorphes dans leur expression clinique et dans leur localisation. (Leminor et al.,1989)

g. **La flore eucaryote**

Les moisissures sont des champignons microscopiques ubiquistes à croissance filamenteuse qui regroupent des milliers d'espèces, le terme familier de «moisissures » fait généralement référence à leur texture laineuse, poudreuse ou cotonneuse, qui peut être observée à divers endroits, comme sur les aliments entreposés depuis un certain temps ou dans les lieux humides d'une habitation, par exemple. Les moisissures produisent des structures de reproduction appelées spores; celles-ci sont invisibles à l'oeil nu et peuvent, chez la plupart des espèces, passer en suspension dans l'air. Elles peuvent également élaborer des substances chimiques susceptibles de demeurer à l'intérieur des spores, d'être libérées dans les matériaux qu'elles colonisent (ex. mycotoxines), ou encore d'être libérées dans l'air ambiant (ex: composés organiques volatils). Afin de bien comprendre le mode d'action de ces organismes, il importe d'abord de dresser un portrait global de leurs principes

h. **Les streptocoques fécaux**

La classification générale des streptocoques fécaux a été modifiée dans les années 80 par la création d'un nouveau genre, Enterococcus. Dans ce contexte, plusieurs espèces appartenant antérieurement au genre Streptococcus ont été transférées vers le genre Enterococcus, ce dernier

correspondant, aux streptocoques du groupe sérologique D de la classification de Lancefield. Le genre *Enterococcus* comprend une vingtaine d'espèces qui se retrouvent dans différents habitats et chez différents hôtes. On les retrouve souvent dans le tractus gastro-intestinal des humains et de plusieurs animaux ; *Enterococcus faecalis* et *E. faecium* sont les deux espèces le plus souvent identifiées chez l'humain (Clausen E)

v. Normes de la qualité de l'eau

Les normes physico-chimiques se présentes dans le tableau suivant :

Tableau n°3: Normes physico-chimiques des eaux souterraines (NA, 1992 ; OMS, 1994 ; JORA, 2011).ces cations et elle dite dure lorsqu'elle en est riche (Ledler, 1986).

paramètre physicochimique	Unité	normes OMS	Normes Algériennes
Température	°C	/	25
Ph	/	1-8.5	6.5-9
Conductivité électriqueà 20°C (CE)	µS/cm	/	2800
Turbidité	NTU	5	5
Oxygène dissous	mg/l	5	5
Chlorures	mg/l	/	500
Dureté Totale	mg/l	500	200
Nitrates	mg/l	50	100
Nitrites	mg/l	/	0.1
Calcium	mg/l	/	200
Magnésium	mg/l	/	150
Résidus secs	mg/l	/	1800

Tableau n°4:Normes bactériologiques des eaux souterraines (JORA, 2017)

Les normes microbiologiques se présentes dans le tableau suivant

Paramètres bactériologiques	Unités	Normes Algériennes
Germe totaux	germe /100ml	00
Germe fécaux	germe /100ml	00
Clostridium sulfito réducteur	germe /20ml	00
Pseudomonas aeruginosa	germe /100ml	00

vi. Pollution de l'eau

La pollution est une modification généralement causée par l'homme dans la qualité de l'eau, qui la rend impropre ou dangereuse à la consommation humaine ou à différents usages (Vaillant, 1973).

vii. Sources de pollution

a. Pollution domestiques

La pollution d'origine domestique provient des activités humaines de tous les jours (bains, excréments, préparation des aliments, lessive et vaisselle). À travers ces activités, l'homme rejette des polluants biologiques, urinaires et fécaux (Rodier et al., 1991).

b. Pollution agricoles

La rive du fleuve est à vocation agricole. En effet, différents types de cultures essentiellement céréalières, pommes de terre sont pratiquées dans la région pour assurer l'autosuffisance alimentaire de la population (Kane, 1985). Les agriculteurs utilisent divers produits phytosanitaires et engrais pour améliorer leur rendement ou du moins pour subsister pour la majorité. L'usage de ces produits engendre une pollution chronique toxique (organochlorés, organophosphorés et organométalliques) et diffuse tout le long du fleuve. Les rejets de périmètres irrigués vont directement dans le fleuve ou sont évacués à côté de ce dernier. Cette attitude ne permet pas de protéger le fleuve car le lessivage est important en période de pluie (Kane, 1985).

c. Pollution industriels

Elle est provoquée par les rejets d'eau résiduaires d'origine industrielle susceptible de contenir une infinité de substances plus ou moins biodégradables (Goujous, 1995). Les polluants d'origines industrielles sont très variés selon le type d'activité ; substances organiques ou de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds. Ces produits sont exceptionnels mais trop souvent chroniques dans le cas des fuites de réservoirs ou de canalisation (Beauchamp, 2006).

viii. Différents types de pollution des eaux

a. Définition

La pollution des eaux est une dégradation physique, chimique, biologique ou bactériologique de ses qualités naturelles, généralement provoquée par l'homme, qui la rend impropre ou dangereuse à la consommation humaine (A.I.D.E, 2014).

Tableau n°05: Origines et natures de différentes sources de pollution de l'eau (Henaut. A., 2011).

Type de Pollution	Nature	Origine
Physique	Rejet d'eau chaude	Centrales thermiques nucléaires
Chimique	M.E.S (matière en suspension)	Rejet bains, érosion des sols
	Matière organique	Effluents domestiques, agricoles, Agroalimentaires
	Fertilisants (nitrate, phosphate)	Agriculture, lessives
	Métaux (Cd, Pb, Al, As)	Industries, agriculture, déchets.
	Pesticides (insecticides, herbicides, fongicides...)	Industries, agriculture.
	Organochlorés (PCB, Solvants)	Industries.
	Composés organiques de synthèse	Industries.
	Détergents	Effluents domestiques
	Hydrocarbures	Industrie pétrolière, transports.
Biologique	Bactéries, virus, champignons.	Effluents urbains, Agricoles

f. Pollution biologique

La pollution biologique est souvent provoquée par les rejets d'eaux d'égouts domestiques et la présence de matières fécales dans la nature. De nombreux microorganismes vivants naturellement dans l'intestin de l'homme et des animaux peuvent survivre assez longtemps dans l'eau. Toutefois l'eau peut abriter des bactéries, des mycètes, des protozoaires, des virus ...etc. (DAHEL, 2009).

i. La pollution bactérienne

Les eaux polluées peuvent contenir de très nombreuses colonies de bactéries Pathogènes. La plupart de ces pathogènes sont d'origine fécale car ils sont plus connus et facile à rechercher et à dénombrer (Bennana., 2013).

ii. La pollution virale

Les virus constituent l'entité biologique la plus abondante dans les écosystèmes Aquatiques. Ils présentent un intérêt direct en santé humaine et capables de provoquer des infections chez l'homme (Schwartzbrod et al., 2003). Leur présence dans l'eau est liée à une élimination rarement par les urines ou les excréctions nasopharyngées. On connaît plus de 100 types de virus pathogènes regroupés sous le nom de virus entériques, ils appartiennent à plusieurs familles et genres (Bouziani., 2000).

Tableau n°06: Les différents virus pathogènes pour l'homme rencontrés dans l'eau (OMS,2000).

Groupes de virus	Nombre de types	Maladies provoquées
Entérovirus		paralysie, méningite, fièvre Méningite, infections respiratoires, éruptions cutanées, diarrhée, fièvre, gastro-entérite
Poliovirus	3	
Echovirus	32	
Hépatite A	1	Hépatite A
réovirus:		Pathologie incertaine Infections respiratoires, infections oculaires
Adénovirus	3	

Parvovirus (virus adéno)	41	infection latente à la suite de l'intégration de l'ADN dans le génome cellulaire
Satellites	3	

- **Pollution physique**

La pollution physique est due à la présence de matières en suspension parfois de colloïdes, elle se traduit par un trouble ou une coloration plus ou moins prononcée (LEROY, 1999).

- **Pollution chimique**

La pollution chimique est due à la présence de substances en solution, elle se traduit par un changement de saveur (eau salée ou saumâtre) parfois par l'apparition d'un caractère toxique lorsque le corps dissout est un poison (UPMC, 2011)

- **Pollution radioactive**

Elle est souvent due à la proximité d'une centrale nucléaire, reste négligeable même si elle est la plus redoutée (Leroy, 1999) .

II. Risques liés à l'eau

1. Les maladies à transmission hydrique

1.1. Maladies d'origine bactérienne

Les maladies à transmission hydrique sont:

1.2. Maladies à mains sales

Les maladies liées à l'eau portent gravement atteinte à la santé humaine. Elles sont variées mais toutes indiquent le besoin crucial d'une eau salubre. De nombreuses maladies, proviennent uniquement du fait d'employer une eau non salubre, pour boire et préparer les aliments. D'autres sont dues à la pénurie d'eau responsable d'une mauvaise hygiène corporelle et vestimentaire. Autrement dit, les maladies de mains sales sont des risques sanitaires liés à: La quantité insuffisante de l'eau (problème d'hygiène) (Freddy. S., 2010).

1.2.1. Choléra

Quand on absorbe de la nourriture souillée ou de l'eau non potable. Le choléra est une infection intestinale aiguë qui commence par une diarrhée aqueuse indolore, des nausées et des vomissements. La plupart des sujets atteints ont une diarrhée très bénigne ou une infection asymptomatique, Le choléra est causé par la bactérie *Vibrio cholerae*. Les gens sont infectés après avoir consommé des aliments ou de l'eau qui ont été contaminés par les selles de personnes infectées (Aubry., 2014).

1.2.2. Diarrhées

Une diarrhée est définie par l'émission de selles trop fréquentes, trop abondantes, de consistance anormale (liquides ou très molles) et quand on absorbe de la nourriture souillée ou de l'eau non potable. Quand on mange avec les mains sales. Quand on met les objets souillés à la bouche (Freddy. S., 2010).

1.2.3. Poliomyélite

La poliomyélite est une maladie infectieuse transmissible aiguë, essentiellement neurotrope, immunisante, endémo-épidémique, due à un *poliovirus sauvage, entérovirus* de la famille des *Picornaviridae*. Il y a trois stéréotypes différents de poliovirus sauvages (PVS1, PVS2, PVS3). La gravité, en termes de santé publique, de la poliomyélite est surtout liée aux séquelles motrices définitives qu'elle entraîne.... se transmet par l'intermédiaire de la nourriture

et de l'eau contaminées par les matières fécales (excréments) des personnes infectée (Aubry., 2014).

1.2.4. Fièvre typhoïde

La fièvre typhoïde est due à *S. enteritica*, sérovar *S. typhi*. (Bacille d'Eberth). Les fièvres paratyphoïdes sont dues à *S. paratyphi* A, B et C. La fièvre typhoïde est devenue rare dans les pays industrialisés du fait des progrès de l'hygiène et de l'amélioration des conditions d'approvisionnement en eau potable (Aubry. P., 2013).

1.2.5. Méningite

Les méningites infectieuses de l'enfant représentent des maladies hétérogènes comportant d'une part les méningites virales de loin les plus fréquentes et dont l'évolution est en règle simple sans traitement particulier et d'autre part les méningites bactériennes sont plus rares mais graves. Trois espèces bactériennes se partagent la quasi-exclusivité des cas: *Streptocoques pneumoniae*, *Neisseriameningitidis* et *Haemophilus influenza* (Plantaz D., 2005).

1.2.6. Hépatite A et E

Le virus de l'hépatite A (VHE A) et E (VHE) se transmet en général par voie fécaux orale, soit par contact direct d'une personne à l'autre, soit par ingestion d'eau ou d'aliments contaminés. Il peut aussi se propager lors de certaines pratiques sexuelles (OMS., 2012)

1.3. Maladies d'origine virale

Les Virus pathogènes pour l'homme rencontrés dans l'eau sont présents dans le tableau suivant :

Tableau n°07 : les Virus pathogènes pour l'homme rencontrés dans l'eau (OMS, 2000).

Virus	Pathologie
Poliovirus	La poliomyélite est une maladie causée par des poliovirus appartenant au genre Entérovirus, due à un poliovirus sauvage. Il y a trois stéréotypes différents de poliovirus sauvages (PVS1, PVS2, PVS3), se transmet par l'intermédiaire de la nourriture et de l'eau contaminées par

	les matières fécales (excréments) des personnes infectée (Aubry P, 2014).(Bodian et al.,1949) Paralysie, méningite, fièvre (OMS, 2000)
Coxsakiés	Les virus Coxsakiés A et B sont responsables de paralysies accompagnées de fièvres, d'affections respiratoires ou cardiaques(syndromes main-pied bouche) (OMS, 2000).
Hépatite A et E	Le virus de l'hépatite A (VHE A) et E (VHE) se transmet en général par voie fécales orale, soit par contact direct d'une personne à l'autre, soit par ingestion d'eau ou d'aliments contaminés. Il peut aussi se propager lors de certaines pratiques sexuelles (OMS, 2012).

1.4.Maladies d'origine parasitaire

Il existe deux types de parasites présents dans le milieu hydrique : les helminthes et les protozoaires. (Bouziani, 2000).

Tableau n°08 : Les différents types des parasites

les helminthes	les protozoaires
les helminthes représentés par exemple par l' <i>Ascaris</i> et le <i>Tænia</i> , pouvant être transmis par l'eau de boisson sont regroupés en trois grandes catégories : Les trématodes, les cestodes (ténias), et les nématodes (vers ronds). Les helminthes, leurs œufs et leurs larves ne sont pas éliminés par la désinfection, par contre ils le sont par la filtration (Campos, 2008)	ce sont des micro-organismes unicellulaires eucaryotes, Les formes infectantes des Protozoaires passent souvent sous forme de kystes dans les matières fécales, <i>Entamoeba histolytica</i> C'est la forme la plus virulente, responsable des formes cliniques graves (dysenterie amibienne et abcès hépatite). La contamination se fait par l'ingestion des kystes (eau, aliments souillés, maladies des mains sales) (OMS, 1998).

2. Risques liés à la présence des substances chimiques dans l'eau .

Les humains ont constaté qu'une grande partie des besoins en minéraux en eau boire .Habituellement, la présence excessive de certains éléments entrainera provoquer directement ou indirectement des effets néfastes sur la santé. Ces effets ne se produisent généralement qu'à moyen ou long terme et peuvent diverses formes, telles que cancérogénicité, mutagénicité, maladie métabolique (Savary, 2010). Dans une perspective à moyen terme, la pathologie causée par le fluor a été déterminée, qui est la fluorose des dents pouvant émerger à partir de 4 mg/l, Fluorure ou nitrate il devient nitrite dans l'estomac. Ces nitrites peuvent provoquer une conversion de l'hémoglobine dans le sang à la méthémoglobine, qui ne convient pas pour fixer l'oxygène. Ce phénomène cause une anémie, en particulier chez les bébés (Laferrriere et al., 1995). Par conséquent, en générale, les risques chimiques peuvent être liés à l'eau brute, lors du traitement de l'eau (dérivés de coagulants , désinfection) , ou en raison de contaminants dans le pipeline (par ex : que le plomb , l'amiante et les hydrocarbures aromatique polycycliques (Hartemann, 2004).

3. Evaluation des risques hydriques

3.1.Evaluation des risques chimiques

L'évaluation des risques chimiques est principalement utilisée pour déterminer les normes ou les recommandations de qualité de l'eau potable. Par ici il peut également être utilisée au-delà de la norme pour déterminer l'importance et type d'action pour protéger la santé des personnes nues .D'abord l'étape couramment utilisé dans l'évaluation des risques consiste à déterminer si une substance il a été étudié comme cancérigène, si il existe des preuves suffisantes pour prouver (cancérogène certain ou possible pour l'homme). Sur la base de ces données, nous avons réalisé un moyen de rendre possible la concentration maximale dans l'eau (OMS, 1994).

3.2.Evaluation des risques microbiologiques

Pour évaluer ces risques un certain nombre d'indicateurs de contamination fécale ont été retenus. On cite les organismes coliformes qui sont les Coliformes totaux et les Coliformes fécaux (thermo tolérant), les Streptocoques fécaux et les Clostridium sulfito-réducteurs (Hartemann, 2004).

III. Traitement de l'eau

Le traitement biologique des eaux est le procédé qui permet la dégradation des polluants grâce à l'action de micro-organismes, ce processus existe spontanément dans les milieux naturels tels que les eaux superficielles suffisamment aérées. Une multitude d'organismes est associée à cette dégradation selon différents cycles de transformation. Parmi ces organismes, on trouve généralement des bactéries, des algues, des champignons et des protozoaires. Cette microflore, extrêmement riche, peut s'adapter à divers types de polluants qu'elle consomme sous forme de nourriture (substrats). Il est ainsi possible d'utiliser systématiquement cette microflore dans un processus contrôlé pour réaliser l'épuration des eaux résiduaires (Dhaouadi , 2008 et Metahri, 2012).

1. Traitement physico-chimique

i. Traitement

Les eaux brutes doivent généralement subir avant leur traitement, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérateur uniquement physique ou mécanique, le prétraitement peut comprendre l'opération :

- Le dégrillage principalement pour les déchets volumineux.
- Le dessablage pour les sables et graviers.

Le dégraissage déshuilage ou d'écumage-flottation pour les huiles et les graisses (Metahri et al., 2012).

ii. Pré-oxydation

A l'issue du prétraitement, on a une eau relativement propre mais qui contient encore des particules colloïdales en suspension, et des matières organiques en solution. Celles-ci n'ont en elles-mêmes rien de dangereux, car il nous arrive souvent de consommer de l'eau en contenant tels que :

le thé, le café ou le lait. Ces produits sont des eaux chargées en matières organiques, mais on sait qu'elles s'oxydent spontanément en contact avec l'air. On va donc les détruire par une pré-oxydation qui peut être faite par trois méthodes différentes :

l'ajout de chlore (pré - chloration), l'ajout de dioxyde de chlore ou ajout d'ozone (pré-ozonation) (Graini,2011).

2. Pré-chloration

La pré-chloration s'est surtout développée dans les années 60, elle tend à disparaître actuellement. Le chlore est le réactif le plus économique, mais son inconvénient est de former avec certains micropolluants des composés organochlorés de type chloroforme ou des composés complexes avec les phénols de type chlorophénol dont le goût et l'odeur sont désagréables (Valentin, 2000 et Raini, 2011).

2.1. Dioxyde de chlore

On préfère parfois utiliser le dioxyde de chlore qui coûte plus cher mais n'a pas les inconvénients du chlore cités ci-dessus. L'utilisation du dioxyde de chlore présente, lui aussi, des inconvénients non négligeables il est sans effet sur l'ammonium et se décompose à la lumière, ce qui entraîne une augmentation importante de taux de traitement à appliquer en période d'ensoleillement. Le dioxyde de chlore est un oxydant puissant mais pas une solution économique. Il reste très peu utilisé en pré-oxydation mais représente une alternative à l'utilisation du chlore lorsque celui-ci entraîne des problèmes de qualité d'eau (Grain, 2011). c) Pré-ozonation Enfin, depuis quinze à vingt ans, on utilise comme pré-oxydant l'ozone, qui non seulement a l'avantage de détruire les matières organiques en cassant les chaînes moléculaires existantes, mais également à une propriété virulicide très intéressante. Généralement utilisée en désinfection finale, cette technique peut être mise en œuvre en pré-oxydation pour :

La diminution du taux de traitement, l'amélioration de la clarification, et l'oxydation des matières organiques. La pré-ozonation est une solution de substitution à la pré-chloration. Néanmoins, elle ne résout pas tous les problèmes car certaines algues résistent à l'ozone et son coût reste plus élevé que celui du chlore (Valentin, 2000)

2.2. Clarification

La clarification par «coagulation-floculation-décantation » est un des procédés les plus utilisés. Il permet l'élimination des matières en suspension. Les matières colloïdales sont coagulées par un apport en sels minéraux (de fer ou d'aluminium). Il y a formation de floccs qui entraînent les particules coagulées. Le mode d'action des coagulants a fait l'objet d'un grand nombre de recherches destinées à améliorer le rendement d'élimination des composés organiques (Yves et al., 2010). Le contrôle de la coagulation est donc essentiel pour trois raisons:

- La maîtrise de la qualité de l'eau traitée en sortie (abattement de la turbidité).
- Le contrôle du coagulant résiduel en sortie.

- La diminution des coûts de fonctionnement (réactifs et des interventions humaines) (Valentin , 2000 et Graini, 2011).

3. Filtration

La filtration est définie comme le passage d'un fluide à travers une masse poreuse pour en retirer les matières solides en suspension. Elle représente donc le moyen physique pour extraire de l'eau, les particules non éliminées préalablement lors de la décantation. De façon générale, un filtre aura une longévité entre deux lavages d'autant plus importante que les traitements préalables auront été efficaces (coagulation, floculation, et décantation) (Graini, 2011).

et permet d'obtenir une bonne élimination de bactérie, de la couleur, turbidité ...etc (Metahri, 2012).

Deuxième partie:
Partie pratique

Chapitre 01: Matériels et Méthodes

1. Objectif

A présente étude avait fixé comme objectif, l'évaluation des qualités physico-chimiques et microbiologiques pour un effectif de 10 échantillons, situées dans différentes localités de la région de la wilaya de Laghouat (les noms des Echantillons voir annexe 04).

2. Présentation de la zone d'étude

a. Situation géographique

Située à plus de 750 mètres d'altitude sur les hauts plateaux, la wilaya de Laghouat est traversée par la chaîne de l'Atlas Saharien avec des sommets qui dépassent les 2 000 mètres (Djebel Amour). Dans le cadre du Schéma régional d'aménagement du territoire, la Wilaya fait partie du groupe Hauts Plateaux Centre composé des trois Wilayas de Djelfa, M'Sila et Laghouat.

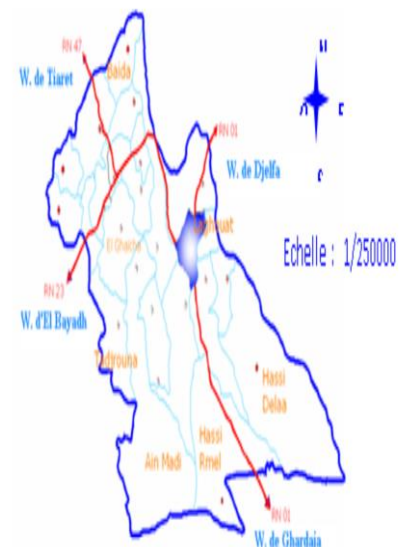


Figure 02: Localisation de la zone d'accueil de l'inventaire, la wilaya de Laghouat

La wilaya est limitée par les wilayas suivantes :

- Au Nord : Tiaret

- Au Sud : Ghardaïa
- A l'Est : Djelfa
- A l'Ouest : El Bayadh

b. CLIMAT :

Découlant du relief, le climat est de type continental au Nord-Ouest avec une pluviométrie variant de 300 à 400 mm, des chutes de neige et des gelées blanches, Dans la région des Hauts Plateaux, le climat est de type saharien et aride, La pluviométrie varie entre 150 mm au Centre et 50 mm au Sud, Les hivers sont caractérisés par des gelées blanches et les étés par une forte chaleur accompagnée de vents de sable.

c. ENSABLEMENT :

La wilaya de Laghouat reste confrontée au problème de l'ensablement, notamment dans les zones sud, Juin reste le mois où les vents de sable sont relativement les plus importants.

d. LE SOL :

Les sols de la wilaya de Laghouat ont une texture légère, recouverts dans les espaces non cultivés de végétation d'alfa et d'armoïse, Au Sud, les sols sont souvent sableux, caillouteux et dunaires, Au Nord dans les bas-fonds, ils sont plus structurés et plus lourds avec une proportion d'argile qui les constitue, Il existe cependant de bons sols au niveau des alluvions d'Oueds et au fond des Daïas, (Unités physiques très diversifiées formées aussi par des terrains très variés du point de vue faciès) sauf dans les zones de montagne où affleure la roche mère. Sur plus de 60 % des superficies agricoles utiles la roche mère est aussi calcifère avec des alluvions éoliennes déposées sur des calcaires et qui ne présentent qu'un seul horizon différencié peu épais, Ils sont plus ou moins riches en calcaire, leur complexe absorbant est saturé par l'ion Ca et leur pH est toujours compris entre 7 et 8, le taux de la matière organique est très faible (entre 0,3 et 1 %). Dans ces sols, le calcaire est surtout présent dans la fraction sableuse et intervient que peu dans leur dynamique, Ces sols présentent une bonne perméabilité mais faible capacité de rétention de l'eau due à leur relative pauvreté en colloïdes (les sols sont donc perméables). Ces sols évoluent peu par le

fait du manque d'eau de percolation, la pluviosité n'est pas assez forte pour modifier le complexe absorbant qui reste dans son état primitif, d'où la stabilité du profil de ces sols.

3. Choix des sites

Les puits où ont lieu les prélèvements des échantillons d'eau sont au nombre de 10 puits et sont localisés comme mentionné dans la figure suivante :

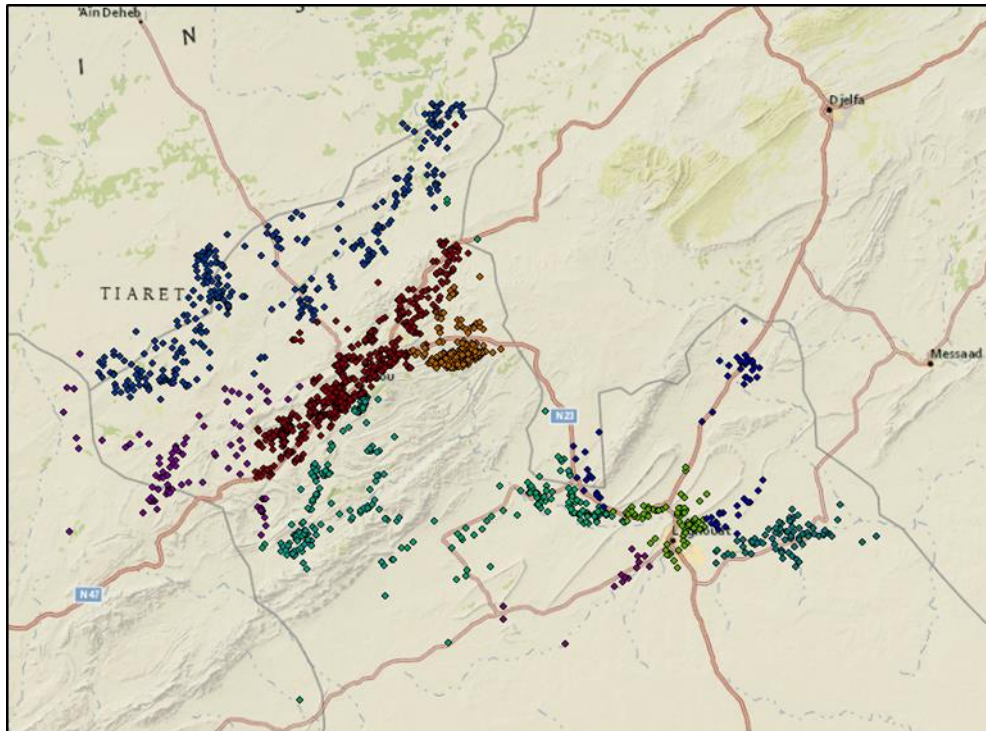


Figure 03 : Carte de répartition des points d’eaux agricoles à travers la wilaya de Laghouat



Figure 04 : Localisation des sites d'échantillonnage au niveau de la ville de Laghouat



Figure 05 : Exemple d'affichage d'un fichier KMZ à l'aide de l'application Google Earth pour les points d'eaux agricoles de la wilaya de Laghouat.

4. Echantillonnage

Les principaux aspects, dont il faut tenir compte pour obtenir un échantillon d'eau représentatif sont les suivants :

- La sélection convenable du point d'échantillonnage.
- Le strict respect des procédures d'échantillonnage.
- La conservation adéquate de l'échantillon (**Rodier. J., 1997**).

Dans notre travail, le prélèvement des échantillons d'eaux (10 échantillons) s'est effectué durant la période allant de 11 février au 13 mars 2023.

Les principaux renseignements à enregistrer pour une analyse d'eau :

- Identité des préleveurs.
- Date et heure de prélèvement.

- Motif de la demande d'analyse.
- Point de prélèvement d'eau.
- Origine de l'eau (la région de Laghouat)



Figure 06 : Un exploitant dans la wilaya de Laghouat

5. Techniques de prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physicochimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension...etc.) (**Rodier et al., 2005**). Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière. L'emploi de flacons neufs en verre pyrex. Pour les analyses microbiologiques, les flacons utilisés doivent assurer une fois bouchés, une protection totale contre toute contamination. Il est conseillé d'utiliser des flacons en verre de 250, 500 ml. Avant l'usage les flacons doivent être soigneusement lavés, puis rincés à l'eau distillée, car il ne doit rester aucune trace d'un éventuel détergent ou antiseptique. Les flacons en verre seront stérilisés par la chaleur, soit à l'autoclave à 120°C pendant 1 heure, soit au four Pasteur à 180°C pendant 1 h 30 (**Larpent .,**

1997).

Suivant l'origine de l'eau le mode de prélèvement varie. Dans le cas d'une rivière, d'une nappe ouverte, d'un réservoir, d'une citerne, la bouteille sera plongée à une certaine distance du fond (50 cm). Dans le cas d'un robinet, il sera indispensable de faire couler l'eau pendant un certain temps qui ne sera jamais inférieur à 10 min (**Rodier et al., 2005**). Durant les prélèvements, les flacons sont rincés trois fois avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord. Le bouchon est placé de telle manière à ce qu'il n'y ait aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport. Les prélèvements s'effectuent dans les meilleures conditions de stérilisation. Pour procéder aux prélèvements, il faut d'ouvrir le robinet et laisser couler 10 minutes avant de faire le prélèvement, tout en gardant la flamme allumée à côté du robinet (**Rodier et al., 2005**) .



Figure 07: prélèvement de l'eau du puits.

6. Transport des échantillons

Afin d'éviter que la teneur initiale en germes des eaux ne risque de subir des modifications dans le flacon, toutes les analyses sont effectuées le plus rapidement possible. L'évolution est difficile à prévoir et dépend de nombreux facteurs: Température, concurrence bactérienne des espèces présentes, composition chimique de l'eau. A cet effet, la circulaire du 21 janvier 1960, relative aux méthodes d'analyses bactériologiques des eaux d'alimentation spécifie que « si la durée du transport dépasse 1 heure, et si la température extérieure est supérieure à 10°C, les prélèvements seront transportés dans des glacières dont la température doit être comprise entre 4 à 6°C ».

Même dans de telles conditions, l'analyse bactériologique doit débiter dans un délai maximal de 8 heures, après le recueil de l'échantillon. Si exceptionnellement l'analyse doit être reportée, il faut entreposer les échantillons à 4 °C (Rodier et *al.*, 2009)

7. Matériels et méthodes

Dans ce chapitre, nous allons résumer le protocole analytique suivi ainsi que le matériel utilisé durant la partie pratique de ce mémoire. Toutes les analyses physico-chimiques et microbiologique au laboratoire d'analyse ADE Laghouat.

7.1. Paramètres physico-chimiques

IV-1- Analyses partielles : Concerne à mesurer les paramètres suivants : températures, pH, turbidité et la conductivité.

A. Mesure de la température :

La température de l'eau joue un rôle significatif dans la perception de sa sensation. C'est un facteur crucial lorsqu'il s'agit d'eau destinée à la consommation humaine (Bentahar, 2007). En général, les instruments de mesure de la conductivité ou du pH sont équipés d'un thermomètre intégré (Rodier et *al.*, 2009).

b) Mesure du potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH doit être mesuré sur le terrain en utilisant un pH-mètre ou par coloration (Haslay et *al.*, 1993).

Procédure :

- Connecter le pH-mètre (figure 07) et le laisser se stabiliser pendant quelques minutes.
- Installer les électrodes aux entrées correspondantes de l'appareil.

- Étalonner l'appareil en utilisant une solution tampon.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée et avec l'échantillon à analyser.
- Assurer que l'échantillon d'eau atteigne la température souhaitée.
- Plonger l'électrode dans l'échantillon à analyser et lire la valeur du pH directement.

Après chaque mesure du pH, retirer l'électrode, la rincer, et à la fin de l'expérience, laisser tremper l'électrode dans de l'eau distillée (Rodier et al., 2009).



Figure 08 : pH mètre et turbidimètre et thermomètre intégré (original;2023)

c) Mesure de la conductivité électrique (CE)

et TDS :

i. Mode opératoire :

En général, il est essentiel de garantir la propreté rigoureuse et le rinçage de la verrerie avec de l'eau distillée avant utilisation. Pour la cellule de conductivité, il convient de la rincer plusieurs fois, d'abord avec de l'eau distillée, puis en la plongeant dans un récipient contenant

l'eau à analyser.

La mesure est effectuée dans un deuxième récipient, en veillant à ce que les électrodes en platine soient complètement immergées. Le liquide est agité pour égaliser la concentration ionique entre les électrodes et le liquide environnant. Cette agitation permet également d'éliminer les bulles d'air des électrodes. Le résultat est donné directement en $\mu\text{s/cm}$ (Rodier et al., 2005). Cet appareil permet également de mesurer les matières solides totales dissoutes (TDS) (figure 07), dont la valeur est exprimée en mg/l.

d) Mesure de la turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau, elle est réalisée à l'aide d'un turbidimètre appelé aussi néphélométrie en utilisant des cuves en verre bien nettoyées et bien séchées, Remplie avec de l'eau à analyser (**Hamdi. W., 2011**).l'appareil est présent dans la figure 08.



Figure 09 : Appareil conductimètre (original;2023)

e) Dosage de la dureté totale (titre hydrométrique TH)

*Principe

Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amènes à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylène-diaminetetracétique à pH=10.

La disparition des dernières traces d'éléments libres a dosé est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, en milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de dose la somme des ions calcium et magnésium.

*Mode opératoire

- Prélever 50ml d'eau à analyser. Ajouter 1ml de solution tampon (pH=9.5-10) et 5 gouttes d'indicateur colore.
- Verser la solution d'EDTA jusqu'au virage du rouge vieux au bleu.
- Soit v le volume de solution d'EDTA verse.

***Expression des résultats**

$$TH \text{ °f} = V_{\text{titrex10}}$$

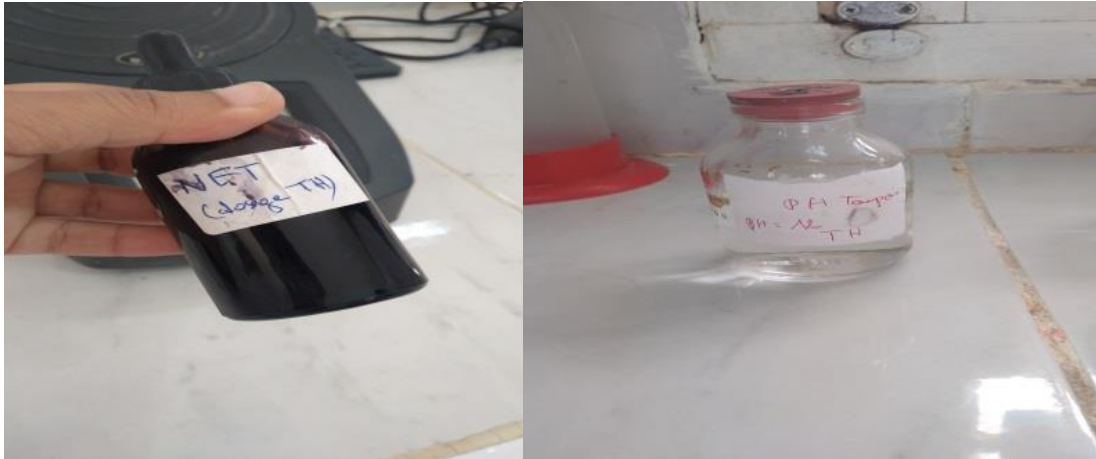


Figure 11 : Réactifs et détermination de la dureté totale par titrimétrie à l'EDTA(original ;2023)

f) **Dosage des ions calcium (ISO 6058)**

***Principe**

Pour effectuer l'analyse, nous prélevons 50 ml d'eau à analyser et ajoutons 2 ml d'une solution tampon de pH=10 (Figure10). Ensuite, nous ajoutons quelques grammes de l'indicateur Calcon pour obtenir une coloration rose. Nous plaçons ce mélange sur l'agitateur, sous la pipette de titrage contenant l'E.D.T.A.

En ouvrant la pipette de titrage, nous laissons couler l'E.D.T.A. jusqu'au changement de couleur en bleu. Nous refermons ensuite la pipette, arrêtons l'agitation et relevons la différence de volume entre V2 et V1. La valeur obtenue est ensuite multipliée par un coefficient de 40,08 pour obtenir la concentration en mg/l des ions calcium dans l'eau à analyser, conformément à la norme NF T90-003 (1984).

Ainsi, la formule pour calculer la concentration de Ca^{2+} en mg/l est :

$$Ca^{2+} \text{ (mg/l)} = (V2 - V1) \times M_{Ca^{2+}}$$

Où :

- V2 représente le volume total d'EDTA utilisé,
- V1 représente le volume d'EDTA nécessaire pour atteindre une concentration donnée,
- M Ca²⁺ est la masse molaire du calcium en g/mol.

En résumé, la concentration de Ca²⁺ en mg/l peut être calculée en utilisant la formule :

$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = (\text{V2} - \text{V1}) \times 40,08.$$

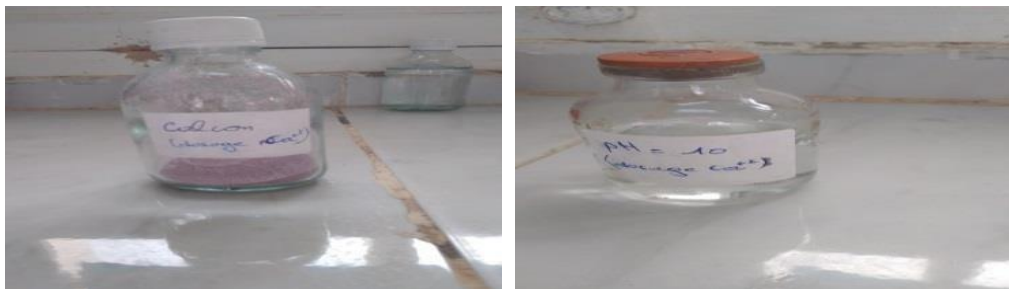


Figure 11 : Les réactifs nécessaires pour le dosage du Ca²⁺ (original ;2023)

g) Dosage des sulfates

*Les ions sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Après l'étalonnage de spectrophotomètre, le dosage se réalise selon les étapes suivantes :

- Prendre 20ml de l'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.
- Ajouter 5ml de la solution stabilisante.
- Ajouter 2ml de chlorure de baryum, agitée pendant 1 min.
- Lecture spectrophotométrique à $\lambda=420$ nm.

***Expression des résultats**

La concentration de sulfate est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage (Le résultat est donné directement en mg/l).



Figure 12: Spectrophotomètre (original ;2023)

h) Dosage de l'ammonium (ISO 7150/1-1984 (F))

***Principe**

Un composé bleu est formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et l'hypochlorite en présence de nitropentacyanoferrate (III) de sodium.

***Mode opératoire**

- Prendre 40 ml d'échantillon.
- Ajouter 4 ml (réactif I), puis ajouter 4 ml de la solution de réactif (III).
- Compléter jusqu'à 50 ml.
- Attendre 1h30 min.
- L'apparition de la couleur verte indique la présence de l'ammonium.
- La lecture spectrophotométrique à 655 nm.

***Expression des résultats**

La concentration est directement affichée par la spectrophotométrie.

i) Dosage des nitrites (ISO 5667)***Principe**

Les ions nitrites réagissent en milieu acide (pH=1,9) avec la sulfamilade en formant sel de di-azonium (diazotation) qui forme avec le N-(1-naphtyl) - éthylenediamine-dichlorohydraté un colorant azoïque rouge.

***Mode opératoire**

- Prendre 50 ml d'eau à analyser
- Ajouter 1 ml du réactif mixte.
- Attendre 10 min.

- L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- .
- Effectuer la lecture à 543 nm.

***Expression des résultats**

La concentration des nitrites en mg/L est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage.

j) Dosage des nitrates***Principe**

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

***Mode opératoire**

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %.
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88°C, laisser refroidir.
- Reprendre le résidu avec 2 ml d' H_2SO_4 , laisser reposer 10 min.
- Ajouter 15 ml d'eau distillée.
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium

*Expression des résultats

Le résultat est donné directement en mg/L à une longueur d'onde de 415 nm.

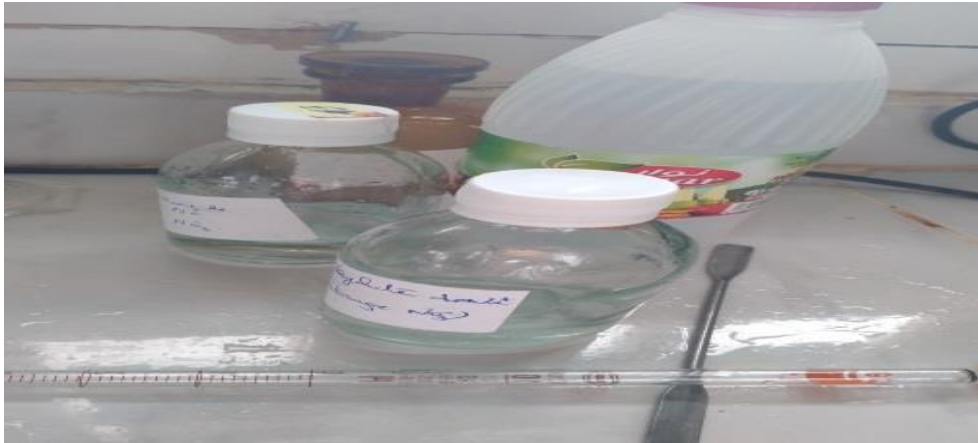


Figure 13: Réactifs utilisés pour le dosage du nitrates (original ;2023)

K) Dosage des phosphates (ISO 6878)

*Principe

Après formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium, aura une réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption (l'une vers 700 nm, l'autre plus importante à 880 nm).

*Mode opératoire

- Prendre 40 ml d'eau à analyser
- Ajouter 1 ml d'acide ascorbique
- Ajouter 2 ml du réactif-mélange, attendre 10 min.
- Mesure de l'absorbance à 880 nm.

*Expression des résultats

Le résultat est donné directement en mg/L.

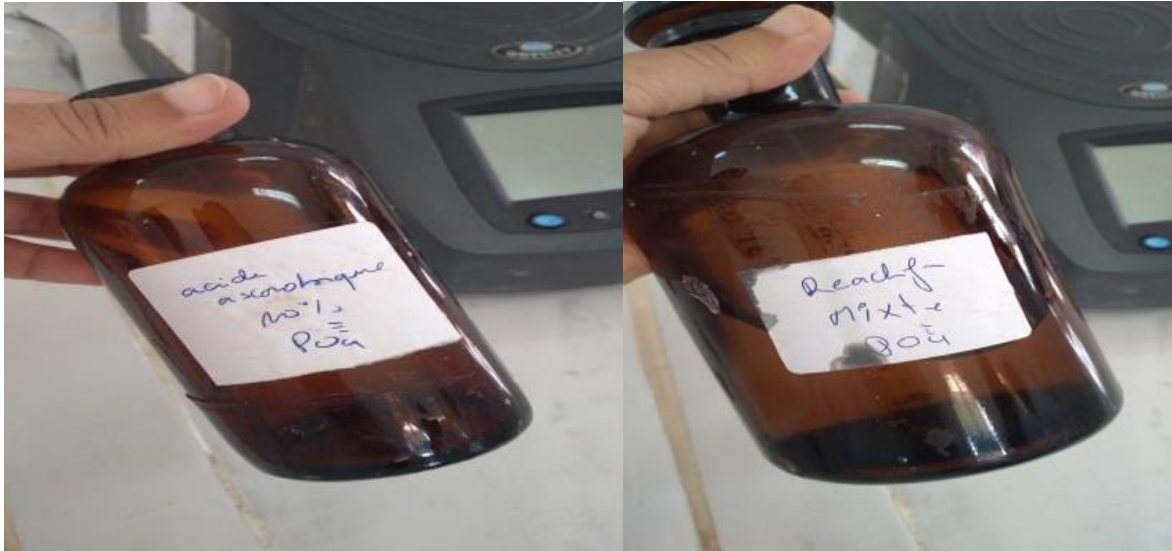


Figure 14: Réactifs utilisés pour le dosage du phosphates (original ;2023)

L) Dosage des bicarbonates

Réactifs :

-Indicateur de méthyle orange.

-L'acide sulfurique.

*Mode opératoire

A PH<8.2

-Mettre 10 ml de l'eau à analyser dans un Becher.

-Ajouter 5 gouttes de l'indicateur de Méthyle orange.

-Titrer par l'acide sulfurique.

Expression des résultats

La détermination de bicarbonate est donnée par la Formule suivante :

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mg/l)} = (\text{Volume H}_2\text{SO}_4 \times \text{Normalité H}_2\text{SO}_4) / \text{Volume d'eau à analyser}$$

M) Dosage du sodium et potassium

La photométrie de la flamme est une procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino - terreux.

Les éléments à analyser (sodium, potassium lithium, calcium... etc.) sont généralement sous forme de sels. L'analyse se fait en partant de leurs solutions.

Appareil Dr. LANGE (JENWAY), Le résultat est donné directement en mg/l.



Figure 15 : Appareil Dr LANGE (JENWAY) pour le dosage du sodium (original ;2023)

7.2. Traitement Des Données

Le traitement des données récoltées sur terrain et s'effectue selon des méthodes mathématiques de classification et d'ordination. Elles consistent à quantifier, au moyen des caractères pris en considération

Les méthodes d'analyses adoptées pour une approche de l'eau de puits sont basées sur la classification hiérarchique ascendante (CHA), et analyse de Composantes Multiples (ACM), et Le test de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), Le test du coude de Cattell; qui permet une représentation spatiale des individus et les ordonne en ensembles ou groupements distincts.

a. La classification hiérarchique ascendante (CHA)

La classification hiérarchique ascendante (CHA) est une méthode de classification qui intervient comme aide à l'interprétation de l'AFC. Méthode complémentaire, elle vient ainsi améliorer les limites qui dans l'AFC, paraissent arbitraires Elle est basée sur des distances réelles et fournit des résultats assez précis.

Le programme Excel stat réalise une CHA sur les facteurs lignes et colonnes d'une AFC, une hiérarchie est construite à partir d'une matrice de distance. Cette hiérarchie est visualisée par un dendrogramme qui comporte une succession de classes de relevés. Chaque partition peut être distinguée par une coupure du dendrogramme. Le seuil de coupure peut être choisi de façon empirique. Dans une même partition, la position des classes les unes par rapport aux autres n'est pas très significative deux classes situées l'une près de l'autre, ne sont pas obligatoirement proches.

b. L'analyse en composantes principales (ACP)

Est une méthode d'analyse multi-variée permettant l'étude simultanée d'un grand nombre de variables dont l'information totale ne peut pas être visualisée à cause d'un espace à plus de trois dimensions. Cette méthode permettrait de préciser les relations entre les variables et les phénomènes à l'origine de ces relations. L'objectif est d'avoir une information concentrée sur un minimum d'axe (Ayadi,et qall,2008). Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydro chimiques (Abrid,2016)(Toumi.A,2016).L'ACP est donc un outil qui offre la possibilité de simplifier l'étude des écosystèmes aquatiques et d'en alléger les coûts par la réduction du nombre de variables à prendre en comptes (N'diaye A., 2014).

c. Le test du coude de Cattell

Le Graphique des valeurs propres donne une représentation graphique des informations sur les valeurs propres de chaque facteur présenté dans le tableau des statistiques initiales Dans cette représentation, il faut rechercher le point (parfois les points) de cassure qui représente le nombre de facteurs au-delà duquel l'information ajoutée est peu pertinente Plus la courbe est accentuée, plus il apparait qu'un petit nombre de facteurs explique la majeure partie de la variance. A partir du moment où la courbe devient presque une ligne droite horizontale, il apparaît que les facteurs subséquents apportent peu de nouvelles informations (Durand,2003)

7.3. Analyses bactériologiques

a. Recherche et dénombrement des coliformes totaux, fécaux et identification d'*E.coli*

Les coliformes sont des bacilles à Gram négatifs, aérobies ou anaérobie facultatif, non sporulés, ne possédant pas d'oxydase, capables de se multiplier en présence des sels biliaires et capables de fermenter le lactose avec production d'acides et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36 et 37°C.

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermo-tolérants, sont un sous- groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44°C .L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est *Escherichia coli*, dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*. La bactérie *E. coli* représente toutefois 80 à 90 % des coliformes fécaux détectés bien que la présence de ces derniers témoigne habituellement une contamination d'origine fécale.

Les *Escherichia coli* sont des coliformes thermo-tolérants ayant la particularité de produire de l'indole à partir de tryptophane présent dans le milieu à une température voisine de 42 °C ± 2°C. (Merzoug, 2009).

La recherche et le dénombrement des bactéries coliformes, thermo-tolérants et des *Escherichia coli* dans les eaux, en milieu liquide par la technique du NPP, se fait en deux étapes consécutives :

- Le test présomptif : réservé à la recherche des coliformes dans le milieu BCPL (bouillon lactose au pourpre de bromocrésol);
- Le test confirmation : réservé à la recherche des coliformes thermo-tolérants et d'*Escherichia coli* dans le milieu Schubert;
- ❖ **Test présomptif** : On a travaillé avec 3 séries:
 - flacon de BCPL D/C + cloche de Durham,ensemencé avec 10 ml d'échantillon;
 - 5 tubes de BCPL S/C + cloche de Durham,ensemencé avec 1 ml d'échantillon;
 - 5 tubes de BCPL S/C + cloche de Durham,ensemencé avec 0,1 ml d'échantillon; Les tubes inoculés sont homogénéisés par agitation douce pour ne pas faire pénétrer d'air dans la cloche. La lecture se fait après 48 heures d'incubation dans une étuve à 37°C.

On considère comme positifs tous les tubes présentant à la fois une couleur jaune et de dégagements gazeux dans la cloche .on note le nombre de tube positifs dans chaque série et on reporte à la table du NPP (**Annexe II**) le nombre de coliformes totaux dans 100 ml d'échantillon d'eau. (**Labres, 2002**)

❖ Test de confirmation

- Les tubes de BCPL trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes feront l'objet d'un repiquage à l'aide d'une pipette pasteur (4 à 5 gouttes) dans des tubes contenant le milieu Schubert muni d'une cloche de Durham, L'incubation se fait cette fois à 44°C pendant 24 heures ;
- Les tubes ayant apparaitre un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par *Escherichia coli* après l'ajout de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs, avec production de gaz, sont considérés positifs ;
- On détermine le nombre des coliformes fécaux thermo-tolérants à partir de tables de NPP par UFC/100 ml.

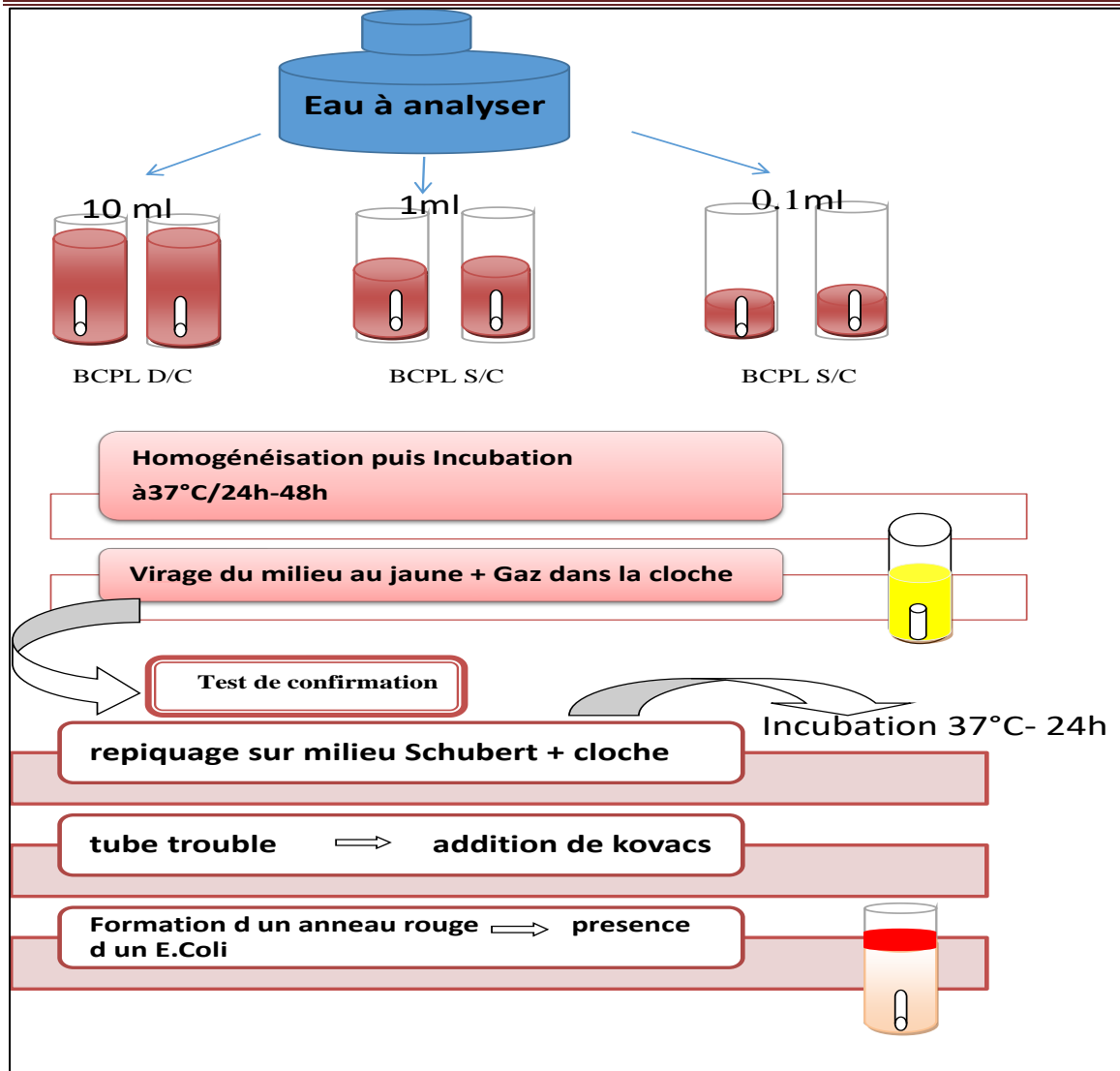


Figure 16 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux et des coliformes fécaux.



Figure 17: réactif de Kovacs (original ;2023)

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

A. Milieu de culture

- Gélose viande foie (VF)
- Additifs de sulfite de sodium
- Additifs d'alun de fer

• Mode opératoire

- Introduire dans chaque tube à essai 5 ml d'échantillon d'eau à analyser
- Placer les tubes au bain marie à 80 °C pendant 10 mn, dans le but de détruire toutes les formes végétatives
- Refroidir à 45 °C puis ajouter 2 gouttes d'alun de fer et 4 gouttes de sulfites de sodium puis remplir les 4 tubes par la gélose viande foie
- Mélanger doucement, en évitant d'introduire les bulles d'air
- Incuber à 37 °C et procéder à une première lecture après 24 heures, car très souvent les spores des anaérobies sulfito-réducteurs sont envahissantes ce qui rendra la lecture impossible, Sinon faite une deuxième lecture après 48 heures

• Lecture

Les *Clostridium sulfito-réducteurs* réduisent le sulfite de sodium, en produisant des colonies entourées d'un halo noir dû à la formation de sulfure de sodium.

• Dénombrement

Compter toute colonie noire de 0.5 mm de diamètre dans chaque tube et on rapporte le nombre total des colonies dans les tubes.

• Expression des résultats :

Exprimer les résultats en nombre de germes par 50 ml. (Lebres et *al.*, 2008)

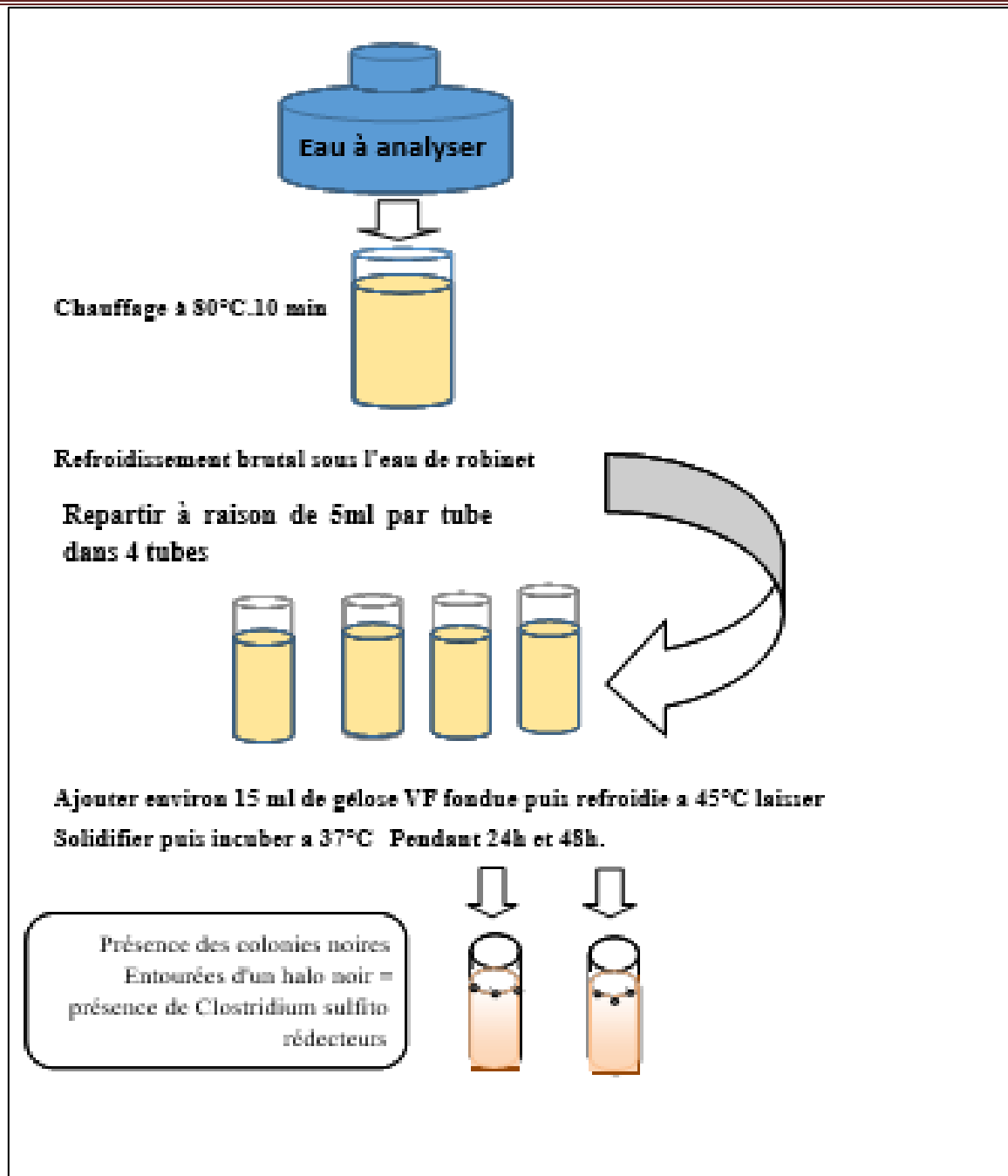


Figure 18: Diagramme de dénombrement des Clostridium sulfito-réducteur

c. Recherche des germes totaux (ISO 6222)

Ce sont des germes spécifiques de l'eau qui se développent dans des conditions aérobies à 37°C, leur présence est considérée comme indicateur de pollution bactérienne (Claire, 2011). Cette méthode consiste à rechercher et dénombrer les micro-organismes pouvant exister dans les eaux des sources destinées à la consommation humaine.

Mode opératoire

- A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement 1ml en double dans des boîtes Pétri vides, numérotées et préparées à cet usage comme l'indique le schéma ci-après. Compléter ensuite avec 19 ml de gélose TGEA fondue puis refroidie à 45 °C.

-Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et vient en forme 8 pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose, laisser solidifier les boîtes sur paillasse, puis rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose. Les boîtes seront partagées en deux séries distinctes :

-La première série sera incubée à 22 °C pendant 24 h .

-La deuxième série sera incubée à 37 °C pendant 24 h.

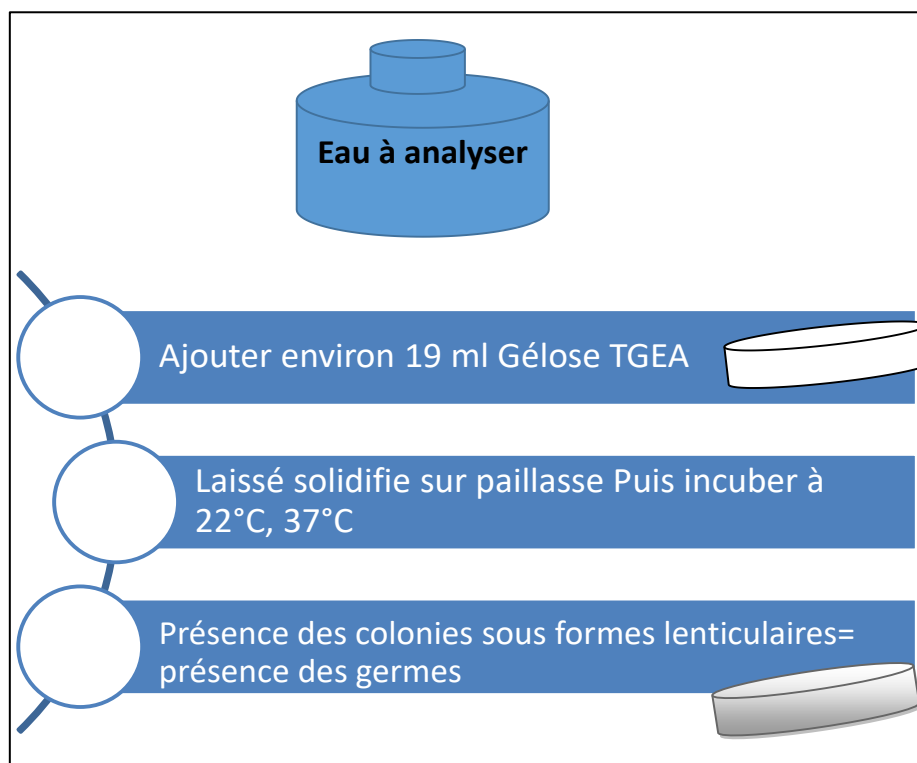


Figure 19: Recherche et dénombrement des germes totaux.

Lecture et interprétation

Les colonies de microorganismes revivifient les blés apparus en masse sous formes lenticulaires et bien distinctes. Retenir les boîtes contenant moins de 300 colonies, au niveau de deux dilutions successives, il faut qu'une boîte contenant au moins 15 colonies.

Calculer ensuite la valeur du nombre N, de microorganismes revivifiés blés à 22+2C à part et celle du nombre N de microorganismes à 36-2C à part en tant que moyenne pondérée, l'aide de l'équation suivante :

$$N = \frac{C}{1.1 \times d}$$

- ΣC = Somme des colonies dénombrées sur deux boites
- d- c'est le taux de dilution correspondant à la première dilution

d. Dénombrement des Entérocoques intestinaux (Streptocoques Fécaux)

Au sens de cette méthode, on entend par Entérocoques intestinaux des bactéries qui se présentent sous forme de cocci Gram positif, sphériques ou ovoïdes formant des chainettes, ne possédant l'antigène du groupe D. Ils sont capables de se développer en 24 h à 37 C sur un milieu sélectif à l'azoture de sodium en donnant des colonies caractérisées par le TTC et qui de plus hydrolysent l'esculine et l'azoture.

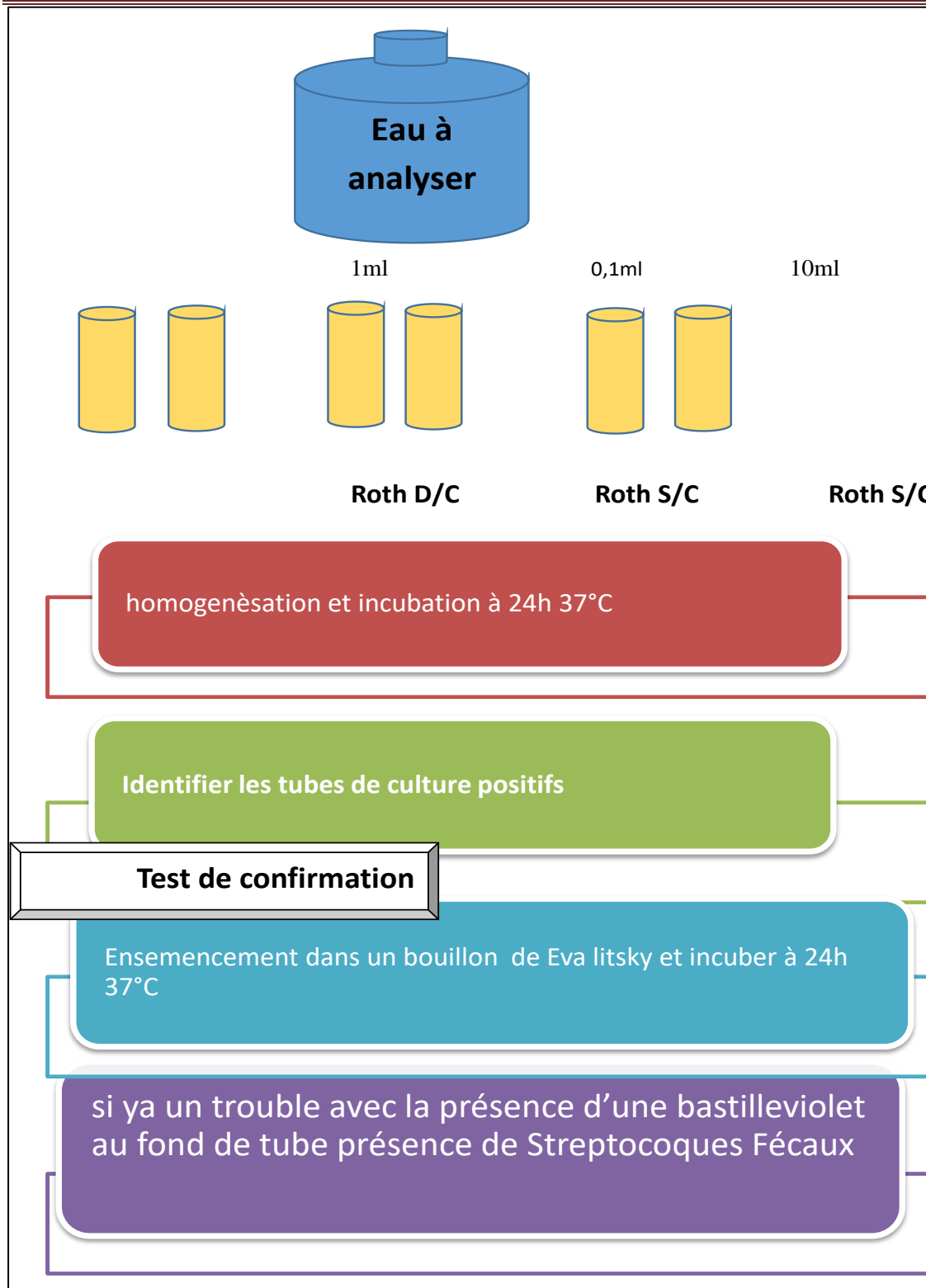


Figure 20: digramme de Dénombrement Streptocoques Fécaux

Chapitre 02 : Résultats Et Discussion

Chapitre 02 : Résultats Et Discussion**1. Les résultats des analyses physico-chimiques.**

Les différents résultats relatifs aux analyses physicochimiques sont illustrés dans le tableau 09

- **Le potentiel d'hydrogène (pH)**

Le pH, ou potentiel d'hydrogène, L'un des paramètres les plus importants pour évaluer la qualité de l'eau. Il caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés (Rodier, 2005).

D'après les résultats que nous avons obtenus sur le pH des neuf points de prélèvements étudiés, nous remarquons que le pH est compris entre une valeur minimale 7,39 pour le puits 7 et une valeur maximale 8,17 pour le puits 6 (tableau 19). Ces valeurs sont idéales par rapport aux normes des eaux potables fixée par les normes Algériennes pH= 6,5 à 9 (JORA, 2011),

Cette alcalinité s'expliquerait par l'absence d'une source de pollution réelle comme les eaux usées par exemple.

- **Turbidité (NTU)**

Dans l'ensemble des puits, nos résultats montrent que la turbidité de l'eau varie entre 0,179 et 0,866 NTU (Nephrometrie Turbidity Unit) (tableau 9). La turbidité est la réduction de la transparence de l'eau due à la présence de matière non dissoute. Selon l'U.S. Environnement Protection Agency, l'intensité de la turbidité permet de classer l'eau suivant les normes ci-après (Anonyme, 1978) : NTU < 30 NTU : l'eau est claire ; 30 < NTU < 50 NTU : Eau moyennement trouble ; NTU > 50 NTU : pour une eau trouble.

Les résultats de la turbidité obtenus dans les neufs puits étudiés sont nettement inférieurs à la valeur de guide fixée à 30 NTU pour une eau de turbidité claire. Dussart (1992), a signalé que l'augmentation de la transparence a lieu parallèlement à la chute de la densité en microalgues. Dans un plan d'eau, la transparence varie en fonction de l'abondance des particules en suspension (argile, limon, ...) et du phytoplancton (Balvay, 1985).

- **La salinité**

La salinité est définie à l'origine comme la quantité de sels dissous présents dans l'eau (Bouchar, 2010). Durant la période d'étude présente des variations remarquables entre les différents sites étudiés. Sachant que les teneurs notées varient entre 0,5 à 2,4 ‰ respectivement à P9 et P 7 (Tableau 9).

- **La conductivité**

La conductivité est une mesure générale de la qualité de l'eau, qui indique la quantité totale des sels dissous. Si la conductivité est élevée le goût de l'eau sera normalement salé (mais pas forcément). En plus, une haute conductivité indique la possibilité de la présence, à un niveau important, des ions dangereux à la santé et de la corrosivité de l'eau.

La Conductivité électrique fluctue entre une valeur maximale de 4678 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le puits 7 et une valeur minimale de 1076 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le puits 9.

- **Les nitrites**

Les nitrites sont les indicateurs de la pollution. Elles proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammonium soit d'une réduction des nitrates. Une teneur d'azote nitreux Supérieure à 0.10mg/l peut faire soupçonner un apport d'eaux riches en matières organiques en voie de décomposition. Cette teneur ne devrait pas être dépassée dans le cas d'une eau d'origine profonde (Rodier et al., 2009).

Selon le tableau 9, on constate que tous les puits, enregistrent des valeurs inférieure aux normes Algériennes fixées (0.1mg/l).

- **Les nitrates (NO_3)**

Les nitrates (NO_3^-) sont des ions naturels présents partout dans l'environnement. Ils sont le Produit de l'oxydation de l'azote par les microorganismes dans les plantes, le sol ou l'eau et, dans une moindre mesure, par les décharges électriques comme la foudre (Beatson, 1978). D'après la réglementation algérienne (JORA, 2011) il est recommandé pour le cas des nitrates, une valeur de 50mg/l dans une eau destinée à la consommation.

D'après les résultats illustrés on constate que la concentration du nitrate Enregistre une valeur minimale soit 12,2 mg/l pour le P5 et une valeur maximale soit 87,8mg/l pour le P3.

2. Analyses physico-chimiques de l'eau du puits par test statistique (CHA et ACP)

	Conductivité ($\mu\text{s/cm}$)	Minéralisation (mg/l).	TDS	Salinité (mg/l).	T°	PH	Turbidité (NTU)	TH (mg/l).	Calcium (mg/l)	Sulfate (mg/l)	bicarbonate	nitrate (mg/l)	Ammonium (mg/l)	phosphates (mg/l)	Nitrites (mg/l)	Sodium (mg/l)	Potassium (mg/l)
Elkhneg 01	1717	1302	862	0,7	12,5	8,14	0,838	670	240,48	178,09	210,8	41,5	0,07	0,21	0	18,8	2,6
Elkhneg 02	4653	3453	2370	2,3	12,1	7,66	0,559	1550	152,3	307,09	210,8	32,9	0,1	0,37	0	25,5	3,7
Elnacer bn ch1	1639	1243	849	0,8	12,1	8,05	0,339	750	164,32	273,6	158,1	87,8	0,02	0,17	0,01	9,7	1,3
Elnacer bn ch 2	1693	1284	849	0,8	12,1	7,66	0,179	1000	320,64	361,32	210,8	20,4	0,12	0,55	0,01	13	1,5
Tawenza 1	3344	2536	1722	1,7	12,3	8,1	0,329	270	332,5	410,83	210,8	12,1	0,01	0,22	0	19,1	2
Tawenza 2	2596	1969	1322	1,3	12,3	8,17	0,198	770	264,5	360,33	158,1	54,3	0,08	0,21	0,01	12	3
Ksar el hiran 1	4678	3548	2450	2,4	12,3	7,39	0,611	1010	268,5	429,15	210,8	25,9	0,11	0,04	0,01	38,6	1,9
Ksar el hiran 2	1209	93	650	0,6	12,6	7,82	0,449	600	1717,34	226,77	158,1	18,6	0,09	0,01	0,01	17,2	1
Elnacer bn ch 3	1076	816	531	0,5	12,4	7,83	0,866	480	132,26	200,5	148,1	15,3	0,07	0,14	0,01	11,8	1,1

2.1. Analyse multi variées des données

En premier lieu on doit procéder à un traitement purement numérique en analysant la matrice totale en deux étapes ou types de traitement qui sont:

"la classification hierarchique ascendante (CHA)

" L'analyse en composantes principales (ACP)

L'ACP est un outil qui offre la possibilité de simplifier l'étude des écosystèmes aquatiques et d'en alléger les coûts par la réduction du nombre de variables à prendre en comptes [20]. L'analyse statistique des données physico-chimiques a été effectuée sur 9 échantillons et 17 variables à travers le la région de Laghouat. Le logiciel statistique XLSTAT 2023 a été utilisé pour le traitement des données. La matrice de corrélation donne une première idée des associations existantes entre les différentes variables telles que La conductivité électrique, minéralisation, TDS, la salinité, T, PH, turbidité, TH, calcium, sulfate, bicarbonate, nitrate, nitrite, ammonium, phosphate, sodium, potassium. Ces paramètres sont relativement bien corrélés entre eux (Tau 10).

Variables	CE	meneralis	TDS	sal	T°	PH	turb	TH	calcium	sulfate	bicarbonat	nitrate	ammonuim	phosphat	Nitrite	sodium	potassium
Conductivi	1																
meneralisa	1.000	1															
TDS	1.000	1.000	1														
sal	1.000	1.000	1.000	1													
T°	-0.304	-0.304	-0.309	-0.308	1												
PH	-0.454	-0.454	-0.459	-0.451	0.231	1											
turb	-0.049	-0.049	-0.046	-0.054	0.379	-0.144	1										
TH	0.558	0.558	0.561	0.545	-0.517	-0.574	-0.060	1									
calcium	-0.302	-0.302	-0.304	-0.307	0.675	-0.061	-0.130	-0.230	1								
sulfate	0.688	0.688	0.685	0.697	-0.419	-0.320	-0.598	0.188	-0.230	1							
bicarbonat	0.591	0.591	0.587	0.580	-0.194	-0.350	0.084	0.366	-0.324	0.417	1						
nitrate	-0.123	-0.123	-0.115	-0.119	-0.320	0.411	-0.227	0.152	-0.290	-0.138	-0.380	1					
ammonuim	0.186	0.186	0.184	0.174	0.008	-0.703	0.065	0.634	0.160	0.074	0.237	-0.346	1				
phosphate	0.136	0.136	0.133	0.125	-0.675	-0.095	-0.334	0.549	-0.426	0.182	0.487	-0.045	0.274	1			
Nitrite	-0.319	-0.319	-0.320	-0.326	0.221	0.287	0.438	-0.114	-0.357	-0.415	0.142	0.299	0.051	-0.042	1		
sodium	0.807	0.807	0.808	0.803	0.086	-0.681	0.307	0.416	-0.024	0.434	0.612	-0.333	0.381	-0.180	-0.087	1	
potassium	0.626	0.626	0.621	0.616	-0.231	0.121	-0.015	0.586	-0.420	0.200	0.413	0.172	0.149	0.438	0.077	0.270	1

Tableau 10: matrice de corrélation des paramètres.

3.2. Analyse des correspondances multiples (ACM)

2.1.1. Test de Kaiser (la méthode de coude)

Cette méthode a pour but d'effectuer un choix raisonné des axes (Facteurs), et pour notre cas le test a fait un choix qui se limite sur les deux premiers axes F1 et F2 (figure 15) qui ont un pourcentage cumulé de l'ordre de 58.26% cette contribution de ces deux axes à l'inertie du nuage de points, qui sont bien présentés sur les axes un et deux.

Tableau n°11: Valeurs propres

	F1	F2
Valeur propre	7.136	2.770
Variabilité (%)	41.976	16.292
% cumulé	41.976	58.269

Tableau n°12: Contributions des variables (%)

	F1	F2
Conductivité (µs/cm)	12.950	0.147
minéralisation	12.949	0.148
TDS	12.943	0.142
Sal	12.860	0.137
T°	2.678	18.956
PH	4.741	7.677
Turb	0.122	7.709
TH	6.796	1.354
Calcium	1.755	14.553
Sulfate	6.771	0.471
Bicarbonate	6.585	0.067
Nitrate	0.424	15.035

ammonium	1.847	4.031
Phosphate	1.691	13.343
Nitrite	1.140	0.600
Sodium	8.469	10.778
Potassium	5.278	4.852

L'interprétation que l'on peut faire des deux premiers axes factoriels est la suivante: -On constate que les facteurs (T°, calcium, turbidité)

Sont hautement corrélée et forme le premier axe situé dans la partie positive.

_ Ammonium, sodium, conductivité électrique, minéralisation, bicarbonate : Sont hautement corrélée et forme le premier axe situé dans la partie positive et pour l'axe 2 dans la partie négative.

_ Nitrate et nitrite puis le ph : Sont hautement corrélée et forme le premier axe situé dans la partie négative et pour l'axe 2 dans la partie positive.

_ Sulfate, TH, potassium, phosphate : Sont hautement corrélée et forme le deuxième axe situé dans la partie négative.

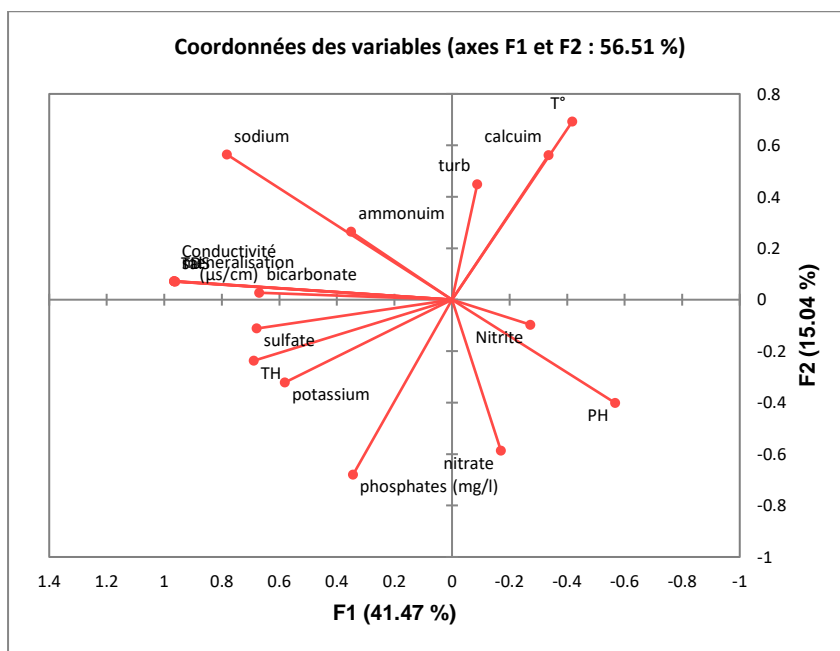


Figure 21 : Projection des variables sur le premier plan factoriel

2.1.2. Caractérisation des relevées :

- Casse 1 (C1): contient naser ben chohra3, Elkhneg1, Ksar el hiran2 est caractérisé par T Calcium et la Turbidité.
- Classe 2 (C2): contient Elkhneg2, Ksar el hiran1 est caractérisé par Ammonium, Conductivité, Minéralisation, Sodium, Bicarbonate.
- Classe 3 (C3): contient Ben Nasser Ben Chohra1 et 2, Tazenwza1 et2 est caractérisé par PH, Nitrate, Phosphate, Potassium, TH, Sulfate.

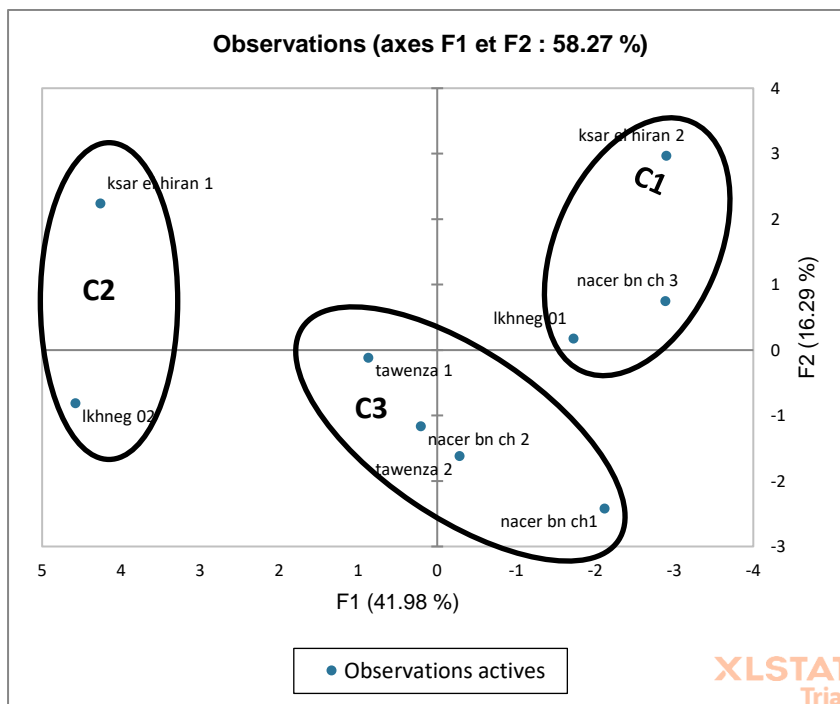


Figure 22 : Projection des individus sur le premier plan factoriel

. Classification hiérarchique ascendante (CHA)

Les informations obtenues à travers la CHA sont sous forme de dendrogramme qui regroupe les échantillons selon leur similitude CF (figure 22))

Le dendrogramme obtenu nous permis de distinguer trois classes ce qui confirme notre choix en matière d'état de puits.

Classe 01: contient naser ben chohra3, lkhneg1,ksar el hiran2.

Classe 02: contient lkhneg2, ksar el hiran1.

Classe 03: contient naser ben chohra 1 et 2, tazenwza 1 et 2.

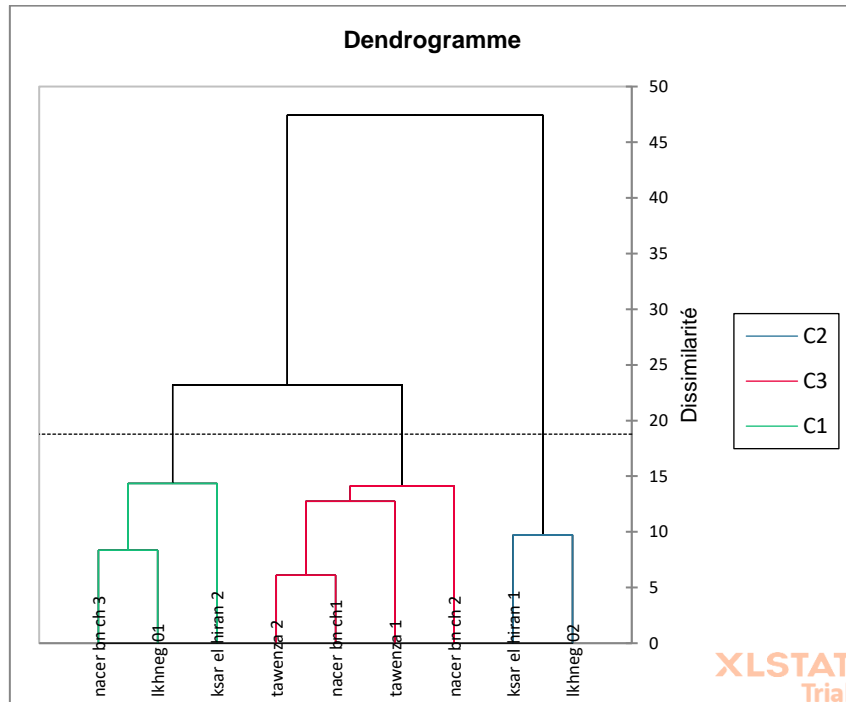


Figure23: Dendrogramme de la classification hiérarchique ascendante des puits











3. Analyses bactériologiques

Les résultats des dénombrements des germes totaux (GT), coliformes totaux (CT), coliformes fécaux et clostridium sulfito-réducteurs (ASR) , concernant les dix points d'eau choisis dans cette étude sont représentés dans le tableau n° le dénombrement des coliformes sur le milieu de culture liquide par NPP

En déduire la concentration en microorganisme par ml de produit pur N. NPP : nombre le plus probable obtenu par lecture de la table de Mac GradyV inoculum

3.1. Résultats des Coliformes totaux à 37°C

Tableau 13: Résultats des Coliformes totaux à 37°C

Puits	10 ml	10 ml	1ml	1ml	0.1 ml	0,1ml	Nbr c	Resultats
Puits 1	+	-	-	-	-	-	100	
Puits 2	-	-	-	-	-	-	000	
Puits 3	+	+	+	+	+	+	222	
Puits 4	+	+	+	+	+	+	222	
Puits 5	+	+	-	+	-	-	210	
Puits 6	+	+	-	-	-	-	200	
Puits7	-	-	-	-	-	-	000	
Puits 8	-	-	-	-	-	-	000	
Puits 9	+	+	+	+	+	+	222	
Puits 10	-	-	-	-	-	-	000	

D'après les résultats enregistré dans le (Tableau n°13), nous avons remarqué que la charge bactérienne en coliformes totaux, varie entre des valeurs moyennes de l'ordre (00 à >222) ufc/ml. donc on peut dire que cette eau contient d'indicateur de pollution qui sont les coliformes totaux.

Par contre; **le Test de confirmation montre** une absence totale des coliformes totaux qui pourra expliquée par l'absence de contamination bactérienne, par la suite on peut dire que ces eaux sont de bonne qualité bactériologique (potables)



Figure 24: Résultats des Coliformes totaux à 37°C

3.2. Résultats des *Clostridium sulfito-réducteurs*

Une bactérie capable de se multiplier et de persister dans l'eau pendant une période prolongée s'appelle la contracture du sulfate de Clostridium. Ils sont ainsi les témoins oculaires d'une contamination historique.

Les coliformes sont beaucoup plus difficiles à éradiquer avec des désinfectants, ils sont donc plus dangereux

un signe fiable de l'efficacité d'une désinfection (Hamed et al., 2012).

Si la contracture du sulfate de Clostridium est retrouvée dans les matières fécales, elle est également d'origine fécale car elle peut exister et se propager en milieu naturel. On leur demande fréquemment de vérifier la capacité du sol à se nettoyer avec de l'eau.

Les résultats montrent qu'il n'y a aucune colonie noire poussant en masse dans aucun des tubes d'échantillons d'eau, ce qui est cohérent avec l'absence totale de CST.

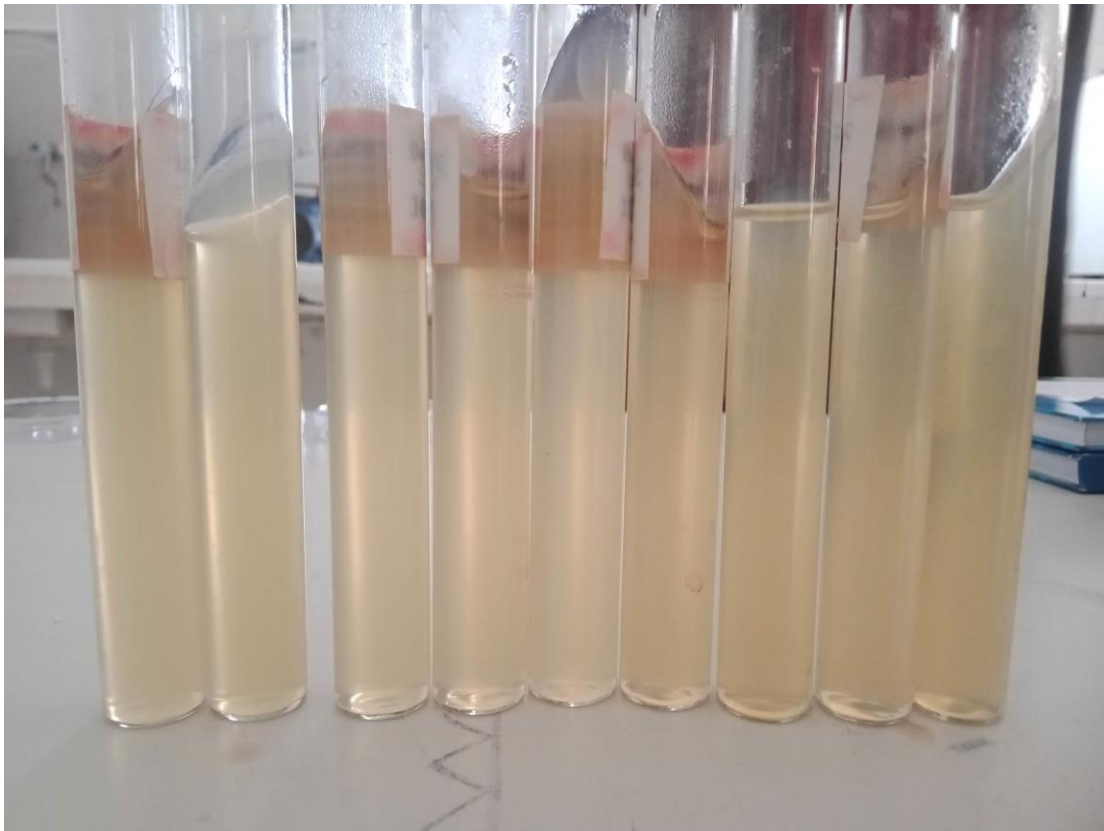


Figure 25: Résultats des Clostridium sulfito-réducteurs.

3.3. Résultats du germe total à 37°C et 22°C

Les germes totaux à 22°C sont des bactéries d'origine intestinale (humaine ou animale) (El haissoufi *et al*, 2011; Ceaq, 2011).

Le dénombrement des germes totaux est considéré comme un type d'indicateurs beaucoup plus général, vis-à-vis de toute pollution microbologique ; celui-ci détermine la totalité de la charge bactérienne. La stabilité des dénombrements bactériens est donc un bon signe de protection. Les résultats montrent que y'a aucune colonie

de micro-organismes activés n'apparaissent collectivement sous des formes lenticulaires et très distinctes.

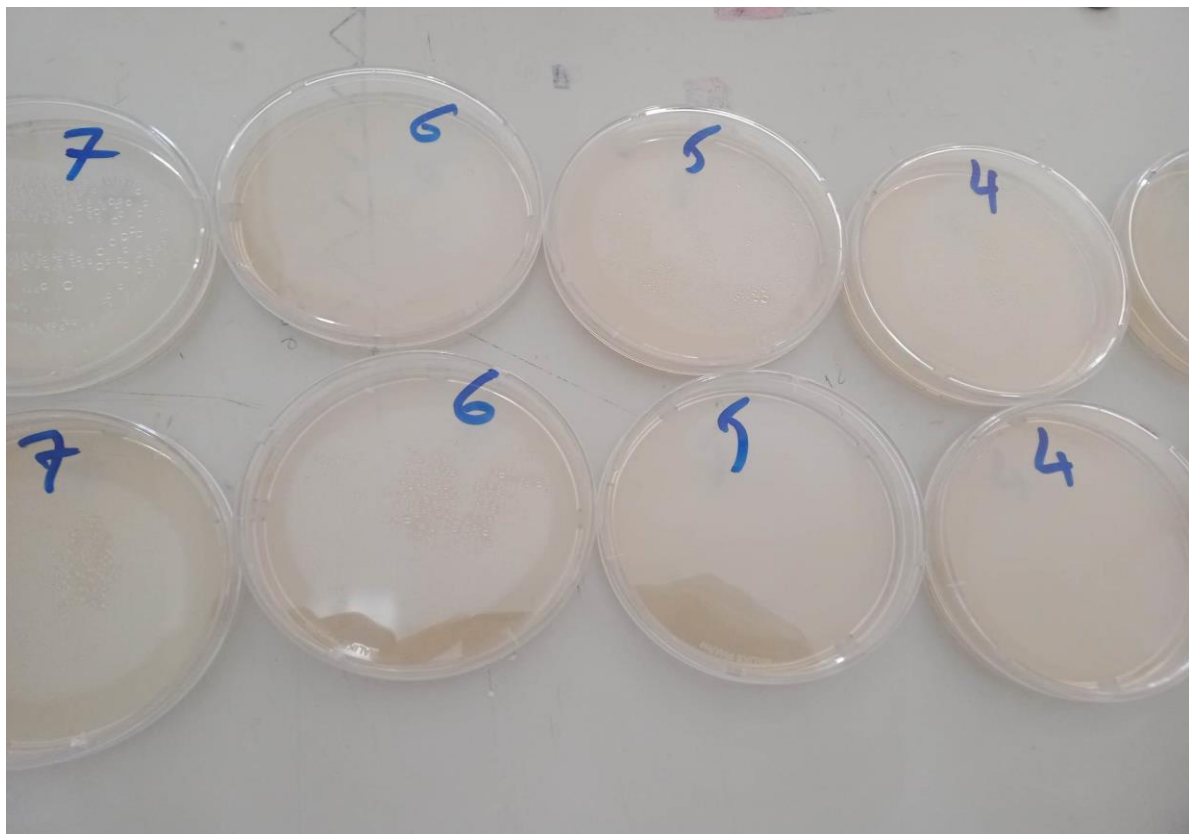
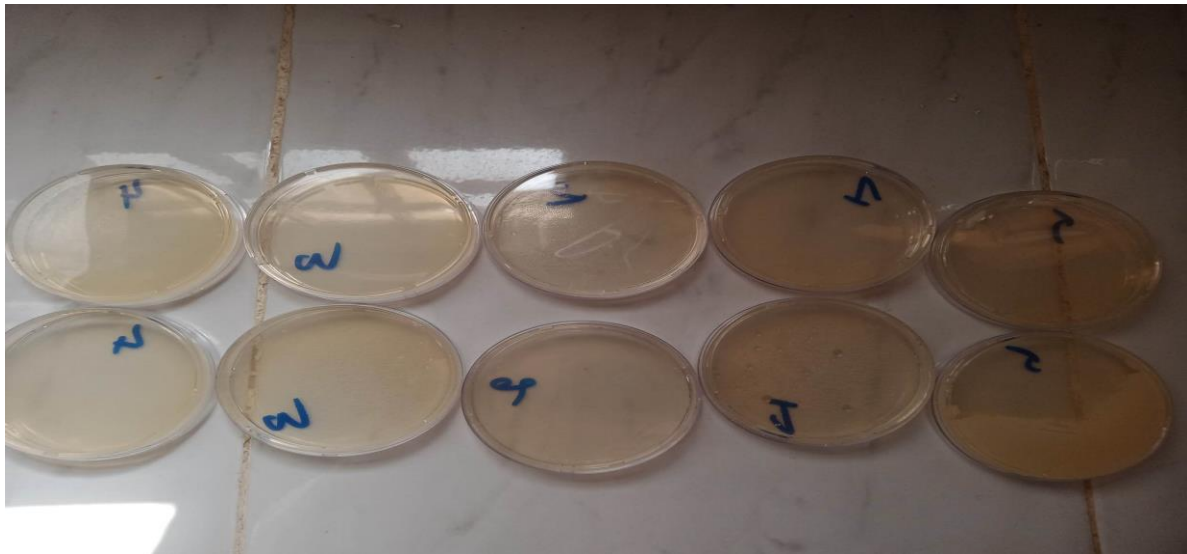


Figure 26: Les résultats Germe totaux.

3.4. Résultats des Entérocoques intestinaux (des streptocoques fécaux)

Selon Rodier et al. (2005), la présence des *streptocoques fécaux* doit s'accompagner de la présence de coliformes fécaux pour être certain d'une contamination fécale d'une eau d'alimentation.

Les analyses bactériologiques (le test présomptif –Rothe-) effectuées sur les échantillons d'eaux montrent l'absence totale des streptocoques fécaux dans tous les échantillons. Ce qui confirme l'absence de la contamination fécale.



Figure 27: Résultats des Entérocoques intestinaux

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Aux termes de notre travail, nous rendons compte que la réalisation d'une étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des puits de la willaya de Laghouat montre que : Les résultats d'analyse physicochimique des eaux des puits étudiés sont pas troublés généralement.

Pour les propriétés physico-chimiques étudiées, certains eaux analysées on a constaté une conductivité électrique élevé dans le P5 (3344 μ s/cm) et P7(4678 μ s/cm), aussi pour le nitrate dans le p3(87.8mg/l) et p6(54.3mg/l) et le calcium au niveau de p5(332.64mg/l), pour le ph il est varié entre (7.39 et 8.17) cette pollution chimique peut être d'origine industrielle, domestique ou agricole.cette situations ne présente pas un danger pour la consommation humaine.

Sur le plan bactériologique, la quasi-totalité des puits analysées ne sont pas souillées par les germes totaux. Fécaux ; streptocoques fécaux. Clostridium sulfato-réducteurs.

Parmi les facteurs qui influencé négativement sur la qualité des eaux des puits sont :

- La mauvaise protection des puits
- les métaux lourd, et les produits chimique.
- la pénétration des impuretés par les ouvertures
- La faible profondeur de la nappe phréatique et autant d'éléments qui sont sources de contamination de l'eau de puits. Le danger de cette pollution chimique et bactériologique constitue sans aucun doute une menace pour les habitants qui puisent l'eau nécessaire de la majeure partie de leurs besoins à partir de ces puits.

Afin d'éviter tout risque sanitaire lors de la consommation de ces eaux et pour une meilleure maîtrise de cette pollution, il serait judicieux d'entreprendre les démarches suivantes :

- Mettre en place un réseau d'assainissement pour l'évacuation des eaux usées.
- Boucher tous les points d'eau abandonnés et qui présentent des anomalies d'équipement.
- Sensibiliser les populations et les inciter à traiter l'eau des puits avant consommation.
- Un contrôle permanent des puits.
- Mettre en place un réseau d'assainissement pour l'évacuation des eaux usées.

Références bibliographique

Références bibliographiques

Références bibliographique

- Abrid D. Caractérisation physico-chimique, minéralogique et géochimique des sédiments de la retenue du barrage Sidi chahed et des sols du bassin versant de l'oued Mikkés. *Th. Doct., Univ. Moulaya Ismail, Maroc* (2015) 233.
- AIDE., 2014. pollution de l'eau
- Aubry P. (2013). Choléra, *Médecine tropicale*, 23 (2) :145-157.
- Aubry P., 2013: Les salmonelloses. *Médecine tropicale* diplôme de médecine tropicale des pavas de l'océan INDIAN. Article. P6. Aubry., 2014: Poliomyélite. *Médecine*. Diplôme de médecine tropicale des pavas de l'océan indien. Article. P 9.
- Ayadi, I., H,Habib., D ,yasmine., *International Water Ressources Association. XIIIth World Water Conress 1* (4 Septembre 2008). *Montpellier, France*
- Benmaïd A., 2013: La sécurité liée à l'eau: gestion des risques et arbitrages Commissariat général au développement durable, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, études & documents, N° 100, P 40.
- Bernar C., (2007). Introduction à l'étude de la médecine expérimentale, Edition Bibliobazaar.France , p132.
- **Bentahar Fatiha (2007)** : cartographie hydrogéologique des eaux souterraines du plateau de Mostaganem et du bas Chélif (Nord-ouest Algérie). Thèse magistère, Université des sciences de la technologie Houari Boumediene, USTHB, Bab Ezzouar, Alger.
- Bosca C., 2002: Ground water law and administration of sustainable development *Mediterranean Magazine, Science Training and Technology*, N° 2, Pp: 13-17.
- Boualem. R: Contribution à l'étude de la qualité des eaux des Barrages, Article
- **Campos C. (2008)**. New perspectives on microbiological water control for wastewater reuse,*Desalination*, 15 : 34-42.
- Cardot C., 1999: Les traitements de l'eau: procédés physico-chimiques et biologiques cours et problèmes résolus: génie de l'environnement. Edition Elipses. P 71.
- Collin J.J., 2004: Les eaux souterraines: Connaissance et gestion, HERMANN Editeurs des sciences et des arts, paris, Pp: 27- 49.
- Degremont G., 2005: Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10^{ème} édition, Edit. Tec et doc, Pp: 3- 38

Références bibliographiques

- DEKHIL S. et ZAIBET M., 2013. Traitement des eaux usées urbaines par boues activées au niveau de la ville de Bordj Bou Arreridj effectué par la station d'épuration des eaux usées ONA, Université Mohamed El Bachir El ibrahimi -Bordj Bou Arreridj.
- Dinnart E.P., 2003: La détermination de la salinité de surface des océans à partir de
- Djabri L., 1996: Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse origine géologiques, industrielles, agricoles et urbaines, Thèse de doctorat d'état, Université d'Annaba, Algérie, P176 .
- El Ghachtoul Y., Alaoui Mhamdi M., Gabi. H., 2005: Eutrophisation des eaux des retenues des barrages Smir et Sehla (Maroc): causes, conséquences et consignes de gestion, Rev. Sci. Eau, 18, P 75-89
- Faurie C, Medori P, Ferra C., 2003: Ecologie: Approche scientifique et pratique 5ème Edition, Lavoisier doc et tec, Paris, P 312
- Freddy Shukuru Salumu., 2010: Approvisionnement en eau dans la ville de Bukavu et son impact sur les maladies de mains sales. Biologie et médecine. Mémoire licence. Université officielle de BUKAVU. P 163
- Gerard. G., 1999 : L'eau: Milieu naturel et maîtrise, Édition INRA : Volume 1, P 204.
- Gomella G., Guerree H. et Neveux Marc., 1974: La distribution de l'eau dans les agglomérations urbaines et rurales. Edition Eyrolles.
- Graini L. (2011). Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique. Mémoire Magister Option : Optique appliquée. Université Ferhat Abbas-Sétif. p76.
- Guessoum H., Benbrahim F., Halilat T., Laouar F., Bensalama M., Darem S. (2014). Quality microbiological of groundwater in the el hajeb region (morocco): assessment of the faecal germs Inter Journ Environ Water. 3:35-43.
- Hartemann P. (2004). Contamination des eaux en milieu professionnel, EMC Toxicologie Pathologie, Elsevier, 1(2) : p 63-78.
- **Lebres, E. A.; Mouffok, F.(2008)**. Le cours national d'hygiène et de microbiologie des eaux de boisson, Laboratoires bactériologiques alimentaires et des eaux, Institut Pasteur d'Algérie, Alger, p53.
- LEROY J. B., 1999. La pollution des eaux, 4eme Ed.-Paris : presse universitaire de France. 127p.
- Maïga Fatoumata Sokona., 2002: Manuel de la cour d'hygiène du milieu, F.M.P.O.S
- Margat J., 1992: L'eau dans le bassin méditerranéen. Situation et perspective. Edition: Harmattan.

Références bibliographiques

- mesures radiométriques hyperfréquences en bande L, Thèse de Doctorat Université Paris V- France
- Metahri M., (2012). Élimination simultanée de pollution azotée et phosphatée des eaux traitées, par des procédés mixtes Thèse doctorat Cas de la steppe est de la ville de TIZIOUZOU. Université Mouloud mammari de Tizi, Spécialité Agronomie, Option Génie des procédés. p172.
- Michard K. (2002). Chimie des eaux naturelles. Principes de géochimie des eaux.Ed- Publisud, Paris, p565.
- 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, P 7.
- 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. p30.
- N'diaye A., Salem K., El Korya M., Ould Kankou M., Bauduc M., *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (2014) 320-329.
- Nouayti N., Khattach D., Hilali M., 2015: Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc), *Journal de Matériel et Science de l'Environnement*, Vol 6, N° 4, Pp: 1068-1081
- OMS., 1994: Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 1, recommandations, Organisation mondiale de la Santé, 2e édition,P 202
- OMS., 2000. Directive de qualité pour l'eau de boisson : Vol2 : critères d'hygiène et documentation à l'appui.-Genève : OMS.-1050p.
- OMS., 2012: Prévention et lutte contre l'hépatite virale. P 32
- Plantaz D., 2005: Méningites infectieuses de l'enfant (96).docteur Cécile. Article. BOST-BRU .P 7.
- Rabiet M., 2006: Contamination de la ressource en eau par les eaux usées dans un bassin versant méditerranéen apport des éléments majeurs, traces et terres rares, Thèse de Doctorat, Université Montpellier II.
- **Rodier, J.(1996)** .Analyse de l'eau.8ème Ed Dunod, Paris. p1136.
- Samake H., 2002: Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001, P 77.

Références bibliographiques

- Simpson H., Conant B., Myslik J. (2007). Les eaux souterraines - Une ressource rurale importante, Protéger la qualité des réserves d'eaux souterraines Maroc fiche technique , 1198-7138.
- Toumi A., Reggam A., Alayat H., Houhamdi M., *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (1) (2016) 139-147.
- UNEP/MAP/MEDPOL.,2004: Guidelines on environmental inspection systems for mediterranean region. MAP technical reports series N° 149.
- UPMC., 2011. Pollution de l'air et de l'eau .Alain Hénaut p.2/11.
- Valentin N. (2000). Gestion des eaux : Alimentation en eau assainissement, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, 2eme Ed Paris. p368.

Les sites

- 1 <https://www.eaucea.fr/hydrologie/>
- 2<https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/2014-v27-n2-rseau01447/1025565ar.pdf>
- 3<https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/112/3/1/4964>

Annexes

Annexes

Annexe

Annexe 01: Table de Mac-Grady

Nombre caractéristique	Nombre de micro-organisme
000	0.0
001	0.3
010	0.3
011	0.6
020	0.6
100	0.4
101	0.7
102	1.1
110	0.7
111	1.1
120	1.1
121	1.5
130	1.6
200	0.9
201	1.4
202	2.0
210	1.5
211	2.0
212	3.0
220	2.0
221	3.0
222	3.5
223	4.0
230	3.0
231	3.5
232	4.0
300	2.5
301	4.0

Annexes

302	6.5
310	4.5
311	7.5
312	11.5
313	16.5
320	9.5
321	15.0
322	20.0
323	30.0
330	25.0
331	45.0
332	110.0
333	140.0

Annexe 02: Noms d'échantillons.

P1	Puits d'el Kheng 01
P2	Puits d'el Kheng 02
P3	Puits de El nacer bn chohra 01
P4	Puits de El nacer bn chohra 02
P5	Puits de tawenza 01
P6	Puits de tawenza 02
P7	Puits de ksar el hiran 01
P8	Puits de kser el hiran 02
P9	Puits de el nacer bn chohra 03
P10	Puits de nacer bn chohra 03

Annexes

Annexe n°03: Composition des milieux de culture

1. Milieux liquides

1.1. Bouillon Lactose au Pourpre de Bromocrésol (BCPL)

Double Concentration (D/C) BCPL 13g
Eau distillée 500ml

Simple Concentration(S/C) BCPL..... 13g
Eau distillée 1L

1.2. Schubert Schubert 31,5

Eau distillée 500ml

2. Milieux solide

2.1. Viande de foie (VF)

VF 34g

Eau distillée 1L

2.2. King B (KB)

King B 21.5g

Eau distillée 500ml

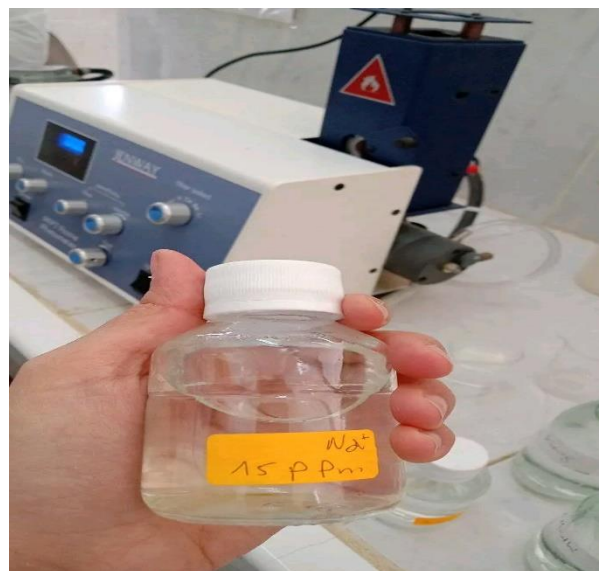
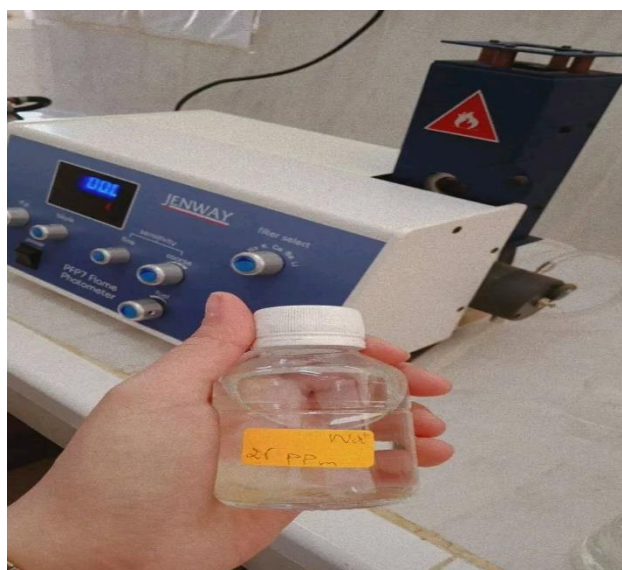
Annexes

Annexe n°04: Matériels des analyses physicochimique

Appareil Dr LANGE (JENWAY) pour le dosage du sodium
(BRICHI et messaoudi, 2023)



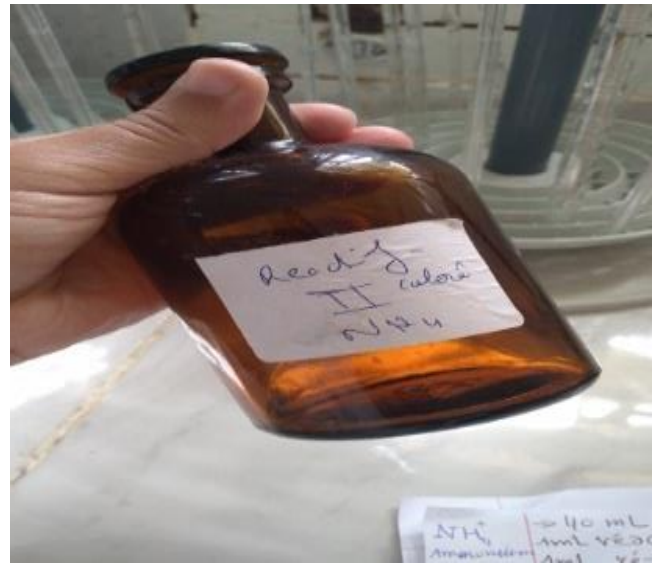
Réactifs nécessaires pour appareil Dr LANGE
(JENWAY)



Annexes



Turbidimètre (Brichi et Messaoudi, 2023)



: Réactif I et Réactif II utilisés pour le dosage du NH_4^+ (Brichi et messaoudi, 2023)

Annexes

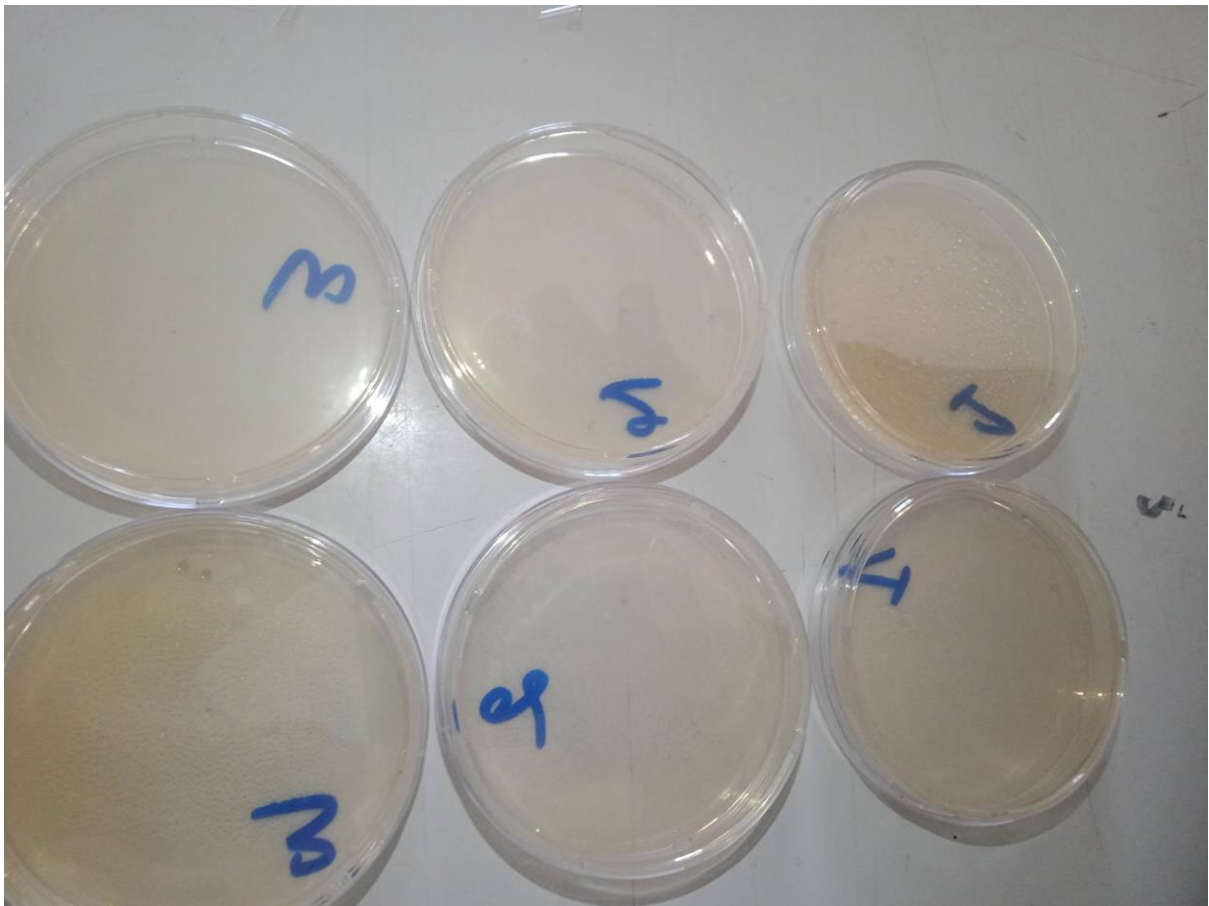
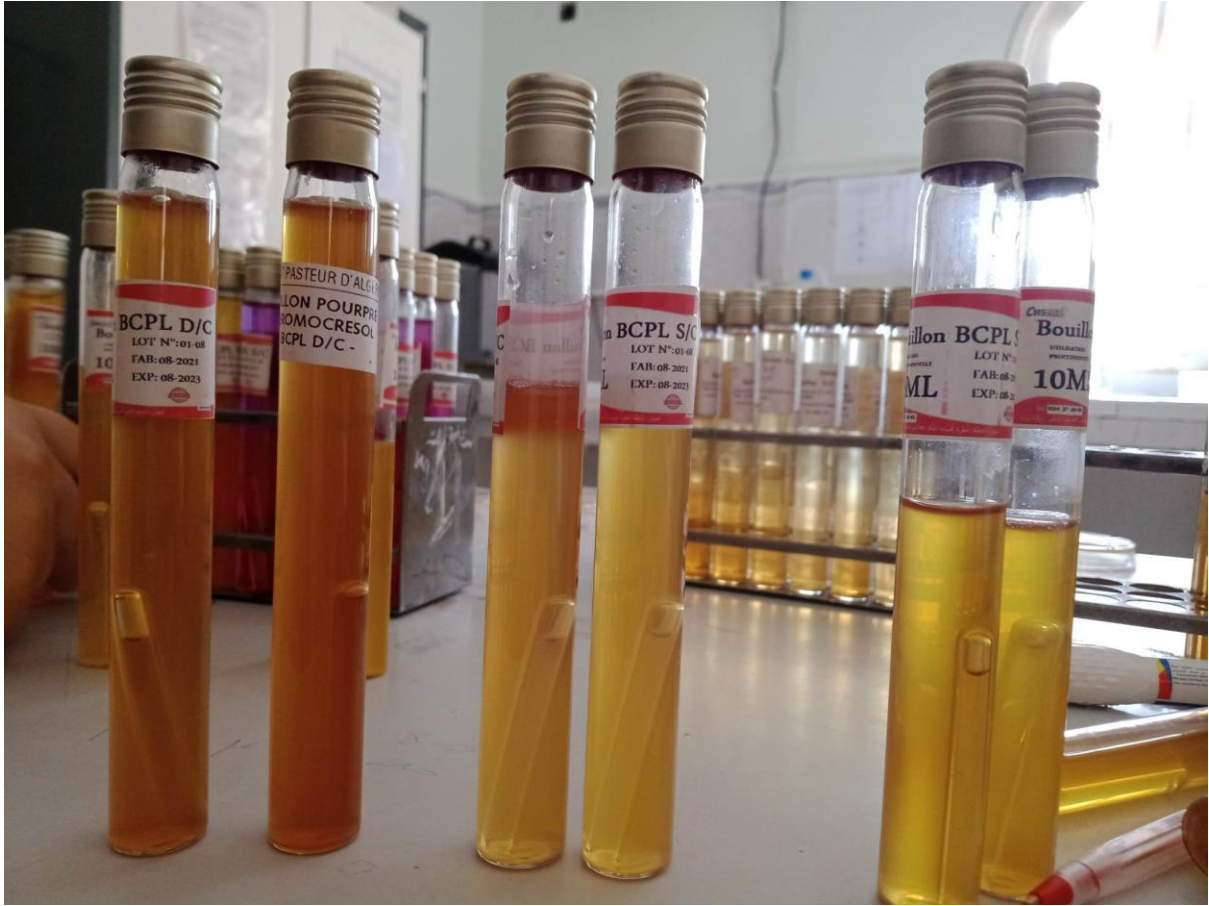


Les réactifs nécessaires pour le dosage du Ca^{2+} (Brichi et messaoudi, 2023)

Annexe n°04: Résultats des analyses bactériologiques



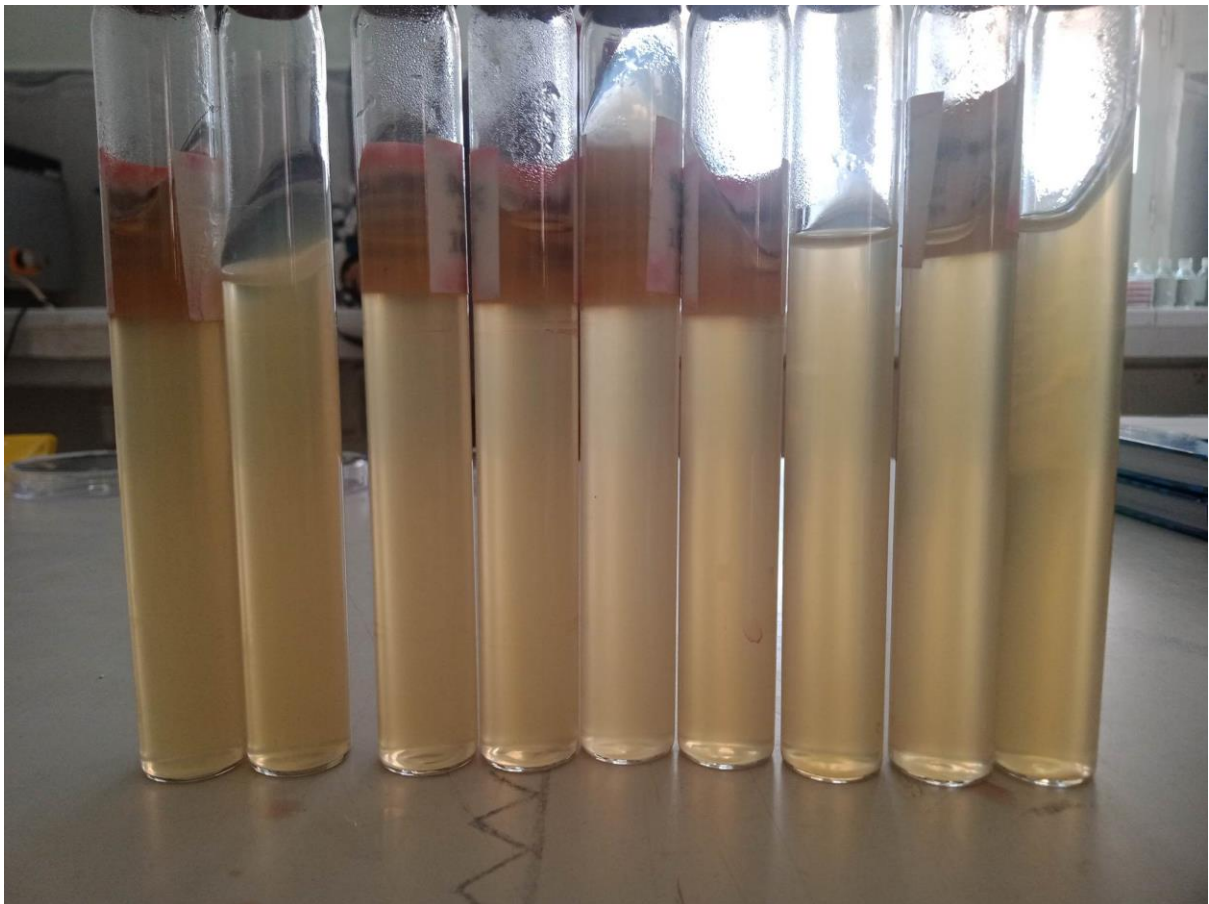
Annexes



Annexes



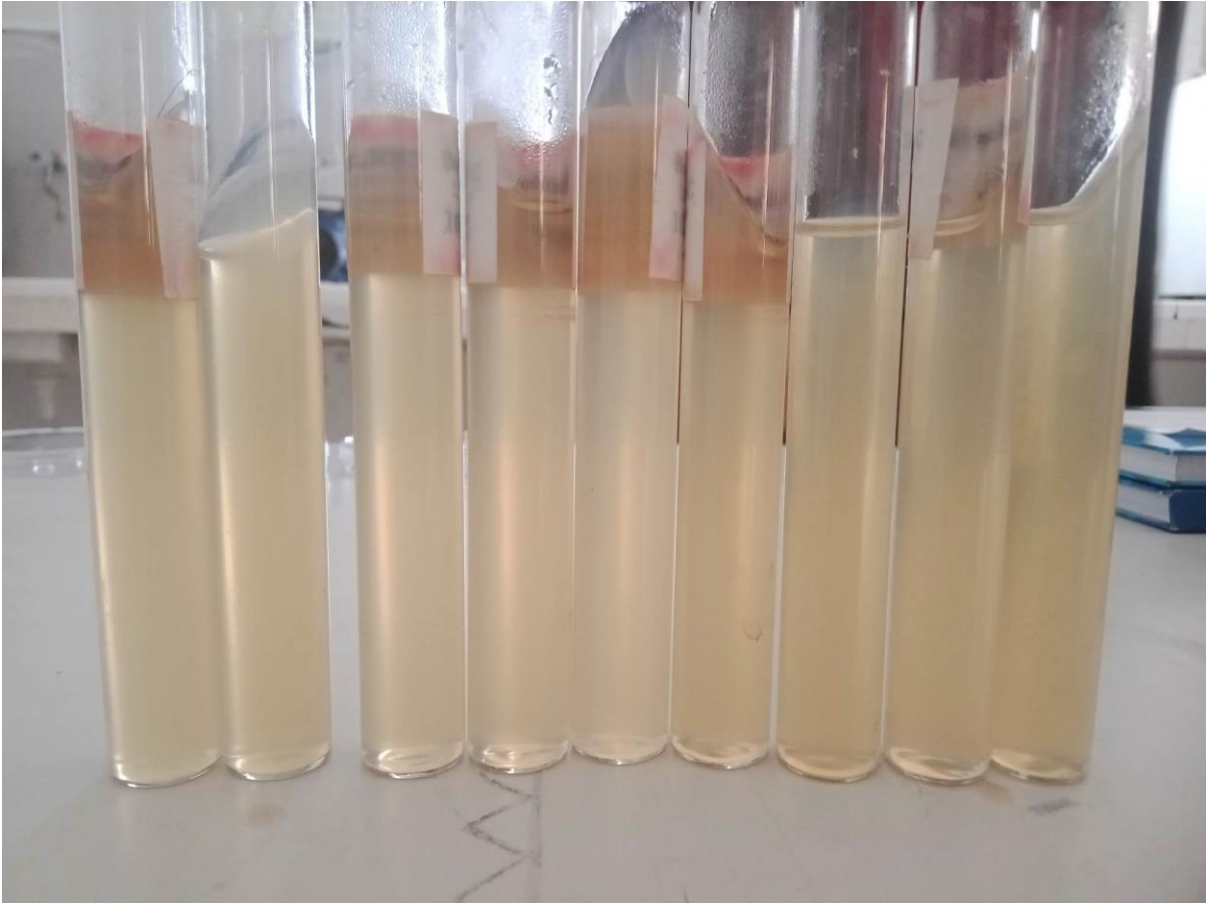
Annexes



Annexes



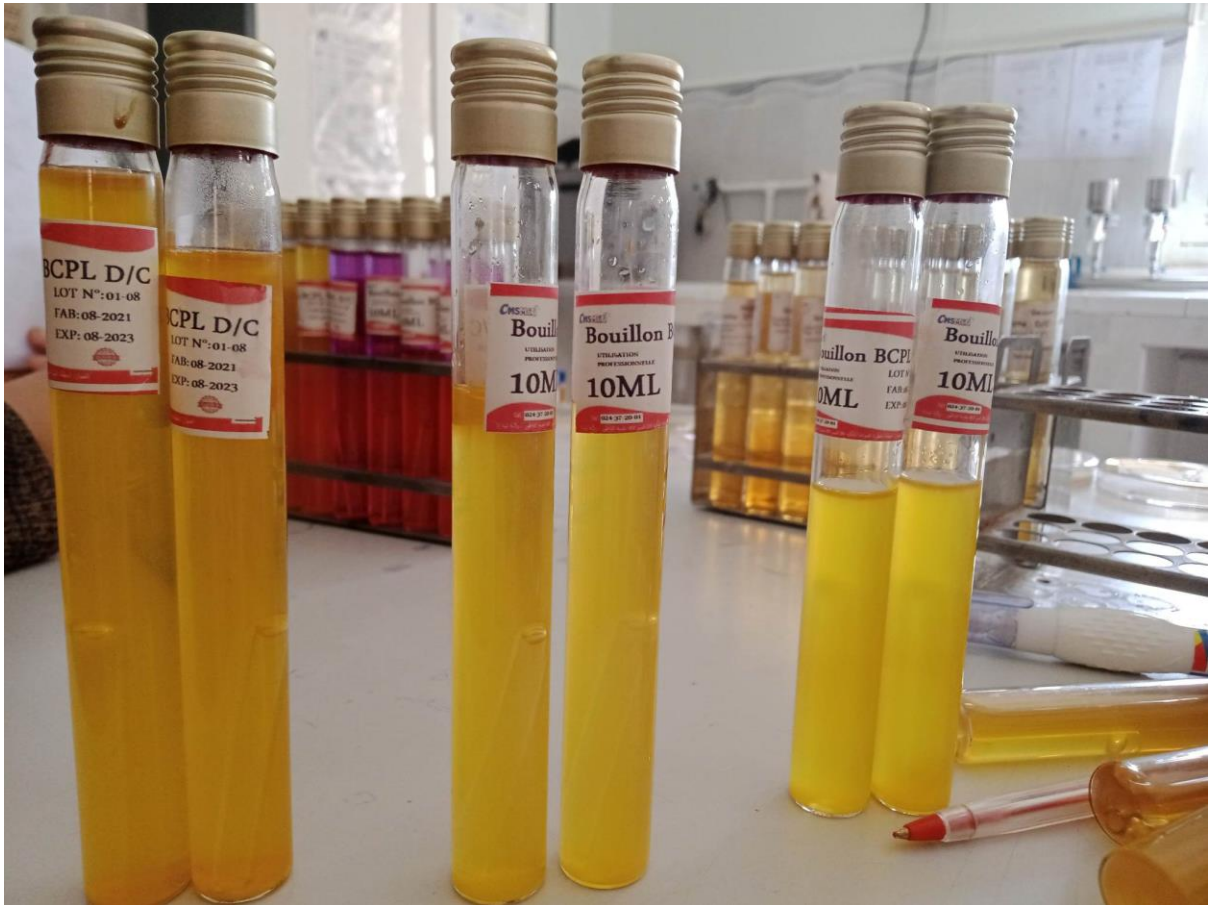
Annexes



Annexes



Annexes



Observation des clostridium sulfito- réducteur et des coliformes fécaux et totaux