



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahim B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم بيئة ومحيط

Département d'Ecologie et Environnement



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Biodiversité et Environnement

Intitulé :

Analyse physico-chimique et bactériologique des eaux des puits et des forages de Bordj Bou Arreridj (Bordj el Ghadir)

Présenté par :

Siouda Rihem

Soutenu le 12 / 06 / 2024, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	Mme REGOUI CHELBIA	MAA	Université de B.B.A.
Encadrant :	Mme BAAZIZ NAIMA	MCB	Université de B.B.A.
Examineur :	Mr ZAAFOUR Mohamed Djilil	MCB	Université de B.B.A.

Année Universitaire 2023/2024

Remerciement

Avant tout, je remercie Allah le Tout-Puissant qui m'a guidé tout au long de ma vie.

Il m'a donné le courage et la patience nécessaires pour traverser les moments difficiles et m'a permis d'achever ce travail, que j'ai aujourd'hui le plaisir de vous présenter. La réalisation de ce mémoire a nécessité la collaboration de nombreuses personnes, que je souhaite remercier ici.

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma gratitude à mon encadreur, **Dr. Baaziz Naima** qui m'a accordé sa confiance et a mis à ma disposition tous les moyens et ressources nécessaires à la réalisation de ce travail. Son soutien et ses conseils ont été inestimables.

Je remercie également chaleureusement les membres du **jury** pour l'honneur qu'ils me font en évaluant mon travail. Leur expertise et leurs commentaires constructifs sont grandement appréciés.

Mes remerciements s'adressent également à tous les enseignants du département de Sciences de la Nature et de la Vie pour leur enseignement et leur soutien tout au long de mon parcours académique.

Je remercie les membres des laboratoires du département des Sciences pour leur disponibilité et leurs encouragements. Leur aide pratique a été essentielle au bon déroulement de ma recherche.

Enfin, merci à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Votre soutien a été précieux et je vous en suis profondément reconnaissant.

Merci





Dédicace

Après un parcours académique qui a duré des années et qui a entraîné beaucoup de difficultés, d'épreuves et de fatigue, me voici aujourd'hui, debout sur le seuil de mon diplôme, récoltant les fruits de mon travail et levant mon chapeau avec fierté.

Je dédie ce mémoire A notre Dieu, le tout puissant, pour le souffle dont il nous fait grâce, car c'est à lui seul que nous devons notre vie. Que la gloire lui soit rendue.

Au meilleur des pères « LAMRI », qui m'a donnée toujours le courage, l'espoir et la chance d'atteindre mes butes. A ma très chère maman « NADJET », qu'elle trouve en moi la source de sa fierté, à qui je dois tout. A mes frère « LOAY et MOHAMED » Ma grande sœurs « OUIEM » À mon neveu « TITOU » ,

À celui qui m'a soutenu toujours et pour toujours A mon amie d'enfance et ma sœurs « AMIRA » merci d'être toujours à mes côtés

à mes chère amis « Fatima », « HADIL », « SAIDA », « KHOLOUD » ,

« AMINA » « SOUHIR », « CHAIMA », merci pour tout

Oh dieu, fais-en une bonne fin et le début d'un plus grand chemin.

RIHEM

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Sommaire

Liste des abréviations.

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Résumé

Introduction générale..... 1

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 01 : GENERALITE SUR L'EAU.

1.1. Définition de l'eau	4
1.2. Cycle de l'eau	4
1.3. Répartition de l'eau sur la terre	5
1.4. Propriété de l'eau	5
1.4.1. Propriétés physiques.....	5
1.4.2. Propriétés chimiques	6
1.4.3. Propriétés biologiques	6
1.5. Les ressources hydriques naturelles	6
1.5.1. Les eaux de surface	7
1.5.2. Les eaux souterraines	7
1.5.3. Eaux de mers et océans	7
1.6. La différence entre eaux souterraines et eaux surfaces.....	8

CHAPITRE 02 : Aperçu sur les eaux Souterraines

2.1. Les eaux souterraines.....	9
2.1.1. L'eau de source	9
2.1.2. L'eau des Nappes	9
2.2. Modes de captage des eaux souterraines	10
2.2.1. Le puits.....	10

2.2.2.	Le forage.....	12
2.3.	Qualité des eaux	12
2.3.1.	Définition d'une eau potable.....	12
2.3.2.	Les caractéristiques de l'eau potable.....	12
2.3.3.	Les normes de potabilité.....	12
2.4.	La pollution de l'eau	14
2.4.1.	Définition.....	14
2.4.2.	Les sources de pollution	14
2.4.3.	La pollution des eaux souterraines	15
2.5.	Les maladies d'origine hydrique	15
2.5.1.	Maladies d'origine bactérienne	16
2.5.2.	Maladies d'origine virale.....	16
2.5.3.	Maladies d'origine parasitaire.....	17
2.6.	Les paramètres de la qualité de l'eau	18
2.6.1.	Les paramètres physico-chimiques	18
2.6.2.	Les paramètres bactériologiques	23

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 03 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1.	La zone d'étude	25
3.2.	Réseau Hydrographique.....	26
3.3.	Topographie	27
3.4.	Pédologie	27
3.5.	Climatologie.....	28
3.5.1.	Précipitations.....	28
3.5.2.	Températures	29
3.6.	Stratégies d'échantillonnage.....	30
3.6.1.	Prélèvement d'échantillon	30
3.6.2.	Prélèvement physico-chimique.....	30
3.6.3.	Prélèvement microbiologique	31
3.7.	Matériel et Méthodes.....	31
3.8.	Méthodes d'analyses.....	31

3.9. Détermination des paramètres organoleptiques.....	32
3.9.1. Caractères organoleptiques	32
3.10. L'analyse des paramètres physico-chimiques	33
3.10.1. Paramètres physiques	33
3.10.2. Les paramètres chimiques	35
3.11. L'analyse des paramètres bactériologies	37

CHAPITRE 04 : RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Choix des sites.....	40
4.2. Résultats des analyses organoleptiques.....	40
4.3. Résultats des analyses physico-chimiques	41
4.3.1. Résultats des analyses physique.....	47
4.3.2. Paramètres chimiques.....	54
4.4. Résultats des analyses bactériologique	54
Conclusion	57

Référence bibliographique

Annexe

Liste des abréviations

ANRH : Agence nationale des ressources hydriques.

AFNOR: Association française de normalisation.

BBA : Bordj Bou Arreridj.

°C : Degré Celsius.

CE : Conductivité électrique.

Cl⁻ : chlorures.

CE : Conductivité électrique.

CT : Coliformes totaux.

DSP : direction de la santé et de la population

Ech : Echantillon.

FTAM : Flore mésophile aérobie totale.

F° : degrés français.

JORA : journal officiel Algérie.

MES : Matières. En. Suspension

M (C°) : moyenne maximale.

m (C°) : moyenne minimale.

Na⁺ : Sodium.

NO₂⁻ : Nitrite.

NO₃⁻ : Nitrate.

NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique

OMS : Organisation mondiale de la santé.

PCA : Plate Count Agar

pH : Potentiel hydrogène

PO₄⁻ : phosphate.

TH : Titre hydrotimétrique.

UFC/ml : Unité Faisant Colonie par millilitre.

VRBG : Violet Red Bile Glucose.

μS/cm : Microsiemens par centimètre.

LISTE DES FIGURES

Figure01 : Cycle de l'eau	04
Figure0 2 : La diversité des ressources en eau	05
Figure 03 : Les différents types de nappes	10
Figure 04 : Les principaux types de puits domestiques	11
Figure 05 : La différence entre puit et forage	12
Figure 0 6 : La situation géographique de la wilaya de Bordj Bou Arreridj	25
Figure 07 : La situation géographique de de la commune de Bordj Ghedir	26
Figure 08 : Diagramme Ombrothermique de la wilaya de B.B.A (2012 – 2022).	30
Figure 09 : La variation de la température des eaux étudiées.	41
Figure10 : La variation du pH des eaux étudiée	42
Figure 11 : La variation de la conductivité des eaux étudiées	43
Figure 12 : La variation du Turbidité des eaux étudiées.	44
Figure 13 : La variation de la salinité des eaux étudiées	45
Figure 14 : La variation du résidu sec des eaux étudiées	45
Figure 15 : La variation de la matière en suspension des eaux étudiées	46
Figure 16 : La variation de dureté totale des eaux étudiées	47
Figure 17 : La variation de la matière organique des eaux étudiées	48
Figure 18 : La variation de chlorure des eaux étudiées	49
Figure 19 : La variation de sodium des eaux étudiées	50
Figure 20 : La variation de nitrate des eaux étudiées	51
Figure 21 : La variation de nitrite des eaux étudiée	52
Figure 22 : La variation de sulfates des eaux étudiée	53
Figure 23 : La variation de phosphates des eaux étudiées	53
Figure 24 : La variation du FTAM des eaux étudiées	54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Différence entre eaux souterraines et eaux surfaces	08
Tableau 02 : les normes de potabilité algériennes	14
Tableau 03 : Origines et natures de différentes sources de pollution de l'eau	15
Tableau 04 : Classification d'une eau selon leur PH	18
Tableau 05 : Les classes de turbidité de l'eau	19
Tableau 06 : Potabilité de l'eau en fonction des résidus secs	20
Tableau 07 : La classification selon la dureté	21
Tableau 08 : Valeurs des précipitations mensuelles exprimées en mm obtenues en (2012-2022)	29
Tableau 09 : Température moyenne exprimée en degré Celsius, dans la région de Bordj Bou Arreridj	29
Tableau 10 : Présentation des échantillons	40
Tableau 11 : Résultats des analyses organoleptiques.	41

RÉSUMÉ

L'eau est un élément vital, considéré comme un aliment de base précieux. Les eaux souterraines, souvent utilisées comme source d'approvisionnement en eau par le biais de puits et de forages, peuvent contenir des éléments indésirables ou toxique et la qualité peut être affectée par divers facteurs physico-chimiques et bactériologiques. Ces contaminants représentent une menace pour la santé humaine à court et à long terme.

Dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj, l'expansion démographique a rapproché les zones résidentielles des installations potentiellement dangereuses, telles que les stations-service à l'essencerie et les cimetières. Parallèlement, le domaine agricole s'est développé. Ces changements nous ont poussés à examiner et évaluer la qualité de l'eau de dix puits et forages destinés à la consommation humaine dans divers quartiers de la commune de Bordj Ghedir. Notre objectif est de déterminer si la proximité de ces installations a un impact sur la qualité de l'eau et si elle présente un risque pour la santé des habitants locaux. Les analyses ont été effectuées sur différents échantillons des eaux des puits et forages en mesurant les paramètres physico-chimiques suivants : température, pH, conductivité, turbidité, salinité, matières en suspension, résidus secs, dureté totale, matière organique, nitrate, nitrite, chlorure, sodium, sulfate, et phosphate. En revanche, les analyses microbiologiques ont porté sur les germes, notamment les coliformes totaux, les coliformes fécaux et la flore mésophile aérobie totale. Selon les résultats obtenus, la plupart des paramètres physico-chimiques conformes aux normes algériennes et celles de l'OMS. Révélant l'absence totale de germes de contamination fécale et la présence de flore mésophile aérobie totale.

Les mots clés : les paramètres physico-chimiques, les analyses bactériologiques, puits, forage, Bordj Ghadir

ملخص

الماء عنصر حيوي، ويعتبر غذاءً أساسياً ثميناً. يمكن أن تحتوي المياه الجوفية، التي غالباً ما تستخدم كمصدر للمدادات المياه من خلال الآبار، على عناصر غير مرغوب فيها أو سامة ويمكن أن تتأثر جودتها بعوامل فيزيائية وكيميائية وبكتريولوجية مختلفة. وتشكل هذه الملوثات تهديداً لصحة الإنسان على المدى القصير والطويل. في ولاية برج بوعريش، أدى التوسع الديموغرافي إلى تقريب المناطق السكنية من المرافق التي يحتمل أن تكون خطيرة، مثل محطات الوقود والمقابر. وفي الوقت نفسه، توسعت الزراعة. وقد دفعنا هذه التغييرات إلى فحص وتقييم جودة المياه في عشرة آبار مخصصة للاستهلاك البشري في مختلف أحياء بلدية برج غدير. هدفنا هو تحديد ما إذا كان لقراب هذه المنشآت تأثير على جودة المياه وما إذا كانت تشكل خطراً على صحة السكان المحليين. تم إجراء تحاليل على عينات مختلفة من المياه من الآبار، وقياس المعايير الفيزيائية والكيميائية التالية: درجة الحرارة، الألس الهيدروجيني، الموصلية، التعكر، الملوحة، المادة العالقة، البقايا الجافة، العسر الكلي، المادة العضوية، النترات، النتريت، الكبريت، الكلوريد، الصوديوم، الكبريتات والفسفات. من ناحية أخرى، ركزت التحاليل الميكروبيولوجية على الجراثيم، ولا سيما القولونيات الكلية والقولونيات البرازية والبكتيريا

الكلمات المفتاحية: المعايير الفيزيائية والكيميائية، التحاليل البكتريولوجية، الآبار، برج غدير

Abstract

Water is a vital element, considered a precious staple food. Groundwater, often used as a source of water supply through wells and boreholes, can contain undesirable or toxic elements, and its quality can be affected by various physico-chemical and bacteriological factors. These contaminants represent a threat to human health in both the short and long term.

In the wilaya of Bordj Bou Arreridj, demographic expansion has brought residential areas closer to potentially hazardous installations, such as petrol stations and cemeteries. At the same time, agriculture has expanded. These changes prompted us to examine and assess the water quality of ten wells and boreholes intended for human consumption in various districts of the Bordj Ghadir commune. Our aim is to determine whether the proximity of these installations has an impact on water quality, and whether it presents a health risk for local residents. Analyses were carried out on various well and borehole water samples, measuring the following physico-chemical parameters: temperature, pH, conductivity, turbidity, salinity, suspended solids, dry residue, total hardness, organic matter, nitrate, nitrite, chloride, sodium, sulfate and phosphate. On the other hand, microbiological analyses focused on germs, notably total coliforms, faecal coliforms and total aerobic mesophilic flora. According to the results, most of the physico-chemical parameters complied with Algerian and OMS standards. Revealing the total absence of fecal contamination germs and the presence of total aerobic mesophilic flora.

Key words: physico-chemical parameters, bacteriological analysis, well, borehole, Bordj Ghadir

Introduction

Selon » **(Hubert, 2007)** « À l'échelle cosmique, l'eau liquide est plus rare que l'or. Pour la vie, elle est infiniment plus précieuse. La terre est généralement appelée la « planète Bleue » dont elle représente (3/4) trois quarts de sa surface. L'eau est le principal constituant de la matière vivante, englobée dans la biosphère. **(Kher fi et Achi, 2016)**.

A nos jours, parlant des ressources renouvelables nous conduit à évoquer l'eau comme un grand participant au recyclage. L'évaporation, l'énergie solaire, les précipitations, le ruissellement de surface et souterrain sont les étapes du cycle. Le problème de l'eau est un problème de quantité et de qualité, Ainsi l'eau peut contenir une multitude de composants chimiques d'origine naturelle ou anthropique. Donc, une eau destinée à la consommation humaine est potable lorsqu'elle est exempte d'éléments chimiques (substances toxiques, matières minérales et organiques en excès) et biologiques (germes pathogènes) susceptibles de provoquer des maladies à transmission hydrique, à plus ou moins long terme **(John & Donald, 2010)**

Dans la nature, l'eau est exposée à des pollutions de toutes sortes. Les phénomènes de contamination des eaux peuvent être observés à différents aspects, les rejets des eaux usées, domestiques, l'épandage de fumiers et de lisiers peuvent entraîner des microorganismes pathogènes dans l'eau et la rendre impropre à la consommation **(Bourgeois et al.,1998)**. Ces dernières proviennent de l'absence de traitements de désinfection des eaux, de son mauvais fonctionnement et/ou de son inefficacité, aussi par des incidents technologiques ; les cross-connexions ou intercommunication eaux propres et eaux usées, siphonages des eaux polluées dans le réseau de distribution **(Bouziani, 2000 ; Bourgeois et al., 1998)**,

Selon l'**OMS (2005)**, chaque année 1,8 millions de personnes dont 90% d'enfants de moins de cinq ans, vivant pour la plupart dans les pays en développement, meurent de maladies à transmission hydriques (y compris du choléra), 88% des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau, à un assainissement insuffisant et à une hygiène défectueuse. En Algérie, plusieurs facteurs peuvent expliquer la situation de ce stress : croissance démographique, évolution de la demande en eau ... ainsi les ressources limitées, vulnérables et inégalement réparties. Face à cette situation, les ressources en eau ne suffiront pas à long terme. Du coup, l'Algérie est appelée à développer ses capacités en ce qui concerne la maîtrise de l'eau, la bonne estimation de la demande en eau qui offre une meilleure gestion des ressources.

Dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj, Habituellement, les installations potentiellement dangereuses telles que les stations-service (à l'essencerie) et les cimetières étaient situées à distance des zones habitées. Cependant, avec la croissance démographique et l'expansion urbaine, ces installations se sont considérablement rapprochées des zones résidentielles. Le secteur agricole a également été impacté par cette évolution, où l'utilisation intensive de produits chimiques tels que les engrais et les pesticides est devenue courante en raison de l'amélioration des ressources et des équipements.

Ces évolutions nous ont incités à étudier et à évaluer la qualité de l'eau de dix puits et forages destinés à la consommation humaine dans divers endroits de la commune de Bordj Ghedir dans la période étendue de février jusqu'à avril 2024. Notre objectif est de déterminer si la qualité de l'eau à proximité de ces installations est affectée et si elle présente un risque pour la santé des habitants locaux.

Quel est l'impact de la proximité de ces installations et les pratiques agricoles intensives sur la qualité de l'eau souterraine dans la commune de Bordj Ghedir, et quels sont les risques pour la santé des populations locales ?

Ce mémoire sera structuré en quatre chapitres principales :

Il commencera par une introduction générale. suivie d'une synthèse bibliographique qui contient :

Chapitre 01 : Généralités sur l'eau

Chapitre 02 : aperçus sur les eaux souterraines

Ensuite, une partie expérimentale qui contient :

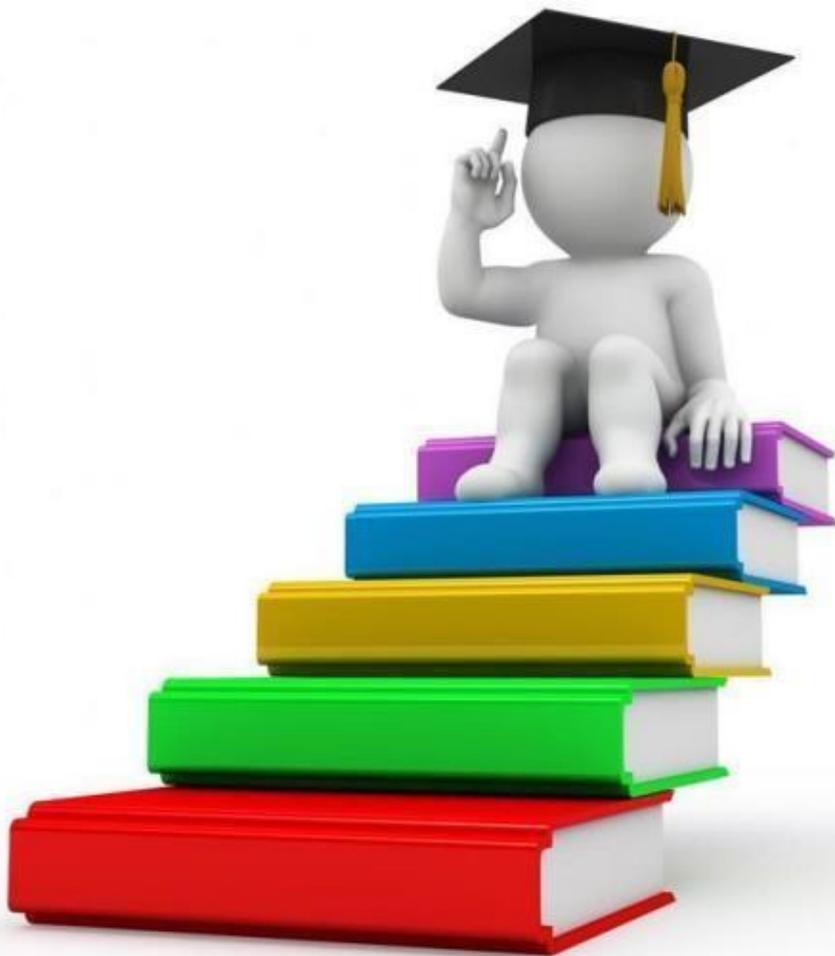
Chapitre 03 : Matériel et méthodes.

Chapitre 04 : Résultats et discussion.

Enfin, nous avons terminé notre travail par une conclusion générale et des recommandation

Synthèse

Bibliographique



CHAPITRE 01

Généralités sur l'eau

1.1. Définition de l'eau

Nom féminin d'origine latine, aqua, l'eau est un corps incolore, inodore et insipide à température ordinaire et de PH neutre (Assouline et Assouline, 2007). L'eau est un élément sous forme liquide en condition standards (T° et P ambiante), composée des molécules qui associent deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène sous la forme H₂O. Elle est présente partout dans la nature, et elle agit comme un excellent solvant, entrant dans la composition de la majorité des organismes vivants (Aissaoui, 2013).

1.2. Cycle de l'eau

L'eau se distingue en tant que seule molécule présente sous trois états distincts sur terre : solide, liquide et gazeux. Elle peut passer d'un état à un autre sans intervention humaine, avec ces changements principalement régis par la température, la pression, et également par les composés chimiques dans l'atmosphère, donc impactés par la pollution atmosphérique. Le cycle de l'eau, illustré dans la Figure ci-dessous (figure n°1), démystifie ce processus complexe de transformations successives de l'eau à travers ses différentes phases. Les trois principales étapes du cycle peuvent être synthétisées comme suit : évaporation, précipitation, écoulements souterrains et de surface. L'énergie solaire constitue le moteur essentiel de ces phases. (Hugonin, 2011).

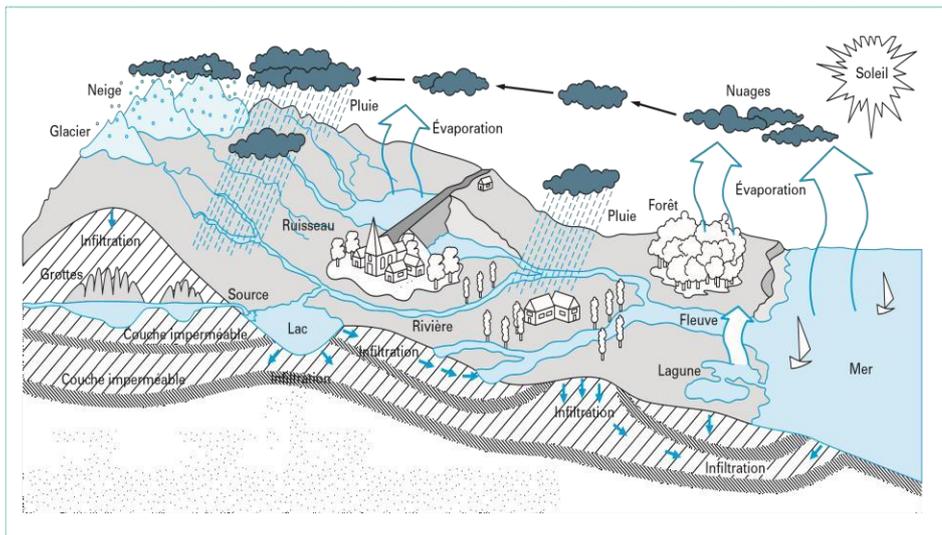


Figure1 : Cycle de l'eau (Boeglin, 2009).

1.3. Répartition de l'eau sur la terre

La Terre porte le nom de planète bleue parce que c'est ainsi qu'elle apparaît depuis l'espace du fait que sa surface est couverte d'eau à 70 %. le volume total d'eau que la Terre porte est de 1,4 milliards de km³. L'eau douce représentée 2,53 % de ce volume (**Peter et al.,2010**). La figure ci-dessous représente la diversité des sources d'eau et les pourcentages de chaque source.

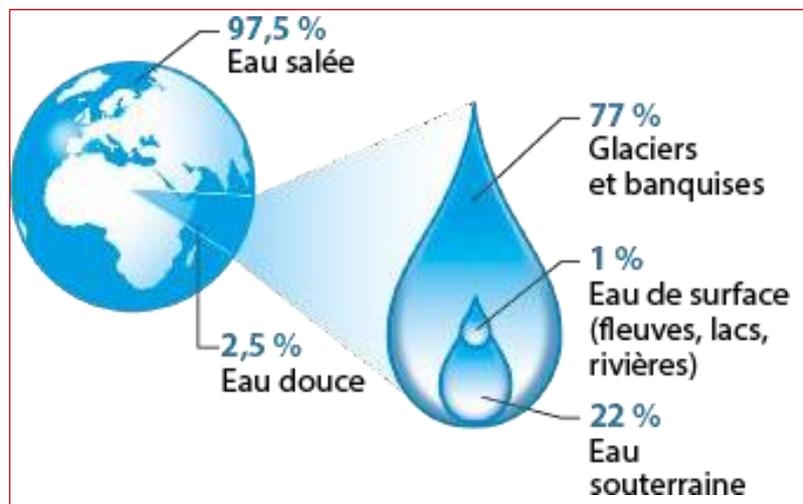


Figure 2 : La diversité des ressources en eau (**Annabac, 2022**).

1.4. Propriété de l'eau

Indispensable à la vie, catalyseur de nombreuses réactions chimiques, Le caractère banal de l'eau qui nous entoure, fait parfois oublier que ce liquide qui nous est si familier s'avère en réalité par ses propriétés si particulières à la fois le fluide le plus indispensable à la vie et celui dont la complexité est la plus remarquable (**Lounassas, 2009**).

1.4.1. Propriétés physiques

Le caractère polaire de la molécule d'eau est à l'origine d'associations possibles entre les molécules d'eau ; il donnera lieu à bien des anomalies physiques que nous signalons brièvement, telles que : la Température d'ébullition, la masse volumique, la viscosité, la tension superficielle (**Lounassas, 2009**).

1.4.2. Propriétés chimiques

L'eau, avec son énergie de formation élevée de 242 kJ/mol, démontre une stabilité remarquable. Cette stabilité, en combinaison avec ses propriétés électriques et sa structure moléculaire, la rend capable de dissoudre efficacement divers corps gazeux, liquides polaires et solides. La solvatation, qui représente l'action hydratante de l'eau, résulte de la rupture et de la formation de nouveaux liens chimiques avec les molécules d'eau, aboutissant à une dissolution complète ou partielle des solutés et donc à une réaction chimique significative. (Lounassas, 2009).

1.4.3. Propriétés biologiques

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants. Il existe un cycle biologique, cycle au cours duquel s'effectue une série d'échanges ; l'eau entre pour une grande part dans la constitution des êtres vivants (Dajoz, 1982).

1.5. Les ressources hydriques naturelles

L'homme à recours généralement, pour satisfaire ses propres besoins en eau et permettre son usage dans ses diverses activités industrielles et agricoles, à trois types de ressources naturelles :

- Les eaux souterraines.
- Les eaux de surface (rivières, fleuves et lacs).
- Les eaux salines (eaux de mer et océans).

Selon (Dégréement, 2005) les caractéristiques générales de chacune de ces sources reflètent l'interaction de l'eau et du milieu environnant. L'eau à l'état naturel (superficielle, souterraine ou saline) n'est jamais « pure » ; c'est un milieu vivant qui se charge de très divers éléments en contact des milieux qu'elle traverse et sur lesquels elle ruisselle.

1.5.1. Les eaux de surface

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 (**Dégréement, 2005**).

1.5.2. Les eaux souterraines

Ce sont les eaux qui ne sont ni réévaporés, ni retournées à la mer par ruissellement s'infiltrant dans le sol et dans le sous-sol et s'y accumulée (**Boeglin, 2009**).

1.5.3. Eaux de mers et océans

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de 97.5% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète, le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraine et superficielles). Les eaux de mers sont caractérisées par une grande salinité, elles sont dénommées aussi « eaux saumâtres », ce qui rend leur utilisation difficile, notamment leur coût très élevé pour leur traitement (**Boeglin, 2001**).

1.6. La différence entre eaux souterraines et eaux surfaces

Tableau 01 : Différence entre eaux souterraines et eaux surfaces (Bourrier et Selmi, 2011).

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant les saisons	Relativement constante
Turbidité, MES	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle
Couleur	Liée surtout aux MES (argiles, algues)	Liée surtout aux matières en solution (acide humique par exemple)
Fe et Mn divalent (à l'état dissous)	Généralement absents sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation.	Généralement présents Sensiblement
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets.	Constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
CO ₂ agressif	Généralement absent	Souvent présent en grande quantité.
Oxygène dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation. Absent dans le cas d'eaux très polluées.	Absent dans la plupart du temps.
H ₂ S	Généralement absent.	Souvent présent
NH ₄	Présent seulement dans les eaux polluées.	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Peu abondant en général	Teneur parfois élevée.
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps.
Eléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton.	Ferro bactéries fréquentes.

Chapitre 02
Aperçu sur les eaux
Souterraines

2.1. Les eaux souterraines

On entend par « eau souterraine » l'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels que les sables et les graviers. Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas rassemblée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain (**Myrand, 2008**). L'eau souterraine provient essentiellement de l'infiltration de l'eau de pluie, qui atteint les nappes aquifères en traversant les couches souterraines. L'origine de l'infiltration est due à l'état et la structure du sol et sa porosité (le sol complètement saturé empêchera l'infiltration de l'eau) (**Anctil, 2016**). L'eau souterraine sort naturellement à la surface du sol sous forme de source ou elle est extraite par forage de puits (**Bouziari, 2006**).

2.1.1. L'eau de source

On peut définir une source comme l'émergence à la surface du sol de l'eau provenant d'une nappe aquifère souterraine. Chaque source est alimentée par une portion spécifique de la nappe aquifère à laquelle elle est reliée (**Gomella et al., 1974**). Elles se distinguent par leurs caractéristiques naturelles, telles que leur teneur en minéraux, en oligoéléments et autres constituants, ainsi que par leur pureté originelle (**Lachassagne, 2021**).

2.1.2. L'eau des Nappes

L'aquifère, ou encore la nappe d'eau souterraine est un gisement d'eau souterraine utilisable comme source d'eau (**Kettab, 1992**). Les nappes ne sont ni des lacs ni des cours d'eau souterrains. Les nappes d'eau souterraine sont de l'eau contenue dans les pores ou les fissures des roches saturées par les eaux de pluie qui se sont infiltrées (**AEAG, 2012**). Les nappes peuvent être classées en deux différents types de nappes :

- **Nappe libre**

Il s'agit d'une nappe qui a la possibilité de s'étendre librement vers le haut, car la zone perméable, où se situe la nappe aquifère, n'est pas recouverte par une couche imperméable.

- **Nappe captive**

Quand une couche perméable est enfermée entre deux couches imperméables, la nappe ne peut pas s'étendre vers le haut et est ainsi désignée comme une nappe captive. (Bonnin, 1982).

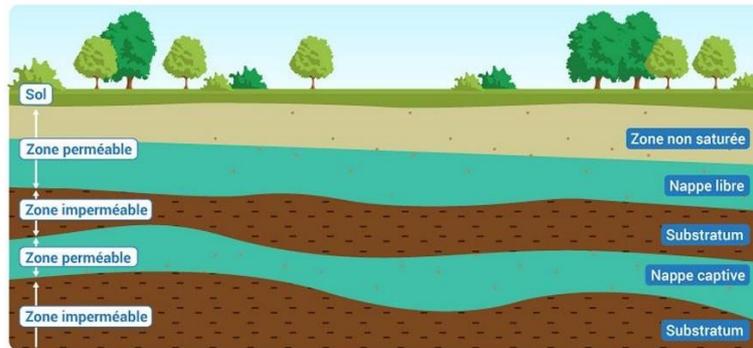


Figure 03 : Les différents types de nappes (Technic eau.ca.com)

2.2. Modes de captage des eaux souterraines

On peut exploiter les eaux souterraines soit de manière ponctuelle, à leur émergence naturelle, grâce au captage de sources, soit par des puits et des forages répartis sur la surface du territoire où l'aquifère choisi (Collin, 2004).

2.2.1. Le puits

C'est un ouvrage creusé à la main, à l'aide de pics, par des puisatiers, notamment dans les roches considérées (craie, grès...) (Collin, 2004), en général de profondeur moyenne ou faible (inférieur à 100m), d'un diamètre supérieur à 1,2m aux parois revêtues au moins partiellement de béton ou de maçonnerie (Lallemand et Jean-Claude 1999). Les puits ne permettent d'exploiter que la nappe phréatique (Vilagines, 2000).

2.2.1.1. Les types de puits

A partir de différente manière de creusement, on distingue plusieurs types de puits

- **Puits ordinaires**

Les puits ordinaires sont des puits fréquemment réalisés les zones rurales (puits individuels ou semi collectifs). Ils sont généralement creusés à la main et où la nappe phréatique se trouve à moins de 20 mètres du niveau de sol. Leur profondeur

généralement de 1 à 15 mètres, avec un diamètre de 1 à 2,5 mètres environ (Kahoul, 2017).

- **Puits de surface**

C'est un ouvrage de captage dont le diamètre intérieur est généralement supérieur à 60cm et qui a une profondeur plus de 9 m à partir de la surface du sol. Comme il est alimenté à partir de la nappe phréatique (ou aquifère libre) (Barrette, 2006).

- **Puits foncés ou puits tubulaire**

Un puits tubulaire est un ouvrage de captage généralement de petit diamètre (152 mm), de grande profondeur et aménagé avec une foreuse par une firme de puisatier (Kahoul, 2017).

- **Puits artésien**

Le puits artésien est obtenu en perforant une couche de sol ou de roche imperméable pour accéder à une nappe d'eau sous pression nommée la nappe artésienne. Cette nappe est généralement située à plus de 100 pieds de profondeur. Le puits artésien est habituellement fiable et stable toute l'année et est l'option de choix parce qu'il est moins vulnérable à la contamination bactérienne que le puits de surface (Renald, 2003).

- **Puits d'infiltration**

Les puits d'infiltration (aussi appelés puits de captage) sont des structures qui permettent l'évacuation du ruissellement de surface par des canalisations souterraines. Les puits d'infiltration sont essentiellement utilisés pour les eaux de toiture. Ils peuvent garantir une protection de la qualité des eaux souterraines en cas de pollution. (Stampfli, 2007).

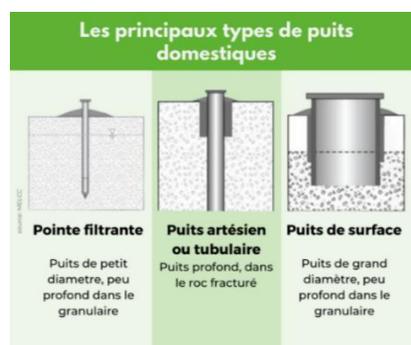


Figure 04 : Les principaux types de puits domestiques (Technic eau.ca.com).

2.2.2. Le forage

À grande profondeur, ces ouvrages s'appellent "forage est l'ouvrage moderne le plus répondu pour l'exploitation des eaux souterraines, mais ce terme correspond à l'ensemble des opérations permettant le creusement de trous généralement verticaux (Touahria, 2013). Le forage peut être peu profond, comme il peut dépasser les 1000 mètres. Son diamètre est généralement plus faible que celui du puits et sa paroi est protégée par un tube de métal ou en matière plastique, et une cimentation entre terrain et tubage dans les premiers mètres (Lallemand et Jean-Claude 1999).

Ces grandes profondeurs nous permettent de minimiser le maximum des risques de pollution et de trouver des débits suffisants (Vilagines, 2000).

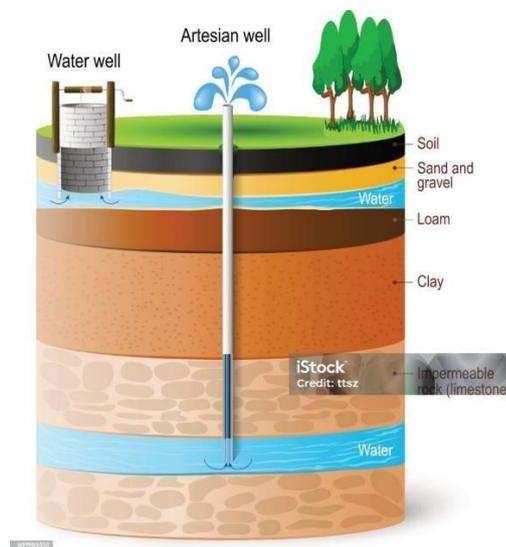


Figure 05 : La différence entre puit et forage (Technic eau.ca.com)

2.3. Qualité des eaux

2.3.1. Définition d'une eau potable

Eau destinée à la consommation humaine, appelée encore eau potable, est définie réglementairement comme une eau devant ne pas contenir un nombre ou une concentration de micro-organismes, de parasites ou de toutes autres substances constituant un danger pour la santé des personnes et être conforme à un certain nombre de limites et de références de qualité, elle peut être utilisée non seulement pour l'alimentation mais aussi pour l'hygiène domestique et personnelle (Legube, 2018).

2.3.2. Les caractéristiques de l'eau potable

Les caractéristiques acceptables d'une eau destinée à la consommation impliquent la garantie de son innocuité pour les êtres humains et les animaux qui la consomment.

Une eau potable doit présenter un ensemble de caractéristiques physiques, chimiques et biologiques spécifiques, et doit répondre à certains critères fondamentaux tels que l'absence de couleur, de saveur et d'odeur, qui sont généralement appréciés par les consommateurs. Toutefois, il convient de noter que ces propriétés ne peuvent être définies de manière absolue ou inconditionnelle (**Khadraoui et Taleb, 2008**).

2.3.3. Les normes de potabilité

L'eau contient des substances ou des micro-organismes qui peuvent être considérés comme indispensables, acceptables, indésirables, voire toxiques ou dangereux en fonction de leur concentration et de leur nature.

Selon les directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (**OMS, 2008**), une valeur guide est définie comme la concentration d'un constituant ne devant pas dépasser le niveau de risque tolérable pour la santé lors d'une consommation sur une longue durée. L'objectif de l'OMS est de protéger la santé humaine en mettant en œuvre des stratégies de gestion des risques pour assurer la sécurité des approvisionnements en eau potable.

En Algérie, il existe des réglementations locales pour la qualité de l'eau de boisson en citant le Journal Officiel de la République Algérienne (**JORA, 2015**) qui représente les différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau de consommation humaine avec des valeurs limites.

Tableau 02 : les normes de potabilité algériennes (**journal officiel, 2015**) et selon l'OMS (2008).

	Normes Algériennes	Normes de l'OMS
PH	6.5-8.5	9.2
T(c°)	25	25
Conductivité (µs/cm)	2800	1400
Dureté totale	500	200
Salinité (mg/l)	–	–
Turbidité (NTU)	5	10
Résidu sec	1500	--
Sulfate (SO₄⁻) (mg/l)	400	500
Chlorure (Cl⁻) (mg/l)	500	600
Sodium (Na⁺) (mg/l)	200	200
Nitrite (NO₂⁻) (mg/l)	0.2	0.1
Nitrate (NO₃⁻) (mg/l)	50	50
Phosphate (Po₄⁻) (mg/l)	0.5	–

2.4. La pollution de l'eau

2.4.1. Définition

Actuellement placée en tête des problèmes de l'environnement car l'eau est une interface entre l'air et le sol subit donc les dégradations de ces deux milieux (**Kahoul, 2017**) Une eau est dite polluée lorsque son équilibre est modifié de façon durable par l'apport en quantités très importantes des substances plus ou moins toxiques, d'origines naturelles ou issues d'activités humaines (**Rodier et al., 2005**).

2.4.2. Les sources de pollution

L'activité humaine, qu'elle soit son origine, industrielle, urbaine ou agricole, produit une quantité de substances polluantes de toute nature qui engendrent de différents types de pollution (**Rodier et al., 2009**).

Tableau 03 : Origines et natures de différentes sources de pollution de l'eau (Henaut, 2011).

Type de pollution	nature	origine
Physique	Rejet d'eau chaude	Centrales thermiques nucléaires
	M.E.S (matière en suspension)	Rejet bains, érosion des sols.
Chimique	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 et les parasites.	Effluents urbains, agricoles.

2.4.3. La pollution des eaux souterraines

L'infiltration d'eau de mer, en conjonction avec la surexploitation des nappes aquifères ou la lixiviation naturelle, représente une source de pollution des eaux souterraines. La majeure partie des contaminations des eaux souterraines découle de l'activité humaine, principalement associée à l'élimination directe des déchets (déchets solides, eaux usées municipales, rejets d'eaux usées, industries pétrolières, élimination des déchets radioactifs) ou indirecte accidents, certaines pratiques agricoles, exploitation, utilisation de sels dégivrants sur les routes, pluies acides, mauvais entretien des puits etc. (Marcel ,1974).

2.5. Les maladies d'origine hydrique

Les maladies transmises par l'eau (MTH) sont responsables d'un taux élevé de mortalité parmi les populations des pays en développement. L'eau contaminée par des microorganismes constitue une source majeure d'infection (Madigan et Martink, 2007).

La dose infectieuse nécessaire pour contracter la maladie varie considérablement en fonction du type de microorganisme et des voies d'exposition.

En règle générale, les virus et les protozoaires nécessitent une dose infectieuse plus faible que les bactéries. Par exemple, l'ingestion de seulement 1 à 10 particules virales ou quelques kystes de protozoaires peut suffire à provoquer la maladie, tandis qu'une concentration allant de 10^3 à 10^6 organismes est nécessaire dans le cas de certaines bactéries (François, 2008).

2.5.1. Maladies d'origine bactérienne

➤ **Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes**

Ce sont de véritables septicémies dues à des salmonella : *Salmonella typhi* et *paratyphi A*, *B* et *C*, la contamination se fait par voie digestive à partir d'eaux contaminées par des matières fécales, d'aliments avariés ou encore par des mains sales (Vilagines, 2010).

➤ **Choléra**

Le choléra est une maladie à incubation courte allant de quelques heures à 5 jours. Le mécanisme d'action est dû à une toxine de 103 acides aminés qui se fixe sur les cellules du duodénum responsables de l'absorption de l'eau de la lumière intestinale vers le milieu intérieur et en inverse le mécanisme ce qui conduit à une perte d'eau de 8 à 10 L/jour (Vilagines, 2010). il est transmis par voie Fécaux-orale directe ou l'ingestion d'eau ou d'aliments contaminés (OMS, 2018).

➤ **La dysenterie**

Terme générique qui caractérise des maladies entraînant une diarrhée douloureuse et sanglante accompagnée de coliques, de nausées et de vomissements. (Briere, 2000).

2.5.2. Maladies d'origine virale

➤ **Entérovirus**

La contamination se fait par voie digestive par l'intermédiaire de l'eau ou des aliments, Il est responsable de formes de paralysies musculaires flasques (Vilagines, 2010).

➤ **Hépatite A**

L'hépatite A se distingue plusieurs agent viraux (mollusque bivalves associées à la consommation de l'eau, fruits et légumes frais contaminés) par sa longue période d'incubation (2 à 6 semaines) (**Vilagines, 2010**).

➤ **Gastroentérites virales**

Rotavirus, de la famille de Réoviridae, ils sont la cause principale de gastroentérite aigue sporadique du jeune enfant et chez l'adulte l'infection est le plus souvent asymptomatique (**Vilagines, 2010**).

2.5.3. Maladies d'origine parasitaire

On distingue deux types différents d'organismes implique dans ces infections :

➤ **Les helminthes**

Ce sont des organismes unicellulaires de type vers. (**Rejsek, 2002**). Sont retrouvés dans les eaux usées brutes et les boues résiduaires (**Capizzi et Schwartzbrod, 1998 et 2003**).

➤ **Les protozoaires**

Ce sont des organismes unicellulaires eucaryotes dont plusieurs sont des agents d'épidémies hydriques. Ce sont des coccidés intestinales parasites obligatoires de tissus, habitant la muqueuse de l'intestin grêle. (**Vilagines, 2010**).

➤ **La bilharziose**

Maladie parasitaire transmise par la douve *Schistosoma mansoni* qui vit dans les veines abdominales de l'homme et expulse ses œufs dans l'urine et les fèces. La victime succombe généralement après des années d'affaiblissement mental (**Masschelein, 1996**).

2.6. Les paramètres de la qualité de l'eau

2.6.1. Les paramètres physico-chimiques

2.6.1.1. Température

La température de l'eau est grandement influencée par les facteurs environnementaux tels que la situation géographique de la région, la géologie des sols traversés, l'hydrologie de l'écosystème et surtout les conditions climatiques qui y règnent (**Bekhouche et al. 2022**). D'après les directives de l'OMS (1994) concernant l'eau potable, l'eau est considérée comme :

- Excellente lorsque sa température est comprise entre 20 et 22°C
- Normale lorsque la température varie entre 22 et 25°C
- Modérée lorsque la température est comprise entre 25 et 30°C (**Kahoul et al, 2014**).

2.6.1.2. PH (Potentiel Hydrogène)

Le potentiel hydrogène (pH) mesure la concentration des ions H⁺ dans l'eau, ce qui permet d'inverser l'équilibre entre les acides et les bases de manière logarithmique sur une échelle de 0 à 14. Ce paramètre est un élément clé de la balance physico-chimique. Dans les eaux naturelles, sa plage de valeurs est comprise entre 6 et 8,5 (**Abboudi et al., 2014**). Bien que le pH n'ait pas généralement d'impact direct sur les consommateurs, il est l'un des paramètres opérationnels les plus importants pour évaluer la qualité de l'eau (**OMS, 2017**).

Tableau 04 : Classification d'une eau selon leur PH (**Rodier et al., 2009**).

PH <5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
PH=7	Ph neutre
7<PH<8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH <8	Majorité des eaux souterraines
PH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

2.6.1.3. Conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, et elle est en relation directe avec la salinité de l'eau. Ainsi, plus l'eau contient des sels minéraux ionisés, plus sa conductivité est élevée. En outre, la température de l'eau a également une incidence sur sa conductivité (**Bekhouché et al., 2022**). L'unité de mesure de la conductivité est le siemens par mètre (S/m), mais dans le cas de l'eau, on utilise couramment le microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (**Derradji et Mechehoud, 2021**).

2.6.1.4. Turbidité

La turbidité de l'eau est due à la présence de particules en suspension, notamment de particules colloïdales : argile, limon, particules de silice, matière organique.

Pour la sécurité des consommateurs, la turbidité de l'eau potable doit être inférieure à 5 NTU (unités de turbidité néphélométrie) (**Rodier, 1984 ; Rodier, 2009**).

Tableau 05 : Les classes de turbidité de l'eau (**Rodier et al., 2009**).

NTU<5	Eau claire
5<NTU<30	Eau légèrement trouble
NTU>50	Eau trouble

2.6.1.5. Salinité

La concentration en sel (NaCl) et autres sels dissous dans l'eau est un élément écologique spécifique aux habitats aquatiques (et également aux sols) qui est appelé salinité. Tout changement imprévu de la salinité résultant de l'activité humaine peut avoir des conséquences graves sur les habitats aquatiques correspondants (**Ramade, 2011**).

2.6.1.6. Matières en suspensions (MES)

Ce sont des particules solides dont la taille est supérieure à $10\mu\text{m}$, dispersées dans l'eau, sans être chimiquement liées avec elle. De ce fait, leur élimination est assez simple car, si on laisse reposer l'eau, elles décantent de manière spontanée et peuvent être retirées de l'eau par des procédés physiques simple (décantation, filtration) (**Rejsek, 2002**).

2.6.1.7. Le résidu sec

Le résidu sec donne une information sur la teneur en substances dissoutes non volatiles (le taux des éléments minéraux). Suivant le domaine d'origine de l'eau cette teneur peut varier de moins de 100 mg/l (eaux provenant de massifs cristallins) à plus de 1000 mg/l. (Berne et Jean, 1991).

Tableau 06 : Potabilité de l'eau en fonction des résidus secs (RODIER *et al.*, 2009).

Résidus secs (mg/l)	Potabilité
Rs < 500	Bonne
500 < Rs < 1000	Passable
3000 < Rs < 4000	Mauvaise

2.6.1.8. Matières organiques (MO)

Par définition, ces entités sont des composés organiques contenant du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote (REJSEK, 2002). Leur origine est multiple, mais elles proviennent principalement de l'humus, étant largement répandues dans tous les écosystèmes aquatiques (Benkaddour, 2018). Elles influent sur de nombreux paramètres de qualité de l'eau, tels que sa couleur, ses odeurs, ses saveurs, entre autres (Lounnas, 2009). Leur décomposition résulte de leur instabilité chimique et de l'action des microorganismes aquatiques, conduisant à la formation de composés de plus en plus simples (Rejeseck, 2002).

2.6.1.9. Dureté totale (TH)

Ce critère désigne la quantité de sels de métaux alcalino-terreux dans l'eau, notamment le calcium, le magnésium et le baryum. Étant donné que le strontium et le baryum sont souvent présents en faibles quantités, la dureté totale est principalement mesurée en fonction des concentrations d'ions calcium et magnésium, exprimées en milli moles ou milligrammes par litre (m mol/L ou mg/L) ou en degrés français (°F) (Derwich *et al.*, 2010).

La classification des eaux naturelles selon leur titre hydrométrique (dureté) représentée dans le tableau suivant :

Tableau 07 : La classification selon la **dureté (Rodier, 1984)**.

Dureté totale (°F)	Désignation	Valeur
0-7	Très douce	Assez bonne
7-14	Douce	Très bonne
14-21	Moyennement dure	Bonne
21-32	Dure	Admissible
32-53	Dureté prononcée	Encore admissible
> 53	Très dure	Non appropriée

2.6.1.10. Les chlorures (Cl⁻)

La lithosphère (partie solide de la sphère terrestre) est composée d'environ 0.05 % d'ions chlorures, dont la majorité se trouve dans les océans. En général, on retrouve l'ion chlorure dans toutes les eaux, à des concentrations différentes dans les eaux de surface, tandis qu'il est faible dans les eaux souterraines. Selon (**Lapeugue & Ribstein, 2006**) la quantité d'ions chlorure peut atteindre quelques grammes par litre lorsqu'ils entrent en contact avec certaines formations géologiques. On les utilise fréquemment comme un indicateur de pollution. Leur impact sur la faune et la flore aquatiques et sur la croissance des végétaux est important (**Makhoukh et al., 2011**).

2.6.1.11. Sodium (Na⁺)

La présence du sodium dans des sels se manifeste sous la forme d'ions Na⁺. Il fait partie intégrante de l'eau, mais sa quantité peut être très variable. Très soluble dans l'eau, il se trouve généralement à des concentrations relativement faibles dans les eaux non traitées.

Si sa concentration dépasse les 200mg/l, cela peut altérer la qualité organoleptique de l'eau (**Si Abderrahmane, 2016**).

L'absorption de quantités relativement importantes de sodium ne présente aucun danger, à l'exception des patients atteints d'hypertension (**Tardât-henry, 1992**).

2.6.1.12. Nitrate (NO_3^-)

Les nitrates sont des éléments minéraux nutritifs solubles dans l'eau, qui sont directement assimilables par les organismes autotrophes terrestres qu'aquatiques. Ils sont ajoutés au sol soit directement par les agriculteurs soit indirectement par le fumier ou le purin, et ont une bonne solubilité dans l'eau. L'ion nitrate est un composé important entrant dans le cycle de l'azote comme un support principal de la croissance du phytoplancton (**RODIER, 2009**).

- **Origine**

La minéralisation de la matière organique, engrais azotés, résidus animaux, fumier, purin, eaux usées domestiques et stations d'épuration (**Gaujourn, 1995**).

2.6.1.13. Nitrite (NO_2^-)

Le nitrite est un des produits de base de la décomposition des matières organiques, il agit comme une étape intermédiaire dans la conversion de l'ammoniac en nitrate, cette réaction se produit dans les sols, boue et l'eau. Le nitrite évolue rapidement au nitrate si l'oxygène est présent, une eau renfermant une quantité élevée de nitrite supérieure à 1mg/l est considérée comme chimiquement impure « indice de pollution » (**Baziz, 2008**).

2.6.1.14. Sulfate (SO_4^-)

Les sulfates sont des composés naturels des eaux, ils sont d'origines naturelles (gypse, pyrite, volcans), industriels (industrie pétrolière, tannerie, papeterie, industrie textile) et proviennent aussi des produits de traitement agricole La présence de sulfates dans l'eau potable peut donner un goût distinctif. Les changements de goût dépendent de la nature du cation associé. Les seuils de détection du goût vont de 250 mg/L pour le sulfate de sodium à 1000 mg/L pour le sulfate de calcium. (**Reggam, 2015**).

En général, des niveaux de 250 mg/l et moins sont considérés comme ayant un changement minime du goût. Des valeurs guides pour les sulfates basés sur des arguments de santé n'ont pas été établies (**OMS, 2017**).

2.6.1.15. Phosphate (PO_4^-)

Le phosphore proviendrait de la dissolution des roches. Les sols retiennent le phosphore, une partie est entraînée dans l'eau. Son origine provient des excréta de l'agriculture, des affluents urbains (détergents, engrais, industrie chimique). Il provient aussi des activités bactériennes (**Reggam, 2015**).

Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol. Leur présence dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique (**RODIER, 1984**).

2.6.2. Les paramètres bactériologiques

Les bactéries sont largement répandues dans la nature, présentes dans divers environnements tels que l'air, le sol, l'eau, ainsi que sur d'autres organismes vivants. Certaines sont pathogènes, tandis que d'autres ne le sont pas, et certaines ne surviennent que dans des conditions spécifiques. Certaines de ces bactéries peuvent être transmises aux humains par voie hydrique. Les bactéries indicatrices sont utilisées pour détecter la contamination de l'eau potable lors des analyses. Leur présence indique une contamination fécale, pouvant causer des maladies associées.

L'objectif des analyses bactériologiques n'est pas de recenser toutes les espèces présentes, mais de rechercher celles susceptibles d'être pathogènes, ce qui est souvent plus pratique. Ces analyses sont essentielles car la qualité bactériologique de l'eau est sujette à des fluctuations dues à une contamination accidentelle, nécessitant un contrôle continu.

2.6.2.1 La flore mésophile aérobie totale (FTAM)

Est constituée d'un ensemble de microorganismes variés correspondant aux germes banaux de contamination. Son dénombrement reflète la qualité microbiologique générale de l'eau usée. Ainsi le nombre de germes totaux pourra donner une indication de l'état de fraîcheur ou de décomposition (altération) de l'eau. Des valeurs élevées n'indiquent pas nécessairement la présence de pathogènes, aussi des valeurs basses peuvent accompagner la présence de pathogènes à des niveaux dangereux. Cependant, la seule mesure des germes totaux ne suffit pas à bien évaluer les risques liés à ces groupes microbiens qu'il convient, alors, de dénombrer pour améliorer le diagnostic.

2.6.2.2. Coliformes totaux

Les coliformes totaux constituent un large groupe de bacilles à gram négatif, non sporulant, qui partagent plusieurs caractéristiques (**Archibald, 2000**).

Ils sont définis comme des bactéries aérobies ou anaérobies facultatives en forme de bâtonnet avec l'enzyme β -galactosidase. Ils sont susceptibles de provoquer des troubles gastro-intestinaux (**Nwabor, 2016**).

2.6.2.3. Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux sont un groupe de bactéries associé à la matière fécale d'organismes à sang chaud, se distinguant des coliformes totaux par leur température de prolifération qui est de 44° C sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5°C (**Lapied et Petransxiene, 1981**).

L'espèce la plus fréquemment associés à ce groupe bactérien est l'Escherichia-coli et dans une moindre mesure, certaines espèces des genres Citrobacter, Entérobacter et Klebsiella (**Edberg et al., 2000**).

Partie expérimentale



Chapitre 03

Matériel et méthodes

3. Présentation de la zone d'étude

3.1. La zone d'étude

➤ Situation géographique de la wilaya de Bordj Bou Arreridj

La wilaya de Bordj Bou Arreridj est située sur les hauts plateaux Est du pays, comprise entre les latitudes Nord $36^{\circ}4'60''$ et les longitudes Est $4^{\circ}45'0''$ avec une superficie de 3 920,42 km². Elle s'étend sur l'axe Alger-Constantine et est limitée :

- Au Nord, par la wilaya de Bejaia.
- A l'Est, par la wilaya de Sétif.
- A l'Ouest, par la wilaya de Bouira.
- Au Sud par la wilaya de Msila

La wilaya est composée de : 34 communes, 10 daïras avec un taux d'encadrement moyen de 3 communes par daïra (**Andi, 2014**)

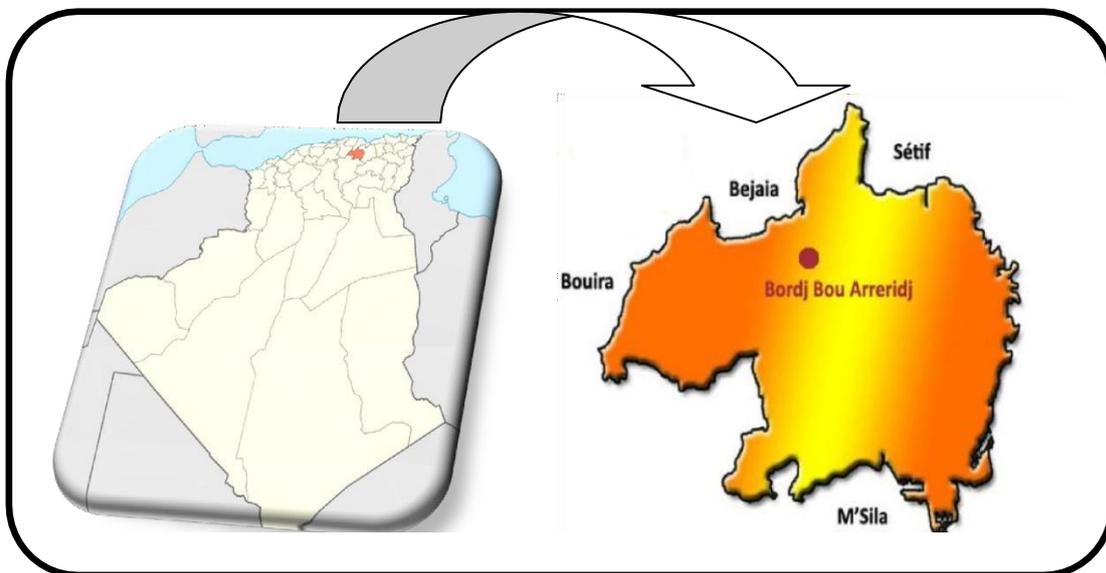


Figure 6 : La situation géographique de la wilaya de Bordj Bou Arreridj (**ANIREF, 2013**)

➤ Situation géographique de la commune de Bordj Ghedir

Est situé à 35° 54' 4" de latitude N et 4° 53' 53" de longitude E, sur les hauts plateaux au sud-est de Bordj Bou Arreridj culminant à 1100m d'altitude et il s'étend sur 104,6 km² occupée en majeure partie par les montagnes assez élevées. Cette région a une géologie et une tectonique très complexes. Il est délimité par les communes suivantes : Belimour, Ghailassa, Taglât, Ras el Oued et El Hammadia.

La commune de Bordj El Ghedir est composée des localités suivantes : Chenia, El Amri, El Guettar, Zemala, Ouled Hamdane, Ouled Makhlouf, Ouled Moussa Ouled Dechra et Rhoder. (ANIREF ,2013).

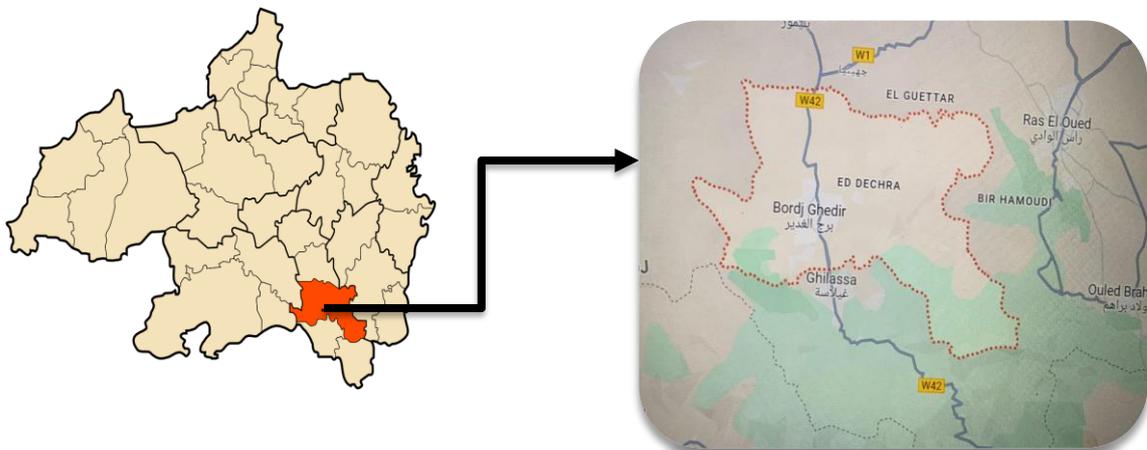


Figure 07 : La situation géographique de de la commune de Bordj El Ghedir (google maps).

3.2. Réseau Hydrographique

Le réseau hydrographique de la wilaya est caractérisé par deux sens d'écoulement opposés principaux, séparés par une ligne de partage des eaux. Cette limite naturelle correspond à la limite de grands bassins - versants :

➤ Le bassin versant « Soummam »

Le sens d'écoulement principal est Sud - Nord et couvre la moitié septentrionale de la wilaya à prédominance marneuse ou argileuse imperméable. Les points d'eaux y sont rares.

➤ **Le bassin versant « chott du Hodna »**

Il s'étend sur la moitié méridionale de la wilaya, on trouve de nombreuses sources ayant un débit appréciable. Les sources issues des reliefs ou des puits creusés dans les zones les plus basses participent en une grande partie à l'alimentation des populations en eau potable ainsi qu'à l'irrigation des parcelles agricoles (ANDI, 2013).

Nous notons la présence de stations thermales, dont les eaux ont des pouvoirs curatifs. Les principaux fleuves qui traversent cette région sont « Oued Boussemam » et « Oued el Ksour » dans le sud.

3.3. Topographie

Le relief de la wilaya se compose de trois régions principales :

➤ **La région des hautes plaines**

Elle s'étend de la chaîne des Bibans jusqu'à l'Oued Boussemam, elle constitue la partie centrale de la wilaya de Bordj Bou Arreridj. Les altitudes varient entre 825 m et 1006 m soit une dénivellée de 181 m, cet ensemble cerné par un relief moyennement élevé est traversé par la RN5.

➤ **La région des montagnes**

La partie Nord de la wilaya est constituée de montagnes moyennes. Cette zone montagneuse longe la partie Nord des hautes plaines de « Ouled Sidi Brahim » à l'Ouest jusqu'à « Bordj Zemourah » à l'Est.

➤ **La région des steppes.**

Elle constitue la zone Sud-Ouest de la wilaya, elle est caractérisée par des sols légers vocation agro-pastoral (ANDI, 2013).

3.4. Pédologie

Selon (BNEDER, 2009), Au niveau de la wilaya de Bordj Bou Arreridj, on peut distinguer de différents types de sol selon la zone où il existe :

- **La zone des hautes plaines** : Les sols rencontrés dans cette zone sont :
- Sols bruns calcaires avec ou sans encroutements sur les glacis
 - Sols vertiques
 - Sols lithiques et sols rigosoliques.

➤ **La zone montagneuse**

Les sols relativement peu profonds argilo-limoneuses et les sols de moyennes et hautes montagnes reposent sur une roche mère constituée de calcaire, marno-calcaire et de grès.

➤ **La zone steppique**

La couverture pédologique de la zone est une association des sols lithiques et marneux.

3.5. Climatologie

Selon (Ghennai, 2012 in : Nedjraoui, 2001) l'est-algérien est la région la plus variée du pays sur le plan climatique.

Il est caractérisé par une longue période de sécheresse estivale variant de 5 à 6 mois au niveau des hautes plaines. La région se caractérise par un climat de type *continental* avec un étage bioclimatique semi-aride marqué par un été chaud et un hiver plus ou moins rigoureux. Il existe des contrastes pluviométriques liés à l'altitude entre les différentes régions de la wilaya. (Bouragba, 2015).

3.5.1. Précipitations

Les précipitations sont un facteur écologique d'importance fondamentale. L'alternance des saisons des pluies et des saisons sèches joue un rôle essentiel dans la saison des pluies. La fonction et la répartition des écosystèmes terrestres et aquatiques, également pour distribution biologique (Ramdane, 1984 ; Ramade, 1982)

Les précipitations varient au cours de l'année : modérées en hiver avec un pic en février (28 mm), élevées au printemps culminant en avril (38,5 mm), très faibles en été avec un minimum en juillet (6,7 mm), et augmentent en automne atteignant un maximum en novembre (38,6 mm). Les mois les plus secs sont en été, tandis que les plus pluvieux sont en automne et au printemps.

Tableau 08 : Valeurs des précipitations mensuelles exprimées en mm obtenues en (2012-2022) (www.wofrance.fr).

période/Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	OUT	SEP	OCT	NOV	DEC
P (mm)	26,4	28	36,9	38,5	29,3	10,7	6,7	18,2	17,4	21,7	38,6	24,3

3.5.2. Températures

Les analyse des températures moyennes mensuelles démontre que la température moyenne est élevée pendant la période sèche avec une valeur maximal de 28,65 °C (station de BBA) enregistré au mois de juillet. Au contraire, en hiver se caractérise par des températures plus basses allant de 7,2 à 13,45. La température minimale en janvier atteint 7,2°C (2012 à 2022).

Tableau 09 : Température moyenne exprimée en degré Celsius, dans la région de BBA (**Tutiempo, 2022**)

T (°C)	Jen	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juit	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
/mois												
M °C	12.2	13.7	16.3	21.5	26.7	33.2	37.2	35.5	30.6	24.8	16.3	23
m°C	2.2	2.8	5.3	8	11.7	16.7	20.1	19.6	17.7	12.1	6.7	3.9
(M+m)/2	7.2	8.2	10.8	14.7	19.2	24.9	28.6	27.5	24.1	18.4	11.5	13.45

Moyenne : $M+m/2$ = température moyenne mensuelle

M : moyenne mensuelle des températures maximales.

m : moyenne mensuelle des températures minimales

➤ **Diagramme Ombrothermique de Bagnols et Gausсен.**

Le diagramme ombrothermique est construit en utilisant la méthode de Bagnouls et Gausсен (1957), où les températures sont représentées sur une échelle double par rapport aux précipitations. Cette approche permet d'identifier la période sèche où la moyenne mensuelle des précipitations est inférieure ou égale au double de la température ($P \leq 2T$) (**Bagnouls et Gausсен, 1954**).

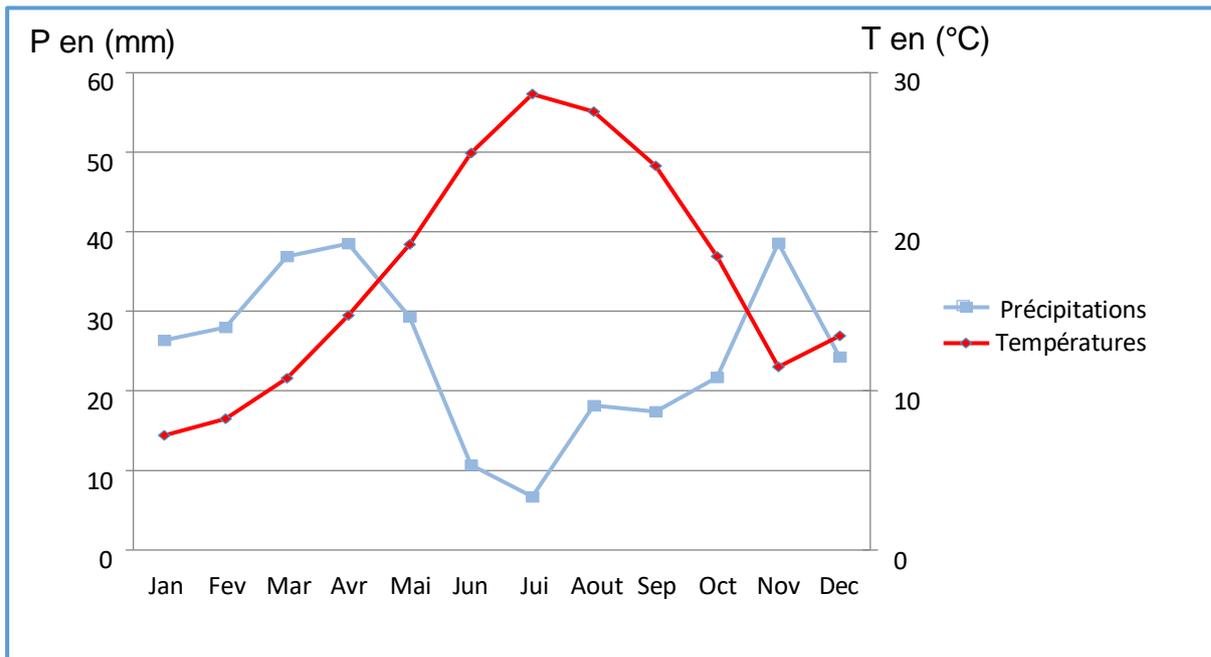


Figure 08 : Diagramme Ombrothermique de la wilaya de B.B.A (2012 – 2022)
(Tutiempo, 2022)

La région de Bordj Bou-Argeridj montre la présence de deux périodes, l'une sèche qui s'étale de la mi-avril jusqu'à octobre et l'autre humide qui s'étale de janvier jusqu'à la mi-avril et d'octobre jusqu'à décembre (2012-2022).

3.6. Stratégies d'échantillonnage

3.6.1. Prélèvement d'échantillon

Première étape de la chaîne de mesure, l'échantillonnage conditionne les résultats analytiques et leurs interprétations ultérieures, qui à leur tour conditionnent l'ensemble des résultats. L'échantillon doit être uniforme, représentatif et obtenu sans modifier les propriétés physiques et chimiques de l'eau (Rodier *et al.* 2009).

3.6.2. Prélèvement physico-chimique

L'échantillonnage pour physico-chimique ne pose pas de problème particulier, des flacons plastiques sont suffisants. L'échantillon peut être gardé quelques jours mais il est préférable d'effectuer le dosage des éléments chimiques le plus tôt possible. Les éléments comme les nitrates et peuvent subir des modifications lors de la conservation (Coulibaly K., 2005).

3.6.2. Prélèvement microbiologique

Le mode de prélèvement convient d'être très attentif pour éviter toute contamination accidentelle de l'échantillon durant le prélèvement (**Rejsek, 2002**). Les échantillons sont pris dans des flacons en verre de 250 ml stérilisés, l'analyse doit être effectuée le plus vite possible en transportant les échantillons dans des glacières, dont la température est comprise entre 4° et 6°C, car la variation de cette dernière est susceptible de modifier la population bactérienne (**Rodier, 2009**).

3.7. Matériel et Méthodes

La réalisation de l'étude nécessite l'usage de matériel lourd (machines et appareils) de matériel léger, verrerie, ustensile, de même usage des milieux de culture, réactifs, produit chimique (voir annexes 01).

Les méthodes de travail ont été réalisées de l'ordre suivant :

- Échantillonnage
- Tests organoleptiques
- Analyses physicochimiques
- Analyses microbiologiques (recherche et dénombrement).

3.8. Méthodes d'analyses

Dans le cadre de notre étude, les prélèvements ont été réalisés dans trois zones distinctes (cimetière, station-service à l'essencier et zones agricoles) à partir de dix puits et forages destinés à la consommation humaine, en respectant rigoureusement les conditions réglementaires d'asepsie. La partie expérimentale de cette recherche a été menée conjointement au sein des laboratoires de microbiologie et de chimie de la faculté SNV-STU de l'Université de Bordj Bou Arreridj.

3.9. Détermination des paramètres organoleptiques

3.9.1. Caractères organoleptiques

Les caractères organoleptiques de l'eau sont les propriétés physiques et chimiques de l'eau qui peuvent être perçues par les sens humains. Les principales caractéristiques organoleptiques de l'eau comprennent : la couleur, l'odeur, le goût, la saveur et la flaveur. Ces différents caractères doivent être appréciés au moment du prélèvement (**Rodier , 2009**).

3.9.1.1. Couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité. Il est important de noter qu'une couleur limpide de l'eau ne signifie pas forcément son caractère potable (**Rodier ,2009**).

- **Test de la couleur** : La couleur a été évaluée par observation oculaire de plusieurs bouteilles et flacons remplies d'eau prélevée de la source.

3.9.1.2. Odeur

L'odeur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles. La qualité de cette sensation particulière provoquée par chacune de ces substances Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. (**Rodier, 2009**).

- **Test de l'odeur** : L'odeur a été évaluée par simple sensation olfactive.

3.9.1.3. Goût

C'est l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation des bourgeons gustatifs par certaines substances solubles (**Rodier, 2009**).

- **Teste de goût** : Le goût est décelé par dégustation qui exige à rincer la bouche avec l'eau distillée avant chaque dégustation. La dégustation se fait en faisant voyager de l'eau dans la bouche et en la rejetant (**Rodier ,2009**).

3.10. L'analyse des paramètres physico-chimiques

3.10.1. Paramètres physiques

3.10.1.1. Détermination de la Température

- **Principe**

La détermination de la température est faite au laboratoire à l'aide d'un thermomètre incorporé à l'oxymètre étalonné avant chaque manipulation. On lit directement la température exprimée en degré Celsius (°C) (voir l'annexe2).

3.10.1.2. Détermination de la Potentiel d'hydrogène pH

La détermination de Potentiel d'hydrogène est faite au laboratoire à l'aide d'un pH mètre

- **Principe**

L'évolution de l'acidité ou de l'alcalinité de l'eau se fait par mesure directe de son Ph à 20°C (voir l'annexe 3).

3.10.1.3. Détermination de la conductivité

Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre à l'électrode constitué de deux lames carrées de 1cm de coté en platine, on émerge complètement l'électrode dans l'eau à analyser (**Rodier ,2009**). Mode opératoire (voir l'annexe 4).

3.10.1.4. Détermination de la turbidité

La turbidité est mesurée par le turbidimètre de marque trb 550.

- **Principe**

Méthode néphélométrie : le faisceau lumineux traverse horizontalement la cuvette contenant l'échantillon, une partie de cette lumière est diffusée par effet Tyndall grâce aux particules en suspension. Le photomultiplicateur d'électron situé à un angle de 90° par rapport au faisceau lumineux capte les photons diffusés et transforme cette énergie lumineuse en signal électrique dont le potentiel est fonction de la turbidité (**Rodier ,2009**). Le fonctionnement de turbidité est donné en (Annexe 05).

3.10.1.5. Détermination de la Salinité

La salinité peut être mesurée à l'aide d'un instrument appelé salinomètre ou conductivimètre, elle est mesurée en parties par millier (ppt), ou en pour mille (‰) ou en pourcentage (%) (Rodier, 2009).

- **Principe**

La méthode est rapide simple, précise l'utilisation. Des salinomètres, réduit considérablement le temps d'analyse. L'électrode est plongée dans la solution à mesurer. La lecture est effectuée après avoir fixé le degré de salinité, ce qui peut prendre plusieurs minutes (Rodier ; *et al* 2009).

Lecture des résultats : la valeur est indiquée sur le salinomètre.

3.10.1.6. Mesure de la matière en suspension (MES)

- **Principe**

La méthode consiste à filtrer l'eau analysée sur membrane filtrante afin de retenir toutes les particules de taille supérieure à 0,5 µm. La membrane est rincée, séchée et pesée avant et après filtration. La différence de poids permet de connaître la masse sèche totale de matières en suspension dans le volume filtré correspondant (Rodier ,2009). Mode Opératoire (voir l'annexe 06).

3.10.1.7. Détermination de résidu sec

La quantité de résidus à sec correspond à la quantité de minéraux qu'il reste après évaporation. Très souvent, elle s'exprime en milligrammes par litre. La détermination de l'extrait sec se fait généralement en évaporant à 180°C une quantité mesurée d'eau dans une coupelle préalablement pesée, puis en pesant à nouveau la coupelle avec les résidus solides après évaporation. La différence de poids entre les deux mesures est utilisée pour calculer la concentration de l'extrait sec dans l'eau (Rodier ,2009).

- **Principe**

Une certaine quantité d'eau est évaporée à 180 °C dans une coupelle tarée. Le résidu desséché est ensuite évalué par pesée. (voir l'annexe 07).

3.10.2. Les paramètres chimiques

3.10.2.1. Dosage de la dureté totale

- **Principe**

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylènediamine tétracétique (EDTA) à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique ; le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium (**Rodier ,2009**). (Voir l'annexe 08).

3.10.2.2. Matière organique

- **Principe**

Ce test a pour but d'approcher la teneur en matières organiques dans l'eau de source en mesurant la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du permanganate de potassium (KMnO₄) par les matières organiques contenues dans l'eau à analyser. Il s'agit d'un dosage en retour (voir l'annexe 09).

3.10.2.3. Analyses des chlorures (Méthode de Mohr)

- **Principe**

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent et de chromate de potassium, la fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractérisée du chromate d'argent (**Rodier ,2009**) (voir l'annexe10).

3.10.2.4. Sodium

- **Principe**

Le principe est de mesurer le taux de Na en prenant en compte la détermination des chlorures en premier lieu.



3.10.2.5. Les nitrates (méthode au salicylate de sodium)

- **Principe**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique (**Rodier ,2009**).

(voir l'annexe 11).

3.10.2.6. Les nitrites (méthode au réactif de Zambelli)

- **Principe**

L'acide sulfanilique, en milieu chlorhydrique en présence d'ion ammonium et de phénol, forme avec les ions NO_2^- un complexe coloré jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrite (**Rodier ,2009**). Mode opératoire (voir l'annexe 12).

3.10.2.7. Les sulfates

- **Principe**

Les ions sulfates réagissent avec le baryum du réactif Sulfa Ver 4 et produisent un précipité de sulfate de baryum insoluble. La quantité de turbidité formée est proportionnelle à la concentration en sulfates. Le réactif contient aussi un agent stabilisant pour maintenir le précipité en suspension (**Rodier ,2009**). Mode opératoire (voir l'annexe 13).

3.10.2.8. Phosphate

- **Principe**

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ortho phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique. Certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des ortho phosphates, le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium (**Rodier ,2009**). Mode opératoire (voir l'annexe 14).

3.11. L'analyse des paramètres bactériologies.

La réalisation des analyses microbiologique a consisté à la recherche et dénombrement sur milieu sélectif des flores :

- Coliformes totaux
- Coliformes fécaux
- Les flores aérobies mésophile totale (FTAM)

➤ Préparation des milieux de culture

En fonction des besoins et de germes à rechercher, les milieux de culture sont préparés suivant le mode opératoire indiqué sur l'étiquette de la boîte de chaque milieu de culture. Pour préparer un milieu, on pèse la quantité voulue qu'on mélange avec de l'eau distillée dans les proportions indiquées sur le protocole de préparation de chaque milieu de culture. Ce mélange est chauffé et bien homogénéisé dans une erlenmeyer, le tout fait par un agitateur magnétique. La stérilisation du produit se fait à l'autoclave (120°C pendant 15min) et le milieu ainsi préparé est conservé dans un réfrigérateur à 4 °C (**Rodier , 2009**). (voir annexe 15).

➤ Préparation des dilutions décima

Pour les eaux très polluées, par exemple certaines eaux superficielles, il convient de réaliser des dilutions pour pouvoir dénombrer les microorganismes présents. Les dilutions utilisées sont des sous-multiples de 10 : au 1/10 ou 10^{-1} et jusqu'à 10^{-3} , et se réalisent par des dilutions successives (**Rejsek, 2002**). Le mode opératoire plus détaillé est donné dans (l'annexe16).

3.11.1. Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FTAM)

• Principe

La recherche et le dénombrement des germes revivifiables se réalise à température 37°C, (**Labres et al., 2002**). Il est réalisé dans la gélose PCA, après ensemencement de 1ml de la solution mère et ses dilutions décimales (10^{-1} 10^{-3}) et incubation à 28 ou à 30°C pendant 72h (**Guiraud, 2003**). (Voir l'annexe 17).

3.11.2. Recherche et Dénombrement des coliformes

Les coliformes sont dénombrés : soit en milieu solide sur gélose VRBL au VRBG. Soit en milieu liquide par la technique du NPP (nombre le plus probable) à l'aide du l'aide du VBL au BCPL.

- **Recherche et dénombrement des coliformes sur milieu solide**

- **Coliformes totaux**

Il s'effectue sur le milieu VRBG selon la norme AFNORE 1ml de la solution mère et ses dilutions décimales (10^{-1} 10^{-3}) est ensemencé en masse dans la gélose, puis incubé à 37°C pendant 48h (voir l'annexe 18). (**Bourgeois et Leveau., 1991**).

- **Coliformes fécaux**

Un aliquote (1ml) de la solution mère et ses dilutions décimales selon le type (10^{-1} ... 10^{-3}) est ensemencé en masse dans la gélose VRBG, puis incubé à 44°C pendant 48h (**Bourgeois et Leveau., 1991**).

CHAPITRE 04

Résultats et discussion

L'étude physico-chimique et bactériologique de l'eau souterraine joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc de la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable. Notre objectif est d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de dix puits et des forages situés à différents endroits au niveau de la commune Bordj Ghedir (W. Bordj Bou Arreridj,) au 24 février 2024.

Au cours de ce chapitre, nous présenterons et discuterons les principaux résultats obtenus. Les résultats sont présentés sous forme de graphiques et des tableaux dans le présent chapitre. En les comparant avec les normes algériennes et avec celles de l'OMS et aussi avec des études précédentes.

4.1. Choix des sites

L'étude a porté sur des échantillons d'eau prélevés dans divers puits et forages situés dans différentes zones : certains à proximité d'un cimetière, d'autres près d'une station-service (à l'essencerie), et d'autres encore dans des zones agricoles.

Tableau 10 : Présentation des échantillons

Zonne d échantillonnage	Les échantillons
Zone 01 (cimetières)	échantillon (3) (4) et (5)
Zone 02 (stations-service ou l'essencerie)	échantillon (7) (9) et (10)
Zone 03 (Espace Agricole)	échantillon (1) (2) (6) et (8)

4.2. Résultats des analyses organoleptiques

Il s'agit de la saveur, de la couleur, de l'odeur. Ces paramètres n'ont pas de signification sanitaire, mais par leur dégradation, ils peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution. Ils permettent aux consommateurs de porter un jugement succinct sur la qualité de l'eau (**Zonage et Belhadj, 2017**).

Tableau 11 : Résultats des analyses organoleptiques.

Paramètres	Ech1	Ech2	Ech3	Ech4	Ech5
Odeur	Inodore	Inodore	Inodore	Inodore	Inodore
Saveur	Agréable	Agréable	Agréable	Agréable	Agréable
Couleur	Transparent	Transparent	Transparent	Transparent	Transparent
Paramètres	Ech6	Ech7	Ech8	Ech9	Ech10
Odeur	Inodore	Inodore	Inodore	Inodore	Inodore
Saveur	Agréable	Agréable	Agréable	Agréable	Agréable
Couleur	Transparent	Transparent	Transparent	Transparent	Transparent

4.3. Résultats des analyses physico-chimiques

4.3.1. Résultats des analyses physique

Il s’agit des paramètres facilement mesurables et utiles pour voir l’évolution des éléments chimiques les plus dominants dans les eaux des puits et des forages de la région d’étude, leurs concentrations et leurs origines.

4.3.1.1. La température

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 09 (ci-dessous)

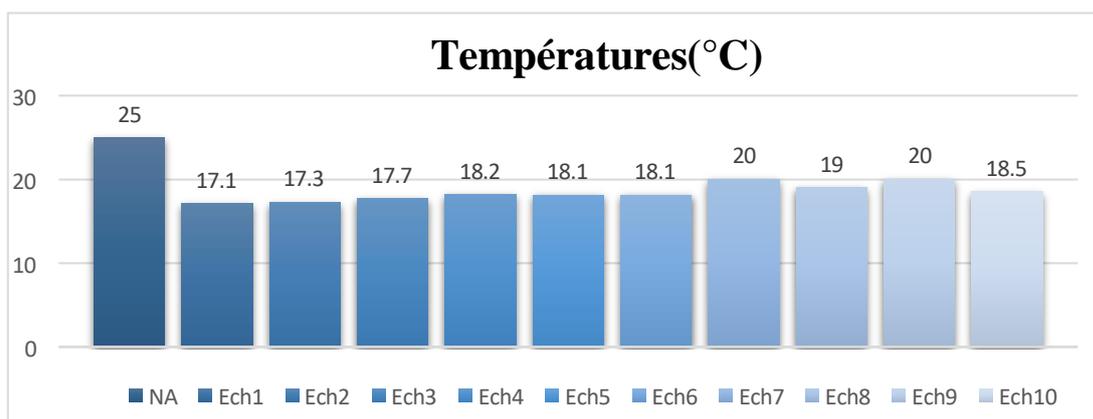


Figure 09 : La variation de la température des eaux étudiées.

Les températures enregistrées dans notre étude varient entre 17°C et 20 °C, la valeur minimale est enregistrée au niveau de l'échantillon n°01 avec 17,1°C et la valeur maximale est enregistrée au niveau de l'échantillon n°07 et n°09 avec 20 °C.

Les échantillons ont une température presque identique car ils ont été collectés simultanément. Les valeurs obtenues sont conformes aux normes nationales de l'eau potable et de l'OMS.

Nos résultats sont également proches de ceux obtenus par (Khababa et Tabet, 2023) avec des valeurs allant de 11°C et 20°C.

4.3.1.2.Le pH

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 10(ci-dessous)

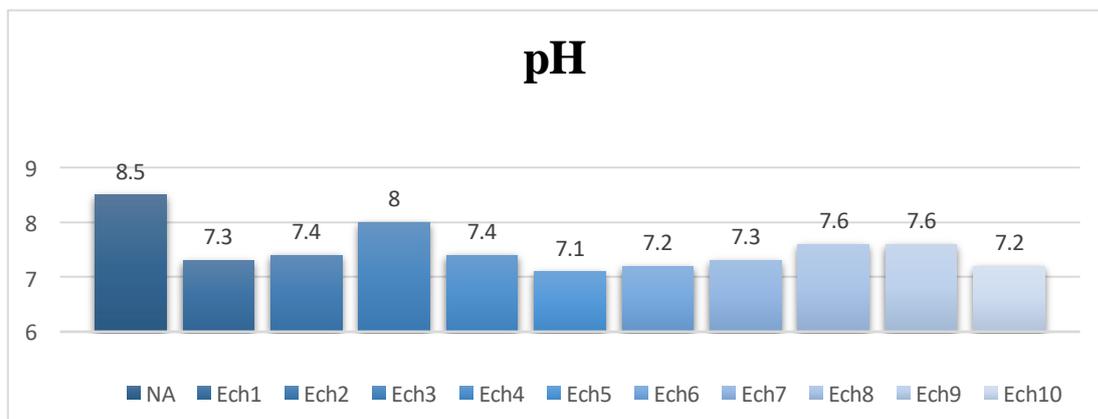


Figure10 : La variation du pH des eaux étudiées.

Lors de notre analyse, les données de pH varient entre 7,1 et 8 avec une moyenne de 7,4. L'échantillon n°05 présente le pH le plus bas à 7,1, tandis que l'échantillon n°03 affiche le pH le plus élevé à 8. Notons que l'échantillon n°03 provient d'un site proche du cimetière, ce qui suggère un possible impact sur le pH. Ces valeurs se situent en conformité avec les normes de potabilité Algérienne et celles de l'OMS. Nous avons obtenu des résultats similaires à ceux rapportés par (Abdaoui *et al*, 2022), avec des valeurs de pH allant de 6,98 à 8,06.

4.3.1.3. Conductivité

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 11 (ci-dessous)

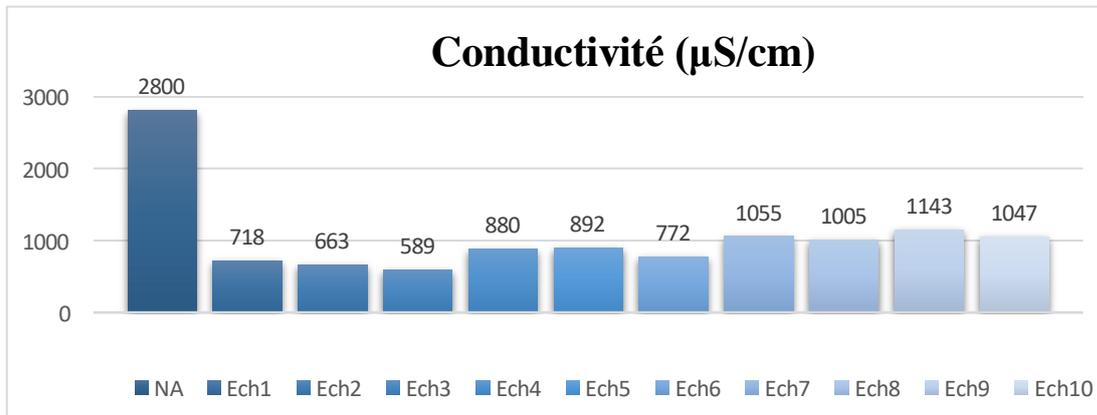


Figure11 : La variation de la conductivité des eaux étudiées.

Les résultats obtenus montrent que la conductivité de l'eau dans les sites étudiés est généralement conforme aux normes algériennes. Les valeurs varient de 589 µS/cm à 1143 µS/cm, avec une moyenne de 876,4 µS/cm. La conductivité minimale a été enregistrée dans l'échantillon n°03, tandis que la maximale a été observée dans l'échantillon n°09.

Selon (**Dib, 2009**), la conductivité électrique augmente avec la concentration des ions en solution et la température. Comme illustré dans la figure 10, l'échantillon n°09 enregistre la température la plus élevée, ce qui confirme cette relation. Ces mesures respectent les normes de potabilité en Algérie, qui fixent une limite de 2800 µS/cm, ainsi que celles de l'OMS, fixées à 1400 µS/cm.

Les résultats de notre étude sont inférieurs à ceux trouvés par (**Ben Mammern et Bougoufa, 2018**) avec des valeurs comprises entre 545 µS/cm et 1830 µS/cm.

4.3.1.4. La turbidité

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 12 (ci-dessous)

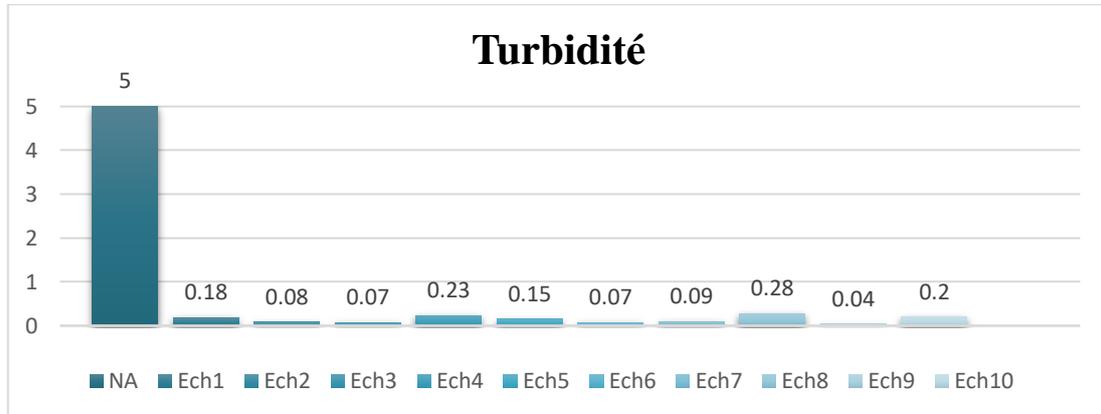


Figure 12 : La variation du Turbidité des eaux étudiées.

Tous les échantillons ont des valeurs compris entre 0,01 et 0,2 NTU, ce qui est en dessous de la limite établie par la norme algérienne (5 NTU) et par les normes de l'OMS (10 NTU). La valeur inférieure est enregistrée au niveau de Ech n°09 et la valeur supérieure au niveau de Ech n° 08. selon (Rodier *et al.*, 2005 ; Hade, 2007) la turbidité d'une eau est causée par la présence des matières en suspension ou par des substances en solution comme les substances minérales (sable, argiles ou limons), des matières organiques ou d'autres matières microscopiques qui forment un obstacle au passage de la lumière dans l'eau.

On remarque aussi que dans le point où la valeur de turbidité est importante (échantillon 08), les matières en suspension sont aussi importantes (160 ,4 mg/ L) (figure 19). Donc la turbidité est un facteur qui est en relation directe avec les MES. Nos résultats sont inférieurs à ceux obtenus par (Ben Mammern et Bougoufa, 2018) avec une moyenne de 0,07 à 0,66 NTU.

4.3.1.5. Salinité

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 13 (ci-dessous)

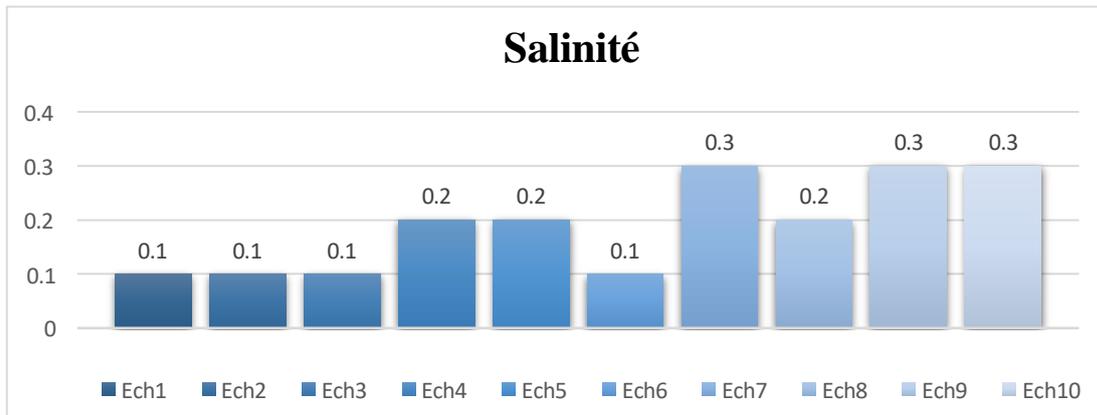


Figure 13 : La variation de la salinité des eaux étudiées

Notre étude a enregistré une salinité allant de 0,1 mg/L à 0,3 mg/L, avec une moyenne de 0,2 mg/L. Cela implique que l'eau collectée des points sélectionnés est qualifiée d'eau douce. D'autre part, les échantillons 07, 09, 10 présentent des valeurs supérieures à celles des autres. On constate également que ces trois échantillons affichent des niveaux de conductivité élevés, ce qui indique une relation potentielle entre eux.

La réglementation algérienne n'exige aucune valeur pour ce paramètre. On a des résultats similaires à ceux obtenus par (Khababa et Tabet, 2023). Ont enregistré une valeur de (0,1 à 0,3 mg/l).

4.3.1.6. Résidu sec

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 14 (ci-dessous)

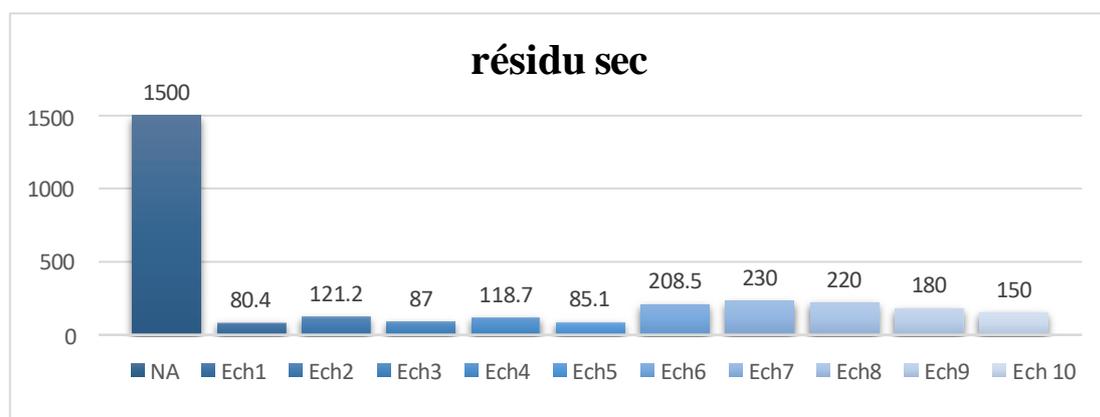


Figure 14 : La variation du résidu sec des eaux étudiée.

Les eaux analysées présentent des résultats variés de 80 mg/l valeur minimale au niveau de l'échantillon n°01 et 230 mg/l valeur maximale est enregistrée au niveau de Ech n°07 avec une moyenne de 148,09 mg/l. Toutes les valeurs ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité fixée à 1500 mg/l.

On observe que dans les échantillons n° 02, 06, et 08, les concentrations élevées de résidus secs coïncident avec des concentrations élevées de matières en suspension. Cela indique une possible relation entre ces deux paramètres dans les échantillons concernés. Nos résultats sont inférieurs à ceux de (Zitouni et Kharoubi, 2021) Ils ont obtenu (les résultats fluctuent entre 20 et 361 mg/l).

4.3.1.7. Matières en suspension

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 15 (ci-dessous)

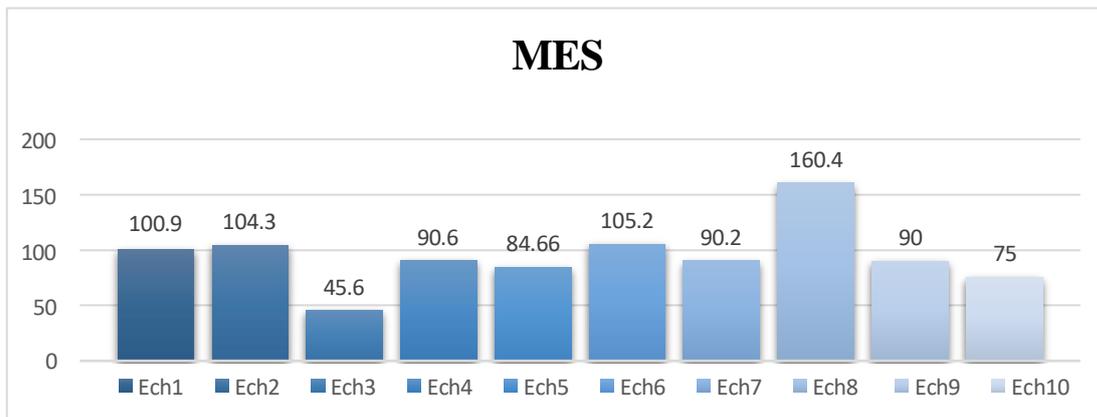


Figure 15 : La variation de la matière en suspension des eaux étudiées

Dans le secteur d'étude, les teneurs de matières en suspension enregistrées oscillent entre (45,6 et 160,4 mg/l) avec une moyenne de 94,64 mg/l. La valeur minimale est enregistrée au niveau de Ech n°03 et la valeur maximale est enregistrée au niveau de Ech n°08 parce qu'il est situé dans une zone agricole, rurale. D'après les résultats d'Ayad (2017), les valeurs obtenues varient entre 0 et 160 mg/l et sont presque similaires à nos résultats. Cette augmentation est expliquée par l'existence des terrains agricoles dans ces endroits, d'où l'infiltration des produits fécaux sanitaires, par les activités humaines et la présence des animaux autour des puits.

4.4.1. Paramètres chimiques

4.4.1.1. Dureté totale

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 16(cı-dessous)

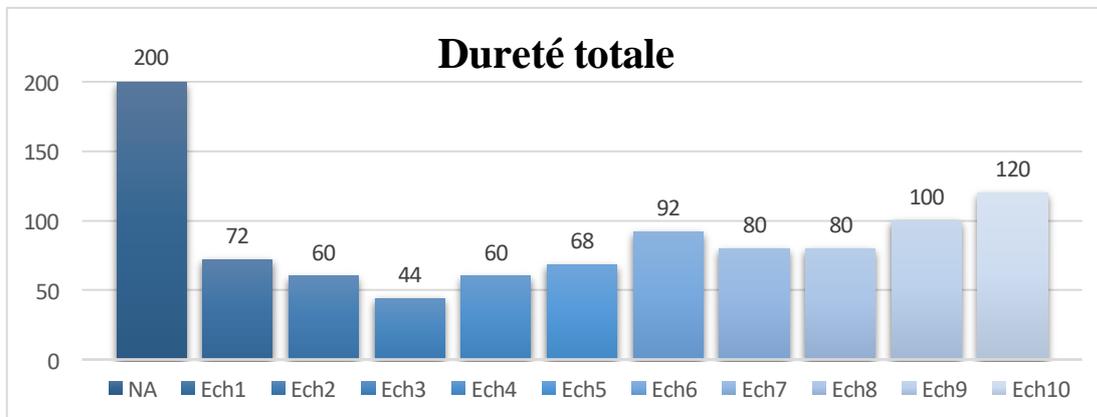


Figure 16 : La variation de dureté totale des eaux étudiées

Le taux de TH obtenu pour les 10 échantillons varie de 44 à 120 mg/l et reste en accord avec les normes algérienne et l’OMS. On remarque que Ech n°3 représente la valeur minimale de 44 mg/l qui indique que cette eau est très douce. En revanche, les échantillons d’eaux avec des valeurs allant de 60 à 100 mg/l indiquent que ces échantillons sont doux. Et la valeur maximale est atteinte au niveau de l’échantillon 10 avec un taux de 120 mg/l probablement influencée par la proximité de la station de service (à l’essencerie) qui peuvent contribuer une augmentation de la dureté de l’eau en raison de rejets de produits chimiques, tels que (les huiles, les carburants et les solvants ect ...).

Les valeurs élevées de TH dans un plan d’eau peut s’expliquer par que l’ajout d’une teneur élevée en cation Ca^{+2} , Mg^{+2} et anions, HCO_3^- , SO_4^{-2} , Cl^- , NO_3^- Dans les eaux usées rejetées dans le système d’eau (Sanyal et Paul, 2019). Lorsqu’on observe la (figure 20), l’échantillon 10 présente une valeur maximale en nitrate, et de même, dans la (figure 22), l’échantillon 09 atteint également une valeur maximale en sulfate. On peut donc dire que cette relation est vérifiée.

Les résultats de (Ayad, 2017) sont supérieurs à nos propres résultats.

4.4.1.2. Matière organique

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 17 (ci-dessous)

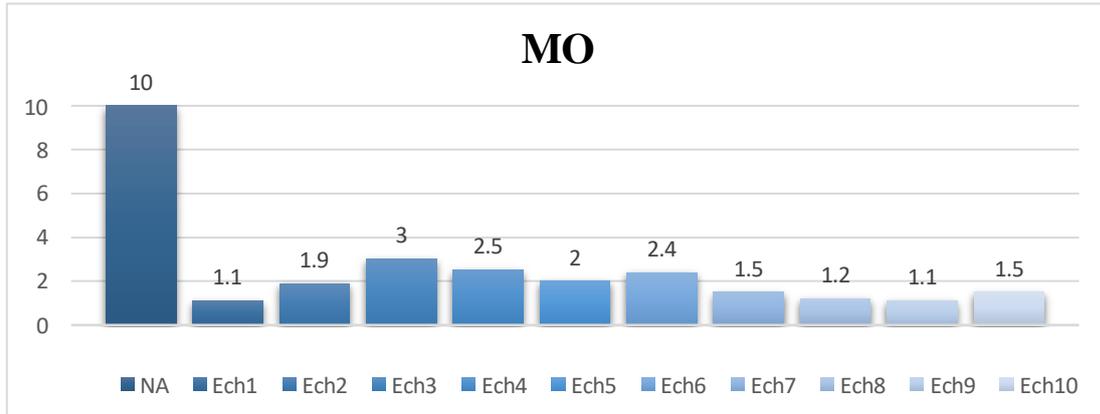


Figure 17 : La variation de la matière organique des eaux étudiées

Les eaux analysées présentent des concentrations de matière organique variant de 1 mg/l à 3 mg/l, avec une moyenne de 1,82 mg/l. La valeur maximale est enregistrée au niveau de l'échantillon n°03, avec une concentration de 3 mg/l. Cette concentration élevée pourrait être attribuée à la proximité de ce point d'échantillonnage avec un cimetière où la décomposition des cadavres peut potentiellement augmenter le taux de matière organique dans l'eau souterraine. Il est important de noter que toutes les valeurs relevées restent conformes aux normes de potabilité algérienne.

Nos résultats concordent avec ceux rapportés par (Ouhamouch et Zane ,2021) résultats varient entre 0.04 mg/l et 2.83 mg/l et (Houmel ,2017) qui fluctuent entre 0 mg/l et 2.94 mg/l.

4.4.1.3. Les chlorures

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 18 (ci-dessous)

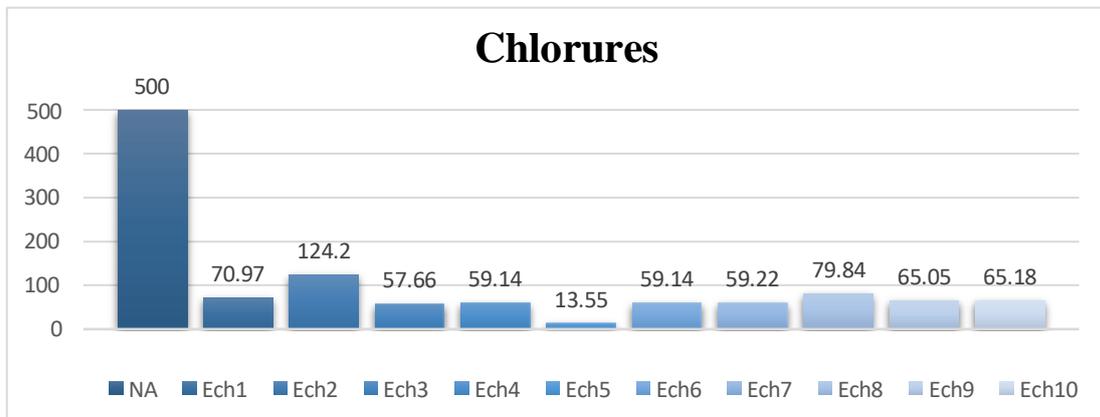


Figure 18 : La variation de chlorure des eaux étudiées

Les taux de chlorure dans les eaux analysées varient considérablement. L'échantillon n°05 affiche une concentration minimale de 13,55 mg/l, tandis que l'échantillon n°02 enregistre une concentration maximale de 124,5 mg/l.

Ce dernier provenant d'une zone agricole, il est possible que l'utilisation d'engrais contenant du chlorure de potassium, couramment employés en agriculture, ait contribué à cette augmentation. Ces engrais peuvent lessiver dans le sol et atteindre les nappes phréatiques, augmentant ainsi la concentration de chlorures dans les eaux souterraines. Cependant, ces variations restent dans les limites normales, étant donné que les normes de qualité de l'eau en Algérie fixent la limite maximale pour cet élément à 500 mg/l.

Les résultats obtenus par (Iltache, 2015), sont légèrement supérieurs aux nôtres, bien que la différence reste néanmoins minime. Avec concentration allant de 19,78 mg/l à 144,65 mg/l.

4.4.1.4. Sodium

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 19 (ci-dessous)

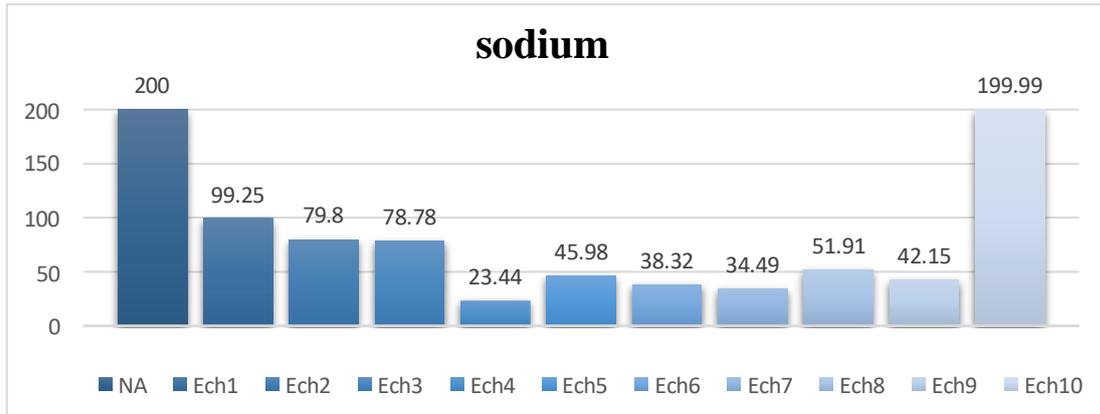


Figure 19 : La variation de sodium des eaux étudiées

Les résultats des analyses effectuées ont montré que les concentrations du sodium d'eau varient de 23 à 199 mg/L dans les différents échantillons étudiés. Ces résultats sont en accord avec les standards et en dessous de la limite prescrite par les normes algériennes et les normes de l'OMS (200 mg/l). la valeur minimale est enregistrée au niveau de Ech n°04 et la valeur maximale est enregistré e au niveau de Ech n°10 qui a quasiment atteint la norme. Généralement, le sodium peut provenir du lessivage des sels, ou de la percolation à travers des terrains salés (Nouayti *et al.*, 2015).

Nos résultats corroborent ceux trouvés par (Baali *et all.*,2023). Les analyses effectuées ont révélé des concentrations de sodium dans l'eau variant de (23 à 161 mg/L). En revanche, nos valeurs sont supérieures à celles d'(Abdaoui *et all.*,2022), qui ont observé une concentration de sodium comprise entre (0,8 et 95 mg/L).

4.4.1.5. Nitrates

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 20 (ci-dessous)

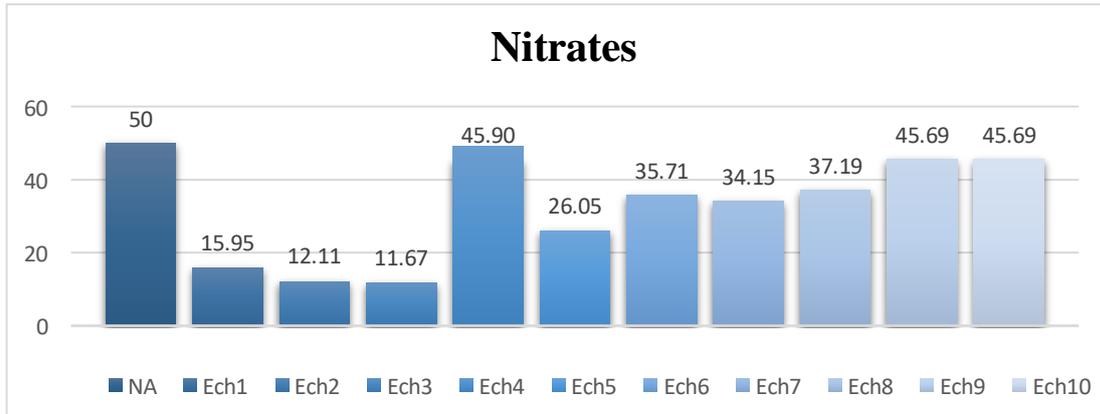


Figure 20 : La variation de nitrate des eaux étudiées

La variation des niveaux de nitrates dans les échantillons analysés s'étend de 12 mg/l à 45 mg/l. L'échantillon n°03 présente le niveau le plus bas, tandis que l'échantillon n°04, situé près du cimetière, affiche le niveau le plus élevé, atteignant 45,90 mg/l. Cette observation peut être expliquée par le processus de décomposition des cadavres dans le sol, libérant des composés azotés qui sont ultérieurement convertis en nitrates et nitrites par des bactéries.

De même, les échantillons n°09 et n°10, également à 45,69 mg/l, sont localisés devant une station d'essence. selon (Guellord *et al.*, 2023). Les fuites de carburant et les contaminations par les hydrocarbures provenant de ces stations peuvent altérer la qualité de l'eau des puits, contribuant ainsi à l'augmentation des niveaux de nitrates et d'autres substances nocives.

Les résultats de (Bensalah et Benzitoune2021) montrent des valeurs supérieures qui s'échelonnent entre 69,1 et 69,4 mg/l. réalisés dans la wilaya de Constantine.

4.4.1.6. Nitrites

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 21 (ci-dessous)

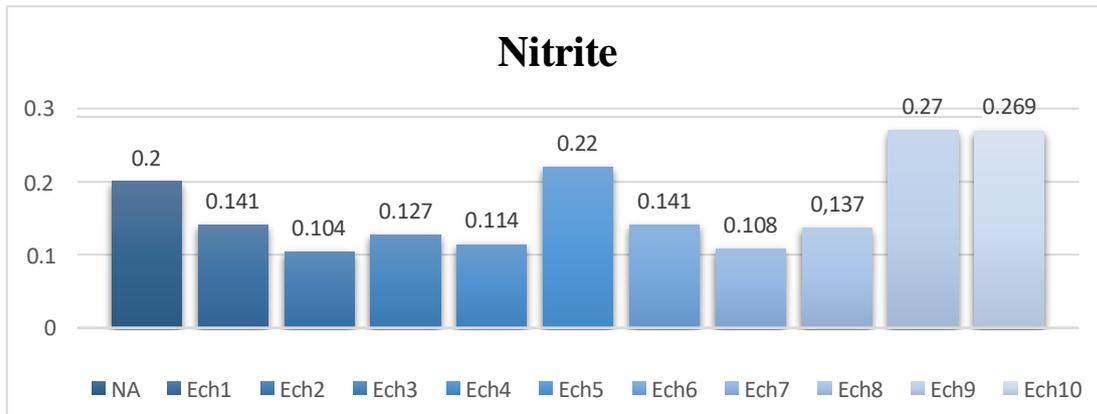


Figure 21 : La variation de nitrite des eaux étudiée

Les concentrations en nitrites varient de 0,1 à 0,27 mg/l. Les échantillons de 01 à 08 respectent les normes algériennes, les échantillons 05,09 et 10 dépassent les normes, tandis que les échantillons 09,10 situés à proximité de la station d'essence suggèrent une contamination des eaux souterraines par les nitrites, potentiellement issus de déversements de carburant ou d'autres activités chimiques sur le site, ce qui peut provoquer diverses maladies, notamment la méthémoglobinémie.

Cette affection est causée par une carence en oxygène dans le sang, souvent liée à une contamination bactérienne de l'eau, entraînant des infections gastro-intestinales et des inflammations associées à la production d'oxyde nitrique. **(Zamoum et kaddour.,2020).**

De plus, les prélèvements ont été effectués pendant la période pluvieuse, ce qui pourrait expliquer une légère augmentation des valeurs. Nos résultats sont supérieurs à ceux de **(Ayad, 2017)**, qui présentait des valeurs variant entre 0,010 mg/l et 0,15 mg/l.

4.4.1.7. Sulfates

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 22 (ci-dessous)

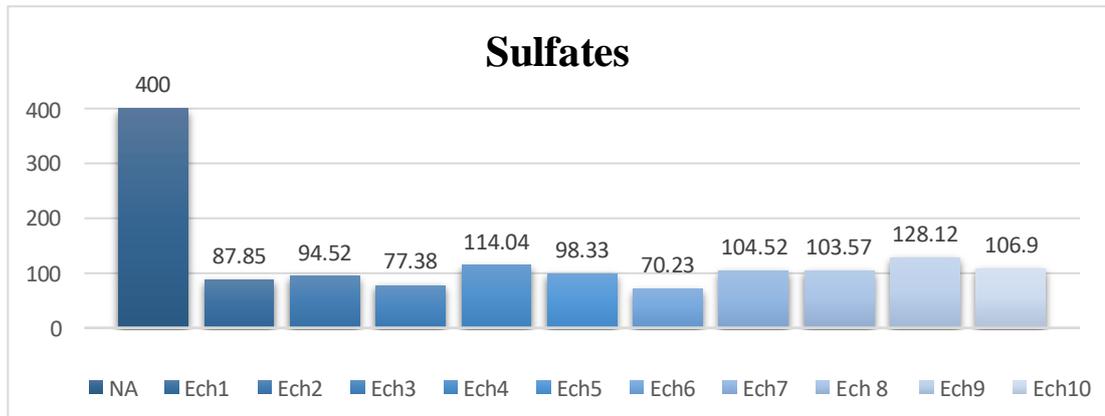


Figure 22 : La variation de sulfates des eaux étudiées

Les concentrations de sulfate fluctuent considérablement, avec un minimum de 70,23 mg/l enregistré à Ech n°06, et un maximum de 128,12 mg/l enregistré à Ech n° 09 et avec une moyenne de 97,94 mg/L. Peut-être Car il est situé à proximité d'une station de service (à l'essencerie). Selon (**Barry, 1989**) Les sulfates peuvent également avoir une origine anthropique telle que la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures et l'utilisation d'engrais chimiques et de lessive. Les résultats de (**Abdaoui et al, 2022**) montrent une grande différence, avec des valeurs oscillantes entre 15 mg/L et 411 mg/L.

4.4.1.8. Phosphates

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 23(c ci-dessous)

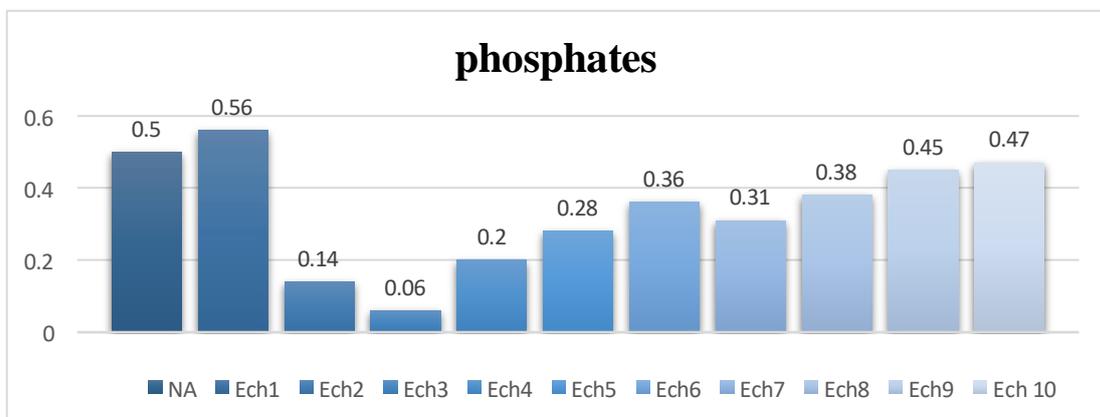


Figure 23 : La variation de phosphates des eaux étudiées

Les résultats de l'analyse des échantillons d'eau montrent que la concentration en phosphate est généralement conforme aux normes établies, variant entre 0,006 mg/l (Ech 03) et 0,56 mg/l. Ces valeurs respectent la limite fixée par la norme algérienne de 0,5 mg/l, à l'exception de l'échantillon n°01, qui dépasse cette limite avec une concentration de 0,56 mg/l. Le phosphate provient principalement de sources telles que les engrais, les détergents et les eaux usées, et sa présence dans les eaux souterraines est souvent liée à la nature des sols et à la décomposition de la matière organique (Salghi, 2001).

Nos résultats sont proches de ceux interprétés par (Baali *et al.*, 2023) Avec des valeurs variant entre 0.002 mg/l et 0.42 mg.

4.5. Les paramètres bactériologiques

4.5.1. La flore total aérobie mésophile (FTAM)

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 24(ci-dessous)

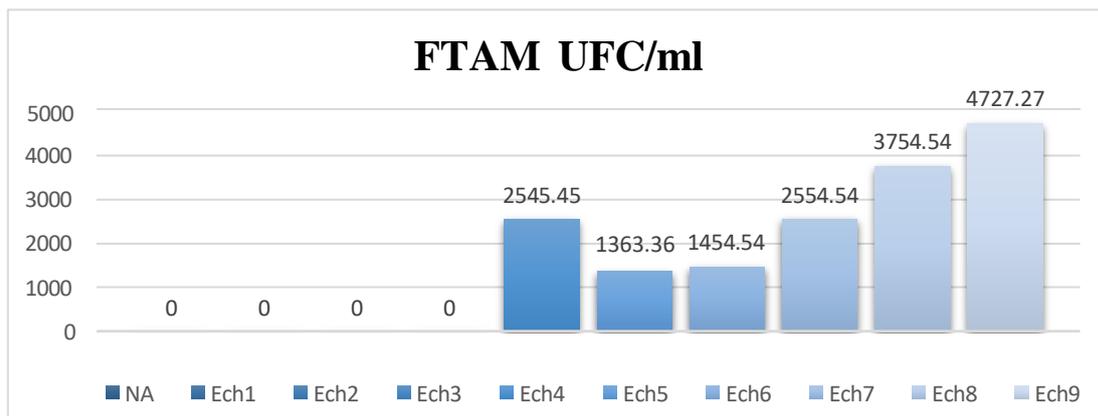


Figure 24 : La variation du FTAM des eaux étudiées

Les résultats du dénombrement des flores aérobies mésophiles totales montrent que les trois premiers, échantillons n°01 ,02 ,03 sont totalement exempts de FTAM, respectant ainsi les normes algériennes et celles de l'OMS. En revanche, les échantillons restants affichent des niveaux très élevés par rapport aux normes, l'échantillon n°10 révèle également une nappe très chargée en FTAM. Et on observe que les échantillons n° 4,5,6, 7, 8, 9 montrent une forte présence de FTAM. De plus, ces mêmes échantillons ont également enregistré des pourcentages élevés dans le sulfate, phosphate, nitrite et de nitrate, ce qui laisse penser qu'il y a probablement une relation entre les deux.

Selon (**Abbou et al., 2014**) les nitrates, nitrites, phosphates et sulfates sont essentiels pour le développement de la flore aérobie mésophile totale. Les nitrites et nitrates apportent l'azote nécessaire à la synthèse des protéines et autres composés cellulaires. Les phosphates, contenant du phosphore et de l'oxygène, sont cruciaux pour la croissance des micro-organismes, notamment des bactéries, en participant à la construction de leurs molécules de base et à la synthèse de l'ADN, de l'ARN et d'autres molécules importantes.

Nos résultats sont proches de ceux obtenus par (**Rezig et SadAllah ,2019**), qui ont relevé des observations similaires dans les eaux de puits de Bordj El Ghedir. Ces résultats indiquent une mauvaise qualité hygiénique de ces échantillons.

4.5.1. Les coliformes totaux

Les coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale (**Figarella J &Leyral G.,2002**). Nos résultats montrent l'absence totale de ces germes dans l'ensemble des prélèvements analysés.

Les résultats que nous avons obtenus sont semblables à ceux obtenus par DSP (Direction de la santé et de la population) annexe (Bordj Ghedir), qui affichent des données en coliformes (0/100 ml). Les résultats respectent les normes algériennes et celles de l'OMS.

4.5.2. Les coliformes fécaux

La présence des coliformes fécaux témoigne d'une contamination fécale, et peut être une indication de la présence des micro-organismes entéropathogènes, comme les salmonelles (**Chevalier, 2003**). Nos résultats montrent l'absence totale de ces germes dans l'ensemble des prélèvements analysés. Les résultats que nous avons obtenus sont également similaires à ceux obtenus par la Direction de la Santé et de la Population (DSP) l'annexe de Bordj Ghedir. Les résultats respectent les normes algériennes et celles de l'OMS.

Conclusion

Une eau potable est une eau qui doit respecter certaines normes comme être exempte de bactéries, virus et autres organismes parasites, ne pas contenir de substances chimiques indésirables ou toxiques et contenir certaines substances comme les oligoéléments nécessaires à l'organisme. Elle doit être claire, sans odeur et avoir un bon goût.

Au terme de ce travail, nous avons étudié la qualité physico-chimique et bactériologique de dix puits et forages destinés à la consommation humaine situés à différents endroits au niveau de la commune Bordj Ghedir, wilaya de Bordj Bou Arreridj, pour déterminer si la qualité de l'eau près de stations-service (essencerie) et de cimetières ainsi que des zones agricoles est affectée et pouvoir les comparer aux normes algériennes et à celle de l'OMS.

Du point de vue des paramètres organoleptiques, l'eau traitée étudiée ne présente ni odeur ni saveur désagréable et présente une couleur limpide.

Les valeurs de la température, pH, la salinité, conductivité, turbidité, résidu sec et matière en suspension, et conformes aux normes algériennes et de l'OMS.

Les paramètres chimiques, tels que la matière organique, la dureté totale, les nitrates, les sulfates, les chlorures et le sodium, répondent aussi aux normes algériennes et à celles de l'OMS. Cependant, les concentrations en nitrites dépassent les normes dans les échantillons 09 et 10, notamment ceux prélevés à proximité de la station-d 'essence. Cela est probablement dû à des déversements de carburant ou à d'autres activités chimiques sur le site. De plus, certains échantillons présentent des concentrations de phosphates dépassant les normes, en particulier l'échantillon 01, car il est situé dans une zone agricole. Ces concentrations élevées sont probablement dues à des sources anthropiques telles que les engrais agricoles, les détergents et les pesticides.

Les tests microbiologiques ont mis en évidence l'absence totale de coliformes fécaux et totaux dans tous les échantillons examinés. Le taux de flore aérobie mésophile est élevé, à l'exception des trois premiers échantillons (01,02,03), les résultats indiquent que reste d'échantillons présentent une mauvaise qualité hygiénique, ce qui pourrait causer des maladies d'origine hydrique comme l'hépatite A, la dysenterie, fièvres, Gastroentérites virale et les entérovirus. Bien que la majorité des résultats soient conformes aux normes, certaines zones nécessitent une attention particulière en raison des risques de contamination. Une gestion rigoureuse et un suivi régulier de la qualité de l'eau sont essentiels pour garantir la potabilité et la sécurité des approvisionnements en eau souterraine dans la région de Bordj Ghedir.

Il est donc souhaitable de généraliser ce type d'études et de les compléter par un échantillonnage plus large, plus représentatif, et réparti sur différentes régions de la wilaya. Pour évaluer la qualité des eaux souterraines (puits et forages), nous recommandons les perspectives suivantes :

- Accroître l'échantillonnage : Étendre la présente étude en incluant d'autres points d'approvisionnement en eau potable.
- Études saisonnières : Réaliser des analyses sur les quatre saisons de l'année pour suivre l'évolution spatio-temporelle de la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau.
- Contrôle continu : Mettre en place un suivi régulier de la qualité des eaux des puits et forages afin de prévenir les risques de contamination et de protéger la santé publique.
- Sensibilisation : Éduquer et inciter les populations locales à protéger et à traiter l'eau des puits et forages avant consommation.

Références

bibliographique

- **Abbou M. B., Fadil F., El Haji M., & Zemzami M. (2014).** impact anthropique sur la qualite des eaux souterraines du bassin versant de l'oued Taza (maroc) anthropogenic impact on groundwater quality in the watershed of oued Taza (Morocco). *European Scientific Journal*, 10(5).
- **Abboudi A., Tabyaoui H., El Hamichi F. (2014).** Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou, Maroc. *European Scientific Journal*, **23**, 84 -94.
- **Abdaoui A., Ayache M, Guessoum. R. (2022).** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de forages (Wilaya de Guelma).
- **Agence de l'Eau Adour-Garonne (AEAG)., (2012).** Les eaux souterraines, Toulouse, Cedex .4 -5.
- **Aissaoui A. (2013).** *Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la région d'Oued Athmania (wilaya de Mila) par les activités agricoles* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- **Anctil F. (2016).** L'eau et ses enjeux, 2eme Édition. Les presses de l'université Laval, bruxelles. 85 -100.
- **Andi (2014).** Agence Nationale de Développement et L'investissement, Monographie de la wilaya de Bordj Bou Arreridj. 6-13
- **André L'allemande., Bet Jean-Claude R (1999).** Périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine : Guide méthodologique et réglementaire, 2ème Edition, Edition BRGM, 14 – 20 et 24.
- **ANIREF (2013).** Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière.
- **Archibaled F. (2000).** the presence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill water system- a cause for concern *Water Quality Research Journal of Canada*.1-22.
- **Assouline J et Assouline S. (2007) :** Géopolitique de l'eau. Nature et enjeu. *Edition Studyrama*, 140
- **Attig I., Bernou A. (2020).** Evaluation des propriétés physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de la ville de Bouira. Mémoire de master. Université Akli Mohand oulhadj, Bouira. 58, 61.
- **Ayad W. (2017).** *Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'El Harrouch (Wilaya de Skikda)*. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar, Annaba. 9.

- **Baali M., BELMEKIMAH F. D. (2023).** *Analyse de quelques paramètres physico-chimiques et bactériologiques des sources d'eau au niveau de la wilaya de Mila* (Doctoral dissertation, university center of abdalhafid boussouf-MILA).
- **Bagnouls F., & Gaussen H. (1957).** Les climats biologiques et leur classification. In *Annales de géographie* (Vol. 66, No. 355, pp. 193-220). Armand Colin
- **Barrette É. (2006).** *Pesticides et eau souterraine : Prévenir la contamination en milieu agricole*. Développement durable, environnement et parcs Québec.
- **Baziz N. (2008).** *Etude sur la qualité de l'eau potable et risques sur la santé cas de la ville de Batna*. Doctoral dissertation, Université El Hadj Lakhdar. Faculté des sciences).
- **Bekhouche N, Khiel S, Ouldjaoui A, Ababsa L, Marniche F. (2022).** qualité physicochimique des eaux de l'oued sigues (nord-est de l'Algérie) : caractérisation et analyse en composantes principales. *Revue des Bio Ressources* 12(02), 2- 11.
- **Ben Mammern S., Bougoufa S. (2018).** L'analyse physicochimique et microbiologique de l'eau de source dans différentes régions de Bordj Bou Arreridj. Mémoire de master. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi
- **Benkaddour B. (2018).** *Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'oued Chélif (Algérie)*. Thèse de doctorat. Université de perpignan ; université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem. France. 22.
- **Bensalah Y., Benzitoune R. (2021).** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines brutes dans la wilaya de Constantine. Mémoire de Master. Université des frères Mentouri Constantine 1. 62, 64.
- **BNEDER., (2009).** Bureau National d'études Pour La développement rural.
- **Boeglin J. C. (2001).** *Propriétés des eaux naturelles*. Ed. Techniques Ingénieur., G1 110.
- **Boeglin J.C. (2009).** *Propriétés des eaux naturelles*, Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1, 110p
- **Bonnin j. 1982.** Aide-mémoire d'hydraulique urbaine, *Edition Eyrolles*. France. 128p.
- **Bourrier R., Satin M., & Selmi B. (2010).** *Guide technique de l'assainissement*. Éd. le Moniteur.
- **Bouziati M. (2000).** *L'eau : de la pénurie aux maladies*. Ed. Ibn-Khaldoun.
- **Bouziati M. (2006).** *L'eau dans tous ses états*. Ed. *Dar El Gharb, Algérie*.
- **Bourgeois c. m., Leveau j. y., (1992).** Technique d'analyse et de contrôle dans les industries Agro-alimentaires. Volume III, Ed. Technique et Documentation LAVOISIER, APRIA, Paris: 206- 219
- **Briere F.G., (2000).** Distribution et collecte des eaux, 2ème édition : École Polytechnique de Montréal, 299-300.
- **Capizzi S., Schwartzbrod J. (1998).** Helminth eggs concentration in wastewater: Influence of rainwater, *Water Sciences and Technology*, N°38, 77-82.

- **Chevalier P. (2003).** Coliformes totaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, institut national de santé publique du Québec, 4 .
- **Collin J. (2004).** *Les eaux souterraines : connaissance et gestion.* Hermann.
- **Coulibaly K. (2005).** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du District de Bamako.
- **Dajoz R.** Précis d'écologie. 4^{ème} édition, Gauthier Villars, 1982, p : 525.
- **Degrémont G. (2005).** Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10^{ème} édition, Edit. *Tec et doc*, 3-38.
- **Derradji S, Mechehoud N. (2021),** Evaluation de la qualité physico- chimique et organique des eaux souterraines de la commune de hamma Bouziane approvisionnées à la consommation humaine, mémoire de Master, Ecologie fondamentale et Appliquée, Université des Frères Mentouri Constantine 1.
- **Derwich E, Benaabidate L, Zian A, Sadki O, Belghit Y D. (2010),** caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec oued fes, *Larhyss Journal*, 8, 101-112.
- **Edberg S. C., Rice E.W., Karlin R. j. & Allen M. J. (2000).** Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of applied Microbiologie*, 88.106.
- **Figarella J., Leyral G. (2002).** Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. Ed. *Scérén CRDP d'Aquitaine*, Paris, 360 p.
- **François A., (2008).** L'eau et ses enjeux, Edition de Boeck, P134.
- **Gaujous D. (1995).** *La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire.* Technique & Documentation-Lavoisier.
- **Gomella G., Guerree H. et Neveux Marc., (1974) :** La distribution de l'eau dans les agglomérations urbaines et rurales. Edition Eyrolles
- **Guellord S. K., Katendi B., Mwanayamba A., Marsi M. K., & Salimini, A. (2023).** Impact Négatif des Stations-Service Sur la Nappe Phréatique Adjacente. Cas des Stations-Service Groupe Petropetroleum et Bon Berger au Quartier Kalubwe à Lubumbashi (RD Congo). *European Scientific Journal, ESJ*, 19(27), 64
- **Guiraud J- P., Rose, J-P. (2004).** Pratiques des normes en microbiologie alimentaire. AFNOR, 300, 8.
- **Henaut A., (2011).** Pollution de l'air et de l'eau, Les dossiers de science et politiques publiques, université Pierre et Marie Curie, Paris, P 02.

- **Houmel T. (2017).** *Contribution à l'étude des paramètres physicochimiques et bactériologiques sur deux périodes d'échantillonnage de deux sources d'eau au niveau de deux communes « Tizi Rached et Ait Toudert » Wilaya de Tizi-Ouzou* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri). Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Département de Biologie Animale et Végétale. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 77
- **Hubert R. (2007),** Actus, Vivre autrement, n° 1, Février 2007, p14.
- **Hugonin P. (2011).** Introduction aux thématiques de l'eau. *ISE, UNIGE, 31p.*
- **Iltache L. (2015).** *Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de trois sources d'eau de deux communes « Thala-Athman et Yakourene » wilaya de Tizi-Ouzou* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri)
- **John P., Donald A., (2010).** Microbiologie, 3ème Édition, 1216 p.
- **Kahoul M., (2017).** *Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'El-Harrouch (Wilaya de Skikda).* Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar-Annaba. 03p.
- **Kettab A. (1992).** Traitement des eaux : Les eaux potables, *Edition Office des Publications Universitaires.* Alger, vol 4. p118-111-123.
- **Khababa D., Tabet M. (2023).** Analyses physico chimiques et bactériologiques des eaux des puits de la wilaya de Bordj Bou Arreridj (la commune de Zemmoura). Mémoire master. Université Mohamed Bachir Ibrahimi.
- **Khadraoui A., & TALEB S. (2008).** Qualité des eaux dans le Sud algérien. *Potabilité–Pollution et.* « Qualité des eaux dans les u d algérien (potabilité pollution et impact sur le milieu) »
- **KHERIFI N, A. C. H. I. (2016).** Caractéristiques physico-chimiques d'un cours d'eau (cas de l'Oued Charef) dans la région de Guelma (Nord-est algérien).
- **Lapied L. Petransxiene D. (1981).** La qualité bactériologique du lait et des produits laitiers, analyses et tests," 2eme édition Technique et Documentation, Lavoisier, Paris, 1981, 228.
- **LAPPEGUE P. et RIBSTEIN P. (2006).** La qualité et les analyses d'eaux : Action contre la faim en Espagne et au Mali. Master 2 en Sciences de l'Univers, Environnement, écologie. Université Pierre et Marie Curie, Ecole des Mines de paris & Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, p 22-23.
- **Lounnas A. (2009).** Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-Kroma de Skikda. *Memory of Magister, Skikda Tlemcen University, Algeria,* 45-52.

- **Madigan M. T., & Martinko, J. M. (2007).** Biologie des microorganismes. 11e éd. ed.
- **Makhoukh M, Sbaa M, Berrahou A, Clooster M. (2011),** Contribution à l'étude physicochimique des eaux superficielles de l'oued moulouya (maroc oriental), *Larhyss Journal*, n° 09. 149-169.
- **Masschelein W. (1996),** Processus unitaires du traitement de l'eau potable, Edition CEBE, DOC spilliége, p181-345
- **Musy A., 2004.** Hydrologie. 1er éd., Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes.
- **Myrand D., (2008).** Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées, Québec, P04.
- **MZ B. (2017).** Caractérisation statistique de la qualité des eaux souterraines de la region nord du bassin du Hodna, m'sila. sud-est algérien. *Larhyss Journal*, (31).
- **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) [Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz (Central High Atlas, Morocco)]. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(4), 1068-1081.
- **Nwabor, O. F., Nnamonu, E. I., Martins, P. E., & Ani, O. C. (2016).** Water and waterborne diseases: a review. *Int. J. Trop. Dis. Health*, 12(4), 1-14.
- **O.M.S. (2017).** Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4eme édition, Genève, p564.
- **O.M.S. (1994).** Directives de qualité pour les eaux de boisson ; Volume 1- Recommandation. Organisation mondiale de la santé 2e édition.
- **O.M.S. (2006).** Paludisme : lutte anti vectorielle et protection individuelle, série de Rapports technique, n°936.p71.
- **O.M.S. (2008).** Guidelines for drinking-water quality, World Health Organization, Geneva.
- **O.M.S. (2018).** Cholera, Normes de surveillance des maladies évitables par la vaccination.
- **Ouhamouch CH et Zane N. (2021).** Evaluation des paramètres physicochimiques et bactériologiques des eaux de trois sources (Thianserine, Thala Bouada et Ait Naïm) dans la région de Tizi-Ouzou. Mémoire de Master. Faculté des sciences Biologiques et Agronomiques. Département de Biologie. Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou. 66 p
- **Ramade F. (2011).** *Introduction à l'écochimie : Les substances chimiques de l'écosphère à l'homme.* Lavoisier.

- **Ramdane F. (1984).** Eléments d'écologie- écologie fondamentale. *Edition Marc Graw-Hill*, Paris, 397p.
- **Reggam A. 2015.** *Contribution à l'étude de la qualité microbiologique et physico-chimique des eaux d'oued Seybouse*. Thèse de doctorat. Université 8 mai 1945, Guelma. P 40.
- **Rejsek F. (2002).** Analyse des eaux : aspect réglementaire et technique. *Edition CRDP AQUITAINE*. Collection biologique technique, 64 p.
- **Rezig A., Saad Allah A. H. (2019).** *Evaluation de la qualité bactériologique des eaux de puits de la région de Bordj Bou Arreridj* (Doctoral dissertation)
- **Renald M., (2003).** Le puits, Révision de la numérotation des règlements, développement durable, environnement et parcs, Québec, 52p
- **Rodier J. (1984),** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. 5^{ème} Edition, Dunod, Paris, p1500.
- **Rodier J. (2009),** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. 9^{ème} Edition, Dunod, Paris, p1500.
- **Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., (2005).** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p
- **Rodier J., Legube B., & Merlet N. (2009).** L'Analyse de l'eau 9^e édition. *Dunod, Paris*.
- **Salghi R. 2001.** Différentes filières de traitement des eaux. Cour préparé, université IBN ZOHR, Ecole nationale des sciences appliquées d'agadir. 22 p.
- **Sanyal S. et Paul D. K. (2019).** Monthly variation and interrelationship of physicochemical characteristics of a perennial pond at a biological park in Patna, Bihar, India. *Journal of Applied and Natural Science*, 11(2), 492-502.
- **Si Abderrahmane, O. (2016).** *Contribution à l'évaluation du système management qualité et des paramètres physicochimiques, bactériologiques et organoleptiques des eaux des stations de traitement Taksebt et Boudouaou* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- **Stampfli N., (2007).** Fiche technique ; Puits d'infiltration, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Services régionaux, région du Québec, 4p
- **Tardath. Het J.P. Beaudry, (1984),** « chimie des eaux, les griffons d'argile ».
- **Vilaginès R. (2000).** *Eau, environnement et santé publique : introduction à l'hydrologie*. Tec & doc.
- **Zitouni H.N., Kharoubi R. (2021).** *Qualité physico-chimique et bactériologique de quelque puits des eaux de la ville de Tiaret* (Doctoral dissertation, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie).

- **Zamoum R., Kaddour S. (2020)** Méthémoglobinémie et surdosage à la Dapsone : Revue de la littérature. *Batna Journal Of Medical Sciences*, 167.

Webographie

- <https://www.annabac.com/revision-bac/la-diversite-des-ressources-en-eau>
- <https://www.puits.com/puits-artesiens/installation-dun-puits-artisien/>
- <http://www.pnas.org/content/early/2010/05/20/1004812107.abstract>
- <https://www.wofrance.fr/>
- <https://www.tutiempo.net/clima/argelia/2022.html>

ANNEXE

ANNEXE 1 : Matériels et méthodes (Appareillages et les produits chimiques)

- **Matériels lourds**

Autoclave, Bain marie, balance, distillateur, becs Bunsen, congélateur, compteur de colonies
Étuves de 25°C, de 37°C, et de 44°C, Hotte, Micropipettes, pH-mètre, plaque chauffante, conductimètre, turbidimètre, spectrophotomètre.

- **Ustensiles**

Anses de platine, Boîtes de Pétri, Cuillère, Distributeur, Pincettes, Pissette, Portoirs, Spatule

- **Verreries**

Béchers, Entonnoirs, Éprouvette graduée, Erlenmeyers, Fiole jaugée, Flacons, Pipettes graduées, Pipettes Pasteur, Burette et Tubes à essais.

ANNEXE 2 : Détermination de température

- **Mode opératoire :**

- ✓ Mettre un peu d'eau dans un bécher de 250 ml.
- ✓ Plonger le thermomètre dans l'eau.
- ✓ Attendre jusqu'à ce que le mercure se stabilise.
- ✓ Effectuer une lecture avec le bulbe du thermomètre encore dans l'eau.

ANNEXE 03 : Détermination de PH

- **Mode opératoire :**

- ✓ Etalonner le pH mètre à l'aide des deux solutions tampons.
- ✓ Plonger l'électrode dans l'eau à analyser et lire la valeur du pH. La température doit être 20 °C.
- ✓ A chaque détermination de ph, retirer l'électrode, rincer avec l'eau distillée et sécher.
- **Lecture des résultats :** la valeur est indiquée sur le pH-mètre

ANNEXE 04 : Détermination de la conductivité

- **Mode opératoire :**

- ✓ Assurez-vous que l'appareil est propre et en bon état de fonctionnement.
- ✓ Vérifiez que les électrodes sont propres et rincées à l'eau distillée.

- ✓ Insérez les électrodes du conductimètre dans l'échantillon d'eau. Veillez à ce que les électrodes soient correctement immergées.
- ✓ Activez le conductimètre, l'appareil enverra un courant électrique à travers les électrodes et l'eau, mesurant ainsi la conductivité électrique de l'échantillon.
- ✓ Laissez le conductimètre stabiliser la mesure pendant un certain temps, généralement quelques secondes, jusqu'à ce que les valeurs de conductivité se stabilisent.
- ✓ Lisez et enregistrez les résultats affichés sur l'écran du conductimètre. Notez les valeurs de conductivité en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou en millisiemens par centimètre (mS/cm), ainsi que la température à laquelle la mesure a été effectuée.
- ✓ Après utilisation, nettoyez soigneusement les électrodes. Assurez-vous de retirer tout résidu de l'échantillon des électrodes pour éviter les contaminations lors des prochaines mesures.
- **Lecture des résultats** : la valeur est indiquée sur le conductimètre.

ANNEXE 05 Fonctionnement du turbidimètre

- ✓ Appuyer sur le bouton d'alimentation électrique situé à l'arrière de l'appareil.
- ✓ Remplir une cuvette propre la formation de bulle d'air.
- ✓ Tenir la cuvette par le bouchon et l'essuyer avec mouchoir doux sans peluches pour retirer les gouttes d'eau et les traces de doigts.
- ✓ Placer la cuvette dans le puits Presser la touche SIGNAL.AVG pour choisir le mode d'intégration du signal (actif ou non) puis presser la touche UNITS pour sélectionner l'unité de mesure N.T.U.
- ✓ Lire et noter le résultat affiché mesure et vider la cuvette et la rincer avant la mesure suivante.

ANNEXE 06 Matières en suspensions (MES)

- **Mode opératoire**

La mesure des matières en suspension a été faite par la méthode de filtration en utilisant des disques filtrants de porosité de $0,45\mu\text{m}$, et un dispositif de filtration sous vide. Une quantité d'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle. La teneur de l'eau en matières en suspension (mg/L) est donnée par l'expression suivante : **$M1 - M0/V \times 1000$**

- ✓ $M0$ = masse du disque filtrant avant utilisation (mg).
- ✓ $M1$ = masse du disque filtrant après utilisation (mg).

- ✓ V = volume d'eau utilisé (ml).
- ✓ On pèse un papier filtre spéciale ce qui représentera le poids 0 (M₀).
- ✓ On filtre 150ml d'eau (brute, traitée), à l'aide d'une pompe à vide
- ✓ On récupère le filtre mouillé, on le sèche dans l'étuve pendant 2h à 100°C
- ✓ Une fois séché, on repese le filtre qui va donner le poids 1(M₁).
- ✓ On calcule les MES de la manière suivante
MES (M₁-M₀) ×1000/150 (**Rodier,2005**).

ANNEXE 07 : RESIDU SEC

- **Mode opératoire :**
- ✓ Assurez-vous d'avoir un échantillon représentatif de l'eau à tester. Il est recommandé d'utiliser une quantité d'échantillon suffisante pour obtenir des résultats précis. Prétraitez l'échantillon pour éliminer les matières volatiles si nécessaire.
- ✓ Pesez un récipient propre et sec pour contenir l'échantillon. Notez la masse du récipient.
- ✓ Versez l'échantillon dans le récipient préalablement pesé. Placez le récipient avec l'échantillon dans un four ou sur une plaque chauffante à une température appropriée (généralement entre 103 et 105°C) pendant une période spécifique, généralement plusieurs heures.
- ✓ Une fois l'échantillon évaporé, retirez le récipient du four ou de la plaque chauffante et laissez-le refroidir à température ambiante dans un environnement sec. Une fois refroidi, pesez à nouveau le récipient contenant le résidu sec et notez la masse.
- ✓ Calcul du résidu à sec : Soustrayez la masse du récipient initial de la masse du récipient contenant le résidu sec. La différence correspond à la masse du résidu à sec. Cette masse est généralement exprimée en milligrammes par litre (mg/L) ou en parties par million (ppm).

ANNEXE 08 La dureté totale (méthode par complexométrie (EDTA))

- **Réactifs**
- **Solution de noir d'ériochrome T**

Dans l'alcool éthylique absolu à 0,4 % (à conserver à l'abri de la lumière).

- **Tampon de solution**

Chlorure d'ammonium.....	34 g
Ammoniaque (D=0.925).....	285ml
Tartrate double potassium et sodium	200 g
Eau distillée	1000 m

- **Solution d'EDTA N 50**

Sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique.....	4 g
Eau distillée	1000 ml

Vérifier le titre de la solution à l'aide de la solution étalon, l'ajuster de façon que 1 ml corresponde à 0,4 mg de calcium.

- **Mode opératoire :**

Prélever 50 ml d'eau à analyser. Chouffer la prise d'essai à une température d'environ 60 °C. Ajouter 4 ml de solution tampon (pH 9.5-10) et 2 à 3 gouttes d'indicateur coloré.

Verser la solution d'EDTA jusqu'au virage du rouge vineux au bleu vert. Vérifier qu'une goutte d'EDTA ne produit plus de taches bleu-vert. Soit V le volume de solution d'EDTA versée



Avant titration



Après titration

Figure 01 : résultats de titration de la dureté totale (**photos original**)

- **Expression et résultat :**

Pour une prise d'essai de 100 ml, la dureté totale exprimée en degrés français sera égale à V et à 2 V/10 en milliéquivalent.

ANNEXE09 Matière organique

- **Mode opératoire :**

- ✓ Prélever 100 ml d'eau a analysé.
- ✓ Ajouter 5 ml H₂SO₄ dilué et porter à ébullition pendant 1 min.
- ✓ Ajouter 15 ml de KMnO₄ à 0.01N avec 10 min d'ébullition régulière et douce.
- ✓ Ajouter 15 ml d'acide oxalique à 0.01N.
- ✓ Titrer à chaud avec KMnO₄, à 0.01 jusqu'à l'obtention d'une coloration rose clair persistante.



Avant titrage

Après titrage

Figure 02 : résultats de titration de la matière organique (photos original)

ANNEXE 10 Les chlorures : (méthode de Mohr)

- **Matériel requis :**

- ✓ Solution titrante : Solution d'argent nitrate (AgNO₃) N/10 de concentration connue.
- ✓ Indicateur : Solution de chromate de potassium (K₂CrO₄) à 10 % utilisée comme indicateur coloré.
- ✓ Carbonate de calcium pur.
- ✓ Acide nitrique pur

- **Mode opératoire :**

Introduire 100 ml d'eau a analysé, préalablement filtrée, dans un erlenmeyer de 250 ml. Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %. Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister à 1 minutes. Soit le V le nombre de millilitres de nitrate d'argent N/10 utilisés.

• **Expression des résultats :**

pour une prise d'essai de 100 ml $V \times 10 \times 3.55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligramme de Cl par litre d'eau. $V \times 10 \times 5.85$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligramme de NaCl par litre d'eau.

Annexe 11 : Les nitrates

• **Réactifs :**

- ✓ Solution de salicylate de sodium à 0.5% à renouveler toutes les 24 heures.
- ✓ Acide sulfurique concentré (d=1.84).
- ✓ Solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium :
 - Hydroxyde de sodium400 g.
 - Tartrate double de sodium et de potassium.....60 g
 - Eau distillée 1000 ml Faire dissoudre les sels dans l'eau.
- ✓ Laisser refroidir et compléter à 1000 ml.
- ✓ A conserver dans un flacon en polyéthylène.
- ✓ Solution mère étalon d'azote nitrique à 0.1 g/L :
 - Nitrate de potassium anhydre.....0.722 g.
 - Eau distillée..... 1000 ml
 - Chloroformes (pour conserver)..... 1 ml.
- ✓ Solution fille étalon d'azote nitrique à 0.005 g/L
 - Amener 50 ml de la solution mère à 1000 ml avec de l'eau distillée

- **Etablissement de la courbe d'étalonnage :** dans une série de capsules de 60 ml, introduire successivement :

Tableau : Etablissement de la courbe d'étalonnage pour le dosage des nitrates

Numéro de capsules	T	1	2	3	4
Solution étalon d'azote nitrique à 0.005 g/L	0	1	2	5	10
Eau distillée	10	9	8	5	0
Correspondance en mg/L d'azote nitrique	0	0.5	1	2.5	5
Solution de salicylate de sodium (ml)	1	1	1	1	1

Evaporer à sec au bain marie ou dans une étuve portée à 75-80°C (ne pas surchauffer, ni chauffer trop longtemps). Laisser refroidir, reprendre le résidu par 20 ml d'acide sulfurique concentré en ayant soin de l'humecter complètement. Attendre 10 minutes, ajouter 15 ml

d'eau bi-distillée puis 15 ml de la solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune. Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm. Soustraire des densités optiques lues pour les étalons, la valeur relevée pour le témoin. Construire la courbe d'étalonnage.



Figure 03 : Préparation pour l'établissement de la courbe d'étalonnage (photos original)

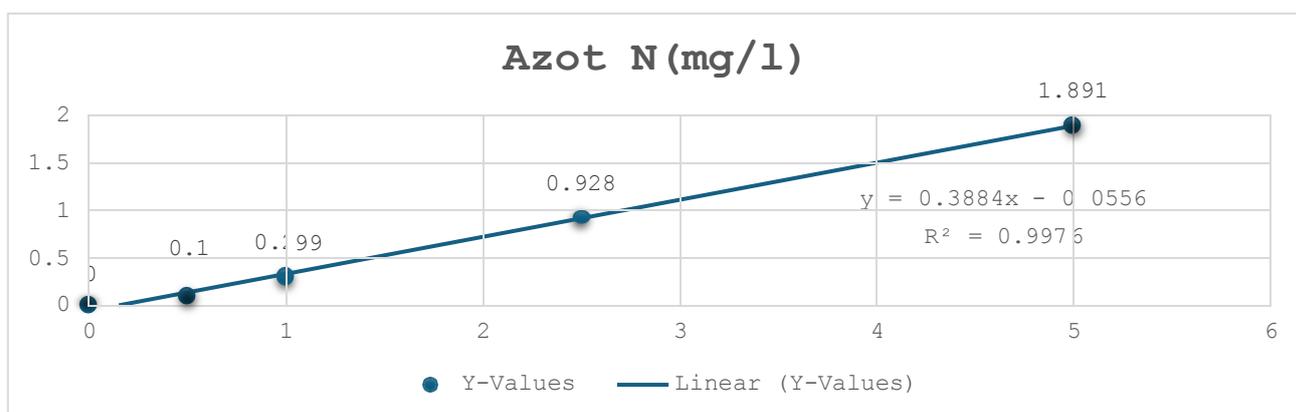


Figure 04 : Courbe d'étalonnage d'azote nitrique

- **Mode opératoire :**

Introduire 100 ml d'eau dans une capsule de 60 ml (pour des teneurs et azote nitrique supérieures à 10 mg /l, opérer une dilution). Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium. Ajouter 1 ml de solution de salicylate de sodium puis poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage. Préparer de la même façon un témoin avec 10 ml d'eau bi-distillée. Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 450 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

- **Expression des résultats :**

pour une prise d'essai de 10 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en milligrammes par litre d'eau. Pour obtenir la teneur en nitrates (NO^-3), multiplier ce résultat par 4.43.

Annexe 12 : Dosage des nitrites (méthode au réactif de Zambelli) :

Suivant l'origine des eaux, la teneur en nitrites est assez variable. La méthode au réactif de zambelli une sensibilité de l'ordre de quelques microgrammes par litre. Il sera nécessaire de tenir compte pour l'interprétation des résultats et de prendre toutes précautions utiles pour la pureté des réactifs et la propreté de la verrerie. L'équilibre entre l'ammoniaque, les nitrites et nitrates peut évoluer rapidement sous l'influence de phénomènes biologiques, il convient donc de procéder au dosage des nitrites le plutôt possible après le prélèvement, en la conservant à 40°C.

- **Matériels et réactifs :**

- **Matériels :**

- ✓ Fioles jaugées : 1L (2).
- ✓ Béchers : (3).
- ✓ Eprouvettes : 500 ml (1), 1000 ml (1), 25 ml (1), 10 ml (1).
- ✓ Pipettes : 10 ml (1), 5 ml (1), 2 ml (1).
- ✓ Tubes à essai : 15 ml (1)
- ✓ Bain marie, balance, agitateur.

- **Réactifs :**

- ✓ Ammoniaque pur (d=0.925)
- ✓ Solution mère étalon de NO₂- 0.23 g/l :
 - Nitrite de sodium 0.345 g
 - Eau fraîchement distillée 1000 ml

Cette solution se conserve mieux si l'on prend la précaution d'y ajouter 1 ml de chloroformes.

- ✓ Solution fille étalon d'ion NO₂- 0.0023 g/l Préparer cette solution dans une fiole jaugée de 100 ml à partir de la solution mère avec de l'eau distillée.

Réactif de ZAMBELLI :

- Acide chlorhydrique pure (d= 1,19).....260ml
- Acide sulfanilique 05g
- Phénol cristallisé..... 07,5g
- Chlorure d'ammonium..... 13,5ml
- Eau distillée.....625ml.

- **Préparation de réactif de ZAMBELLI :**

Introduire dans une fiole jaugée d'un litre : l'eau distillée et l'HCL Dissoudre dans le mélange l'acide sulfanilique et le phénol en chauffant légèrement au bain marie jusqu'à dissolution complète. Ajouter le chlorure d'ammonium et agiter jusqu'à dissolution. Après refroidissement ajuster jusqu'à 1L avec l'eau distillée.

NB : le nitrate est un produit qu'il faut manipuler avec délicatesse vue sa toxicité et son impact sur la santé de l'homme.

- **Etablissement de la courbe d'étalonnage :**

Dans une série de tube d'essai (15 ml) numérotés introduire successivement les réactifs en agitant après chaque addition.

Tableau : Etablissement de la courbe d'étalonnage pour le dosage des nitrites

Numéros de tube	T	1	2	3	4	SOL INC. 1	SOL INC.2
Solution fille étalon (ml)	0	2	3	4	5	10	10
Eau distillée (ml)	10	8	7	6	5	0	0
Réactif de ZAMBALLI	2	2	2	2	2	2	2

Attendre 10 min, puis ajouter

Ammoniaque pur (ml)	2	2	2	2	2	2	2
---------------------	---	---	---	---	---	---	---

- **Lecture des résultats :** Effectuer la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 435 nm.



Figure 05 : les échantillons de nitrite (photos original)

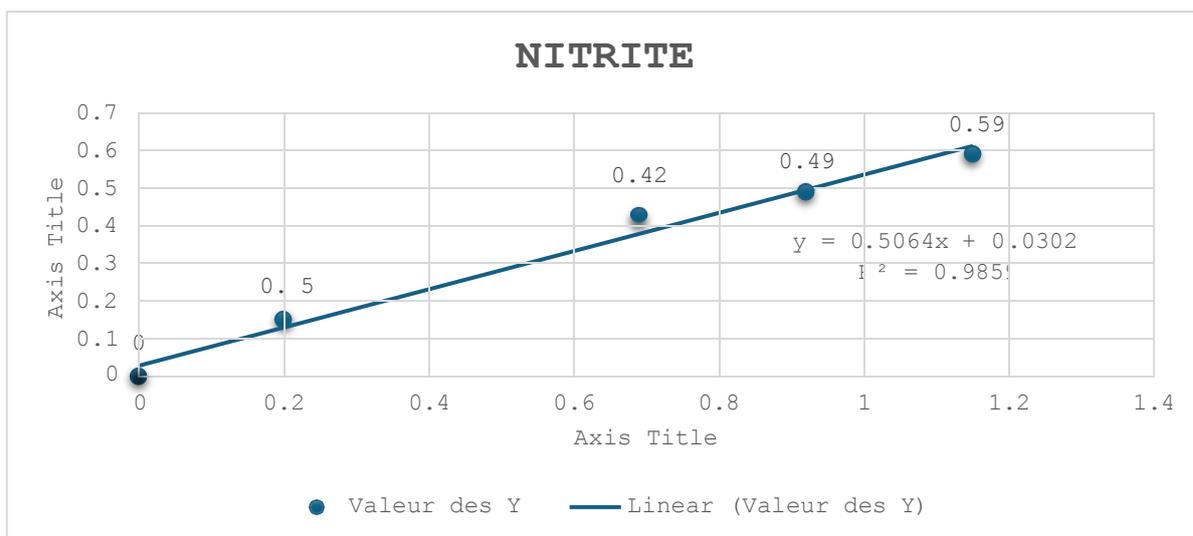
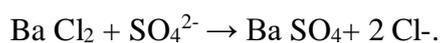


Figure 06 : Courbe d'étalonnage d'azote nitrique

ANNEXE 13 : Détermination des sulfates (SO₄²⁻)

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum En présence de Ba Cl₂.



- Appareil (Spectrophotomètre UV Visible)

Réactifs :

- Solution mère de sulfates à 1 g/l à partir de Na₂SO₄ :
 - Peser 1,479 g de Na₂SO₄..... 1000 ml d'eau distillée.
- Solution stabilisante :
 - Acide chlorhydrique (c)..... 60 ml.
 - Ethanol 200 ml.
 - Chlorure de sodium..... 150 g.
 - Glycérol 100 ml.
 - Eau distillée 1000 ml.
- Solution de chlorure de baryum :
 - Chlorure de baryum..... 150 g.
 - Acide chlorhydrique 5 ml.
 - Eau distillée 1000 ml.

- Gamme d'étalonnage :
 - Prendre 8 béchers de 250 ml.
 - Laver très bien avec du savon et une lavette.
 - Rincer abondamment avec l'eau du robinet.
 - Rincer avec une solution acide chlorhydrique
 - Rincer avec l'eau du robinet puis avec de l'eau distillée.
- Remarque : Les échantillons troubles ou colorés doivent être filtrés sur filtre de 0,45 µm. Les échantillons qui contiennent plus de 70 mg/l SO₄²⁻ doivent être dilués avant détermination.

Courbe d'étalonnage :

N° Bécher	0	1	2	3	4	5	6	7
Mère à 1g/l (ml)	0	1	2	3	4	5	6	7
L'eau distillée (ml)	100	99	98	97	96	95	94	93
Stabilisante (ml)	5	5	5	5	5	5	5	5
Chlorure de baryum (ml)	2	2	2	2	2	2	2	2

Agitation 1 mn.

concentration finale mg/l SO ₄ ²⁻	0	10	20	30	40	50	60	70
---	---	----	----	----	----	----	----	----

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

Mode opératoire :

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.
- Agiter énergiquement pendant 1 mn.
- Passer au spectrophotomètre 420 nm.

Expression des résultats : mg/l SO₄²⁻ = la valeur lue sur le spectrophotomètre x facteur de la dilution.

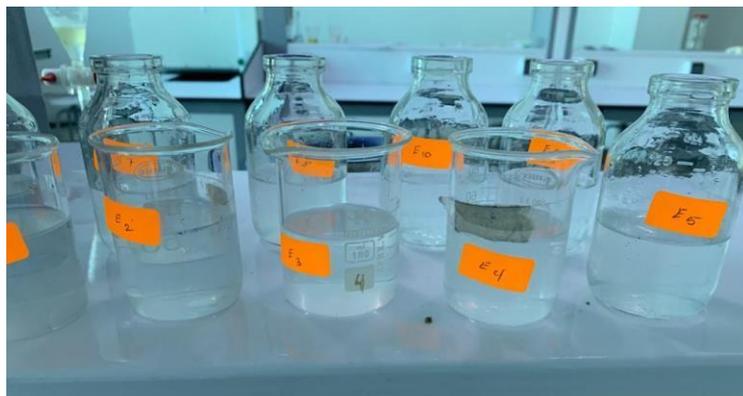


Figure 07 : les échantillons de sulfate (photos original)

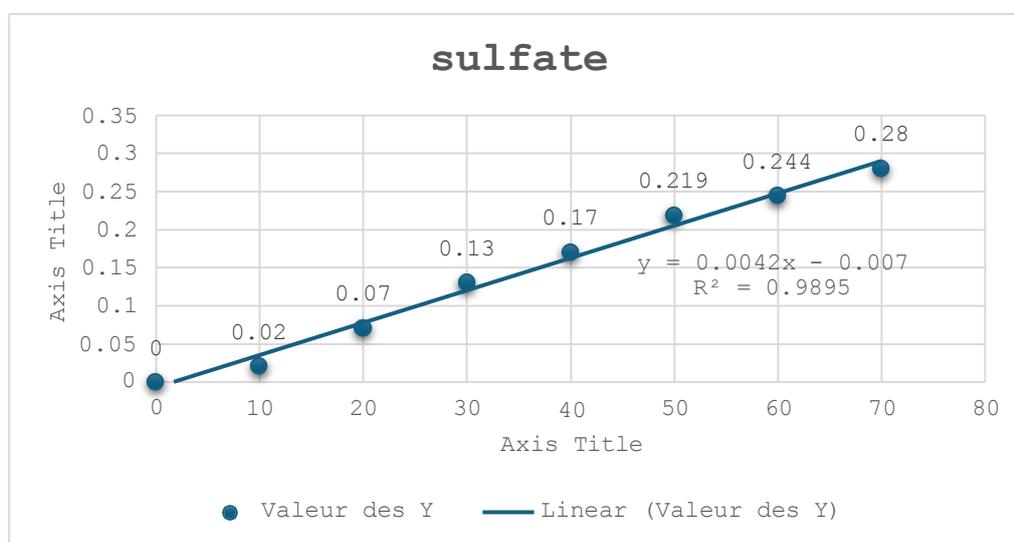


Figure 08 : Courbe d'étalonnage de sulfate

ANNEXE 14 : Dosage des phosphates

- **Mode opératoire**

Introduire 40 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 50 ml, ajouter 4 ml de solution de l'acide molybdate, puis 10 gouttes de la solution de chlorure stanneux. Ajuster jusqu'au trait de jauge avec l'eau distillée, bien mélanger. Laisser 5 minutes puis effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 690 nm.

Réactifs :

- Molybdate d'ammonium ($(NH_4)_6MO_7 \cdot 4H_2O$)
- Hydrogénophosphate de potassium KH_2PO_4 ,
- Chlorure stanneux ($SnCl_2$).
- Glycérol • Acide sulfurique (H_2SO_4) concentré.

- **Préparation des solutions**

- a.** Solution mère de phosphate à 0,5mg/l :

Hydrogénophosphate de potassium sec KH_2PO_4 0,07615g

Les dissoudre dans 10ml d'eau distillée dans un bécher. Transférer la solution dans une fiole jugée de 1000ml et rincer le bécher avec 1ml de CHCl_3 puis compléter au trait de jauge avec d'eau distillée

- b.** Solution standard de phosphate à 0,05mg/l :

1ml de la solution mère de phosphate à 0,5mg/l dissout dans 100ml d'eau distillée.

- c.** Solution de molybdate d'ammonium :

- Acide sulfurique concentré 25ml

- Eau distillé 40ml

Dans un bécher, on met d'abord l'acide sulfurique concentré puis on rajoute petit à petit l'eau distillée). Laisser la solution se refroidir à la température ambiante. Peser 2,5g de molybdate d'ammonium $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ et les dissoudre dans 7,5ml d'eau bi-distillée. Mélanger la solution de molybdate d'ammonium avec la solution d'acide refroidi puis ajuster à 100ml avec d'eau distillée.

- d.** Solution de chlorure stanneux :

- Chlorure stanneux (sn $\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0,25

- Glycérol 10ml

Mélanger puis chauffer la solution au bain marie tout en remuant avec une baguette en verre jusqu'à dissolution complète du stanneux.

ANNEXE 15 : Dosage des phosphates

Etablissement de la courbe d'étalonnage

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV
Solution standard de phosphate 0,005 g/l	0	1	2	3	4
Eau distillée (ml)	50	49	48	47	46
Solution de chlorure de stanneux (gouttes)	10	10	10	10	10
Solution d'acide molybdate (ml)	4	4	4	4	4
Equivalent en mg/l de phosphate	0	0,1	0,2	0,3	0,4

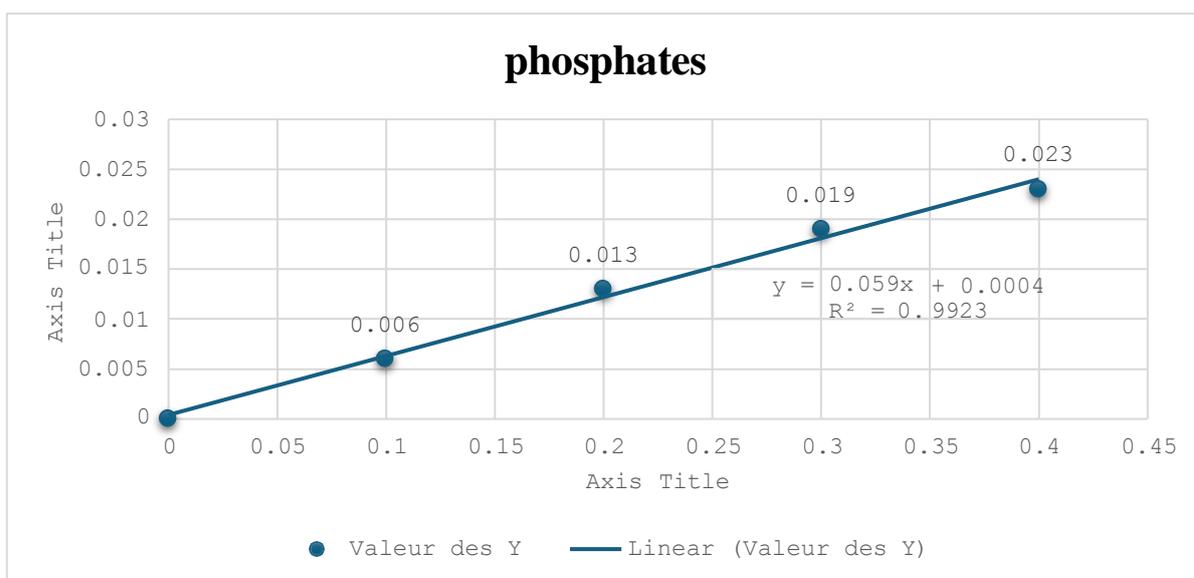


Figure N° : Courbe d'étalonnage des phosphates.

ANNEXE16 : Etapes de Préparation des milieux déshydratés

-Peser la quantité appropriée de milieu en prenant soin de mettre en place les équipements de protection individuelle (EPT) indiqués dans les fiches de donnée de sécurité.

-Ajouter progressivement le volume d'eau nécessaire à la reconstitution (indiqué sur l'étiquette et la fiche technique).

-Agiter lentement et régulièrement pour solubiliser les composants

-Répartir la gélose de façon homogène.

-Porter à ébullition (sans les surchauffer) les milieux contenant de l'agar avant de répartir en tubes ou en flacons. la dissolution complète de la gélose est obtenue lorsque la solution visqueuse ne contient plus aucune particule d'agar s'accrochant aux parois de récipient. .

❖ Stérilisation

Les flacons et les tubes ainsi préparés sont stérilisés pendant une durée et à une température spécifique à chaque milieu de culture.

Les particularités propres à chaque milieu sont notifiées dans la fiche technique sur l'étiquette.

❖ Technique de dilution

Marquer les tubes de diluant (Exemple : 10^{-1} ; 10^{-2} ; 10^{-3}).

- Prélever 1 ml d'eau à analyser que l'on place dans 9ml de diluant.
- procéder en cascade en mélangeant 1 ml d'une dilution à 9 ml de diluant « les diluants utilisés peuvent être différents selon les techniques. la norme NF T 90-400 fait référence aux diluants suivants :

« Eau distillée, solution tampon phosphate, solution de Ringer, solution peptonée saline et eau peptonée » ci pour réaliser la dilution suivante :



Composition des milieux de culture

Milieu	Composition	Préparation
Milieu PCA	-Hydrolysattrypsique de caséine...5g -Extrait de levure 2,5g -Glucose 1g -Agar 15g -Eau distillée.....1000ml -PH final..... 7	-Mettre en suspension 23 g dans 1 litre d'eau distillée. -porter le milieu à ébullition sous agitation constante pendant au moins 1min. -répartir en tubes ou flacons. -autoclaver à 121°C pendant 15 minutes.
Milieu VRBG	Peptone7g extrait de levure.....3g glucose10g chlorure de sodium.....5g sels biliaire1,2g rouge neutre0,03g Cristal violet 0,002g Agar 12g PH final..... 7,2±0,2	-Verser 38,5 g de poudre dans un litre d'eau distillée ou déminéralisée. -Porter lentement à ébullition sous agitation constante et l'y maintenir durant le temps nécessaire à sa dissolution complète. -Ne pas autoclaver. -Ne pas Bien mélanger Et répartir.

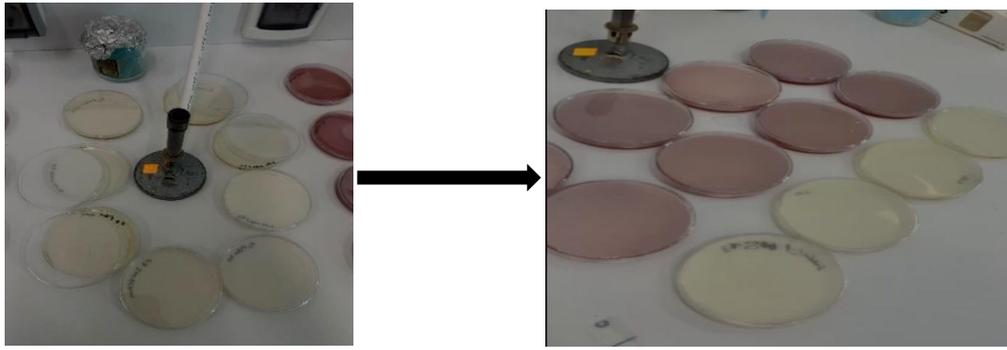
ANNEX 17 Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale

- **Mode opératoire**

On porte aseptiquement 1mL de la solution mère et des dilutions décimales 10^{-3} à 10^{-1} est mis en culture en profondeur dans des boîtes de Pétri stériles et vides préparées à cet usage
Ensemencement et incubation

- On dépose 1 ml de la solution mère et des dilutions décimales successives allant de 10^{-1} à 10^{-2} dans des boites de pétri stériles à l'aide d'une pipettes stériles.

Nous avons coulé 15ml de milieu PCA (Figure) refroidit à 45°C, dans chaque boîte de Pétri. L'inoculum est soigneusement mélangé au milieu de culture par des mouvements circulaires et de « va-et-vient » ou en forme de « 8 » sur une surface fraîche et horizontale. Après solidification, les boites ainsi préparées sont incubées dans l'étuve : 37 °C pour la première série (recherche des FMAT)



- **Lecture**

Les colonies se présentent sous forme lenticulaire en masse.

- **Expression des résultats**

Comptage du nombre de colonies à l'aide d'un compteur de colonies pour les boîtes contenant entre 10 et 300 colonies expression du résultat selon la formule suivante :

$$N = \frac{\Sigma \text{ des colonies}}{V (n1 + 0,1 n2) \cdot D}$$

V : Volume de dilution utilisé (0,1ml sur la surface, 1ml dans la masse.).

n1 : Nombre de boîtes dans la 1ere dilution.

n2 : Nombre de boîtes dans la 2ème dilution.

d : Dilutions à partir de laquelle les présences dénombrement sont obtenues.

- ✓ **Recherche et dénombrement des coliformes**

Le terme coliforme regroupe un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des Enterobacteriaceae et qui partagent certaines caractéristiques. ce sont des bacilles à Gram négatifs, oxydases négatives, facultativement anaérobies, capables de croître en présence de sels biliars et capables de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide en 48 heures, à des températures de 35 à 37 °C.

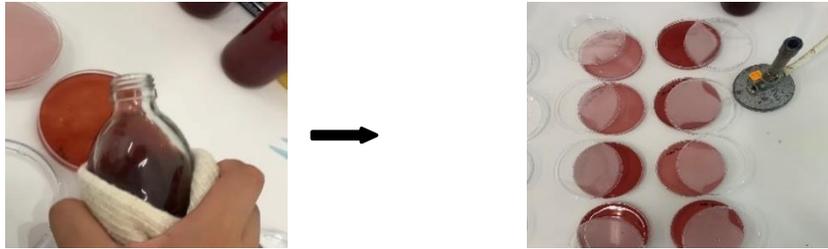
Les coliformes sont recherchés par ensemencement en profondeur sur gélose glucosée biliée au cristal violet et au rouge neutre (VRBG), incubée 24 heures à 37°C pour les coliformes totaux et à 44°C pour les coliformes fécaux

- ✓ **Mode opératoire :**

A partir des dilutions décimales 1/100 000 à 1/10 voire 1, porter aseptiquement 1ml de chaque dilution dans une boîte de pétri vide.

Cette opération doit être effectuée en double pour chaque dilution car :

- La première série de biotes sera incubée à 37°C et sera réservée à la recherche des coliformes totaux.
- La deuxième série de biote sera incubée à 44°C et sera réservée à la recherche des coliformes fécaux.



Compléter ensuite avec environ 15ml de VRBG fondue puis refroidie à 45+ ou -1°C.

Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose utilisée.

Laisser solidifier sur paille, puis rajouter une deuxième couche d'environ 5ml de la même gélose ou de gélose blanche, cette double couche a un rôle protecteur contre les contaminations diverses

Incubation :

Les biotes seront donc incubés couvercle en bas pendant 24 à 48 heures à :

- 37°C pour la première série (recherche des coliformes totaux)
- 44°C pour la deuxième série (recherche du coliforme fécal)

Annexe 18 : Images des résultats microbiologiques



Image 01 : FTAM (Boite PCA positive à 37°C)



Image 02 : FTAM (Boite PCA négative à 37°C)

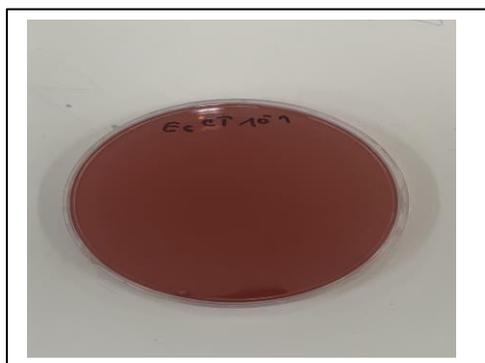


Image 03 : CT (Boite VRBG négative à 37°C)

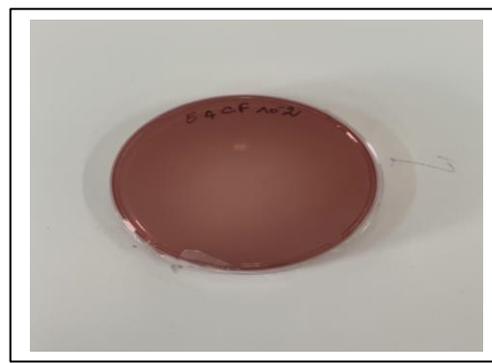


Image 04 : CF (Boite VRBG négative à 44°C)

Liste des maladies a transmission hydrique (commune de Bordj Ghedir)

les maladie	le nombre
hépatite virale A	170
Bilharziose	0
Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes	22
Leishmaniose cutanée	3
Leishmaniose viscerale	2
Toxi-infection alimentaire collective	120