



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

Présenté par :

ATIA Hadil & RAMACHE Saida

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

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	Mme. LAOUFI Hadjer	MAA	Université de B.B.A.
Encadrant :	Mme. BAAZIZ Naima	MCB	Université de B.B.A.
Examineur :	Mme. BOULEKROUNE Hasna	MCA	Université de B.B.A.

Année Universitaire 2023/2024

Dédicace

Au tout puissant Allah

A toi la louange, Ô la lumière des cieux ; de la terre et de ce qu'ils renferment. Gloire à toi de nous avoir assisté de ta lumière et en toute circonstance matin et soir.

A qui je le préfère à moi-même et pourquoi pas, car elle s'est sacrifiée pour moi, et pour me rendre toujours heureuse (Ma mère bien-aimée Rahoudja).

Au propriétaire d'un visage gentil et de bonnes actions, il n'a pas été avare avec moi toute sa vie (Mon cher père Abderrahmane).

A mes chers et adorables sœurs (Ibtissam, Sarra et Ahlem) et frères (Noureddine et Kheyrdine)

Atout mes neveux et nièces (Saif, Haythem, Yousef, Djalil, Ritadj, Sirine, Alaa, et Zakaria)

A ma meilleure amie (Hadil) : tu es tout ce que j'ai de plus cher au monde. Tu représentes tellement pour moi que ces quelques mots ne suffiront pas à te dire à quel point tu comptes pour moi ; merci pour vos conseils et vos encouragements, mais aussi pour les bons moments qui ont contribué à rendre ces années inoubliables.

Mes amies, tout particulièrement :

Misso, Rihem, Fatima, Amina, Afrah et Ilham ; merci pour les bons moments.

RAMACHE Saida



إهداء

الحمد لله الذي أنشأ وبرأ وخلق الماء والثرى وأبدع كل شيء وذرا الرحمان على العرش استوى والصلاة والسلام على من بكي

على أمته المبعوث صلى الله عليه وسلم الحبيب المصطفى

أما بعد فإنما طلبنا العلم لوجه الله وذلك فضل الله يؤتيه من يشاء وقد قال تعالى { يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ }

وقد رفعنا الله تعالى بذلك ونسأله أن يرفع قيمتنا ومقامنا في الآخرة كما رفعه في الدنيا...

ها أنا اليوم أهدي تخرجي هذا إلى من أحمل اسمه بكل فخر، من كلله الله بالهيبه والوقار، من دعمني بلا حدود وأعطاني بلا مقابل،

إلى من بذل الغالي والنفيس في سبيل راحتي ونجاحي "أبي العزيز أطال الله عمره"

إلى من يعجز اللسان عن الثناء عليها والقلم عن وصف فضلها، إلى من جعل الله الجنة تحت قدميها، إلى من سهرت وكافحت واجتهدت

في نشأتي وتربيتي، إلى من كان دعاؤها سر نجاحي "أمي الغالية حفظها الله"

إلى من عشت وترعرعت معهم، من شددت عضدي بهم، من كانوا سندي في الضراء وشركائي في السراء،

إلى نعيم الحياة وقررة العين "إخوتي أمد الله عمرهما"

إلى أصدقاء المواقف لا السنين، إلى الذين شجعوني على المثابرة وإكمال المسيرة، إلى من هونوا تعب الطريق،

رفقاء الروح وشركاء الدرب، دتم لي سندا لا عمر له....

إلى أساتذتي الكرام... كل باسمه ومقامه

إلى كل من سعى معي لإتمام هذه المسيرة وكل من كان عوناً وسنداً لي في هذا الطريق...

ما سلكننا البدايات إلى بتيسيره وما بلغنا النهايات إلا بتوفيقه وما حققنا الغايات إلا بفضلته

فالحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على نبيه الكريم.

هديل

Remerciements

Tout d'abord, nous voudrions remercier Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la santé, la patience et la volonté de poursuivre nos études et finaliser cet humble travail.

Nous adressons nos sincères remerciements au Docteur **BAAZIZ NAIMA** pour avoir supervisé la réalisation de ce travail et nous avoir prodigué ses précieux conseils et partagé ses expériences avec nous. Nous la remercions de tout cœur pour sa patience et sa confiance qu'elle a toujours accordée durant notre travailles.

Nous exprimons nous plus vifs remerciements et notre profonde gratitude à Mme **LAOUFI HADJER** de nous avoir fait l'honneur de présider notre jury et d'avoir accepté d'évaluer ce travail

Nous exprimons aussi toutes nous gratitudes à Mme **BOULEKROUNE HASNA** pour nous avoir accordé une partie de leur précieux temps, pour lire et examiner ce travail

Nous adressons nos chaleureux remerciements à Mme **BELOULA SALIMA**, et nous tenons à vous exprimer notre sincère gratitude pour votre enseignement et votre soutien exceptionnels tout au long de nos années universitaires.

Nous tenons à remercier aussi les ingénieurs de laboratoire M. **AMEUR**, M. **FOUAD**, M. **MAKHOUKH**, Mme **WAHIBA** et Mme **WASSIMA**, qui nous ont aidés le long de notre partie pratique de ce travail.

Finalement, nous sincères gratitudes vont également à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire.

Table des matières

Dédicaces	
Remerciements	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Résumé.	
Introduction	1
Chapitre I : Généralité sur l'eau	
1. Définition de l'eau.....	3
2. Propriétés de l'eau	3
3. Ressources hydriques naturelles	3
3.1. Les eaux de surface	4
3.2 .Les eaux souterraines.....	4
4. Pollution des eaux	6
4.1. Principaux types de pollution.....	6
4.1.1. Pollution physique	6
4.1.2. Pollution chimique	6
4.1.3. Pollution biologique.....	7
4.2. Origine de la pollution	7
4.2.1. L'industrie	7
4.2.2. L'agriculture	7
4.2.3. Pollution domestique	8
4.2.4. Pollution par les eaux pluviales	8
4.2.5. Pollution d'origine naturelle	8
5. Conséquences de la contamination de l'eau	8
Chapitre II :	
Les paramètres de qualité de l'eau des puits et des forages	
1. Le puits	10
1.1. Types de puits	10
1.1.1. Puits ordinaires	10
1.1.2. Puits de surface	10
1.1.3. Puits foncés ou puits tubulaire	10
1.1.4. Puits artésiens.....	10

2. Le forage	11
2.1. Types de forage	11
2.1.1. Les forages d'exploitation verticaux	11
2.1.2. Les forages de captage d'eau horizontaux	11
3. Les paramètres de qualité de l'eau	13
3.1. Les paramètres organoleptiques	13
3.1.1. Couleur	13
3.1.2. Odeur	13
3.1.3. Goût	13
3.2. Les paramètres physico-chimiques	14
3.2.1. La température	14
3.2.2. Potentiel d'hydrogène (pH)	14
3.2.3. Conductivité électriques (CE)... ..	15
3.2.4. Turbidité	15
3.2.5. La salinité	16
3.2.6. Matières en suspension (MES)	16
3.2.7. La dureté totale	16
3.2.8. Chlorures	17
3.2.9. Sodium	17
3.2.10. Nitrates	17
3.2.11. Nitrites	18
3.2.12. Sulfate.	18
3.2.13. Phosphate	18
3.3. Les paramètres bactériologiques	18
3.3.1. Les FTAM (Flore mésophile aérobie totale)	18
3.3.2. Les coliformes totaux	19
3.3.3. Les coliformes fécaux	19

Chapitre III : Description de la région d'étude

1. Situation géographique	20
2. Hydrologie	20
2.1. Bassin versant Soummam	21
2.2. Bassin versant Chott du Houdna	22
2.3. Ressources et mobilisation des eaux	23

3. Climatologie	23
3.1. Précipitation	23
3.2. Température	24
3.3. Synthèse climatique	24
4. Pédologie	25

Chapitre IV : Matériel et méthodes

1. Objectif de l'étude	26
2. Stratégie d'échantillonnage.....	26
2.1. Lieux de prélèvement	26
2.2. Mode de prélèvement	26
2.3. Transport et conservation des échantillons	27
3. Matériel	27
4. Méthodes	27
4.1. Détermination des paramètres organoleptiques	29
4.2. Détermination de paramètres physico-chimiques	29
4.2.1. Détermination de la Température	29
4.2.2. Détermination du pH	29
4.2.3. Détermination de la conductivité électrique	29
4.2.4. Détermination de la turbidité	30
4.2.5. Détermination de la salinité	30
4.2.6. Détermination des matières en suspension (MES)	30
4.2.7. Dosage de la dureté totale	30
4.2.8. Dosage des chlorures	31
4.2.9. Dosage des nitrates	31
4.2.10. Dosage des nitrites	31
4.2.11. Dosage des sulfates	31
4.2.12. Dosage des phosphates	31
4.2.13. Détermination de la matière organique	32
4.3. Les analyses microbiologiques	32
4.3.1. Recherche et dénombrement de la FTAM	32
4.3.2. Recherche et dénombrement des coliformes sur milieu solide	32
4.3.3. Recherche et dénombrement des coliformes sur milieu liquide	33

Chapitre V : Résultats et discussion

1. Paramètres physico-chimiques	34
1.1. Température	34
1.2. Potentiel d'hydrogène (pH)	35
1.3. Salinité	36
1.4. Conductivité électriques (CE)	37
1.5. Turbidité	38
1.6. Matières en suspension (MES).....	39
1.7. Résidu sec	40
1.8. Dureté totale	41
1.9. Chlorure.....	42
1.10. Sodium.....	43
1.13. Phosphate	44
1.14. Nitrites	45
1.15. Nitrates	46
1.16. Sulfate	47
1.17. Matière organique	48
2. Paramètres bactériologiques	49
2.1. La flore totale aérobie mésophile (FTAM)	49
2.2. Les coliformes totaux (CT) et fécaux (CF)	50
Conclusion.....	51
Référence bibliographique.	
Annexe.	

Liste des tableaux

Tableau I : Les eaux de surface et les eaux souterraines	5
Tableau II : principale maladies d'origine hydriques et leurs agents responsables	8
Tableau III : classification d'une eau selon leur pH	14
Tableau IV: Guide de la conductivité d'une eau destinée à la consommation humaine	15
Tableau V : Les classes de turbidité de l'eau.....	15
Tableau VI : Classification de l'eau selon la dureté totale	17
Tableau VII : Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations (mm)	23
Tableau VIII : Températures (C°) enregistrées dans la wilaya de B.B.A	24

Liste des figures

Figure 01: Galerie drainante	11
Figure 02 : Schéma de principe de fonctionnement de foggaras	12
Figure 03 : Le réseau hydrographique de la wilaya Bordj Bou Arreridj	21
Figure 04 : Situation géographique du bassin versant de la Soummam	21
Figure 05 : Situation géographique du Chott El Hodna	22
Figure 06 : Ressource en eau de la wilaya de Bordj Bou Arreridj	23
Figure 07 : Diagramme Ombrothermique de la wilaya de Bordj Bou Arreridj	24
Figure 08: Schéma illustrant les différentes étapes d'analyses	28
Figure 9: Les valeurs de température des échantillons d'eau analysée	34
Figure 10: Les valeurs du pH des échantillons d'eau analysée	35
Figure 11: Les valeurs de salinité des échantillons d'eau analysée	36
Figure 12: Les valeurs de la conductivité des échantillons d'eau analysée	37
Figure 13: Les valeurs de la turbidité des échantillons d'eau analysée	38
Figure 14: Les valeurs de la MES des échantillons d'eau analysée	39
Figure 15: Valeur des teneurs en résidu sec des échantillons d'eau analysée	40
Figure 16: Les teneurs de la dureté totale des échantillons d'eau analysée	41
Figure 17: Valeurs des teneurs en Chlorure des échantillons d'eau analysée	42
Figure 18: Valeurs des teneurs en Sodium des échantillons d'eau analysée	43
Figure 21: Valeurs des teneurs en Phosphate des échantillons d'eau analysée	44
Figure 22: Valeurs des teneurs en Nitrite des échantillons d'eau analysée	45
Figure 23: Valeurs des teneurs en Nitrate des échantillons d'eau analysée.....	46
Figure 24: Valeurs des teneurs en sulfate des échantillons d'eau analysée	47
Figure 25: Les valeurs de la MO des échantillons d'eau analysée	48
Figure 26: La flore totale aérobie mésophile dans les échantillons d'eau analysée.....	49
Figure 27: Les coliformes totaux et fécaux dans les échantillons d'eau analysée	50

Liste d'abréviation

BCPL : Bouillon Lactosé au Pourpre de Bromocrésol.

BLBVB : Bouillon lactosé bilié au vert brillant.

BVS : Bassin versant de la Soummam.

CE : Conductivité électrique.

CF : Coliformes fécaux.

CT : Coliformes totaux.

E. Coli : *Escherichia coli*.

Ech : Echantillon.

FTAM : Flore mésophile aérobie totale.

H⁺ : Ions hydrogènes

KJ/mol : Kilo joule par mole.

m³/h : Cubique mètre par heure.

MES : Matière en suspension.

min : Minute.

mm : Millimètre.

nm : Nanomètre.

M (°C) : moyenne maximale.

m (°C) : moyenne minimale.

NPP : Nombre le plus probable.

NTU : Unité de Turbidité Néphélobimétrique

OMS : Organisation mondiale de la santé.

PCA : Plate Count Agar

pH : Potentiel hydrogène

TH : Titre hydrotimétrique.

UFC/ml :Unité Faisant Colonie par millilitre.

VRBG :Violet Red Bile Glucose.

μ S/cm : Microsiemens par centimètre.

°F :Degrés français.

°C :Degré celsius.

Résumé

Les puits et les forages sont des sources d'approvisionnement en eau très importante pour les populations, cependant la qualité de l'eau des puits peut être affectée par divers facteurs physico-chimiques et bactériologiques.

Cette étude vise à évaluer la qualité physicochimique et bactériologique de dix échantillons collectés de différentes localités de la région Bordj Bou Arreridj afin de relier la relation entre la qualité de l'eau analysée, sa localisation et sa relation avec les maladies d'origine hydrique.

Selon les résultats obtenus, la plupart des puits et des forages sont de qualité physique et chimique acceptable pour la consommation humaine et sont conformes aux normes algériennes et aux normes de l'OMS, tandis que nous avons enregistré que la qualité microbiologique n'était pas bonne pour la consommation humaine (sauf dans les échantillons 4, 5 et 6) car ils contiennent des germes indésirables : FTAM, coliformes totaux et coliformes fécaux. Cela pose un risque pour la santé des consommateurs d'eau de ces puits étudiés.

Mots clés : Eau, puits, forage, qualité physicochimique de l'eau, qualité bactériologique, maladies à transmission hydrique, l'eau de Bordj Bou Arreridj.

Abstract

Wells and boreholes are very important sources of water supply for populations, however the quality of well water can be affected by various physicochemical and bacteriological factors.

This study aims to evaluate the physicochemical and bacteriological quality of ten samples collected from different localities in Bordj Bou Arreridj region in order to link the relationship between the quality of the water analyzed, its location and its relationship with water-borne diseases.

According to the results obtained, most of the wells and boreholes are of acceptable physical and chemical quality for human consumption and comply with Algerian and World Health Organization standards, while we have recorded that the microbiological quality was not good for human consumption (except in samples 4, 5 and 6) because they contain undesirable germs: FTAM, total coliforms and fecal coliforms. This poses a health risk to the water consumers of these wells studied.

Keywords: Water, wells, boreholes, physicochemical quality of water, bacteriological quality, water-borne diseases, water of Bordj Bou Arreridj.

المخلص

تعد الآبار مصادر مهمة جداً لإمدادات المياه للسكان، إلا أن جودة مياه الآبار يمكن أن تتأثر بالعديد من العوامل الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية لعشر عينات تم جمعها من مناطق مختلفة في منطقة برج بوعريريج من أجل ربط العلاقة بين نوعية المياه التي تم تحليلها وأماكن تواجدها وعلاقتها بالأمراض المنقولة بالمياه.

وبحسب النتائج التي تم الحصول عليها فإن معظم الآبار ذات نوعية فيزيائية وكيميائية مقبولة للاستهلاك البشري وتتوافق مع المعايير الجزائرية ومعايير منظمة الصحة العالمية في حين سجلنا أن الجودة الميكروبيولوجية لم تكن جيدة للاستهلاك البشري (ما عدا العينات 4 و5 و6) لأنها تحتوي على جرثيم غير مرغوب فيها : FTAM، القولونيات الكلية والقولونيات البرازية، وهذا يشكل خطراً على صحة مستهلكي مياه هذه الآبار المدروسة.

الكلمات المفتاحية: المياه، الآبار، الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه، الجودة البكتريولوجية، الأمراض المنقولة بالمياه، مياه برج بوعريريج.

Introduction
Générale

L'eau est un élément essentiel de la vie biologique. Non seulement, elle est un nutriment vital, mais elle est aussi impliquée dans de nombreuses fonctions physiologiques essentielles telles que la digestion, l'absorption, la thermorégulation et l'élimination des déchets (**Kirkpatrick et Fleming, 2008**). Sans cette matière simple et complexe en même temps, la vie sur terre n'aurait jamais existé donc c'est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures (**Henri, 2012**).

Mais l'eau peut être aussi source de maladies du fait de sa pollution par des rejets industriels, des eaux usées, des déchets ménagers ou agricoles, des excréta et divers déchets organiques (**Scalon et al., 2005 ; El-Naqa et al., 2007 ; Eblin et al., 2014**). D'après l'organisation mondiale de la santé 80% des maladies qui affectent la population mondiale sont directement associées à l'eau (paludisme, schistosomiase...), on estime par ailleurs que les eaux polluées sont responsables de 50% des cas de mortalité infantile (**Desjardins, 1997**). Donc l'eau brute est une matière première qui doit être prélevée, traitée, et distribuée selon des règles strictes (**Brémaud, 2006**).

Les eaux souterraines représentent environ 97 % du total des eaux douces continentales liquides (**Bosca, 2002**). Selon Merzoug et al., (2010), 75 à 90 % de la population mondiale utilisent une eau d'origine souterraine.

Certains travaux de recherches ont été réalisés sur la qualité des eaux souterraines concluent que les pollutions de ces eaux souterraines proviendraient d'une origine géologique et anthropique, notamment d'infiltration des eaux usées et l'utilisation des engrais chimiques en agriculture (**Nouayti et al., 2015 ; Aka et al., 2013 ; Ahoussi et al., 2013 ; Lagnika et al., 2014 ; Amadou et al., 2014**).

D'autres études ont révélé que la pollution des eaux souterraines est liée à la présence des fosses septiques, à l'absence du traitement, au manque du réseau d'assainissement et au non-respect des conditions d'hygiène publique (**Guessoum et al., 2014 ; Fakih et al., 2014 ; Degbey et al., 2010**).

Ces dernières années, nous avons constaté la prévalence des puits et des forages dans les habitations urbaines, et leurs eau est utilisée dans la vie quotidienne (nettoyage, boisson, cuisine, etc.), nous avons donc voulu savoir si la proximité de ces installations avec les forêts, les hôpitaux et les décharge publiques ont un impact sur la qualité physicochimique

et bactériologique de cette eau, et si la qualité de l'eau a un impact sur l'homme, notamment sur sa santé.

L'objet de la présente étude est dérivé d'une enquête sur les personnes vivant dans la région de Bordj Bou Arreridj et la collecte de données de DSP, à travers lesquelles nous avons constaté que les maladies les plus courantes dans la région sont des maladies d'origine hydrique.

Nous avons supposé que la cause de ces maladies fût les eaux utilisées comme eau de boisson pour la population donc nous avons mené une étude vise à l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des puits et des forages (les plus fréquenté par la population) afin de juger leur utilisation comme une eau de consommation au niveau de cette région. Les résultats des différentes analyses seront confrontés aux normes nationales et d'OMS.

Pour ce faire, notre modeste étude est subdivisée principalement en deux grandes parties :

La première partie est consacrée pour l'étude bibliographique qui est composée de deux chapitres, dont le premier aborde un rappelle sur l'eau d'une façon générale, le deuxième chapitre montre les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau.

La deuxième partie comporte trois chapitres, le premier chapitre donne une présentation de la zone d'étude, le deuxième décrit le mode opératoire et la description des matériels utilisés. Le troisième chapitre présente de façon détaillée l'ensemble des résultats obtenus avec une discussion.

Enfin, nous tirons une conclusion générale pour résumer les résultats obtenus au cours de cette étude et nous proposons quelques perspectives.

Chapitre I :
Généralités sur l'eau

1. Définition de l'eau :

L'eau est une ressource essentielle aux besoins fondamentaux de l'homme et à son environnement (**Kanohin et al., 2017**). L'eau est en effet la substance minérale la plus répandue à la surface du globe. Elle en constitue l'hydrosphère. Son volume est estimé à $1385 \times 10^6 \text{ km}^3$, dont environ 97,4% dans les océans 2% sous forme de glace et 0,6% seulement constituant les eaux douces continentales. Mais l'eau est surtout synonyme de vie biologique. C'est le constituant majeur de la matière vivante. Il entre en moyenne pour 80% dans sa composition (**Degrémont, 2005**).

2. Propriétés de l'eau :

Sur la terre, l'eau existe dans les trois états phases : liquide (eau proprement dite), solide (glace) gazeux (vapeur d'eau). Ces trois phases coexistent dans la nature, toujours observables deux à deux, et plus ou moins en équilibre : eau- glace, eau- vapeur, glace vapeur selon les conditions de température et de pression (**Algéo, 1997**).

L'eau est un excellent solvant entrant dans la composition de la majorité des organismes vivants. L'énergie de formation de la molécule d'eau, 242 kJ/mol, est élevée. Il s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette stabilité, associée aux propriétés électriques, forte polarité et constante diélectrique élevée, la rend particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps. La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, ainsi qu'un grand nombre de gaz et de produits organiques (**Degrémont, 2005**).

3. Ressources hydriques naturelles :

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappe), des eaux de surface; stagnantes (lacs, retenues de barrages) ou en écoulement (rivières, fleuves).

3.1 Les eaux de surface :

Les eaux de surface sont divisées par les chercheurs en deux grandes familles, d'une part les eaux courantes, d'autre part les eaux stagnantes (**Bartout et Touchart, 2013**).

Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement soit, les fleuves, les rivières, les barrages, les mares, et les marigots (**Degremont, 2005**). Les eaux superficielles, ou eaux de surface, doivent subir un traitement en plusieurs étapes pour être utilisées pour la boisson et les usages domestiques (**Molinie, 2009**).

3.2 Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines constituent le plus important réservoir d'eau douce au monde et représentent 97% de toutes les eaux douces disponibles sur la Terre (**Khaldi et al, 2018**). C'est 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**). La fuite et la pénétration des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques et la structure des terrains qui peut permettre la formation de réservoirs aquifères appelés nappes (**Belhadj et Hamouch, 2020**).

Du point de vue hydrogéologique les nappes se divisent en :

- ✓ Nappes phréatiques ou alluviales : peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus.
- ✓ Nappes captives : plus profondes que les premières et séparées de la surface par une couche imperméable, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures (**Cardot, 1999**).

Tableau I : Les eaux de surface et les eaux souterraines.

Caractéristiques	Eau de surface	Eau souterraine
Température	Variable suivants saisons	Relativement constant
Turbidité	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle
Couleur	Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques...)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...etc.	Sensiblement constant en general nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la meme région
Fer et Manganèse dissous	Généralement absents	Généralement présents
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptible de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Eléments vivants	Bactéries, virus	Ferrobactéries fréquentes

Source : Degremont, (1989).

4. Pollution des eaux :

La pollution peut nuire aux ressources en eau et aux écosystèmes aquatiques. Les principaux polluants comprennent notamment les matières organiques et minérales et les organismes pathogènes rejetés par les eaux usées, les engrais et les pesticides provenant des terres agricoles. Les pluies acides résultant de la pollution de l'air et les métaux lourds libérés par activités minières et industrielles. Toutes ces activités affectent la qualité de l'eau et provoquent des modifications plus ou moins marquées sur les communautés vivantes (**Ballouki, 2012**).

4.1 Principaux types de pollution :

4.1.1 Pollution physique :

Elle comprend la chaleur, les matières en suspension (MES) et la radioactivité. L'augmentation de la température de l'eau de surface diminue la solubilité des gaz, en particulier de l'oxygène, ce qui réduit la capacité d'autoépuration des eaux de surface et entraîne une augmentation de la matière organique (**Ramade, 2000**).

Les particules en suspension, qu'elles soient d'origine organique ou minérale, sont introduites dans l'eau de surface par les eaux de ruissellement, principalement à partir des effluents industriels et urbains (**Ramade, 2000**). Elles augmentent la turbidité de l'eau qui réduit la pénétration de la lumière (**Charbonneau, 1977**).

La radioactivité est potentiellement le polluant physique le plus dangereux, car elle implique des rayonnements X, B et γ de diverses puissances. Certaines roches et minerais contiennent des éléments instables et radioactifs, tels que l'uranium, le radium et le thorium, dont l'accumulation dans l'organisme peut provoquer des toxicités (**Ramade, 2000**).

4.1.2 Pollution chimique :

L'eau par son pouvoir dissolvant élevé, dissout les substances rejetées par l'activité humaine. Les polluants chimiques sont nombreux et d'origines diverses :

- Les sels minéraux dissous sont variés et incluent des chlorures et des sulfates qui se lient au sodium et au magnésium.
- Les micropolluants englobent des substances chimiques d'origine minérale et organique telles que des pesticides, des détergents et des hydrocarbures.

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

4.1.3 Pollution biologique :

La pollution biologique des eaux se traduit par une forte contamination bactérienne. Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont: les bactéries, les virus, les parasites les champignons et les algues (**Ramade, 1982**).

Ces microorganismes nocifs peuvent générer des maladies graves dans les cas de contact ou d'ingestion de l'eau qui en est porteuse (**Razous, 1998**).

4.2 Origine de la pollution :

4.2.1 L'industrie :

Les activités industrielles rejettent un bon nombre de substances qui vont polluer nos rivières et nos nappes, parfois d'une manière intensive que l'on n'en connaît pas les effets à long terme (**Boglin, 2001**). Les rejets industriels renferment des produits divers sous forme insoluble ou soluble d'origine minérale et/ou organique, à caractère plus ou moins biodégradable et parfois toxique même à très faible concentration (**Bouchemal et Hammoudi, 2016**).

4.2.2 L'agriculture :

Elle utilise des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures, ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie les eaux de surface et les eaux souterraines par infiltration (**Djemmal, 2008-2009**).

4.2.3 Pollution domestique :

Nos eaux usées urbaines sont constituées de matière organique biodégradable certes mais de grandes consommatrices d'oxygène, de germes pathogènes et de produits chimiques (Degrement, 1989).

4.2.4 Pollution par les eaux pluviales :

L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles) (Bouchemal et Hammoudi, 2016).

4.2.5 Pollution d'origine naturelle :

Certaines substances naturellement présentes dans l'environnement entraînent parfois des problèmes de contamination de l'eau potable. Des composés inorganiques comme le baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures peuvent contaminer l'eau potable. L'eau souterraine est particulièrement vulnérable lorsqu'il y a présence de métaux dans les formations géologiques environnantes (Djemmal, 2008-2009).

5. Conséquences de la contamination de l'eau :

Au cours des dernières années, on observe une augmentation d'apparition des maladies sous forme d'épidémies. Parmi ces maladies, citons celles à transmission hydrique qui sont le résultat d'une contamination pathologiques d'origine bactérienne, parasitaire ou virale qui sont par la suite considérées la première cause de morbidité parmi les maladies à déclaration obligatoire (Bahmed et al., 2004). Parmi les maladies relatives à l'eau :

Tableau II : principale maladies d'origine hydriques et leurs agents responsables (Bazine et Bournane, 2011)

Maladies	Agents
Origine fongique	
Candidose	<i>Candida albicans</i>
Dermatophytose	<i>Epidermo-phyton, Microsporium</i> <i>Trichophyton</i>

<p>Origine bactérienne</p> <p>La typhoïde et la paratyphoïde</p> <p>La dysenterie bacillaire</p> <p>Le choléra</p> <p>La Gastro-entérite aiguë et la diarrhée</p>	<p><i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella paratyphi A et B</i></p> <p><i>Shigella sp</i></p> <p><i>Vibrio cholerae</i></p> <p><i>Escherichia coli Entérotoxique</i> <i>Amylobacter</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Salmonella sp.</i> <i>Shigella sp.</i></p>
<p>Origine virale</p> <p>L'hépatite A et E</p> <p>La poliomyélite</p> <p>La Gastro-entérite aiguë et Chronique</p>	<p><i>Virus de l'hépatite A et E</i></p> <p><i>Virus de la poliomyélite</i></p> <p><i>Virus de Norwalk</i> <i>Rotavirus</i> <i>Entérovirus</i> <i>Adénovirus</i></p>
<p>Origine parasitaire</p> <p>Dysentérie amibienne</p> <p>Giardiase</p>	<p><i>Entamoeba hystolytica</i></p> <p><i>Giardia lamblia</i></p>

Chapitre II :

Les paramètres de qualité de l'eau des puits et des forages.

1. Le puits :

On peut tenter de définir un puits de captage d'eau comme étant un ouvrage réalisé en dessous de la surface du sol dans le but de permettre l'exhaure des eaux qui peuvent s'y trouver incluses ou y circuler. Généralement le puits a une profondeur moyenne ou faible (inférieur à 100 m) et un diamètre supérieur à 1,20 m (**Collin, 2004 ; Emand Barres et Roux, 1999**).

1.1 Types de puits :**1.1.1 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 mètre du niveau de sol. Leur profondeur généralement de 1 à 15 mètre, avec un diamètre de 1 à 2,5 mètres environ (**Bouziyani, 2000**).

1.1.2 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), ce puits est plus vulnérable à la contamination puisqu'il exploite la portion supérieure de la nappe phréatique (**Barrette, 2006**).

1.1.3 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 (**Bouziyani, 2000**).

1.1.4 Puits artésiens:

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**).

2. Le forage :

Est un trou vertical profond, de plusieurs dizaines de mètres à plusieurs centaines de mètres et de diamètre plus restreint. Il est creusé par un procédé mécanique à moteur (foreuse) en terrain consolidé ou non. Les forages constituent probablement le type de captage le plus répandu pour l'eau potable, ils ont l'avantage qu'ils permettent de capter des niveaux aquifères bien précis et individualisés, notamment les nappes captives, avec une excellente sécurité contre les pollutions de surface (**Bouselsal, 2017**).

2.1 Types de forage :

2.1.1 Les forages d'exploitation verticaux:

Les forages verticaux sont les plus utilisés et les plus adaptés pour exploiter des aquifères poreux et relativement étendus. La majorité des aquifères fissurés sont également exploités à l'aide de ces ouvrages (**Bouselsal, 2017**)

2.1.2 Les forages de captage d'eau horizontaux :

➤ Les galeries drainantes:

Les galeries sont des petits tunnels creusés dans la roche de manière à traverser et donc à drainer une nappe d'eau souterraine. Ces ouvrages sont généralement subhorizontaux et de sections de l'ordre de 1.80 à 2 mètres de hauteur et 1 à 2 mètres de large. Les eaux souterraines sont collectées puis canalisées par une galerie où des drains horizontaux ou subhorizontaux complémentaires viennent parfois se brancher à la galerie. La longueur de ces galeries est variable : de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres, voire plusieurs kilomètres (**Salesse, 2001**).

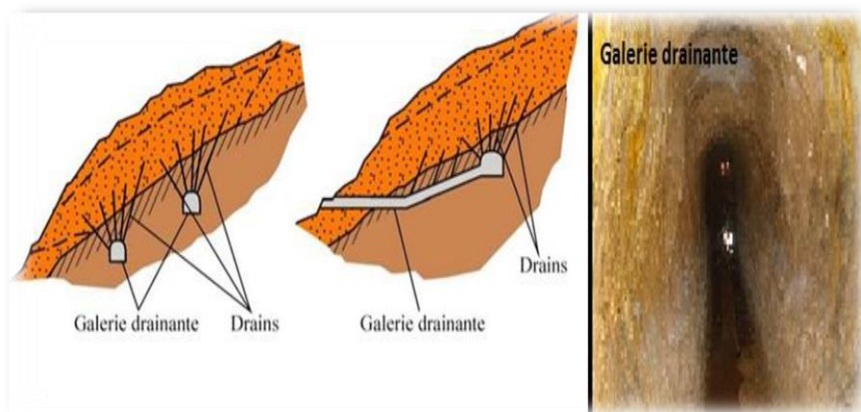


Figure 1: Galerie drainante (**Bouselsal, 2017**).

➤ **Le forage a drains rayonnants :**

Il s'agit d'un forage muni de drains tubulaires horizontaux disposés selon plusieurs directions radiales. Ce sont des captages construits en général pour la production de débits importants (1000 à 3000 m³/h par ouvrage) sur des nappes aquifères puissantes de nature alluviale. Les avantages du forage à drains rayonnants horizontaux sont liés à des rendements hydrauliques considérables, à une durée de vie très importante et à une possibilité de capter, sur un front de nappe étendue, des horizons parfois peu épais, en profondeur. Enfin il faut mentionner que cette technique d'exploitation est appliquée dans les terrains de faible perméabilité (Archembault, 2003).

➤ **La Foggara :**

Une foggara est un forage horizontal réalisé dans les régions arides, il est légèrement incliné. Elle permet de drainer l'eau de l'aquifère amont vers les terrains les plus secs situés en aval, en direction de la palmeraie (Remini, 2017). Ce procédé utilise un système de galeries en pente douce d'une longueur pouvant atteindre les 20 km, équipées d'une série de puits d'aération espacés de 5 à 22 m (Remini et al, 2011).

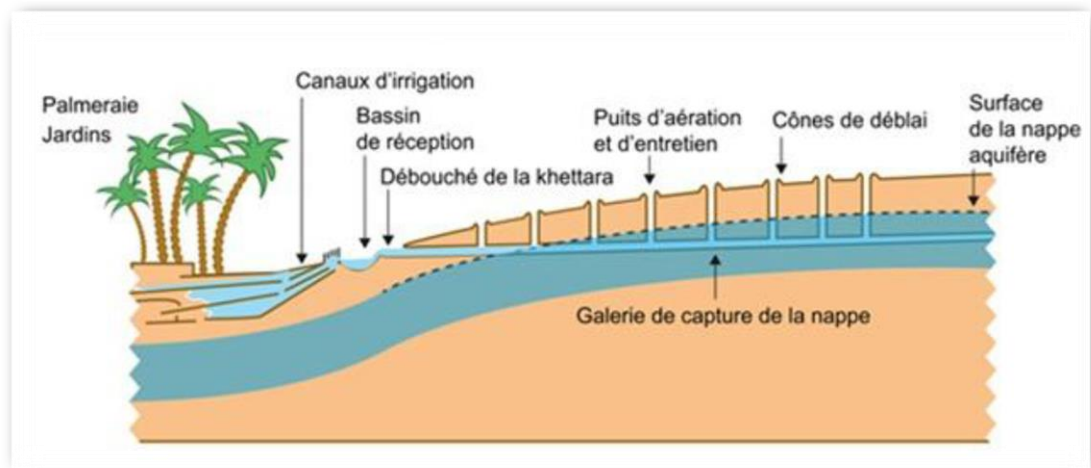


Figure 2 : Schéma de principe de fonctionnement de foggaras (Bouselsal, 2017).

3. Les paramètres de qualité de l'eau :

3.1 Les paramètres organoleptiques :

3.1.1 Couleur :

Idéalement, l'eau de boisson ne devrait pas avoir de coloration manifeste. La coloration de l'eau de boisson est habituellement due à la présence de matière organique colorée (principalement des acides humiques et fulviques) associée à la fraction humique du sol. La coloration est également fortement influencée par la présence de fer et d'autres métaux, qu'il s'agisse d'impuretés naturelles ou de produits de corrosion. Elle peut également résulter de la contamination de la source d'eau par des effluents industriels et peut être le premier indice d'une situation dangereuse (OMS, 2017). Il est important de noter qu'une couleur limpide de l'eau ne signifie pas forcément son caractère potable (Rodier et al., 2009).

3.1.2 Odeur :

Une eau potable doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matière organique en décomposition. L'effluve peut être caractérisé comme : L'ensemble des sensations captées par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles (Rodier et al., 2009).

3.1.3 Goût :

C'est l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation des bourgeons gustatifs par certaines substances solubles (Rodier, 2009). Le goût peut être causé par des contaminants chimiques inorganiques ou organiques ou peut être due à des sources et processus biologiques (par exemple, des micro-organismes aquatiques) (OMS, 2017).

3.2 Les paramètres physico-chimiques :

3.2.1 La température :

La température est le paramètre le plus important dans les analyses de l'eau. Elle a une influence directe sur le comportement de différentes substances contenues dans l'eau et à une grande influence sur l'activité biologique (**Roux, 1987**). 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**).

3.2.2 Potentiel d'hydrogène (pH) :

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 III : 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

3.2.3 Conductivité électriques (CE) :

La conductivité électrique (CE) désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, et elle est en corrélation 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 (**Bekhouche et al., 2022**).

Tableau IV: Guide de la conductivité d'une eau destinée à la consommation humaine (**Aouissi, 2010**)

Conductivité à 20°C ($\mu\text{S/cm}$)	Qualité de l'eau
50 à 400	Qualité excellente
400 à 750	Bonne qualité
750 à 1500	Qualité médiocre mais eau utilisable
>1500	Minéralisation excessive

3.2.4 Turbidité :

C'est le degré de transparence d'un liquide (**Rodier, 2005**). La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques, etc.) (**Rodier et al., 2009**), les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution.

La turbidité est décrite en fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets... etc (**Makhoukh et al., 2011**).

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

Tableau V : 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

3.2.5 La salinité :

La salinité de l'eau fait référence à la quantité de sels dissous dans l'eau, généralement exprimée en termes de concentration en chlorure de sodium (Na Cl)(**Rodier et al., 2009**).

Est un facteur écologique majeur, la présence de sel dans l'eau modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température du maximum de densité). D'autres (viscosité, absorption de la lumière) ne sont pas influencées de manière significative. (**Aberkane, 2011**).

3.2.6 Matières en suspension (MES) :

Les particules fines en suspension (MES) dans une eau sont soit d'origine naturelle, en liaison avec les précipitations, soit produites par les rejets urbains et industriels. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par conséquent, réduction de la photosynthèse. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...) (**Merabet, 2010**).

3.2.7 La dureté totale :

La dureté ou titre hydrotimétrique (TH) d'une eau correspond à l'ensemble des substances à base de calcium et de Magnésium qu'elle contient les principales substances que l'on appelle des sels sont les carbonates, les bicarbonates et les sulfates. Une eau de dureté nulle ne contient aucun de ces sels : c'est le cas de l'eau distillée. La dureté d'une eau dépend en effet des terrains qu'elle a traversé, plus ils contiennent de roche calcaire et magnésiennes plus l'eau est dure.

Une eau de dureté faible, qui contient donc peu de sels de calcium et magnésium, est dite douce (**Chaumeton, 2008**). Selon les degrés de la dureté totale, l'eau est classée en plusieurs classes (**Tableau 06**).

Tableau VI : Classification de l'eau selon la dureté totale (Sari, 2014)

TH en degrés français (°F)	Spécificité de l'eau
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce
15 à 30	Eau moyennement dure
30 à plus	Eau très dure

3.2.8 Chlorures :

Les chlorures sont très répandus dans la nature généralement sont trouvés en sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl) (Makhoukh et al., 2011). Un surdosage en chlorure dans l'eau, peut être à l'origine d'une saveur désagréable surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium. Au-delà d'une concentration de 200 mg/l de chlorure, des risques peuvent s'apercevoir sur le plan sanitaire (Bouziani, 2000).

3.2.9 Sodium :

Le sodium est un élément basique présent dans des sels sous forme d'ion Na^+ . Il est un élément constitutif de l'eau, mais la quantité peut varier considérablement. En général, il est très soluble dans l'eau et présent à des concentrations plutôt 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).

3.2.10 Nitrates :

Les nitrates sont des ions naturels qui se trouvent partout dans l'environnement. Ils résultent de l'oxydation de l'azote par les micro-organismes dans les plantes, le sol ou l'eau. Les origines des nitrates dans l'eau incluent les débris végétaux et animaux, le fumier, les eaux usées domestiques et les formations géologiques contenant des composés azotés solubles, selon les milieux, leur concentration varie de 0,1 à 1 mg/l pour l'eau souterraine (Demdoun, 2010).

Selon la réglementation algérienne (Jora, 2011), il est préconisé de ne pas dépasser une concentration de 50mg/l de nitrates dans l'eau destinée à la consommation (Kahoul et Touhami, 2014).

3.2.11 Nitrites :

Les nitrites sont répandus dans le sol, dans les eaux et dans les plantes, mais en quantités relativement faibles (Ayad, 2016). Les nitrites sont générés soit par une oxydation partielle de l'ammoniaque, lorsque la nitrification n'est pas complète, soit par une réduction des nitrates due à l'action de la dénitrification. La détection de nitrites dans l'eau doit être considérée comme préoccupante car elle est souvent associée à une détérioration de la qualité microbiologique (Derradji et Mechehoud, 2021).

3.2.12 Sulfate :

Les sulfates qui se dissolvent dans l'eau proviennent de certains minéraux en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation de minéraux sulfureux (Beriere, 2000). Selon l'intolérance des consommateurs, l'excès de sulfates dans l'eau peut entraîner des troubles intestinaux. Les concentrations admissibles sont de l'ordre de 400 mg.L⁻¹ (Bouziyani, 2000).

3.2.13 Phosphate :

Les composés de phosphate sont des anions qui peuvent être facilement retenus par le sol, leur existence dans les eaux naturelles dépend de la composition des sols traversés et de la désintégration de la matière organique (Rodier, 1984).

3.3 Les paramètres bactériologiques :**3.3.1 Les FTAM (Flore mésophile aérobie totale) :**

La flore mésophile aérobie totale est l'ensemble des micro-organismes aptes à se multiplier à l'air aux températures moyennes, plus précisément ceux dont la température optimale de croissance est située entre 25 et 40°C. Ils peuvent être des micro-organismes pathogènes ou d'altération (Bougeois et Leveau, 1996).

3.3.2 Les coliformes totaux :

Les coliformes renferment un nombre d'espèces bactériennes qui fait partie de la famille des *Enterobacteriaceae* qui sont aérobies, anaérobies facultatives à Gram négatif, représentées par une forme bâtonnet, qui effectuent une production des colonies foncées à reflets vert métallique en moins de 24 heures, à 37°C sur un milieu Endon contenant du lactose (**Rodier, 2006**). Les coliformes totaux sont d'origine animale et humaine, leur présence dans l'eau indique une contamination récente par des matières fécales (**Chevalier, 2003**). Pour cela ils sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau (**Archibald, 2000**).

3.3.3 Les coliformes fécaux :

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermo-tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44 Co. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe est *Escherichia coli* (*E. coli*) et, dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella* (**Elmund, 1999; Santé Canada, 1991; Edberg, 2000**).

Chapitre III:

*Description de la région
d'étude.*

1.Situation géographique :

La région de Bordj Bou Arreridj est positionnée sur les haut plateaux à cheval de la chaîne de montagne des Bibans (**Debeche et al., 2013**).

Géographiquement, elle est comprise entre les parallèles 35° et 37° de latitude nord et entre les méridiens de longitude 4° et 5° à l'Est de GREENWICH. La ville de Bordj Bou Arreridj est située au point géographique 36° de latitude Nord de 4°30' de longitude Est (**DSA., 2018**)

Cette wilaya occupe une place stratégique à mi-parcours du trajet séparant Alger de Constantine, qui s'étend sur une superficie de 3 920,42 Km². Son chef-lieu située à 220 km, à l'Est de la capital Alger (**DSA., 2018**)

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

Elle est limitée par les wilayas suivantes :

- ❖ Au Nord par la wilaya de Bejaïa.
- ❖ Au l'Est par la wilaya de Sétif.
- ❖ Au l'Ouest par la wilaya de Bouira.
- ❖ Au Sud par la wilaya de M'sila.

2.Hydrologie :

Le réseau hydrographique de la région est caractérisé par deux sens d'écoulement opposés, séparés par une ligne de partage des eaux. Cette limite naturelle correspond à la limite des grands bassins versants du Soummam et Chott el Houdna(**Andi, 2013**).

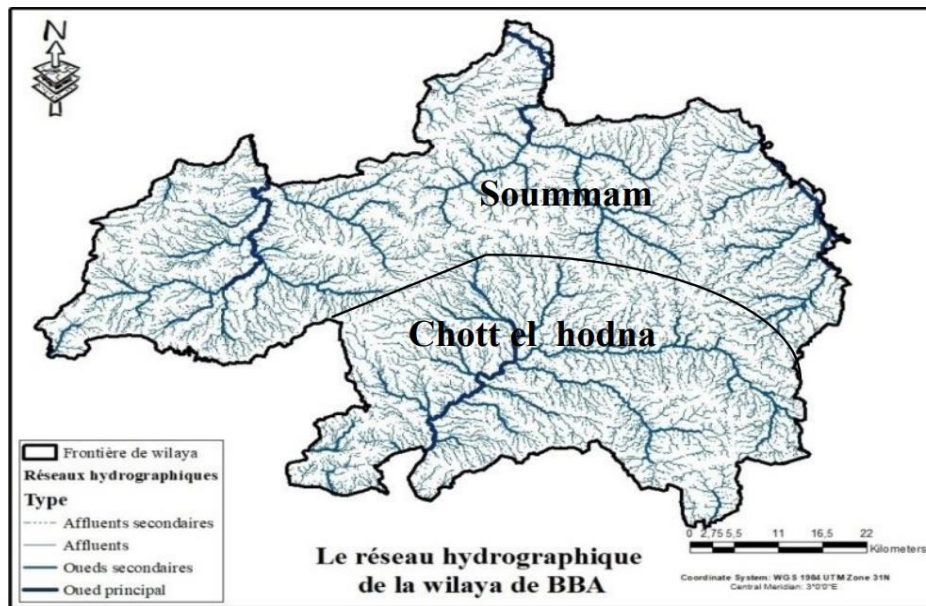


Figure 3 :Le réseau hydrographique de la wilaya Bordj Bou Arreridj. (Chenah,R et Torki,A 2023)

2.1 Bassin versant Soummam :

Le bassin versant de la Soummam qui a une superficie de 9125 Km² est subdivisé en 10 sous bassins versants. Il est situé dans la partie Nord-Est de l'Algérie (figure). Il est limité par les chaînes montagneuses du Djurdjura et ses contreforts qui s'étendent jusqu'à la mer au Nord, les contreforts du mont du Hodna au Sud, les chaînes des Babors et le plateau de Sétif à l'Est et le plateau de Bouira à l'Ouest (Hamenni, N et al.,2015).

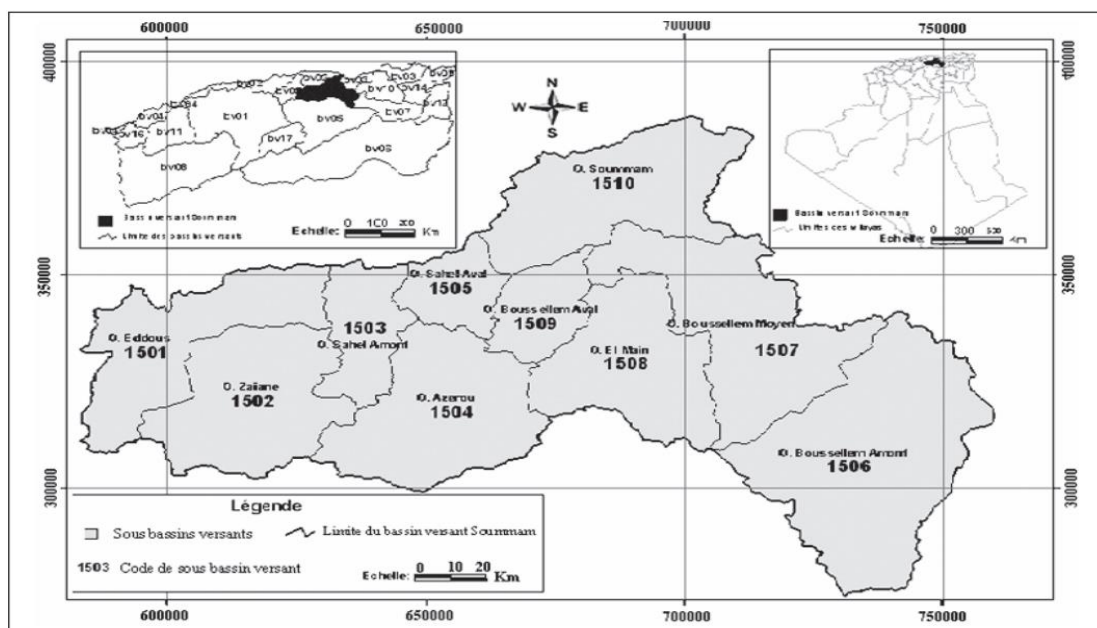


Figure 4 : Situation géographique du bassin versant de la Soummam (Hamenni, N et al.,2015)

Le réseau hydrographique du BVS est compte 09 principaux oueds totalisant une longueur de 726 km, dont l'Oued Soummam (226 km). Le principal système de drainage du BVS comprend vers l'Ouest l'Oued Sahel et ses affluents, et vers l'Est l'Oued Boussem et ses affluents. Ces deux Oueds se réunissent près d'Akbou pour former l'Oued Soummam qui se jette dans la Méditerranée (**Hamenni, N et al.,2015**).

2.2 Bassin versant Chott du Hodna :

Chott El Hodna ($35^{\circ} 21,076' N$, $04^{\circ} 32,513' E$) avec plus de 362 000 ha de superficie, situé dans les Hauts Plateaux centraux de l'Algérie. Avec un climat semi-aride, une température moyenne annuelle de $25^{\circ}C$ et une pluviométrie moyenne annuelle de moins de 400 mm. Cette zone humide occupe le centre du bassin du Hodna qu'est fermé de 26 000 km², s'étendant sur 70km de long et 19km de large. Il est situé à environ 40 km de ville de M'sila. (**Gasmi, B et al.,**)

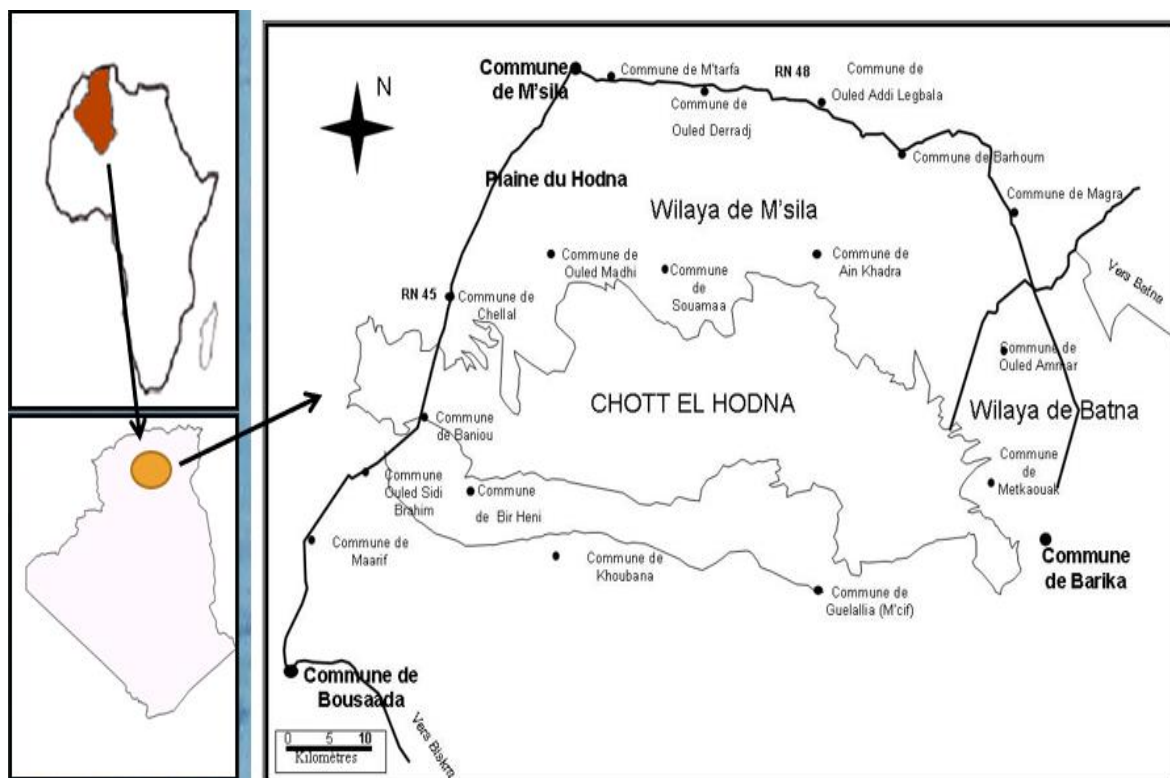


Figure 5 : Situation géographique du Chott El Hodna(**Bensaci et al, 2008**).

2.3 Ressources et mobilisation des eaux :

Les informations sur les ressources en eau de la wilaya de Bordj Bou Arreridj sont présentées dans la figure 4.

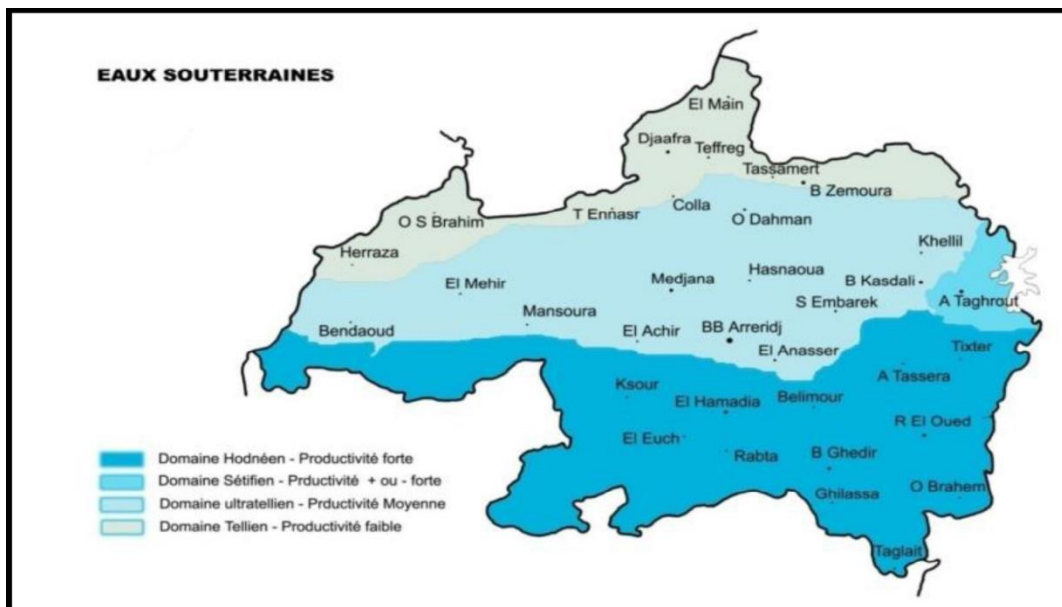


Figure 6 : Ressource en eau de la wilaya de Bordj Bou Arreridj (Andi, 2014).

3. Climatologie :

La région de Bordj Bou Arreridj est caractérisée par un climat continental semi-aride caractérisé par des hivers rigoureux et des étés chauds et secs (Andi, 2013).

3.1 Précipitation :

Dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj, les données pluviométriques, exprimant la répartition moyennes mensuelles des précipitations est très variable (Tableau VII)

Tableau VII : Moyennes mensuelles des précipitations (mm) (2013-2023). www.wofrance.fr

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P (mm)	26.7	21.6	33.9	33.4	34.9	17.1	6.8	12.1	13.1	16.9	35.4	27.7

3.2 Température :

Les températures minimales, maximales et moyennes concernent la wilaya de Bordj Bou Arreridj sur une période de 10 ans (2013-2023) sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau VIII : Températures (°C) enregistrées dans la wilaya de B.B.A (2013-2023). www.wofrance.fr

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
M (C°)	12.2	14.1	16.6	22	26.4	32.8	32.8	37.6	35.9	30.9	25.1	13.6
m (C°)	2.4	3.2	5.4	8.2	11.7	16.6	20.5	19.3	16.4	12.4	6.9	4.1
(M+m)/2	7.3	8.7	11	15.1	19.1	24.7	29.1	27.6	23.7	18.7	11.8	8.8

M+m/2 : température moyenne mensuelle. **M** : moyenne mensuelle des températures maximales. **m** : moyenne mensuelle des températures minimales.

3.3 Synthèse climatique :

Le graphique ombrothermique suivant illustre la variabilité de la saison sèche dans la zone d'étude (à partir le Tableau)

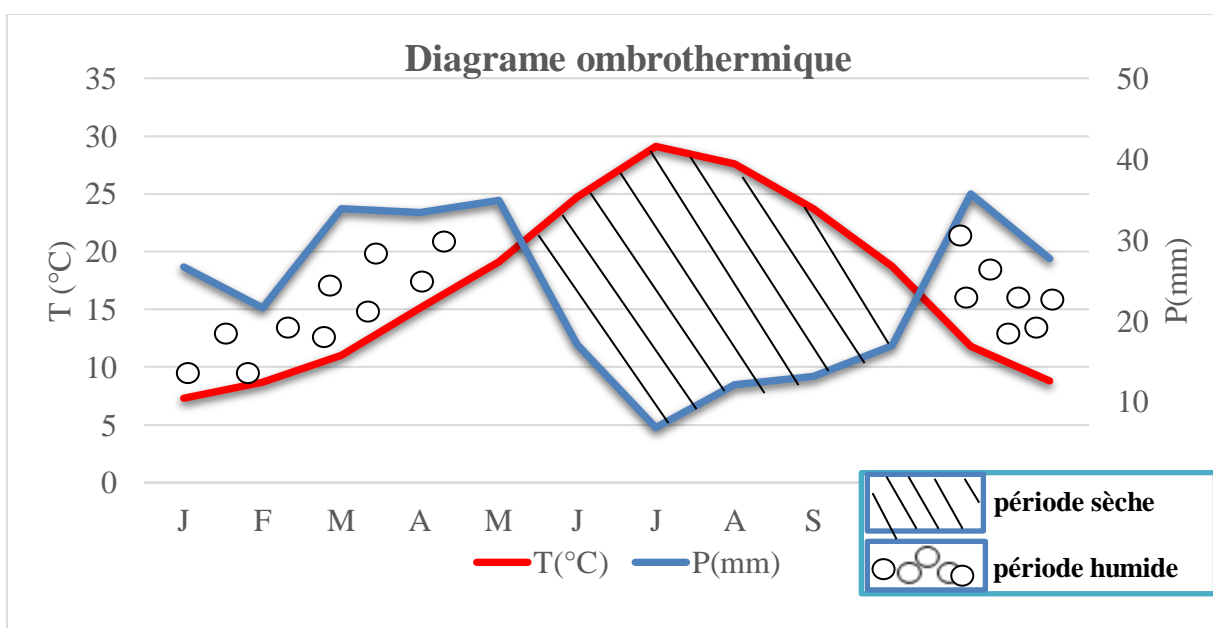


Figure 7 : Diagramme Ombrothermique de la wilaya de Bordj Bou Arreridj (2013-2023).

4. Pédologie :

La wilaya de Bordj Bou Arreridj peut être divisée en 3 zones :

❖ Zone Nord :

1-Sols peu évolués.

2- Sols calcimagnésiques.

❖ Zone intermédiaire : elle est caractérisée par 3 classes :

1- Sols calcimagnésiques.

2- Sols à croute calcaire.

3- Sols peu évolués.

❖ Zone Sud : on distingue deux types de sols :

1-Sols peu évolués.

2-Sols calcimagnésiques ((**Djaballah et Ould-Amer, 2006 ;Megouaset Daou,2021**)).

Chapitre IV:

Matériel et méthodes.

1. Objectif de l'étude :

Le but de notre travail consiste à réaliser une étude sur la qualité de l'eau des puits et des forages de la région de Bordj Bou Arreridj par la réalisation des analyses physico-chimiques et bactériologiques, et de déterminer le degré de potabilité de cette eau.

2. Stratégie d'échantillonnage :

2.1 Lieux de prélèvement :

Les 10 échantillons ont été prélevés à partir de différents points de la wilaya de Bordj Bou Arreridj durant la période allant de février 2024 jusqu'à avril 2024.

2.2 Mode de prélèvement :

Pour faciliter les prélèvements et éviter tout type de contamination, il est souhaitable d'utiliser des flacons en verre. La verrerie destinée aux prélèvements d'eau doit être munie d'un nettoyage avec un détergent puis rinçage avec l'eau propre (eau douce), puis un rinçage final avec l'eau distillée. La verrerie lavée est ensuite stérilisée soit :

- A la chaleur sèche (four Pasteur) à une température comprise entre 170 et 175°C, pendant au moins 1h.
- A la chaleur humide (autoclave) en le maintenant à une température de 121°C, pendant au moins 20min.

Les flacons d'échantillonnage ne doivent être ouverts qu'au moment du prélèvement de l'échantillon. Une fois l'échantillon prélevé, les flacons doivent être fermés hermétiquement jusqu'au moment de l'analyse (**Larpen, 1997**).

Le prélèvement d'un échantillon est une opération délicate, à la quelle le plus grand soin doit être apporté. Pour ce faire, il doit satisfaire aux conditions ci-dessous :

- ✓ Les échantillons doivent être homogènes et représentatifs;
- ✓ Le volume recueilli doit être suffisant pour permettre une analyse précise;
- ✓ Tous les renseignements utiles sur les échantillons doivent être indiqués et le flacon doit être étiqueté correctement pour éviter les erreurs (**Rodier et al., 2009**).

2.3 Transport et conservation des échantillons :

Afin d'éviter que la teneur initiale en germes des eaux ne risque de subir des modifications dans le flacon, toutes les analyses sont effectuées le plus rapidement possible. Les échantillons soigneusement étiquetés sont placés dans une glacière dont la température doit être comprise entre 4 à 6°C et transportés ensuite au laboratoire. Même dans de telles conditions, l'analyse bactériologique doit débiter dans un délai maximal de 8 heures, après le recueil de l'échantillon (**Rodier et al., 2009**).

3. Matériel :

Le matériel, l'appareillage, les réactifs et les milieux de cultures utilisés dans cette étude sont cités dans les annexes.

4. Méthodes :

La figure 6 illustre les étapes adoptent pour la réalisation de cette étude

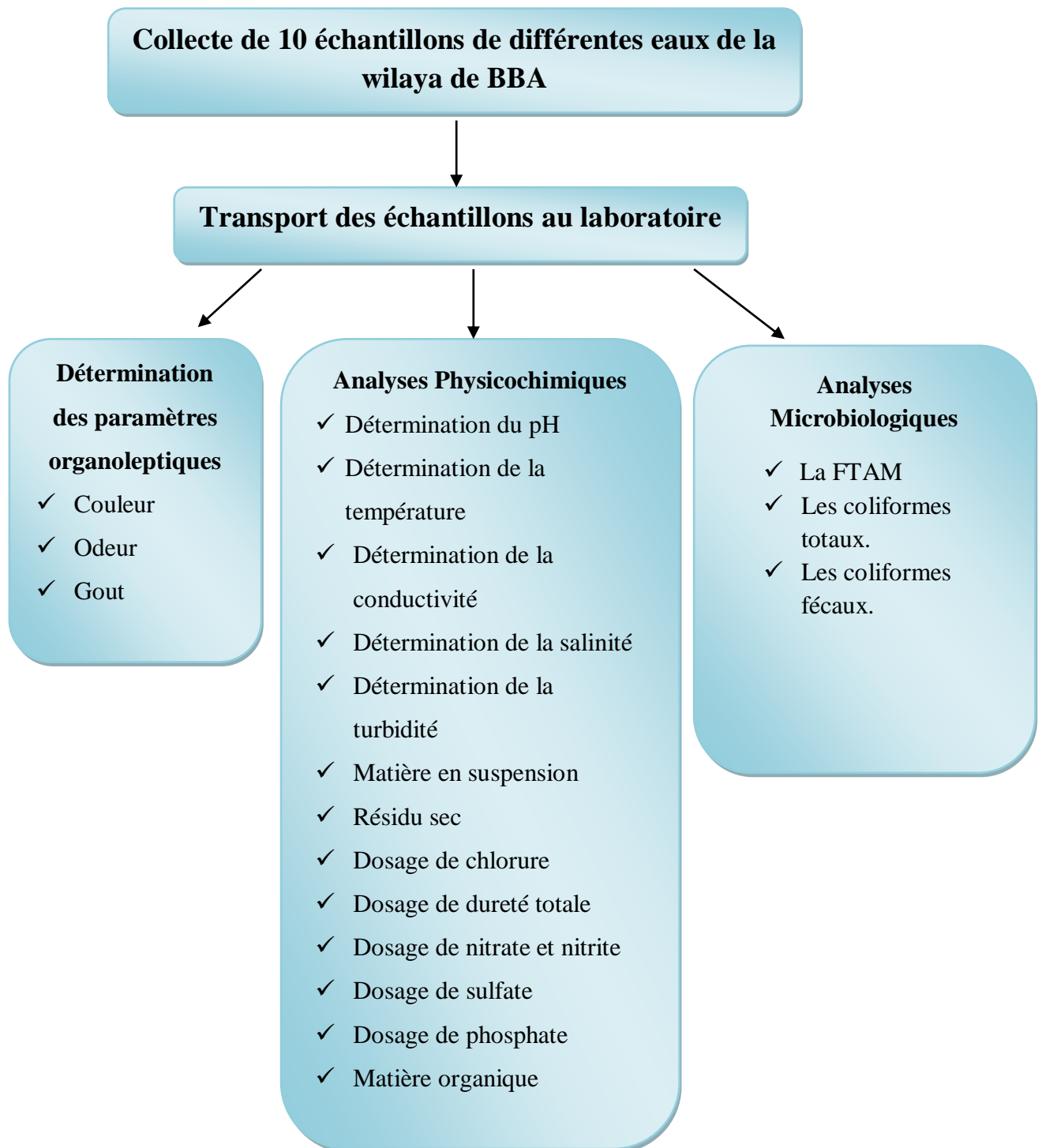


Figure 8: Schéma illustrant les différentes étapes d'analyses.

4.1 Détermination des paramètres organoleptiques :

- Couleur.
- Odeur.
- Gout.

Principe: Ces paramètres ont été déterminés par voie olfactive à l'œil nu et gustative.

4.2 Détermination des paramètres physico-chimiques :

4.2.1 Détermination de la Température :

La mesure de la température a été effectuée en plongeant immédiatement le thermomètre dans le flacon d'eau à analyser pendant 5 minutes. La lecture doit se faire à travers les parois du flacon. Généralement, Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent un thermomètre intégré (**Rodier et al., 2009**) (**voir l'annexe**).

4.2.2 Détermination du pH :

Le potentiel d'hydrogène permet de mesurer l'acidité ou la basicité de l'eau .en fait cette mesure a l'aide d'un ph mètre électronique relié à une électrode. Ces dernier introduite dans l'eau à analyser et la lecture se fait directement sur l'enregistreur électronique quand l'affichage est stabilisé.

Principe : l'évolution de l'acidité ou de l'alcalinité de l'eau se fait par mesure directe de son pH à 20°C.

4.2.3 Détermination de la conductivité électrique :

Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre ou d'un multiparamètre de terrain, en plongeant l'électrode de l'appareil dans l'eau à analyser. Elle s'exprime en micro siémens par centimètre (**Agrigon, 2000 ; Detay, 1993**).

Principe : La conductimétrie est une méthode d'analyse quantitative, elle est liée à la capacité d'une solution à conduire le courant électrique.

4.2.4 Détermination de la turbidité :

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

Principe : mesure la lumière dispersée par les particules en suspension avec un angle de 90° par rapport au faisceau de lumière incident.

4.2.5 Détermination de la salinité :

Elle 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 : même principe de conductimètre.

4.2.6 Détermination des matières en suspension (MES) :

La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation. Quelle que soit la méthode choisie, il est nécessaire pour obtenir une reproductibilité satisfaisante de respecter rigoureusement les conditions opératoires et d'utiliser le même type de matériel (**Ayad, 2017**).

Principe : L'eau est filtrée et le poids des matières retenue par le filtre est déterminé par pesée différentielle (**Rodier et al., 2009**).

4.2.7 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'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 et al., 2009**).

4.2.8 Dosage des chlorures (Méthode de MOHR) :

Principe : Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge brique caractéristique du chromate d'argent (**Rodier et al., 2009**).

4.2.9 Dosage des nitrates (Méthode au salicylate de sodium) :

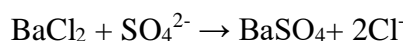
Principe : En présence du salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique (**Rodier et al., 2009**). Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm.

4.2.10 Dosage des nitrites (Méthode au réactif de ZEMBELLI) :

Principe : L'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique, en présence d'ion ammonium et de phénol forme avec les ions un complexe coloré en jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrite (**Hakmi, 2006**).

4.2.11 Dosage des sulfates :

Principe : Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum en présence de BaCl₂.



4.2.12 Dosage des phosphates :

Principe : Les ions phosphates PO₄³⁻ réagissent en milieu acide avec le molybdate d'ammonium (réactif) pour former un complexe phosphomolybdique de couleur bleu, après réduction par l'acide ascorbique. Nous allons donc réaliser un dosage par spectrophotométrie dans le visible à longueur d'onde de 690 nm. Dans un premier temps, on prépare une gamme étalon dont on mesure l'absorbance pour tracer une courbe d'étalonnage. Ensuite, on mesure l'absorbance de l'eau à analyser pour déterminer sa concentration en ions phosphate par comparaison avec la courbe d'étalonnage (**Trouillet, 2010**).

4.3.13 Détermination de la matière organique :

Principe : L'oxydabilité au permanganate de potassium KMnO_4 (ou indice de permanganate) correspond à l'oxydation des matières organiques par du permanganate de potassium de concentration connue en milieu acide selon un protocole normalisé (10 minutes à ébullition). Les résultats sont exprimés en mg/l d'O_2 .

4.3 Les analyses microbiologiques :

Pour les analyses bactériologiques nous avons déterminé :

- ✓ La flore mésophile aérobie totale (FTAM).
- ✓ Les coliformes totaux.
- ✓ Les coliformes fécaux.
- ✓ l'*Escherichia coli*.

4.3.1 Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile totale :

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 ($10^{-1} \dots 10^{-5}$) et incubation à 37°C pendant 72h (**Guiraud, 2003**).

4.3.2 Recherche et dénombrement des coliformes sur milieu solide :

Principe : 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 (**Bourgeois et Leveau, 1991**).

4.3.3 Recherche et dénombrement des coliformes sur milieu liquide :

Principe : La technique en milieu liquide BCPL fait appel à deux tests, le test de présomption est réservé à la recherche des Coliformes totaux, le test de confirmation réservé à la recherche des Coliformes fécaux à partir des tubes positifs.

A. Test de présomption :

A partir de l'eau à analyser, prépare la dilution jusque 10^{-3} , Pour chaque dilution prépare 3 tube contenant 10ml BCPL (Bouillon Lactosé au Pourpre de Bromcrésol) muni d'une cloche de Durham, prélave 1ml de dilution et le transférer dans le tube contenant le 10ml BCPL, Bien mélanger le milieu et l'inoculum, L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

Lecture: Sont considérés comme positifs les tubes présentant à la fois : un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu).Ce caractère étant témoin de la fermentation du lactose dans les conditions opératoires décrites. La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP qui figure en annexe.

B. Test de Confirmation :

Les tubes BCPL trouvés positifs lors de présomption feront l'objet d'un repiquage dans des tubes contenant 10 ml BLBVB (Bouillon lactosé bilié au vert brillant) muni d'une cloche de Durham, l'incubation se fait à 37°C pendant 24h.

Lecture : On considère comme positifs tous tubes présentant à la fois ; un trouble avec un dégagement gazeux. Anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par *E.Coli* après adjonction de 02 à 03 gouttes de réactif de Kovacs. La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table NPP.

Chapitre V :

Résultats et discussion

1. Paramètres physico-chimiques :

1.1 Température :

Les résultats obtenus de la température sont illustrés par la figure 9 :

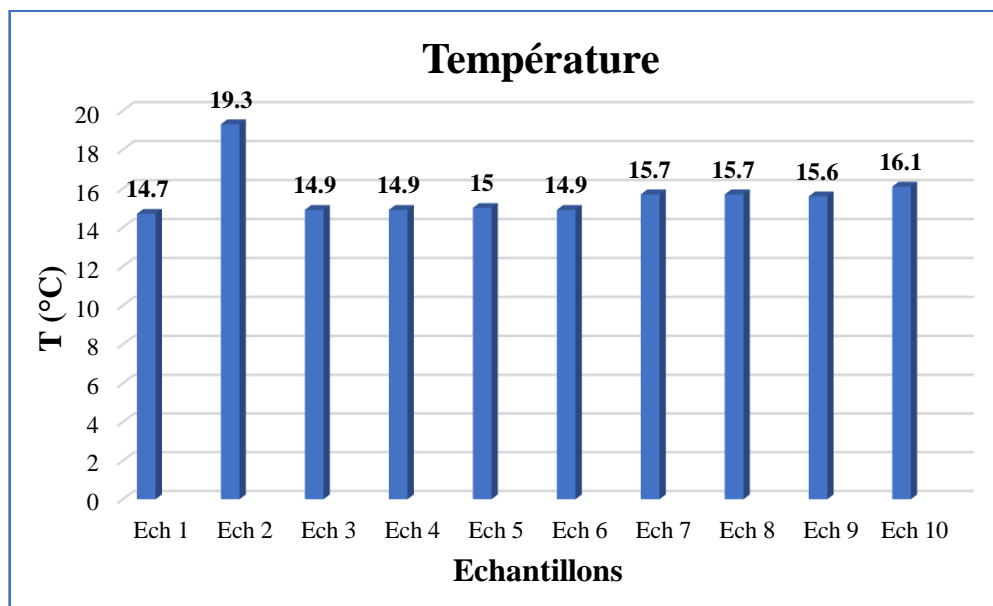


Figure 9: Les valeurs de température des échantillons d'eau analysée

Dans la région d'étude, les résultats obtenus oscillent entre 14,7°C (Ech 01) et 19,3°C (Ech 02), les autres échantillons ont des valeurs proches les uns aux autres. Les résultats obtenus sont conformes aux normes nationales de l'eau potable qui recommandent des températures ne dépassant pas les 25°C (JORA, 2014) et aux normes de l'OMS fixées à 25°C(OMS).

D'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes) (Ghazali et Zaid, 2013), par conséquent, la température plus élevée enregistrée dans l'Ech 2 peut être due à la profondeur.

Selon les travaux de (Ayad, 2017), les degrés de la température varient selon les saisons, en saison humide la température est inférieure à 20°C avec un minimum de 10,5 °C, par contre en saison sèche, elle est supérieure à 20°C avec un maximum de 24°C, ceci est due au changement climatique, puisque notre échantillonnage a été effectué pendant la saison humide, nos résultats sont cohérents avec ceux de Ayad.

1.2 Potentiel d'hydrogène (pH) :

Les résultats obtenus du pH sont présentés dans la figure 10 :

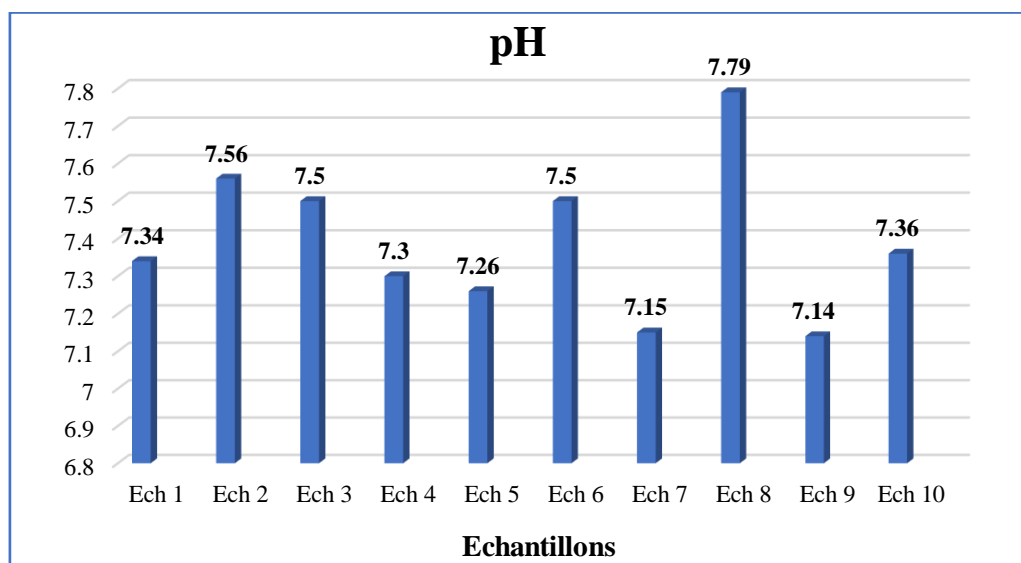


Figure 10: Les valeurs du pH des échantillons d'eau analysée

Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés (Saadali, 2007 ; Gouaidia, 2008). Les législations algériennes et européennes précisent comme niveau guide du pH est de 6,5 à 9 (JORA, 2011; Rodier et al., 2009).

Dans notre secteur d'étude, les valeurs de pH étaient généralement alcalines dans tous les échantillons, elles variaient entre 7,15 (Ech 7) et 7.79 (Ech 8). Ces valeurs sont très proches les uns aux autres respectent les normes algériennes 6.5- 8.5 (JORA, 2014) et la recommandation de l'OMS (9.2).

Par rapport aux études menées sur les eaux souterraines par (Ayad, 2017) il est trouvé que les valeurs de pH varient entre 7,2 et 8,2 pendant la saison humide, donc nos résultats sont en accord avec ses résultats.

1.3 Salinité :

La figure 11 illustre les différentes valeurs de la salinité des échantillons analysés :

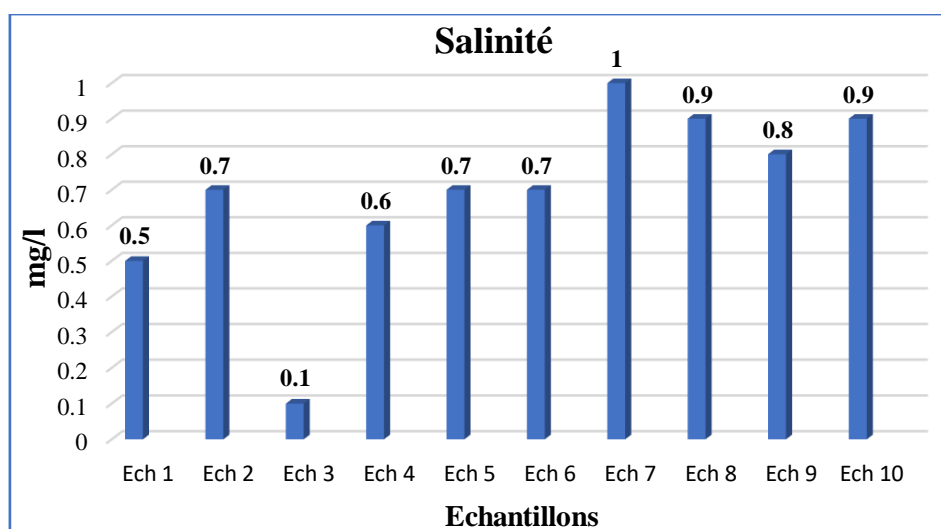


Figure 11: Les valeurs de salinité des échantillons d'eau analysée

Les valeurs de la salinité enregistrées dans notre étude varient entre 0,1 et 1 mg/l. La valeur la plus faible est enregistrée au niveau d'Ech 03 et la valeur maximale est enregistrée au niveau d'Ech 07. Cela signifie que l'eau prélevée des points choisis est considérée comme eau douce.

L'élévation de la salinité dans les eaux de la zone d'étude peut être attribuée vraisemblablement aux conditions climatiques, hydrologiques et hydrogéologiques, ainsi qu'aux rejets domestiques et industriels (El Morhit, 2009 ; Farid et al., 2012).

Alors que l'Ech 7 est le plus couramment utilisé par la population, peut être cette extraction excessive de l'eau a rendu l'eau restante dans les aquifères devenir plus concentrée en sels.

1.4 Conductivité électriques (CE) :

La figure 12 illustre les différentes valeurs de la conductivité électrique des échantillons analysés :

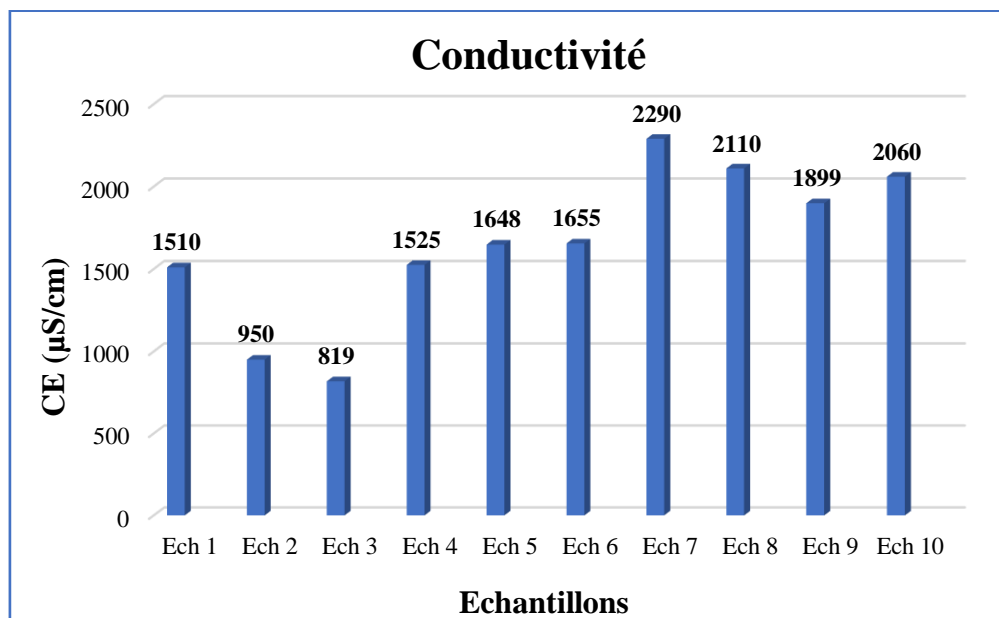


Figure 12: Les valeurs de la conductivité des échantillons d'eau analysée

Les valeurs de la conductivité enregistrées dans notre travail varient entre 819μS/cm (Ech 03) et 2290μS/cm (Ech 07). Les valeurs ne dépassent pas la norme de potabilité algérienne (2800 μS/cm) (JORA, 2014) et ne sont pas acceptables par rapport aux normes d'OMS (1400 μS/cm) dans tous les échantillons, sauf dans les échantillons 02 et 03.

La conductivité électrique dépend des charges de matière organique endogène et exogène, génératrice de sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau, elle varie aussi suivant le substrat géologique traversé (Belghiti et al., 2013).

Probablement les valeurs élevées enregistrées dans les échantillons 7, 8, 9 et 10 soient dues à la nature géologique des formations du sol et à la proximité de ces échantillons avec la forêt. La conductivité de l'eau augmente avec l'augmentation de la salinité.

D'après les résultats obtenus par (Bensalah et Benzitoune, 2021), il ressort que la conductivité de l'eau de consommation dans les sites est habituellement conforme à la norme algérienne et dépasse les normes de l'OMS. Ainsi, nos résultats sont en accord avec leurs.

1.5 Turbidité :

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

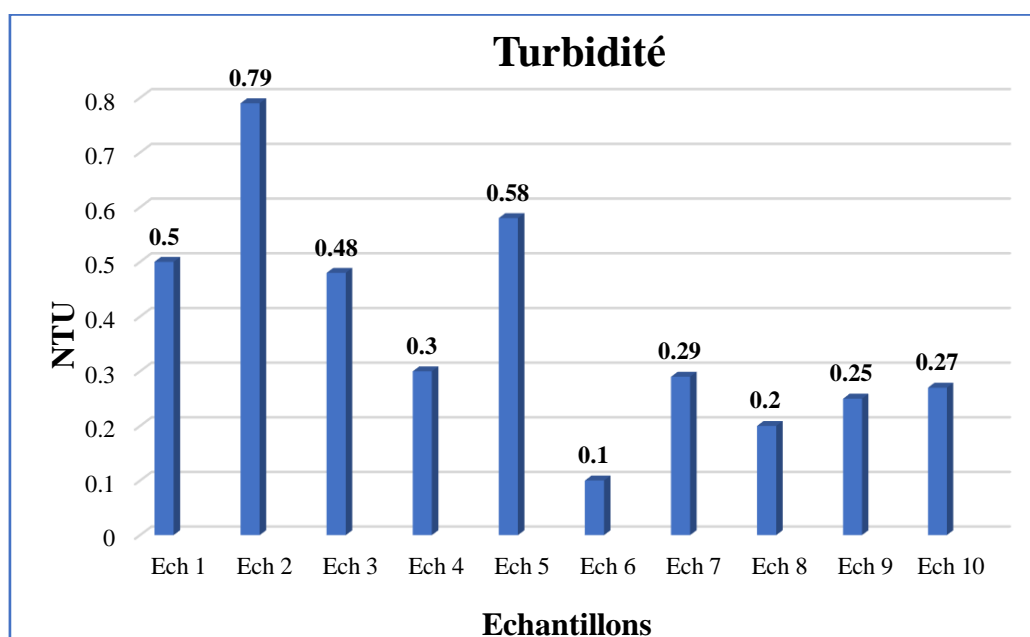


Figure 13: Les valeurs de la turbidité des échantillons d'eau analysée

Les résultats obtenus déterminent des valeurs variées entre 0,1 NTU (Ech 6) et 0,79 NTU (Ech 2). Après comparaison de ces valeurs avec les valeurs fixées par la norme Algérienne (5 NTU) (JORA, 2014) et les normes de l'OMS (10 NTU), on trouve que cette eau est conforme, cela témoigne que la qualité de l'eau dans les points d'eau étudiés dans la région est considérée comme acceptable, ce qui indique une bonne clarification de l'eau (voir tableau V).

La turbidité élevée de l'Ech 2 peut être liée à une contamination par des déchets provenant de l'élevage pratiqué dans la ferme ou se situant le point d'Ech 2 et exposé aux pluies, ce qui entraînerait une percolation des eaux de pluie entraînant les M.E.S vers les eaux souterraines. Quelques études montrent que la turbidité résulte de l'adsorption d'éléments nutritifs à partir des surfaces, ce qui permet aux bactéries de croître plus efficacement.

Nous avons fait une comparaison avec les résultats de (Merbouh et al., 2020) concernant la turbidité, ils variaient de 0.87 NTU à 8.28 NTU, nous avons remarqué que leurs résultats sont supérieurs aux nôtres mais restent conformes aux normes.

1.6 Matières en suspension (MES) :

La figure 14 représente les valeurs de la MES dans les eaux pour les différents échantillons :

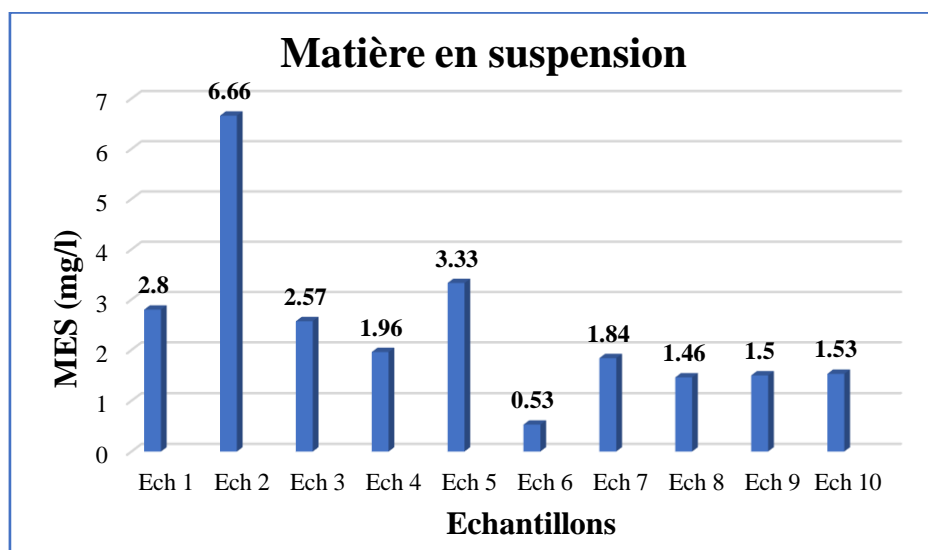


Figure 14: Les valeurs de la MES des échantillons d'eau analysée.

Les matières en suspension, qui comportent des matières organiques et minérales, forment un paramètre important qui marque bien le degré de pollution de l'eau (**Satin et Selmi, 1999**).

Les teneurs de matière en suspension de nos échantillons sont variées entre 0,53 mg/l (Ech 5) et 6,66 mg/l (Ech 6), ces teneurs sont en accord avec les normes algériennes fixées à 25 mg/l.

L'augmentation observée dans l'Ech 2 est probablement due aux fuites de produits sanitaires fécaux, aux activités humaines et à la présence d'animaux à proximité de cet échantillon.

Les résultats que nous avons enregistrés sont très faibles par rapport à ceux enregistrés par (**Ayad, 2017**). La concentration la plus élevée enregistrée était de 160 mg/L, ce qui est supérieur aux normes algériennes.

1.7 Résidu sec :

Les variations des teneurs en résidu sec des eaux durant la période d'étude sont représentées dans la figure 15 :

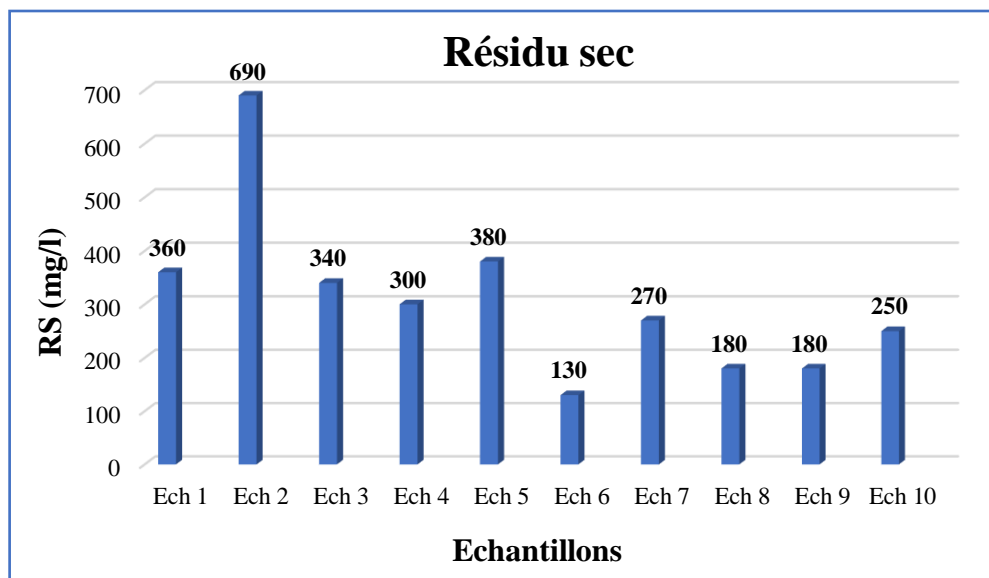


Figure 15: Valeur des teneurs en résidu sec des échantillons d'eau analysée.

Selon Rodier et al (2005) le résidu sec est la quantité de la matière solide dans l'eau, autrement dit : la somme des matières en solution et en suspension. Ces dernières profèrent à l'eau sa couleur brunâtre et parfois sombre.

Selon les valeurs de résidu sec des eaux étudiées on remarque que la valeur maximale de 690 mg/l est enregistrée au niveau d'Ech 02 et la valeur minimale de 130 mg/l est enregistrée au niveau d'Ech 06, ces eaux sont en accord avec les normes algériennes (1500 mg/l) (JORA, 2014) et avec les normes de l'OMS (1500).

L'augmentation des teneurs en résidu secs dans l'échantillon 2 peut s'expliquer par la présence de produits agricoles et d'élevage à proximité de cet échantillon. Lorsque nous avons trouvé que les valeurs de turbidité et de matières en suspension étaient élevées dans le même échantillon, nous pouvons dire, qu'il existe un lien entre ces trois paramètres, peut être l'augmentation des résidus secs et des matières en suspension augmente la turbidité de l'eau.

1.8 Dureté totale :

La figure 16 illustre les différentes valeurs de la dureté totale des échantillons analysés :

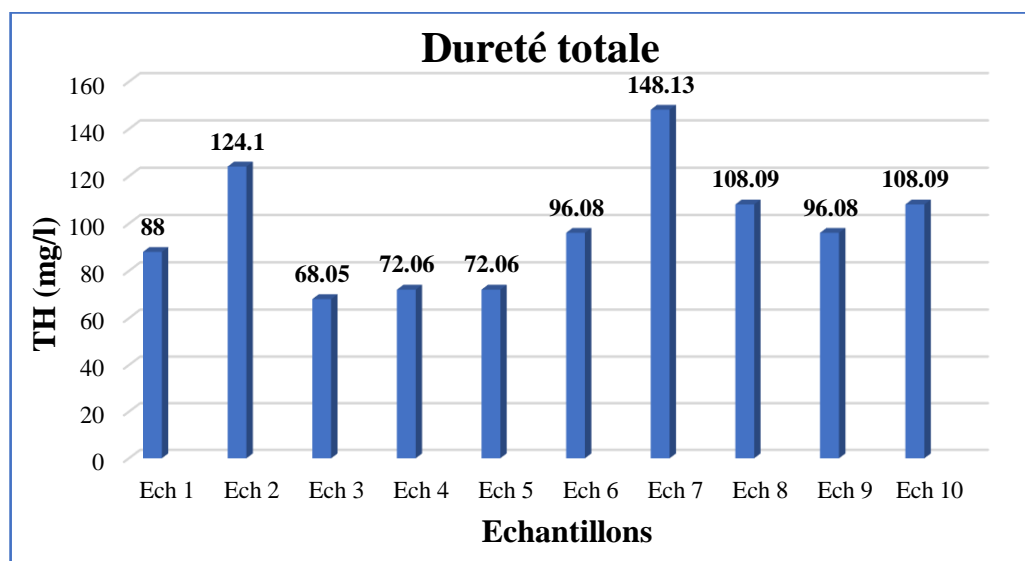


Figure 16: Les teneurs de la dureté totale des échantillons d'eau analysée

D'après les résultats obtenus, nous avons trouvés que les valeurs oscillent entre 68,05 mg/l au niveau de l'Ech03 et 148,13 mg/l au niveau de l'Ech 07. Les valeurs de la dureté totale dans tous les échantillons sont inférieures aux normes algériennes (500mg/L) (**JORA, 2014**) et aux normes de l'OMS (200mg/L).

L'augmentation de la dureté dans l'Ech 7 peut être liée aux caractéristiques géologiques de la région. les sols contenant du calcaire ou de gypse ont la capacité d'accroître la dureté de l'eau (**Rodier et al., 2005 ;Figarella et Leyral, 2002**). L'eau dure peut causer un dessèchement de la peau et une augmentation des fréquences des calculs biliaires et rénaux.

Le principal problème d'un niveau de dureté totale élevé de l'eau est que des dépôts peuvent se former dans la tuyauterie et les rendre moins efficaces. Elle peut réduire le fonctionnement et la durée de vie de la plomberie et des appareils ménagers. Si l'eau est trop dure, cela peut également provoquer une diminution de l'efficacité des savons et détergents, et affecter le goût de l'eau

Selon les recherches menées par (**Bensalah et Benzitoune, 2021**), les valeurs de la dureté totale varient de 184 mg/l à 550 mg/l, ce qui est très élevé par rapport à nos chiffres.

1.9 Chlorure :

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

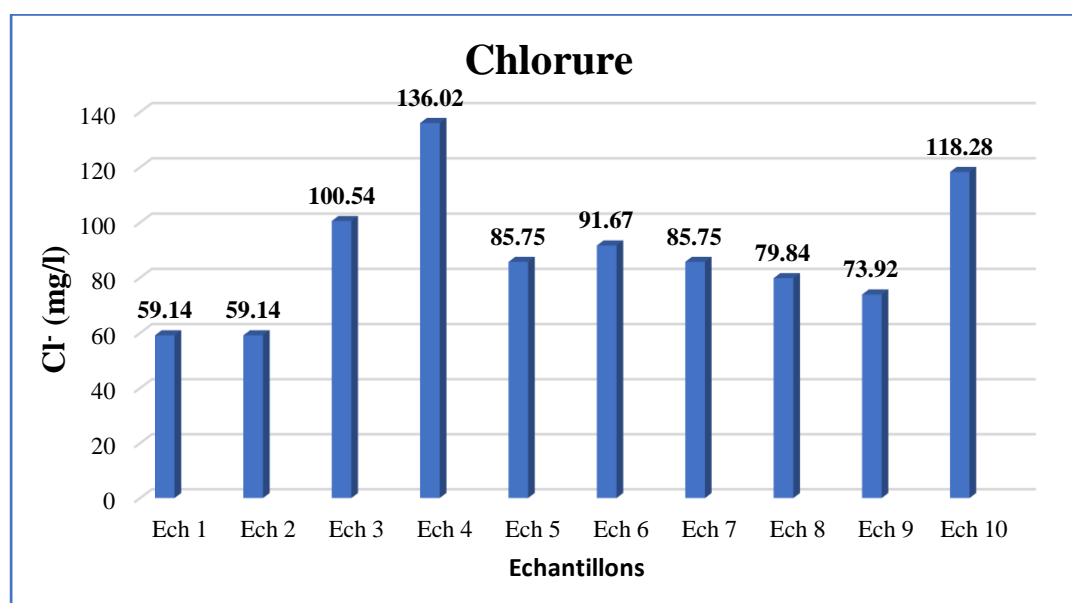


Figure 17: Valeurs des teneurs en Chlorure des échantillons d'eau analysée

Les concentrations en chlorures enregistrées dans notre travail varient entre 59,14 mg/l (Ech 1 et Ech 2) et 136,02 mg/l (Ech 4). Ces valeurs sont considérées normales étant donné que les normes algériennes de l'eau potable pour cet élément sont fixées à 500 mg/l (**JORA, 2014**) et les normes d'OMS (600mg/l).

D'autre part (**Andrews et al., 2009**) ont mentionné que les ions chlorures, à une concentration supérieure à 250 mg/l, altère la saveur de l'eau, ce qui peut entraîner une dégradation de la qualité de l'eau.

Pour (**Rodier et al., 2009**), les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Leurs teneurs dans les eaux naturelles sont susceptibles de subir des variations suite au lessivage superficiel en cas de fortes pluies.

La présence d'un niveau plus élevé de chlorure dans l'Ech 04 est probablement due à l'infiltration d'eau de rivière dans laquelle l'échantillon est situé.

Selon (**Ngakou, 2015**), ses valeurs de chlorure varient de 0,5 à 2 mg/l, ce qui est très faible par rapport à nos valeurs.

1.10 Sodium :

La figure 18 montre la variation des teneurs en sodium dans les différents échantillons :

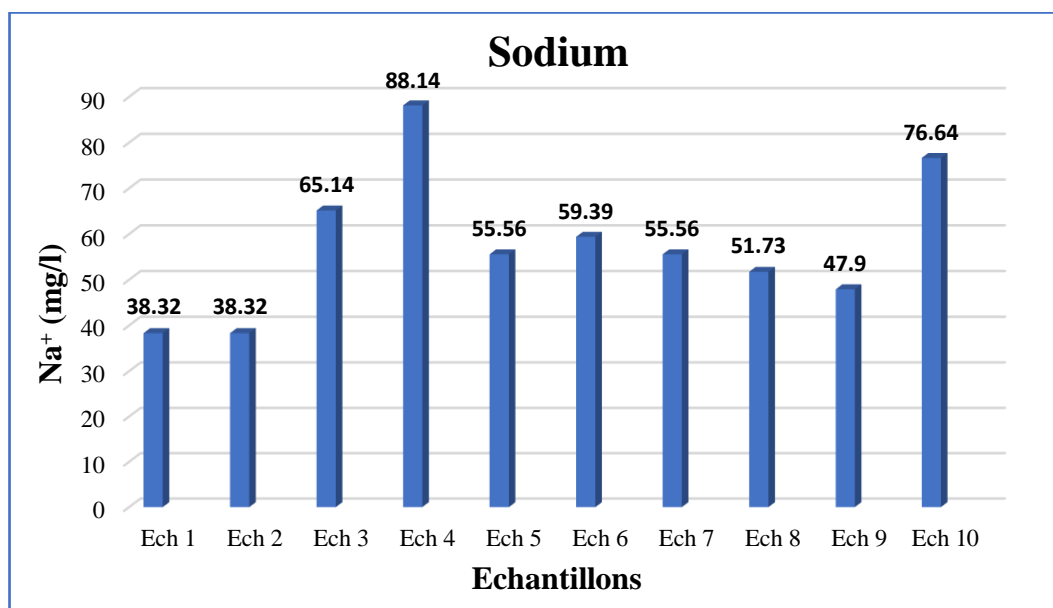


Figure 18: Valeurs des teneurs en Sodium des échantillons d'eau analysée

Le sodium est l'un des constituants majeurs de l'écorce terrestre. Il existe dans la totalité des eaux associé avec le chlorure ou le sulfate d'origine de la dissolution des formations salifères (**Ghazali et Zaid, 2013**).

Les ions sodium peuvent être liés aussi aux rejets humains, en particulier les sels de tables, les urines et certains produits d'entretien (**Matini et al., 2009**). Les résultats des analyses effectuées ont montré que les concentrations du sodium d'eau variée entre 38,32 mg/l et 88,14 mg/l. La valeur maximale est enregistrée dans l'Ech 04 et la minimale dans l'Ech 01 et l'Ech 02. Elles sont largement plus faibles que la norme Algérienne et aussi l'OMS fixée à 200 mg/l.

Le chlorure et le sodium sont étroitement liés, donc la même raison pour l'augmentation du chlorure entraîne également une augmentation du sodium.

Nos résultats sont presque en accord avec ceux obtenus par (**Baali et al., 2023**) allant de 23 mg/l à 161 mg/l dans les différentes stations étudiées.

1.11 Phosphate :

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

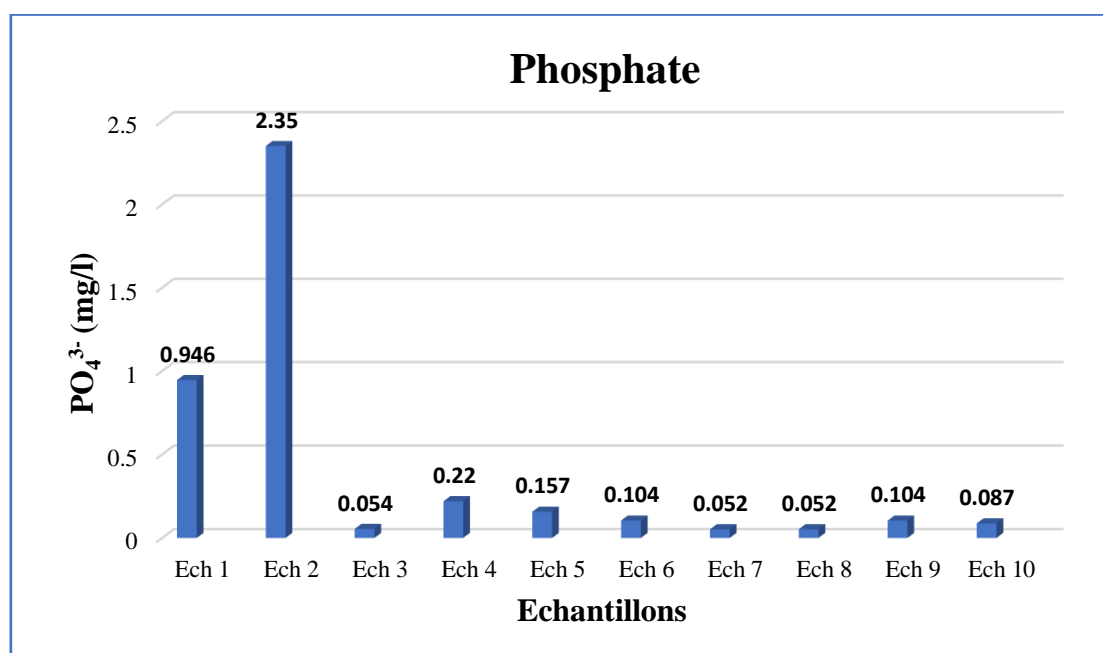


Figure 19: Valeurs des teneurs en Phosphate des échantillons d'eau analysée

Les résultats obtenus montrent que les teneurs en phosphate de l'eau dans les sites étudiés sont variées entre 0.052 mg/l (Ech07 et Ech 08) et 2,35 mg/l au niveau d'Ech 2, les valeurs des échantillons 1 et 2 sont supérieures à la valeur limite fixée par la norme algérienne (0.5 mg/l) (JORA, 2011).

Nisbet et Verneaux, 1970 ont montré que la présence des phosphates dans les eaux naturelles à des concentrations supérieures à 0.1 ou 0.2 mg/l est un indice d'une pollution par des eaux contenant des phosphates organiques et des détergents synthétiques, donc les teneurs élevées de phosphate dans les deux premiers échantillons sont probablement dû au problème dans le système d'assainissement situé à proximité de ces échantillons ainsi que la proximité de ce dernier avec l'hôpital.

Les phosphates favorisent la croissance des algues et des bactéries dans l'eau, ce qui peut entraîner une eau trouble, cela explique la forte turbidité dans l'Ech 2. De plus, elles peuvent provoquer des allergies, des infections cutanées et respiratoires.

Après comparaison avec les résultats obtenus par (Baali et al., 2023) qui vont de 0,002 mg/l à 0,42 mg/l. Nos résultats sont proches des leurs.

1.12 Nitrite :

La figure 20 montre la variation des teneurs en nitrites dans les différents échantillons :

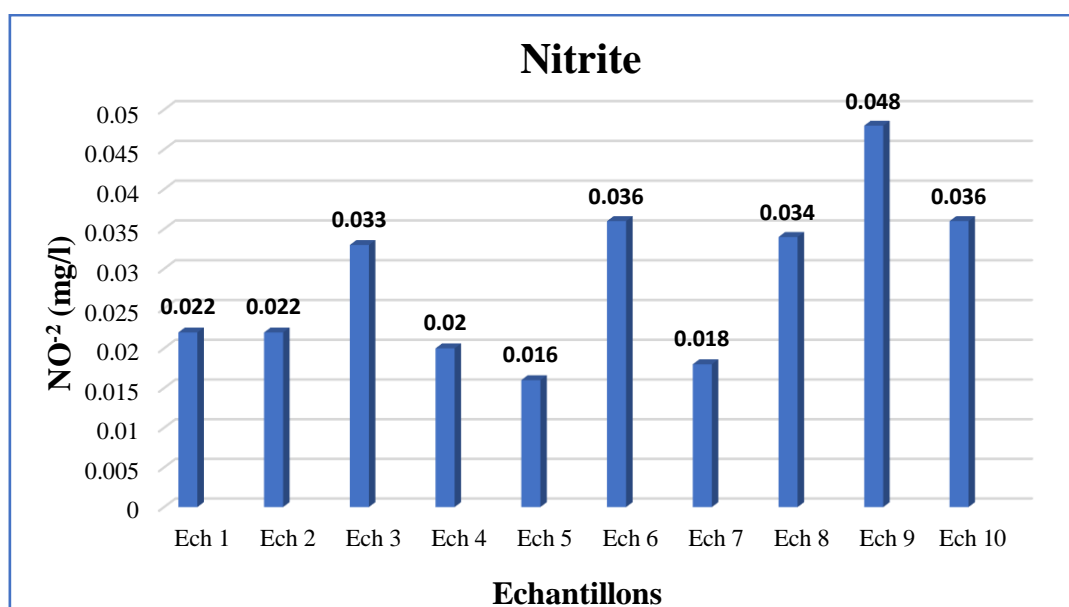


Figure 20: Valeurs des teneurs en Nitrite des échantillons d'eau analysée

Une teneur d'azote nitreux supérieure à 0,10 mg/l peut faire soupçonner un apport d'eaux riches en matières organiques en voie de décomposition. Cette teneur ne devrait pas être dépassée dans le cas d'une eau d'origine profonde (**Rodier et al., 2009**).

On remarque dans notre étude que la teneur en nitrites varie de 0,016 mg/l (Ech 5) et 0,048 mg/l (Ech 9), ces valeurs sont considérées normales étant donné que les normes algériennes pour cet élément sont fixées à 0.2 mg/l (**JORA, 2014**) et les normes de l'OMS 0.1 mg/l.

L'Ech 09 contient une quantité importante de matière organique, ce qui suggère que la décomposition de la matière organique peut entraîner une augmentation de la concentration de nitrite.

Les résultats obtenus par (**Ngakou, 2015**) varient entre 0,072 mg/l et 0,14 mg/l, ses résultats sont supérieurs à nôtre mais ils restent dans les normes.

1.13 Nitrates :

La figure 21 montre la variation des teneurs en nitrates dans les différents échantillons :

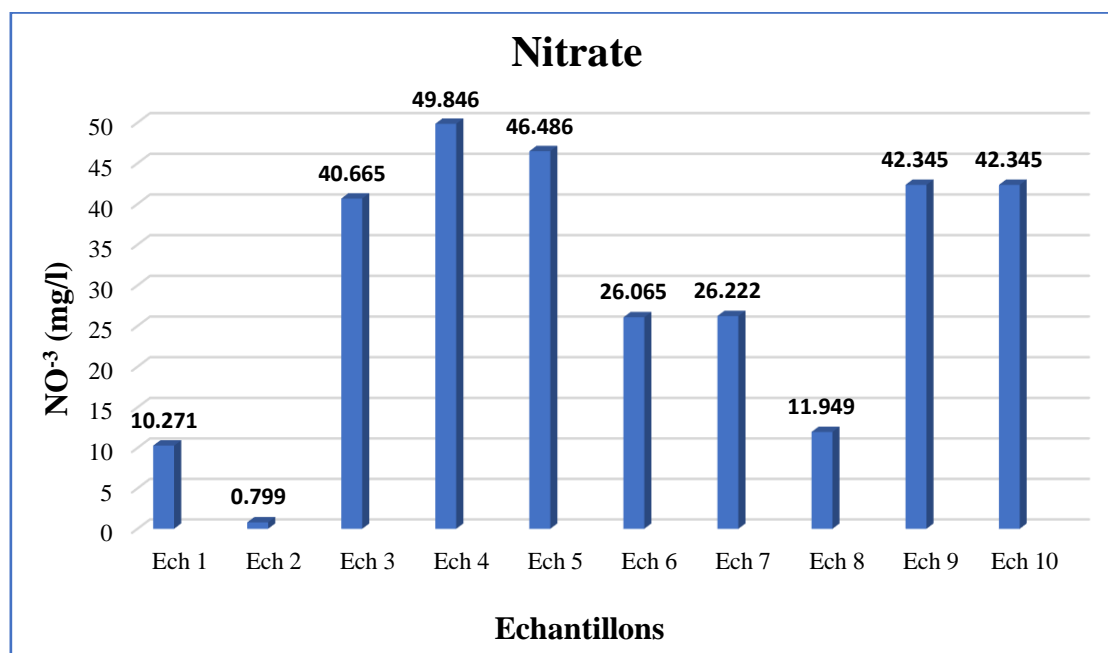


Figure 21: Valeurs des teneurs en Nitrate des échantillons d'eau analysée

Les résultats obtenus varient entre 0.799 mg/l (Ech 2) et 49,846 mg/l (Ech 4). Ces résultats sont conformes aux normes et inférieurs à la valeur limite fixée par la norme algérienne et l'OMS (50 mg/l).

Selon les travaux de Derwich et *al.*, (2010), les nitrates constituent la forme azotée la plus dominante dans les cours d'eau et dans les nappes d'eau souterraines. Ils pourraient provenir généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites et constituent ainsi le produit final de la nitrification.

Selon nos résultats, l'augmentation de nitrate au niveau de l'Ech 04 et l'Ech 5 est probablement due à la présence de déchets animaux dans la vallée (où se trouvent les échantillons). Il est possible que l'utilisation d'engrais pour les plantes où nous avons trouvé l'Ech 03 soit le responsable de l'augmentation du nitrate. Concernant les échantillons 9 et 10, peut être le nombre des bactéries est élevé ce qui entraîne une grande oxydation bactérienne des nitrites.

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par (Ngakou, 2015) allant de 26,97 mg/l à 49,17 mg/l.

1.14 Sulfate :

La figure 22 montre la variation des teneurs en sulfate dans les différents échantillons :

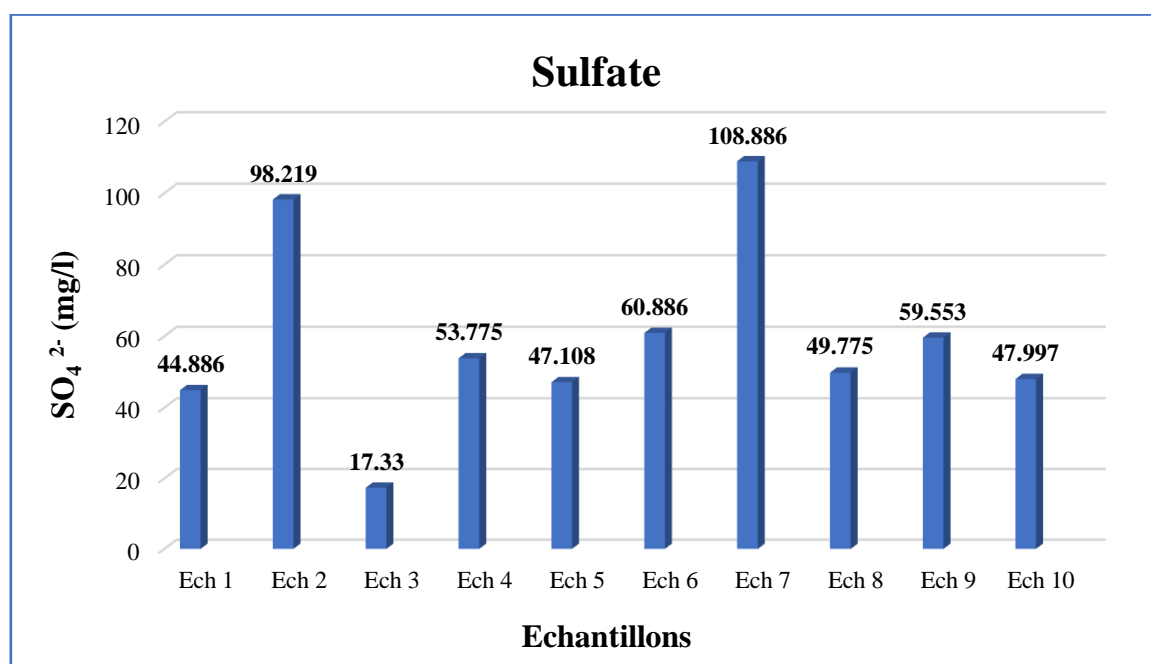


Figure 22: Valeurs des teneurs en sulfate des échantillons d'eau analysée

D'après la figure, les valeurs trouvées pour les sulfates varient entre 17,33 mg/l (Ech 3) et 108.886 mg/l (Ech 7). Ces valeurs sont conformes aux normes de l'OMS (500 mg/l) et aux normes Algériennes qui ne doit pas dépasser 400 mg/l (JORA, 2014).

Certaines études signalent que les valeurs élevées de ce paramètre peuvent être observées dans les cours d'eau polluée, au niveau des zones de rejets industriels, surtout ceux de la production des pâtes, utilisant le sulfate sous forme d'un additif alimentaire de traitement des farines. Il est également utilisé dans l'activité de transformation de papier, tanneries et industries de textile présente dans la zone industrielle de B.B.A (Derwichet *al.*, 2010).

Une des sources les plus courantes d'augmentation des sulfates dans l'eau est l'activité humaine, notamment l'industrie et le rejet de déchets remarquables aux abords de l'Ech 07. Des doses importantes de sulfate dans l'eau que nous buvons peuvent avoir un effet sur l'organisme. Le sulfate est susceptible dans ce cas de provoquer des diarrhées entraînant à la longue une grave déshydratation. Des troubles digestifs ainsi que des nausées peuvent survenir et entraîner chez certaines personnes des douleurs abdominales aiguës (Dupont, 1999).

1.15 Matière organique :

La figure 23 illustre les différentes valeurs de la conductivité électrique des échantillons analysés :

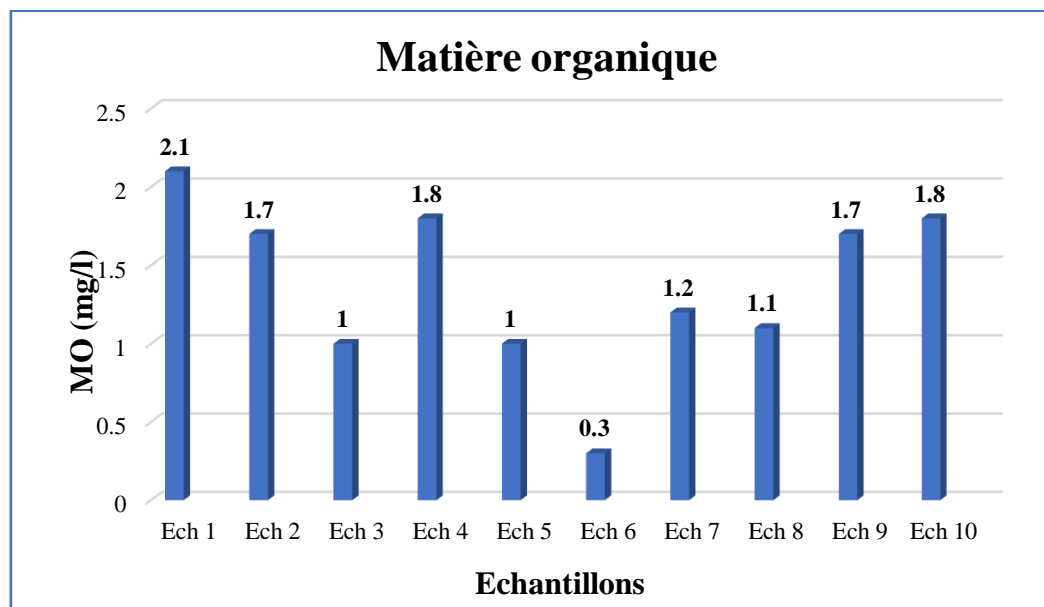


Figure 23: Les valeurs de la MO des échantillons d'eau analysée.

Les résultats obtenus varient entre 0.3 mg/l (Ech 6) et 2.1 mg/l (Ech 1). Ces résultats sont conformes aux normes et inférieurs à la valeur limite fixée par la norme Algérienne et l'OMS (5 mg/l).

Selon **Brahimi et Chafi (2014)**, cette forme de pollution constitue la fraction la plus importante. En effet, elle résulte de l'introduction de substances organiques provenant de diverses activités : industrielles (hydrocarbures), agricoles (engrais azotés et phosphatés) et domestiques (phosphates, matières fermentescibles).

Le phosphate est un composant de la matière organique, donc dans l'échantillon 01, une augmentation de la quantité de phosphate augmente la quantité de matière organique, cette dernière contenant du phosphate qui peut agir comme source de nutriments pour les bactéries dans l'eau. Par conséquent, la présence de bactéries dans cet échantillon est susceptible d'être détectée.

Nos résultats sont presque en accord avec ceux obtenus par **(Derradji et Mechehoud., 2021)** qui mentionnent que les résultats des analyses effectuées varient de 1,20 mg/l à 3,5 mg/l.

2. Paramètres bactériologiques :

2.1 La flore totale aérobie mésophile (FTAM) :

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

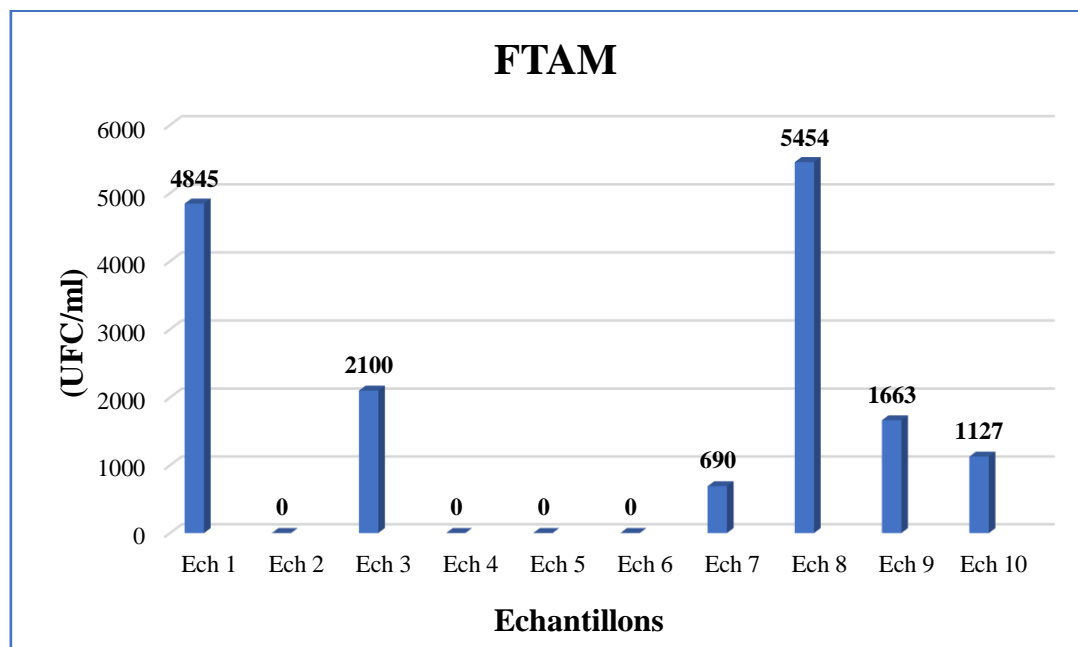


Figure24:La flore totale aérobie mésophile dans les échantillons d'eau analysée.

Nos résultats indiquent la présence des FTAM au niveau des échantillons 1, 3, 7, 8, 9 et 10. On remarque que la valeur maximale de 5454 UFC/ml est enregistrée au niveau d'échantillon 08 et la valeur minimale de 690 UFC/ml est enregistrée au niveau d'échantillon 07.

Ces résultats montrent que les échantillons d'eau sont de mauvaise qualité hygiénique et aussi ils montrent que l'eau de nos échantillons présentent des valeurs de FTAM dépassent la norme de l'OMS qui atteindrent une valeur de 20UFC/ml de même pour l'eau de Tissemsilt et Maroc selon Belghiti et *al* (2013); Tir et *al* (2017).

2.2 Les coliformes totaux (CT) et fécaux (CF) :

La figure 25 illustre les différents résultats obtenus :

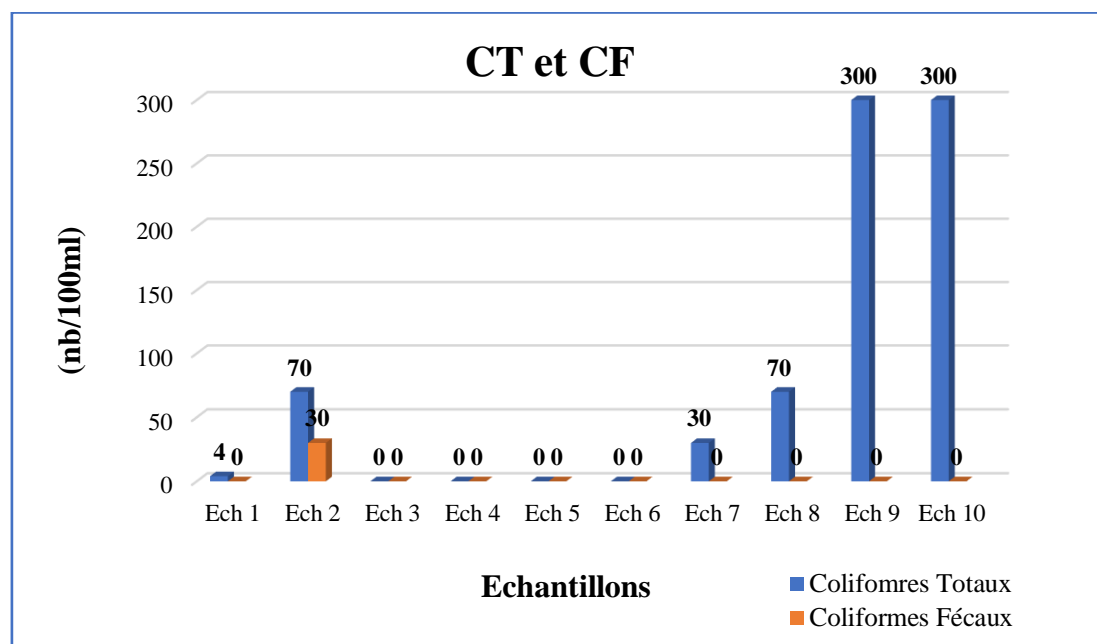


Figure 25: Les coliformes totaux et fécaux dans les échantillons d'eau analysée (Milieu liquide).

Selon la figure il y a une absence des coliformes totaux et fécaux dans les échantillons (3, 4, 5 et 6), une présence des coliformes totaux au niveau d'échantillons (1, 2, 7, 8, 9 et 10) avec des valeurs de (4, 70, 30, 70, 300 et 300, nb/100ml) respectivement, cette contamination peut être causée par les rejets domestiques, par la proximité des puits avec des fosses septiques et par l'infiltration d'eaux des surfaces dans les puits. Ces causes rejoignent celles détectés dans l'étude menée par EL Haissoufi et *al.*, (2011) sur la pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès au Maroc.

Pour les coliformes fécaux il y a seulement dans l'Ech 02 avec une valeur de (30 nb/100ml), on peut dire que l'eau de cet échantillon est non consommable. Les valeurs dans les échantillons 1, 2, 7, 8, 9 et 10 dépassent les normes de l'OMS (0 nb/100ml).

Après comparaison avec d'autres études, nous avons constaté que nos résultats sont cohérents avec celle de **(Ben Mammer et Bougefa, 2018)**.

Conclusion

L'objectif de la présente étude, fixé au départ, était l'évaluation des qualités physicochimiques et microbiologiques pour 10 échantillons des eaux de puits et des forages collectés dans la région de Bordj Bou Arreridj.

Les résultats obtenus des paramètres physico-chimiques testés (Température, pH, Salinité, Turbidité, Conductivité, Résidu sec, MES, Chlorure, Sodium, Dureté totale, Matière organique, Nitrates, nitrites, Phosphates, Sulfate) sont toutes conformes aux normes algérienne et aux normes de l'OMS et par conséquent nous pouvons conclure que la quasi-totalité des puits et des forages renferment des eaux d'une bonne qualité physicochimique. Néanmoins, L'analyse a révélé dans certains échantillons, qui sont au nombre de deux (Ech 01 et Ech 02), la présence de teneurs en phosphates qui dépassent les normes admises.

Pour les résultats des analyses microbiologiques obtenus ont révélé la présence d'une flore totale aérobie mésophile dans les échantillons (01, 03, 07, 08, 09 et 10), des coliformes totaux (Ech 01, 02, 07, 08, 09 et 10) et coliformes fécaux au niveau de l'échantillon 02 seulement, les causes de cette pollution sont multiples, les principales pourraient être:

- La mauvaise protection des puits et des forages par ce qu'ils n'étaient pas couverts.
- la proximité des puits et des forages avec des sources de contamination.
- Le manque de traitement des puits et forages et l'absence des mesures d'hygiène élémentaires et un problème dans le système d'assainissement possible.
- Défauts des systèmes de distribution associés aux puits et aux forages
- L'utilisation croissante des engrais par les agriculteurs pour les puits et les forages qui sont situés à coté des terres agricoles.

Et cela peut constituer un risque sanitaire pour les populations qui sont tributaires de ces eaux pour leur besoin ; il peut provoquer plusieurs maladies liées à la contamination de l'eau par des matières fécales, telles que : l'hépatite A, l'amibiase, la cryptosporidiose et la giardiose, également comme le montrent les résultats des statistiques sanitaires de la ville sur les maladies d'origine hydrique.

En recommandation, et pour évaluer la qualité des eaux souterraines, nous recommandons quelques perspectives:

- ✓ Il est souhaitable de réaliser l'étude sur les quatre saisons de l'année, avec un plus grand nombre de puits et forages, et d'inclure d'avantage d'autres quartiers de la ville.

- ✓ Il est vivement recommandé une surveillance accrue ponctuée par un contrôle rigoureux et régulier des eaux souterraines pour éviter le risque de la contamination.
- ✓ l'accent doit être mis sur l'utilisation de canalisations de haute qualité pour transporter l'eau potable afin d'éviter toute contamination par les eaux usées.
- ✓ L'isolement rapide, le nettoyage et la désinfection des puits en cas de contamination.
- ✓ Sensibiliser les populations et les inciter à protéger et traiter l'eau des puits et des forages avant la consommation.

*Références
bibliographique*

A

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*, n° 23, (aout 2014), PP : 84 -94.

Abrekane M., Hambli S. &Tebbikh O. (2011). Evaluation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux d'un écosystème lacustre cas de Garaet hadj Tahar (Skikda). Université 8 Mai 1945 Guelma, 43- 62 -79- 84 p.

Agrigon A. (2000). Annuaire de la qualité des eaux et des sédiments. DUNOD,206 p.

Ahoussi K.E., Koffi Y.B., Kouassi A.M., Soro G. &Biemi J. (2013). Evolution spatiotemporelle des teneurs en nitrates des eaux souterraines de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire), *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, Vol 1, N° 3, PP : 45-60.

Aka N., Bamba S.B., Soro G. & Soro N. (2013). Etude hydrochimique et microbiologique des nappes d'altérites sous climat tropical humide : Cas du département d'Abengourou (Sud-Est de la Cote d'Ivoire), *Larhyss Journal*, N°16, PP : 31-52

Algéo. (1997). Etude Géophysique Dans La Plaine De Guelma. Rapport Interne, 28 p.

Amadou H., Laouali M.S. &Manzola A. (2014). Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de trois aquifères de la région de Tillabery : application des méthodes d'analyses statistiques multi variées, *Larhyss Journal*, N° 20, PP : 25-41.

Andi (2013). Agence Nationale de Développement et L'investissement, Monographie de la wilaya de Bordj Bou Arreridj

Andi (2014). Agence Nationale de Développement et L'investissement, Monographie de la wilaya de Bordj Bou Arreridj.

Andrews B.F., Campbell D.R. &Thomas P.(2009). Effects of hypertonic magnesium sulphate enemas on newborn and young lambs.Lancet 2, PP: 64-79.

Aouissi A. (2010). Microbiologie et physico-chimie de l'eau des puits et des sources de la région de Guelma (Nord-Est de l'Algérie). Mémoire de Magister en Hydro-écologie. Université de Guelma, 120 p.

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

Archibald F. (2000). The présence of coliform bacteria in Canadian pulp and papermill water system- a cause for concern. *Water quality Research journal of Canada*, 35(1) : 122.

Ayad W. (2016) : *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, Algérie, 110p.

B

Baali M., Belmekimad D. & Fekraoui R. (2023). Analyse de quelques paramètres physico chimiques et bactériologiques des sources d'eau au niveau de la wilaya de Mila. Mémoire de Master, Centre Universitaire Abdelhafid Boussof , Mila, 76p.

Bahmed L., Djebabra M. & Abibsi A. (2004). Démarche d'intégration du concept qualité – sécurité - environnement aux systèmes d'alimentation en eau potable. *LARHYSS Journal N°03, PP : 115-128*.

Ballouki K. (2012). Etude de la qualité physicochimique et biologique de trois sources dans la région de Midelt (Haut Moulouya). *Mémoire de master de l'Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Maroc*.

Barrette É. (2006). Pesticides et eau souterraine : Prévenir la contamination en milieu agricole, Direction des politiques en milieu terrestre, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 24p.

Bartout P. & Touchart L. (2013). L'inventaire des plans d'eau français : outil d'une meilleure gestion des eaux de surface. In *Annales de géographie No.3, PP : 266-289* .

Bazine N. & Bourenane A. (2011). Evaluation de la qualité bactériologique des eaux de l'oued Messida (parc national d'El kala, W .d'El-Taref). Mémoire de Master, Université de 08 Mai 1945 Guelma, 98p.

Bekhouché 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, n°2, (Décembre 2022), PP : 2-11*.

Belghiti M., Chahlaoui A., Bengoumi D. & El moustaine R. (2013). Etude de la qualité physico-chimique et Bacteriologique des eaux souterraines de la Nappe plio-quadernaire dans la région de Meknes (Maroc), *Larhyss Journal n°14, Juin 2013*.

Belhadj R. & Hamouch Z. (2020). Enquête sur la Gestion et l'utilisation des ressources en eau dans une région semi-aride (Cas de la wilaya de Bordj Bou-Arréridj). Doctoral dissertation, P5 et 6

Bensalah Y. & Benzitoune R. (2021). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines brutes dans la wilaya de Constantine. Mémoire master. Université des Frères Mentouri Constantine 1, 76 p.

Beriere G. (2000). Distribution et collecte des eaux. 2^{ème} édition, Ecole polytechnique de Montréal, p3 et 19.

Boeglin Jean-claude. (2001). Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1 110p.

Bouchemal M. & Hammoudi A.C. (2016). Analyses de la qualité des eaux de la station de traitement de Hammam Debeh. Mémoire master. Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, 84p.

Bougeois M. & Leveau J. (1996). Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agroalimentaires. Paris, Lavoisier TEC et DOC, 331 p.

Bouselsal B. (2017). Foage d'eau procédés et mesures. Polycopié de cours, UKMO.

Bouziani M. (2000). L'eau de la pénurie aux maladies. Edition, Ibn Khaldoun, 247p.

Bosca C. (2002). Groundwater law and administration of sustainable development, Mediterranean Magazine. *Science Training and Technology, N° 2, PP : 13-17*.

Brahimi A. & Chafi A. (2014). Ecotoxicological study of Oued Za and its tributary Oued Tizghrane (Lower Moulouya, Eastern Morocco). *J Mater Environ Sci. 5 (5), 1671-1682*.

Brémaud C. (2006). Alimentation, santé, qualité de l'environnement et du cadre de vie en milieu rural. Edition, Educagri, 214p.

C

Cardot C. (1999). Génie de l'environnement, les traitements de l'eau. Ellipses, Paris, 247p.

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

Chaumeton H. (2008). L'Encyclopédie pratique de l'aquarium. Edition, Aretemis, 15p.

Chenah R. &Torki A. (2023). L'utilisation de SIG et télédétection à la cartographie et à l'étude les sous bassins versants au niveau de la wilaya de Bordj Bou Arreridj. Mémoire master, Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi, Bordj Bou Arreridj, 28p.

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, P 4.

Collin J.J. (2004). Les eaux souterraines : Connaissance et gestion, Hermman. Editeurs des sciences et des arts, paris, p 27-49.

D

Daffri A. (2008). Biodégradation des crésols par le microbiote des eaux usées de la ville de Constantine. Université Mentouri, Constantine, 57p.

Dajoz R. (1982). Précis d'écologie. 4ème édition, Gauthier Villars, 525p.

Debeche E., Belkasmi F., Bouhalfaia Y. & Belkhir B. (2013). Typologies des systèmes d'élevages bovins laitiers dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj (Algérie). Ecole nationale supérieure d'agronomie Alger, 25 p.

Degbey C., Makoutode M., Fayomi B. & Brouwer C., (2010). La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey au Bénin. *Journal Internationale de Santé et Travaux, Vol 1, PP : 15-22*

Degremont. (1989). Mémento technique de l'eau, Technique et documentation. Tome 1, P : 5, 24,25.

Degremont G. (2005). Mémento technique de l'eau. Tome 1, 10^{ème} édition, Edit, Tecetdoc, p : 3 -4.

Demdoum A. (2010). Etude Hydrogéochimique Et Impact de La Pollution Sur Les Eaux de La Région d'El Eulma. Thèse de doctorat, université Mantouri Constantine, Algérie.

Derradji S. & Mechehoud N. (2021). Évaluation de la qualité physico-chimique et organique des eaux souterraines de la commune de Hamma Bouziane approvisionnées à la consommation humaine. Mémoire master 2, Université des Frères Mentouri Constantine 1, Constantine, 63p.

Derwich E., Benaabidate L., Zian A., Sadki O. & Belghity 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.

Desjardins R. (1997). Le traitement des eaux. Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2^{ème} édition, Québec, Canada, 302p.

Detay M. (1993). Le Forage D'eau : Réalisation, Entretien. *Réhabilitation, Masson*, 379p.

Djemmal S. (2009). Les Ressources en Eau et L'environnement, l'effet de la sebkha sur la qualité des eaux Souterraines dans la partie sud-est de Sétif Cas du Guidjal. Université de Constantine, Algérie.

DSA. Direction des services agricoles, wilaya de Bordj Bou Arreridj. Service des statistiques.

E

Eblin S.G., Sombo A. P., Soro G., Aka N., Kambiré O. & Soro N. (2014). Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké (sud-est côtier de la Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 75, PP : 6259-6271.

Edberg S.C., Rice E.W., Karlin R.J. & Allen M. J. (2000). *Escherichia coli* : the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 88 :106S-116S.

Elmund G.K., Allen M.J. & Rice E.W. (1999). Comparaison of *Escherichia coli*, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency. *Water Environ. Res*, 71 :332-339.

El-Naqa A., Al-Momani M., Kilani S. & Hamouri N. (2007). Groundwater deterioration of shallow groundwater aquifers due to overexploitation in northeast Jordan. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 35(2), PP :156-166.

El Morhit M. (2009). Hydrochimie, Eléments Traces Métalliques et incidences écotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Loukkos). Thèse de Doctorat. Université Mohamed V-Agdal, 232 p.

Emand Barres A.L. & Roux J.C. (1999). Périmètre de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine ; Guide méthodologique et réglementaire. Edition BRGM, manuels et méthodes n°33, 2^{ème} édition, 19p.

F

Fakihlanjri A., Brigui J., El Cadi A., Khaddor M.&Salmoune F. (2014). Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Tanger. *Journal de Matériel et Science de l'Environnement*, Vol 5, N° S1, PP : 2230- 2235.

Farid I., Zouari K . & Kallali A.(2012). Origine de la salinité des eaux du bassin Chougafiya (Tunisie). *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 25(3), PP :255-274.

Figarella J. & Leyral G. (2002). Analyse des eaux: Aspects réglementaires et techniques. Ed, Scérén CRDP d'Aquitaine, Paris, 360 p.

G

Gasmi B., Mailbi L., Djaidja H., Harzallah I., Nouidjem Y. & Bensaci E. (2009). Biodiversité et écologie des Anatidés dans une zone humide d'importance internationale : Cas du Chott El Hodna.

Ghazali D. & Zaid A. (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (Région de Meknès-Maroc). *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (12).*

Ghibeche I. (2011). Contribution à la régionalisation stochastique des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines dans le cadre d'un SIG. Thèse de magister, Hydraulique agricole, Ecole nationale supérieure Agronomique el Harrach, Alger.

Gouaidia L. (2008). Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana nord-est Algérien. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 131p.

H

Hamdi W. (2011). Qualité hygiénique et caractéristiques physicochimiques des eaux domestiques de quelques localités de la cuvette de. Mémoire magister, Département des sciences de la nature et de la vie, Option : Microbiologie appliqué, Ouargla, 107p.

Hamenni N., Mesbah M.&Semar A. (2015). Etude des ressources en eau dans le bassin versant de la Soummam. *Recherche agronomique N° 27,103-116.*

Henri L. (2012). L'eau Potable.Édition réimprimée, 190 p.

J

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

Journal officiel. (2014), N°13, 53ème année, Alger.

K

Kahoul M. & Touhami M. (2014), Evaluation de la qualité physico- chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (Algérie). *Larhyss journal*, N°19, (septembre 2014), PP : 129-138.

Kanohin F., Otchoumou E., Yapo O. Dibi, B. & Bonny, A. C. (2017). Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Bingerville. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5), 2495-2509.

Khaldi F., Smati H., Grara N., Smati N., Maizi N., Boukehili K. & Gheid, A. (2018). Mesure et contrôle des propriétés de quelques eaux souterraines de l'agglomération d'Ouled Driss, Algérie. *Environnement, Risques & Santé*, 17(3), 253-261.

Kirkpatrick k. & Fleming E. (2008). La qualité de l'eau, ROSS TECH 07/47, 12p

L

Lagnika M., Ibikounle M., Montcho J.C., Wotto V.D. & Sakiti N.G. (2014). Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè (Bénin, Afrique de l'ouest), *Journal of Applied Biosciences*, N°79, PP : 6887– 6897.

Larpent J. P. (1997). Microbiologie alimentaire : Technique de laboratoire. Ed, Technique et documentation-Lavoisier, Paris, 1073 p.

Lesavre J. (2007). Epuration des eaux résiduaires urbaines nature et paramètres de pollution, 22p.

M

Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A. & Clooster M VAN. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental). *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (9), PP : 149-169.

Matini L., Moutou J.M. & Kongo-Mantono M.S. (2009). Evaluation hydro-chimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo. *Afrique Science*,**5** (1), 82- 98.

Merabet S. (2010). Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et Distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun. Mémoire de magister chimie analytique. Université mentouri de Constantine,46p.

Merbouh, C., Belhsaien, K., Zouahri, A., & Iounes, N. (2020). Evaluation De La Qualité Physico-Chimique Des Eaux Souterraines Au Voisinage De La Décharge Contrôlée Mohammedia-Benslimane:(Étude Préliminaire). *European Scientific Journal February 2020 edition*, 16(6).

Merzoug D., Khiari A., Aït Boughrous A. & Boutin C. (2010). Faune aquatique et qualité de l'eau des puits et sources de la région d'Oum-El-Bouaghi (Nord-Est algérien). *Hydroécologie appliquée*, 17,PP : 77-97.

Molinie L. (2009). Dispositifs rustiques d'alimentation et de Traitement de l'eau potable pour des services de petites tailles en régions défavorisées.*Agro Paris Tech, Montpellier, Cedex 4, 7p*

Mushayuma D.B., Ngabo P.P., Mttima N.K., Ntadumba H.N., Cishibanji P.B. & Rutegamaboko J.K.Analyses bactériologique des eaux consommées par la population du groupement d'Irhambi/ Katana, sud Kivu, rd Congo.

Myrand D. (2008). Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées. Québec, 04p.

N

Ngakou A. (2015). Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits, forage et de rivières consommées dans le bassin pétrolier de Doba au Tchad. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°24,

Nisbet M. & Verneaux J. (1970). Composantes chimiques des eaux courantes discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annales De Limnologie*,6 (2),161-190.

Nouayti N., Khattach D.&Hilali M. (2015). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc).*Journal de Matériel et Science de l'Environnement, Vol 6, N° 4, PP : 1068-1081.*

O

OMS. (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson.4eme édition, Genève, 564p.

Ouali M.S. (2001). Cours de procédés unitaires biologique et traitement des eaux.P 102

R

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

Razous P. (1908). Eaux d'égout et eaux résiduaires industrielles : épuration utilisation. France : société d'éditions techniques.

Rejesk F. (2002). Analyse des eaux- Aspects réglementaires et techniques, Biologie technique CRDP d'aquitaine. 358 p.

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

Remini B. (2017). The Tadmait foggara : without energy from basement water to soil surface. *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (32), 301-325.*

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.5ème Edition, Dunod, Paris, 1500p.

Rodier J., Bazin C., Broutin J., Chambon P., Champsaur H. &Rodil. (1996). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer .8ème Edition Dunod, Paris .1383p

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. Edition. Dunod, Paris, 1384p.

Rodier J., Legube B. & Merlet N. (2009). L'analyse de l'eau. 9^{ème} édition, Ed, Dunod, 1526p.

Rodier J., Legube B., Merlet N. & coll. (2009). L'Analyse de l'eau. 9^e édition, Dunod, Paris.

Roux D. (1987). Office International de L'eau : L'analyse biologique de l'eau. TEC et DOC, Paris, 229 p.

S

Saadali B. (2007). Etude de la qualité des eaux de sources issues du massif dunaire de Bouteldja (Algérie extrême Nord oriental). Mémoire de magister en géologie, Géosciences, faculté des sciences de la terre, département de géologie, Université Badji Mokhtar. Annaba, 110p.

Salesse E. (2001). Du nouveau à propos des galeries de captage émergentes. Quelques réflexions sur les actes du séminaire du Collège de France de mars 2000. Pierre Briant (éd.), Irrigation et drainage dans l'Antiquité. Qanâts et canalisations souterraines en Iran, en Egypte et en Grèce (Séminaire du Collège de France, mars 2000), Collection Persika 2 (2001). *Topoi , Orient-Occident, 11(2), 711-736.*

Santé Canada 1991 : La qualité bactériologique. Document de support aux « recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada »

Sari H. (2014), Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source Attar, Tlemcen. Mémoire de master, université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, Algérie.

Satin M., Selmi B., (1999). Guide technique de l'assainissement, 2^{ème} édition: Moniteur, P75.

Scanlon B.R., Reedy R.C., Stonestrom D.A., Prudic D. D. D. E. & Dennehy K.F. (2005). Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US. *Global Biol., 11 : 1577-1593.*

Si Abderahmane O. (2016). Contribution à l'évaluation du système management et qualité des paramètres physico- chimique, bactériologique et organoleptiques des eaux stations de traitement taksebt et boudouaou. Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 102p.

T

Tir E., Deche M., Bounouira Y., Chedad A. (2017). Qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau des sources de la commune de tissemsilt cas de ain loura et ainsfa. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°29, Mars 2017, pp. 111-119

www.wofrance.fr

Annexe

Annexe 01 : Normes des paramètres physico-chimiques et bactériologiques.**Tableau : les normes de potabilité algériennes (journal officiel, 2014) 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
Salinité (mg/l)	/	/
Turbidité (NTU)	5	10
Résidu sec (mg /l)	1500	1500
Dureté	500	200
Matières organiques (mg /l)	5	/
Alcalinité	50	/
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻) (mg/l)	/	350
Carbonate (CO ₃ ²⁻) (mg/l)	/	350
Sulfate (SO ₄ ²⁻) (mg/l)	400	500
Chlorure (Cl ⁻) (mg/l)	500	600
Sodium (Na ⁺) (mg/l)	200	200
Nitrite (NO ₂ ⁻) (mg/l)	0.2	0.1
Nitrate (NO ₃ ⁻) (mg/l)	50	50
Phosphate (Po ₄ ³⁻) (mg/l)	0.5	/

Tableau : Paramètres microbiologiques (Normes de l'OMS2006) (Larbi et Mekkaoui,2011).

Paramètres	Unités	Valeur indicatives
Flore totale aérobie mésophile	UFC/ml	20
Coliformes totaux	nb/100ml	0
Coliformes fécaux	nb/100ml	0

Annexe 02 : Matériel.

Autoclave, bain marie, balance analytique, bec-bunsen, compteur de colonie, étuve universelle réglable, micropipettes, pH mètre, thermomètre, plaque chauffante, Agitateur vortex, Réfrigérant, Distillateur, Agitateur magnétique, Micropipette, conductimètre, turbidimètre, incubateur, spectrophotomètre UV-Visible ,pissettes, portoirs, spatules, béchers, entonnoirs, éprouvettes graduées, erlenmeyers, fioles jaugée, flacons, pipettes graduées, pipettes pasteur, burettes, tubes à essais, boites de pétri.

Paramètres physico-chimiques :

Annexe 03 : Détermination de la température

Mode opératoire :

- Mettre un peu d'eau dans un bécher de 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 04 : Détermination du pH

Mode opératoire :

- Etalonner le pH à l'aide des deux solutions tampons.
- Plonger l'électrode dans l'eau à analyser et lire la valeur du pH.
- Introduire l'électrode dans le bécher ou le flacon contenant l'eau à analyser dont la température doit être 20°C.

Remarque : A chaque détermination du pH, retirer l'électrode, rincer avec l'eau distillée et sécher.

Annexe 05 : Détermination de la conductivité électrique

Mode opératoire :

- Pour la détermination de ce paramètre un conductimètre est utilisé, qui consiste à rincer l'électrode plusieurs fois avec l'eau distillée puis en le plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner.
- Faire la mesure en prenant soin que l'électrode soit complètement immergée.
- Le résultat de la conductivité est donné en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (**Rodier., 1997**).

Annexe 06 : Détermination de la turbidité

Mode opératoire :

- Elle se détermine à l'aide d'un turbidimètre.
- On fait étalonner le turbidimètre en introduisant dans la première cuvette de l'eau distillée prise comme référence ;
- Puis remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer à l'aide du papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéiser et effectuer rapidement la mesure ;
- Il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure. La mesure est obtenue directement en UTN : Unité de Turbidité Néphélométrique. (**Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Champsaur H., Rodi L. 2005**).

Annexe 07 : Détermination de la salinité

Mode opératoire :

- Utiliser le mode opératoire décrit pour la conductivité.

Annexe 08 : Détermination du résidu 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 de temps 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 09 : Détermination de la matière en suspension

Mode opératoire :

- Sécher le papier filtre et le peser (P1).
- Filtrer 10 ml d'eau à analyser.
- Sécher le papier filtre à l'étuve à 105°C jusqu'au séchage total.
- Peser immédiatement et rapidement (P2) (**Rodier et al., 1996**).

Expression des résultats :

- Le rapport entre la différence des masses et le volume filtré donne la concentration des matières en suspension dans l'échantillon, On applique la formule suivante :

$$C \text{ (mes)} = (P2 - P1) / V * 1000$$

C (mes) : concentration de MES en mg/l.

P1 : masse de filtre avant filtration.

P2 : masse de filtre après filtration.

V : volume d'échantillon filtré

Annexe 10 : Détermination de la dureté totale

Réactifs utilisés :

- Solution d'EDTA N/50.
- Solution tampon (pH= 10).
- Indicateur coloré Noir d'Eriochrome T dans l'alcool éthylique absolu à 0.4% (à conserver à l'abri de la lumière)

Mode opératoire :

- Introduire 100 ml d'eau à analyser dans une fiole.
- Chauffer la prise d'essai à une température de 60°C.
- Ajouter 5 ml de solution tampon (pH 9,5-10) et quelques gouttes du noir ériochrome.
- Verser la solution d'EDTA jusqu'au virage du rouge vineux au bleu vert.
- Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.
- Soit V le volume de solution d'EDTA versé.

Préparation des solutions :

- Solution de noir d'ériochrome T dans l'alcool éthylique absolu à 0,4%
- Solution tampon :
 - Chlorure d'ammonium.....34g
 - Ammoniaque (d=0,925).....285ml
 - Tartrate double de potassium et sodium.....200g
 - Eau distillée.....1000ml
- Solution d'EDTA :
 - Sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique.....4g
 - Chlorure de magnésium.....0,1g
 - Eau distillée.....1000ml

Expression des résultats :

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

Annexe 12 : Dosage des chlorures

Réactifs utilisés :

- Acide nitrique pur.
- Carbonate de calcium pur.
- Solution de chromate de potassium 10% :
 - Dissoudre 2,5 g de chromate de potassium dans 25 ml d'eau distillé.
- Solution de nitrate d'argent 0,1 N :
 - Dissoudre 4,21 g de nitrate d'argent dans 250 ml d'eau distillé.

Mode opératoire :

- Introduire 100ml d'eau à analyser préalablement filtré dans un erlenmeyer de 250ml
- Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique
- Ajouter une pincé de carbonate de calcium
- Ajouter 3 gouttes de chromate de potassium à 10%
- Verser en moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'une teinte rougeâtre qui doit persister à 10 min.

Expression des résultats :

- Pour une prise d'essai de 100 ml on à 2 méthodes :
 - $V \times 10 \times 3.55$ donne la teneur de chlore exprimé par mg de Cl/l
 - $V \times 10 \times 5.85$ donne la teneur de NaCl exprimé par mg de NaCl/l

Annexe 13 : Détermination de sodium

-NaCl = Na⁺ + Cl.

-Na⁺ = NaCl – Cl.

Annexe 14 : Dosage des nitrates

Réactifs utilisés :

-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 sodium..... 400 g
- Tartrate double de sodium et de potassium60 g
- Eau distillée (q.s.p)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 anhydre0.722 g
- Eau distillée (q.s.p)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.

Mode opératoire :

Introduire 10 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 45 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 15 : Dosage des nitrites

Réactifs utilisés :

-Ammoniaque pur (d=0.925).

-Réactif de ZAMBELLI :

- HCL pur (d=1.19).....2,60ml
- Acide sulfanilique 0,05g
- Phénol cristallisé 0,075 g
- Chlorure d'ammonium.....1,35g
- Eau distillée (exempte de NO_2^-)..... 6,25ml

-Solution mère étalon de NO_2^- - 0.23g/l (détailler ce calcul dans le rapport) :

- Nitrite de sodium.....0.345g
- Eau fraîchement distillée..... 1000ml

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

-Solution fille étalon d'ion NO₂ -0.0023g/l

- Préparer cette solution dans une fiole jaugée de 100 ml à partir de la solution mère avec de l'eau distillée.

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.

Numéros de tube	T	1	2	3	4	Ech 1	Ech 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.

Expression des résultats :

Pour une prise d'essai de 50 ml, la courbe donne directement la teneur en NO₂⁻, exprimée en mg/l d'eau. Cette valeur multipliée par 0.305 donne la teneur en azote nitreux exprimée par mg/l. (Rodier, 2009)

Annexe 16 : Dosage de la 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.

Annexe 17 : Dosage des phosphates

Réactifs utilisés :

- Molybdate d'ammonium
- Hydrogénophosphate de potassium KH_2PO_4 ,
- Chlorure stanneux (SnCl_2).
- Glycérol
- Acide sulfurique (H_2SO_4) concentré.

Etablissement de la courbe d'étalonnage :

Tableau : Etablissement de la courbe d'étalonnage.

Numéro des fioles	T	1	2	3	4
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

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

Préparation des solutions :

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

- Hydrogénophosphate de potassium sec KH_2PO_40,07615g

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.

- 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.

-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 et les dissoudre dans 7,5 ml d'eau distillée. Mélanger la solution de molybdate d'ammonium avec la solution d'acide refroidi puis ajuster à 100ml avec d'eau distillée.

-Solution de chlorure stanneux :

- Chlorure stanneux0,25g
- 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 18 : Dosage des sulfates**Réactifs utilisés :**

-Solution mère de sulfate à 1 g/l à partir de Na_2SO_4 :

- Na_2SO_4 1,479 g
- Eau distillée.....1000 ml.

-Solution stabilisante :

- Acide chlorhydrique60 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.

Mode opératoire de la gamme d'étalonnage :

- Prendre 8 béchers de 250 ml.
- Laver très bien avec savon et une lavette.
- Rincer abondamment avec l'eau de robinet.
- Rincer avec une solution acide chlorhydrique.
- Rincer avec l'eau du robinet puis avec l'eau distillée.

Remarque :

- Les échantillons troubles doivent être filtrés sur filtre de 0,45 μm .

Gamme d'étalonnage :

N° bécher	1	2	3	4	5	6	7	8
Solution mère à 1 g/l.	0	1ml	2ml	3ml	4ml	5ml	6ml	7ml
L'eau distillée.	100ml	99ml	98ml	97ml	96ml	95ml	94ml	93ml
Solution stabilisante.	5ml	5ml	5ml	5ml	5ml	5ml	5ml	5ml
Solution chlorure de baryum	2ml	2ml	2ml	2ml	2ml	2ml	2ml	2ml

Agitation 1 min.

Concentration finale SO ₄ ²⁻	0	10	20	30	40	50	60	70
---	---	----	----	----	----	----	----	----

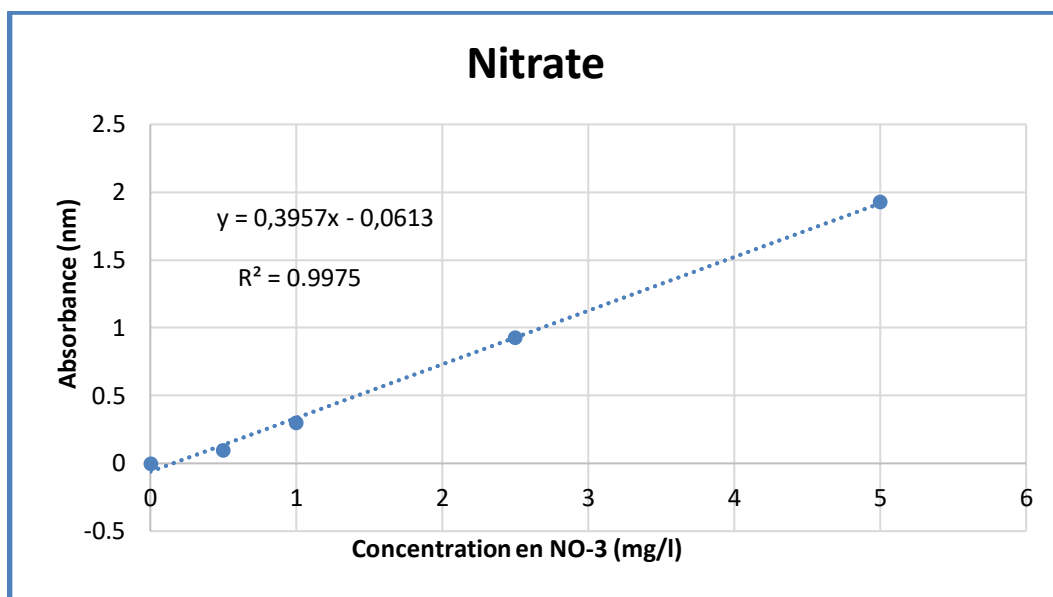
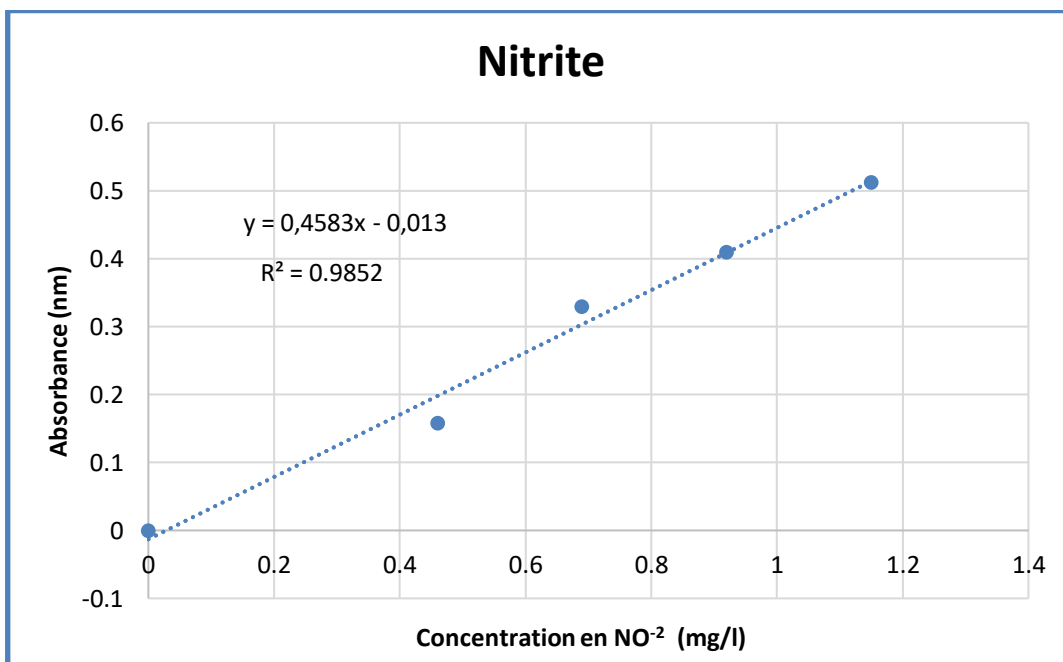
Enregistrer la gamme dans le spectrophotomètre à la longueur d'onde 420 nm.

Mode opératoire des échantillons :

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

Expression de résultat :

- mg/l SO₄²⁻ = la valeur lue sur le spectrophotomètre x facteur de dilution.

Annexe 19 : Les courbes d'étalonnage**Figure 1 : Courbe d'étalonnage de nitrate.****Figure 2 : Courbe d'étalonnage de nitrite.**

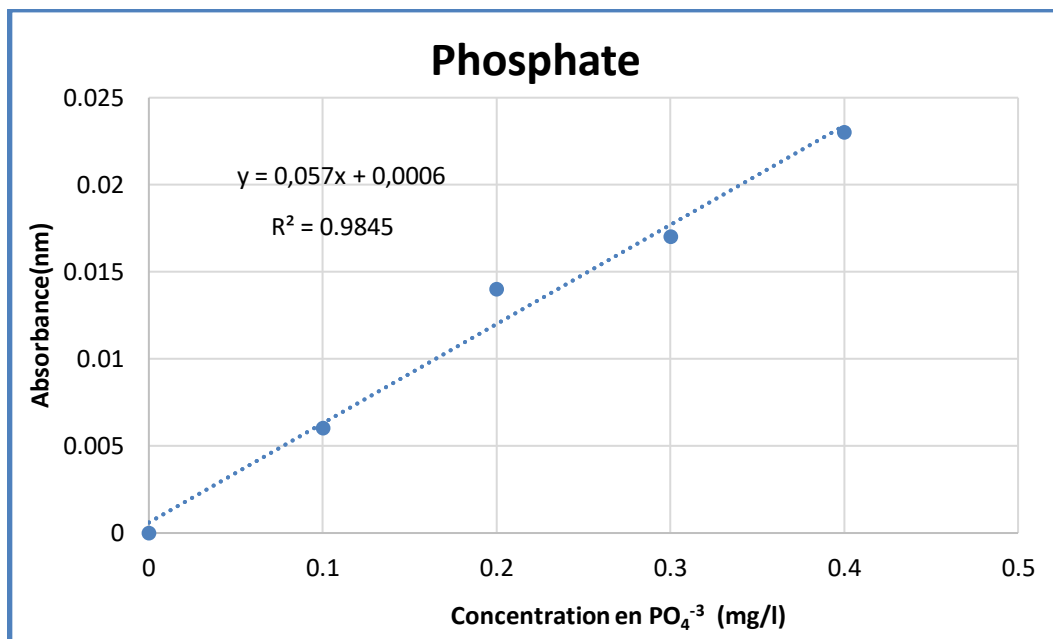


Figure 3 : Courbe d'étalonnage de phosphate.

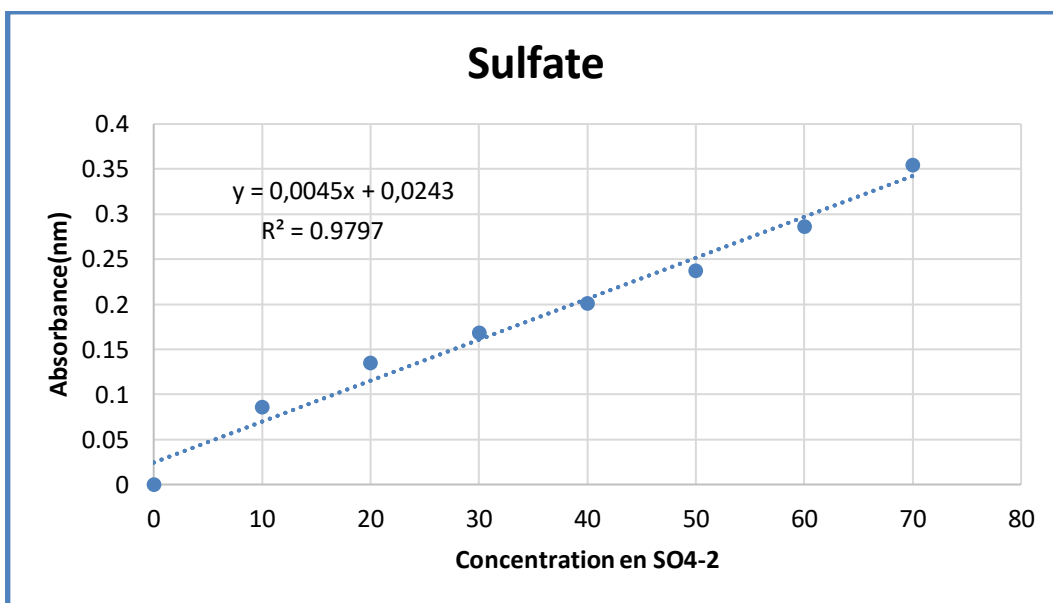


Figure 4 : Courbe d'étalonnage de sulfate

Paramètres bactériologiques :

Annexe 20 : les milieux de cultures

Milieux solides :

- ✓ Milieu VRBG utilisé pour la recherche des coliformes totaux et fécaux.
- ✓ Milieu PCA pour la recherche de la flore aérobie mésophile totale.

Milieux liquides :

- ✓ Milieu BCPL utilisé pour la recherche des coliformes totaux.
- ✓ Milieu BLBVB utilisé pour la recherche des coliformes fécaux.

Annexe 21 : Préparation d'eau physiologique

Dissoudre 9g de NaCl dans 1000 ml d'eau distille, autoclaver à 121°C pendant 15 min.

Annexe 22 : Recherche et dénombrement des FTAM

Mode opératoire :

Le dénombrement se fait par Technique d'ensemencement dans la masse :

- Marquer les boîtes de Pétri vides (exemple : 10^{-1} ; 10^{-2} ; 10^{-3}).
- Homogénéiser les tubes de dilution.
- A l'aide d'une micropipette, transférer aseptiquement, 1ml de la dilution 10^{-3} sous forme de gouttes dans le fond de boîte de Pétri.
- Avec le même embout, procéder identiquement pour les dilutions 10^{-2} puis 10^{-1} .
- Couler 15 ml de milieu gélose maintenu à 47°C dans chaque boîte de Pétri.
- Mélanger l'inoculum au milieu, par rotation délicate en forme de (8).
- Une fois le milieu solidifié, retourner les boîtes et les incuber dans l'étuve pendant 72h.

Lecture

- Examiner les boîtes dès que possible après la période d'incubation.
- Compter les colonies qui présentent sous forme lenticulaire en masse, en s'aidant au besoin d'une loupe de grossissement 1,5 ou d'une loupe binoculaire.

Expression des résultats

Le comptage du nombre de colonies a l'aide d'un compteur de colonies pour les boîtes contenant entre 30 et 300 colonies.

Annexe 23 : Recherche et dénombrement des coliformes

Mode opératoire

- A partir des dilutions décimales 10^{-1} à 10^{-3} , ensemencer 1ml dans deux boîtes par chaque dilution et compléter avec environ 15ml de gélose VRBG fondue puis refroidie à 45°C .
- Faire ensuite des mouvements circulaires en forme de (8) pour bien mélanger la gélose à l'inoculum.
- Incuber les boîtes a 37°C pour les coliformes totaux et a 44°C pour les boîtes réservées a la recherche des coliformes fécaux pendant 24 à 48 heures.

Lecture

- Dénombrer les colonies violettes de 0,5 à 1 mm de diamètre.

Annexe 24 : Images des résultats microbiologiques



Photo 1: Boite PCA positive à 37°C

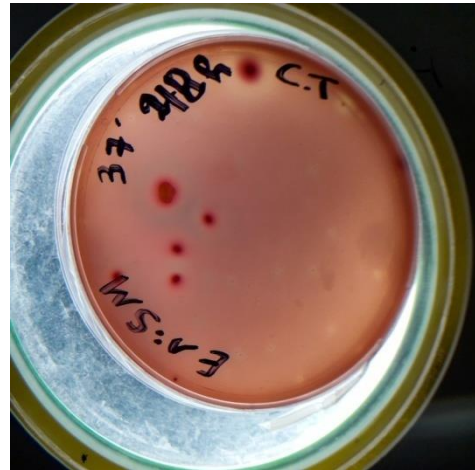


Photo 2 : Boite VRBG positive à 37°C



Photo 3 : Virage de couleur de BCPL



Photo 4 : Virage de couleur de BLBVB