

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



Réf :/UAMOB/FSNVST/DSA/2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Agro-Alimentaire & Contrôle de Qualité

Présenté par :

ASSEM Chafia & BOUDISSA Kanza

Thème

**Contribution à l'analyse de la qualité de l'eau de source
dans la W. de Bouira**

Soutenu le : 25 / 06 /2024

Devant le jury composé de :

<i>Nom et Prénom</i>	<i>Grade</i>		
<i>Mme MOUHOUB C.</i>	<i>Pr</i>	<i>Univ. Bouira</i>	<i>Président</i>
<i>Mme IAZZOURENE G.</i>	<i>MCA</i>	<i>Univ. Bouira</i>	<i>Promoteur</i>
<i>Mr NOURI A.</i>	<i>MCB</i>	<i>Univ. Bouira</i>	<i>Examineur</i>

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à la finalité de ce travail.

Nous tenons à remercier sincèrement notre promotrice Mme IAZZOURENE, d'avoir accepté de diriger ce travail et pour leurs précieux conseils et leur encouragement durant le déroulement de ce travail.

Je remercie tous ceux qui vont lire ce mémoire, à commencer par les membres du jury qui ont accepté d'évaluer et de critiquer ce travail :

M^{me} MOUHOU B C. Professeur à l'université de Bouira, pour l'honneur qu'elle nous a fait de présider le jury.

Je remercie également Mr *NOURI A*, Maître de conférences à l'Université de Bouira, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous souhaitons également exprimer notre sincère gratitude à tout le personnel du laboratoire de l'entreprise Algérienne Des Eaux, pour leur précieuse aide pour tout ce qui a concerné la partie pratique de ce travail.

Sincères remerciements et reconnaissance s'adressent également à tous nos enseignants de la spécialité, qui ont su chacun planter la graine de la connaissance en nous.

Dédicaces

À mon binôme de mémoire de fin d'études et mon partenaire d'études depuis 12 ans, merci pour vos efforts et votre patience sans fin. Que Dieu bénisse votre santé et vous accorde ce que vous désirez.

À mon père, qui a supporté les difficultés de ce chemin et m'a encouragé tout au long de ce parcours académique, malgré les difficultés et les obstacles.

A ma mère, mon soutien, mon amie à qui j'en avais marre de me plaindre tous les soirs, et elle m'a réconforté. C'est ma mère qui m'a appris la patience dans cette vie.

Je dédie ce travail à mes frères qui m'ont accompagné et m'ont aidé sur chaque page et chaque ligne écrite.

Que Dieu vous protège et vous garde en bonne santé.

À tous mes amis et à toute ma famille d'ici et d'ailleurs, merci pour chaque gentil mot que vous m'avez adressé et qui m'a encouragé.

Chafia

Dédicaces

« D'abord, et avant tout, ma réussite n'est que par la grâce d'Allah. »

« À ma chère amie **CHAFIA** et précieuse, avant d'être ma collègue dans ce mémoire, je te remercie. »

« À mes chers parents **SAID** et **FATIHA**, mes soutiens tout au long de mon parcours scolaire et universitaire, merci pour tout l'amour et le soutien. »

« À mes chers frères : **WALID**, **SALMA** et **OUSSAMA** »

« À tous mes amis qui sont comme mes frères et particulière
Tout ment à ma chère **Sarah**. »

Kanza

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Chapitre 01 : Généralité sur l'eau.

Introduction	1
1) Définition de l'eau	3
2) Structure	3
3) Différents états de l'eau	3
3.1) Eau sous forme gazeuse	3
3.2) Etat liquide	4
3.3) Etat solide	4
4) Particules existantes dans l'eau	4
5) L'eau potable	4
6) Types d'eaux potables	5
7) Biologie de l'eau	5
7.1) Métabolisme hydrique et cellulaire	5
7.2) L'eau est le siège de la vie microbienne	6
8) Situation de l'eau en Algérie	6
9) Propriétés physico-chimiques de l'eau	6
10) l'importance de l'eau	8

Chapitre 02 : l'eau de source.

1) Définition de l'eau de source	11
2) Caractéristiques naturelles	11
3) Sensibilité des eaux de sources à la pollution	11
4) Détérioration de la qualité des eaux de source	12
4. 1) Origine de la pollution	12
4.2) Types de la pollution	12
5) Critères des eaux	15
5. 1) Critères organoleptiques	15
5. 2) Critères physico-chimiques	15
5.3) Critères bactériologiques	20
5.4) Maladies à transmission hydrique :	21

Chapitre 03 : matériels et méthodes.

1) Méthodes	25
1.1) Analyses physiques	25
1.2) Analyses chimiques	27
1.3) Analyses bactériologiques	37
Chapitre 04 : résultats et discussions	
1) Résultats d'analyses physicochimiques et bactériologiques	59
Conclusion générale	62
Références	65

Liste des abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux.

ADN : Acide Désoxyribo-Nucléique.

AIE : Agence International de l'Energie.

BCPL: Milieu Basic Combined Programming Language.

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique.

DPD : Réactif d'éthyle-p-Phénylène Diamine.

E. Coli : Escherichia coli.

EDTA : Solution Ethyle-Diamine-Titra-Acétique.

EPA : L'Agence de Protection de l'environnement des états unis.

FAO : L'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

FNU : Formazin Nephelometric Units.

MBC : Volume en mètre cubes.

MES : Matière En Suspension.

NPP : Nombre le Plus Probable.

NTU : Unités de turbidité Néphéломétrie.

OMS : Organisation Mondial de la Santé.

ONS : Office National des Statistiques.

TA : Titre Alcalimétrique simple.

TAC : Titre Alcalimétrique complet.

TDS : Taux des Sels Dissous.

TGEA : Gélose Tryptone-Extrait de levure.

TH : Titre Hydrometrique

VF : gélose Viande Foie.

Liste des figures

Figure n°01 : Structure des molécules d'eau (H ₂ O).....	03
Figure n°02 : Carte représente la localisation des sources d'eau étudiées dans la wilaya de Bouira.....	21
Figure n°03 : Flacons polyéthylènes.....	22
Figure n°04 : Test de chlore.	23
Figure n°05 : Le comparateur	23
Figure n°06 : Résultats de calcium.....	27
Figure n°07 : Résultats de virage de TH.....	28
Figure n°08 : Résultats de virage de chlorure.....	29
Figure n°09 : Résultats de virage de TAC.....	30
Figure n°10 : Dosage de nitrite.....	33
Figure n°11 : Dosage de l'ammonium.....	35
Figure n°12 : Les germes totaux.....	37
Figure n°13 : Milieu de culture BCPL.....	38
Figure n°14 : Milieu de culture Shubert.....	39
Figure n°15 : E.Coli.....	40
Figure n°16 : Milieu de culture Roth.....	41
Figure n°17 : Milieu de culture (Eva litsky).....	42
Figure n°18 : Diagramme de résultats de PH.....	45
Figure n°19 : Diagramme de résultats de température.....	45
Figure n°20 : Diagramme de résultats de turbidité.....	46
Figure n°21 : Diagramme de résultats de conductivité.....	47
Figure n° 22 : Diagramme de résultats de TDS.....	48
Figure n°23 : Diagramme de résultats de calcium.....	48
Figure n°24 : Diagramme de résultats de TH.....	49
Figure n°25 : Diagramme de résultats de magnésium.....	50

Figure n°26 : Diagramme de résultats de chlorure.....	51
Figure n°27 : Diagramme de résultats de TAC.....	52
Figure n°28 : Diagramme de résultats de nitrate.....	53
Figure n°29 : Diagramme de résultats de fer.....	54
Figure n°30 : Diagramme de résultats de sulfate.....	55
Figure n°31 : Diagramme de résultats de nitrate.....	56
Figure n°32 : Diagramme de résultats de l'ammonium.....	57
Figure n°33 : Diagramme de résultats de potassium.....	58

Liste des tableaux

Tableau n°01 : Disponibilité des ressources en eau.....	06
Tableau n°02 : Classes de turbidité de l'eau.....	14
Tableau n°03 : Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité.....	15
Tableau n°04 : Classification des eaux d'après leur PH.....	16
Tableau n°05 : Résultats des analyses physico-chimiques des sources étudiées.	44
Tableau n°06 : Résultats des analyses bactériologique des sources étudiée.....	57
Tableau n°01 : Normes OMS et Algérienne des paramètres physico-chimiques de l'eau potable.....	68
Tableau n°08 : Le nombre le plus probable.....	68

Introduction

L'eau est une substance chimique constituée de deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène, formant la molécule H₂O. Elle est vitale pour la vie sur terre et existe sous différentes formes dans la nature : liquide, solide et gazeuse (Chaussade, 2012).

L'eau de source est une eau naturellement présente dans une nappe ou un aquifère souterrain, qui jaillit à la surface de la terre. Elle est généralement pure et riche en minéraux, ce qui la rend adaptée à la consommation humaine et elle est souvent embouteillée pour être vendue comme eau potable. Elle est généralement utilisée dans la préparation des boissons et d'aliments, ainsi que dans certaines applications médicales et thérapeutiques en raison de ses propriétés minérales (Delarras *et al.*, 2007).

Dans la wilaya de Bouira, la qualité de l'eau de source est en général bonne, bien qu'elle présente des variations significatives. Des études ont montré que les paramètres physico-chimiques et bactériologiques sont habituellement conformes aux normes algériennes (Ait-Said *et al.*, 2019), cependant certains points de contrôle révèlent des niveaux fluctuants de minéraux et de contamination bactérienne, nécessitant parfois des traitements additionnels pour garantir sa potabilité (Boulakhras *et al.*, 2021).

Le suivi régulier réalisé par des laboratoires locaux permet de contrôler strictement l'eau distribuée, diminuant ainsi les risques pour la santé publique (Hamouda *et al.*, 2020).

La qualité de cette eau peut être affectée par divers facteurs, tels que la pollution industrielle, (Alloway, B. J. 1995), l'agriculture intensive (Tilman *et al.*, 2002) et les changements climatiques (Bates *et al.*, 2008).

Cette étude vise à évaluer rigoureusement la qualité de l'eau de quelques sources naturelles dans la wilaya de Bouira, par des analyses physico-chimiques et microbiologiques de quelques échantillons récoltés dans cette région et éventuellement de révéler les principaux contaminants existants, qui peuvent affecter la santé publique sur tout pour les sources qui sont exploitées par l'homme et les animaux.

La méthodologie comprendra la collecte d'échantillons d'eau provenant de diverses sources à travers la wilaya, leur analyse en laboratoire puis la comparaison des résultats obtenus avec les normes nationales et internationales de qualité de l'eau potable.

Notre travail comporte deux parties :

Introduction

- La première partie est une recherche bibliographique avec deux chapitres.
- L'un présente des généralités sur l'eau.
- L'autre est une synthèse bibliographique sur l'eau de source.
- La deuxième partie concerne l'étude menée pour réaliser ce travail avec les résultats qui nous avons obtenus et leur interprétation.

1) Définition de l'eau

Dans les temps anciens, on croyait que l'eau était un liquide incolore, sans odeur et sans saveur, à température ambiante. Considérée comme l'un des quatre éléments fondamentaux avec le feu, l'air et la terre, l'eau est indispensable à la survie humaine. Elle constitue le fondement des processus biologiques et elle est un composant essentiel de tous les organismes vivants. En moyenne, son poids représente 70 % de celui du corps humain (Assouline *et al*, 2007).

2) Structure

La molécule d'eau est constituée de deux atomes d'hydrogène (H) et un atome d'oxygène (O) qui sont liés entre eux par deux simples liaisons covalentes. Sa formule chimique est H_2O . Les liaisons entre les molécules dans l'eau sont appelées liaisons hydrogène, très faibles (voir figure 01) (Schriver-M, 2012).

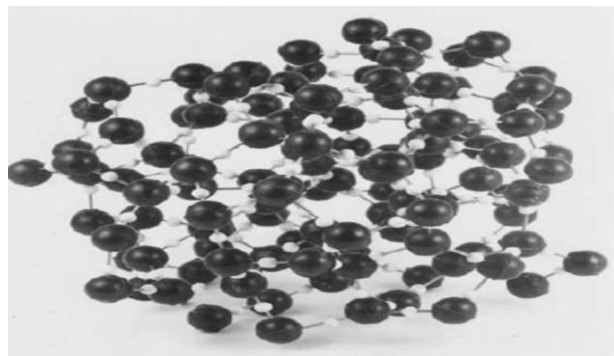


Figure 01 : Structure des molécules d'eau (H_2O) (John - Finney, 2024).

3) Différents états de l'eau

L'eau est un élément essentiel de notre écosystème, elle existe dans diverses phases : solide, liquide et gazeuse.

3.1) Eau sous forme gazeuse

Lorsque l'eau se trouve à l'état gazeux, elle est connue sous le nom de vapeur d'eau ou simplement vapeur, étant invisible à l'œil nu et présente en permanence dans l'atmosphère terrestre. Son passage à l'état gazeux se produit par évaporation, tandis que la condensation la ramène à l'état liquide. Le gaz représente l'état le moins dense de l'eau.

3.2) Etat liquide

L'eau est incolore, inodore et insipide, constituant la forme la plus commune sur notre planète, notamment dans les océans, les lacs, les rivières et sous forme de pluie. Cette forme liquide est essentielle à de nombreux processus biologiques et représente la principale source d'eau pour la consommation humaine.

3.3) Etat solide

Se solidifie en glace lorsque sa température atteint ou descend en dessous de 32°F (0°C). Moins dense que l'eau liquide, la glace flotte à sa surface. Parmi les formes d'eau solide, on trouve les calottes glaciaires polaires, les glaciers et la grêle (David, 2023).

4) Particules existantes dans l'eau

Les différentes catégories des substances que l'on retrouve dans l'eau :

- **Matières en suspension** : qui peuvent être soit minérales soit organiques, elles ont des temps de décantation variables, allant de quelques dixièmes de seconde à plusieurs jours, en fonction de leur diamètre et de leur densité. Elles sont assez grosses pour être observées sous forme de particules en suspension dans l'eau.
- **Matières colloïdales** : également d'origine minérale, elles ont une faible densité. Leur taille les rend très lentes à se décanter, pouvant nécessiter théoriquement des centaines de milliers d'années pour descendre d'un mètre. Elles sont généralement invisibles.
- **Matières dissoutes** : telles que les cations ou les anions, qui ont des dimensions extrêmement petites de quelques nanomètres de diamètre. Leur taille microscopique les rend encore plus lentes à se décanter, ce qui signifie qu'elles restent en suspension dans l'eau pendant longtemps sans précipiter (Aoualmia *et al.*, 2015).

5) L'eau potable

L'eau potable doit être dépourvue de germes pathogènes tels que les bactéries, les virus et les parasites et sa teneur en substances chimiques doit être strictement contrôlée, évitant celles considérées comme indésirables. Cependant, la présence de certaines substances, comme les oligoéléments essentiels pour le corps, peut être jugée nécessaire. En outre, une eau potable doit offrir une qualité gustative agréable pour être consommée (John *et al.*, 2010).

6) Types d'eaux potables

- **Eau minérale naturelle**

Selon le décret 89-369 du 6 juin 1989, une eau minérale naturelle est une eau qui possède des caractéristiques spécifiques bénéfiques pour la santé. Pour être qualifiée de telle, elle doit maintenir une stabilité de ses principales caractéristiques, telles que sa composition chimique et sa température à la source, même face aux fluctuations naturelles et ce malgré le volume d'eau extrait. En d'autres termes, ses propriétés doivent rester constantes et intactes pour garantir sa qualité.

- **Eau de source**

Selon le décret 89-369 du 6 juin 1989 relatif aux eaux minérales naturelles et aux eaux potables pré-emballées, une eau de source est définie comme une eau souterraine qui est microbiologiquement sûre et protégée contre les risques de pollution. Elle est apte à la consommation humaine sans nécessiter de traitement ou d'addition d'autres substances, à l'exception d'une élimination des éléments instables et d'une clarification des matières en suspension par décantation ou filtration, ainsi que d'une éventuelle saturation en gaz carbonique. Son autorisation nécessite un arrêté préfectoral.

- **Eau du robinet**

Les eaux du robinet sont principalement obtenues à partir de deux sources : les eaux souterraines puisées dans les nappes phréatiques ou les sources, et les eaux de surface prélevées dans les lacs, les rivières, les fleuves ou les retenues d'eau. Parfois, ces eaux peuvent provenir d'un mélange des deux sources en raison des variations saisonnières et géographiques. Avant d'être distribuées aux consommateurs, ces eaux sont généralement soumises à des traitements pour respecter les normes de potabilité spécifiques établies pour l'eau du robinet. Ces traitements, qui incluent des processus physico-chimiques, sont souvent nécessaires pour garantir que l'eau réponde aux normes réglementaires et soit considérée comme sûre à boire (Wurzbacher *et al*, 2011).

7) Biologie de l'eau

7.1) Métabolisme hydrique et cellulaire

L'eau, constituant une part importante de la surface terrestre et de la masse des êtres vivants, est cruciale pour les processus biologiques. Elle agit comme un milieu de transport et participe

activement à des réactions chimiques vitales comme la photosynthèse et la respiration cellulaire. De plus, elle intervient dans la régulation de la température, la lubrification, le maintien du pH et la stabilité des biomolécules. Son rôle dans les systèmes biologiques, notamment son interaction avec les protéines et l'ADN, a été largement étudié, influençant la liaison protéine-ligand et la catalyse enzymatique (Pantsar, 2022).

7.2) L'eau est le siège de la vie microbienne

La surveillance de l'eau peut être incomplète, laissant certains micro-organismes non détectés, ce qui entraîne divers problèmes. Par exemple, des algues telles que *Scenedesmus* et *Euglena* peuvent survivre dans les systèmes d'eau malgré le traitement au chlore, ce qui présente des risques pour la santé. De plus, des protozoaires comme *Acanthamoeba* peuvent transporter des bactéries pathogènes telles que *Legionella*. Enfin, certains champignons comme *Candida parapsilosis* peuvent former des biofilms dans les systèmes d'eau, modifiant le goût de l'eau et entraînant des allergies et des infections cutanées (Novick *et al.*, 2022).

8) Situation de l'eau en Algérie

L'Algérie possède une quantité estimée d'eau renouvelable chaque année, équivalant à environ 19 milliards de mètres cubes au total. Cependant, lorsqu'on divise cette quantité par le nombre d'habitants, on obtient une moyenne d'environ 450 mètres cubes par personne par an, ce qui est inférieur aux 500 mètres cubes recommandés par la Commission des Affaires Étrangères de France en 2011 pour éviter une crise de l'eau. De plus, la disponibilité en eau varie considérablement (tableau 01), ce qui peut poser des défis supplémentaires en matière de gestion des ressources en eau (Hamiche *et al.*, 2016).

Tableau 01 : Disponibilité des ressources en eau (Hamiche *et al.*, 2016).

Ressource d'eau	Volume (mbc)	Région
Eaux de surface renouvelables	11	Nord et Sud
Eaux souterraines renouvelables	2.5	Nord
Eaux souterraines non renouvelables	6.1	Sud

Mbc : volume en mètre cube.

9) Propriétés physico-chimiques de l'eau

- **Propriétés chimiques**

L'eau a la capacité de dissoudre diverses substances en raison de sa polarité et de sa structure moléculaire. Lorsque des substances solides, liquides ou gazeuses entrent en contact avec l'eau, les molécules d'eau interagissent électro statiquement avec les atomes ou les molécules du soluté, formant ainsi des liaisons chimiques. Ce processus, appelé solvation ou hydratation, conduit à la formation de nouvelles structures dans le soluté. En pratique, cela signifie que les particules du soluté se dispersent dans le solvant pour former une solution homogène. La solvation peut impliquer la rupture des liaisons dans le solide par une réaction chimique directe ou par l'affaiblissement des liaisons existantes. Ce phénomène se produit généralement lorsque le solide est mis en contact avec le solvant, initiant ainsi le processus de dissolution (Kouidri, 2006).

- **Propriétés physiques**

Sur Terre, l'eau occupe une place essentielle sous forme liquide et possède des caractéristiques physiques fondamentales :

- **Point d'ébullition** : Les molécules d'eau forment des liaisons hydrogène dans ses phases liquide et solide, ce qui confère à l'eau un point d'ébullition élevé compte tenu de sa masse molaire. Cette particularité permet le maintien d'une phase liquide importante aux températures terrestres, indispensable à l'émergence et au maintien de la vie sur notre planète.
- **Viscosité** : La viscosité de l'eau varie considérablement en fonction de sa composition chimique et de sa température, parfois rendant deux eaux non miscibles. Cette caractéristique est cruciale pour assurer la stabilité des grands courants océaniques qui influent sur le climat mondial.
- **Solvant** : L'eau est le solvant prédominant à la surface de la Terre, capable de dissoudre les minéraux et les substances organiques qu'elle rencontre.
- **Tension superficielle** : L'eau présente une tension superficielle élevée, favorisant la formation de gouttes et facilitant l'ascension capillaire.
- **Chaleur spécifique** : L'eau a la plus haute chaleur spécifique parmi les éléments naturels, nécessitant ainsi une grande quantité d'énergie pour son chauffage ou son refroidissement.

- **Chaleur latente** : Les chaleurs latentes de fusion et de vaporisation de l'eau sont élevées, contribuant au refroidissement continu des océans par évaporation vers l'atmosphère. Ces caractéristiques expliquent le rôle de l'hydrosphère liquide en tant que tampon thermique régulant la température terrestre.
- **Capacité thermique** : L'eau présente une capacité thermique exceptionnellement élevée parmi tous les fluides, agissant ainsi comme un tampon ou un régulateur contre les changements brusques de température.
- **Transparence** : L'eau est transparente dans le spectre visible, mais elle absorbe le rayonnement infrarouge dès les premiers mètres d'épaisseur, expliquant ainsi le réchauffement uniquement des eaux superficielles (Aouissi *et al.*, 2019).
- **Propriétés biologiques**

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone sont des éléments essentiels à la vie et jouent un rôle crucial dans le développement des organismes vivants. Ils contribuent à créer un environnement favorable à la croissance et au fonctionnement des êtres vivants. Il existe un cycle biologique dans lequel ces éléments sont constamment échangés entre les êtres vivants et leur environnement. Par exemple, les plantes absorbent le dioxyde de carbone et l'eau pour réaliser la photosynthèse et produire de l'oxygène, tandis que les animaux respirent de l'oxygène et rejettent du dioxyde de carbone. L'eau, en particulier, joue un rôle central dans la composition des organismes vivants. Les êtres humains, par exemple, sont composés en grande partie d'eau. Les pourcentages cités indiquent la proportion d'eau dans le corps humain à différents stades de la vie : entre 66 et 74 % pour les nouveau-nés et entre 58 et 67 % pour les adultes. Ces chiffres soulignent l'importance vitale de l'eau pour le bon fonctionnement du corps humain et de tous les êtres vivants en général. (Kouidri, 2006).

10) l'importance de l'eau

L'eau revêt une importance capitale en tant que ressource essentielle pour favoriser le progrès socioéconomique. Aucune communauté ne peut aspirer à croître ou même à survivre sans avoir accès à des quantités adéquates de cette ressource naturelle précieuse (Comete Engineering, 2007).

- **Impact sur la biodiversité**

Dans le règne végétal, l'eau joue un rôle essentiel, constituant une part importante de leur composition et étant absorbée du sol avec les sels minéraux nécessaires à leur croissance normale (Beneteaud et Pujades, 2009). Quant aux animaux, leur organisme doit compenser quotidiennement les pertes en eau par l'urine, la transpiration et l'évaporation pulmonaire (Green Facts, 2014).

- **Importance pour l'homme**

L'eau est cruciale pour le bon fonctionnement du corps humain, nécessitant un approvisionnement constant pour éviter la déshydratation (OMS, 2003). De plus, l'eau est utilisée dans divers aspects de la vie humaine :

- **Utilisation industrielle**

L'industrie est une grande consommatrice d'eau douce, utilisée pour des processus tels que le refroidissement, la dissolution et la séparation des composants, ainsi que l'élimination des déchets. Par exemple, la production d'un kilogramme de sucre nécessite environ 100 litres d'eau, tandis que la fabrication d'un kilogramme de papier en nécessite 250 litres, voire 1000 litres pour un kilogramme d'aluminium. Malheureusement, cette demande croissante de l'industrie risque de doubler au cours des trente prochaines années (ONS, 2006).

- **Importance pour l'agriculture**

L'agriculture est la principale source d'alimentation dans le monde et constitue la principale source de revenu pour des millions de personnes vivant dans les zones rurales. Pour assurer les 2800 calories nécessaires par jour et par personne à une alimentation adéquate, environ 1000 m² d'eau sont requis en moyenne. Actuellement, l'irrigation représente 70% de ces prélèvements, et les quantités d'eau utilisées devraient augmenter de 14% au cours des trente prochaines années, en raison d'une expansion prévue de 20% de la superficie des terres irriguées (Talbi et Souak, 2016).

- **Impact sur la production d'électricité**

Depuis des siècles, l'homme a exploité l'énergie des eaux de surface à des fins énergétiques, offrant ainsi une alternative sans émission de gaz à effet de serre ni de polluants atmosphériques par la combustion de combustibles fossiles importés. Les centrales hydroélectriques au fil de

l'eau utilisent l'énergie locale d'une partie du débit d'une rivière pour actionner une turbine, répondant ainsi aux besoins en électricité (Huart et T'serstevens, 2006).

1) Définition de l'eau de source

Les eaux de source sont des eaux naturelles, exemptes de bactéries, qui proviennent de réservoirs souterrains et elles émergent soit naturellement, soit à travers des puits de forage (Delarras et Trebaol, 2007). Il existe trois types de sources : les sources diverses, qui se trouvent sur les flancs des montagnes ou en haute altitude, les sources artésiennes alimentées par une couche inférieure de la nappe phréatique, et les sources d'affleurement où l'eau remonte à travers une couche imperméable dans une vallée (Bouziani, 2000).

2) Caractéristiques naturelles

Les réserves d'eau de source se forment grâce à l'infiltration de l'eau de pluie et du ruissellement à travers les sols (Banton et Bangoy, 1999). Au cours de ce processus, l'eau acide dissout les minéraux des roches, absorbant ainsi certains de leurs éléments chimiques les plus solubles. Certains de ces éléments sont essentiels au bon fonctionnement du corps humain à faible concentration, mais peuvent devenir toxiques à des niveaux plus élevés.

D'autres éléments sont intrinsèquement toxiques même à des concentrations faibles. Cette interaction naturelle entre l'eau et la roche entraîne une grande variété dans les propriétés minérales des eaux souterraines, telles que la dureté et la salinité. Ces processus naturels signifient que la pureté naturelle des eaux souterraines est influencée par la composition lithologique des aquifères et des terrains superficiels (Edmunds *et al*, 2003).

3) Sensibilité des eaux de sources à la pollution

La sensibilité est définie comme étant la propension des eaux de source à être affectées par des contaminants, en fonction des caractéristiques hydrogéologiques. Par conséquent, certaines sources d'eau peuvent être exposées à des risques de pollution, malgré leur réputation de pureté naturelle (Margat, 1998).

En effet, les sols de faible épaisseur et à forte perméabilité facilitent la pénétration directe des contaminants vers les eaux de source. De même, dans les aquifères sableux, la porosité favorise l'infiltration des eaux de surface, entraînant ainsi la contamination des sources d'eau (Sarrazin *et al*, 2003).

4) Détérioration de la qualité des eaux de source

L'altération de la qualité de l'eau se réfère généralement à la présence de substances nocives ou indésirables en quantités suffisantes pour altérer les indicateurs de qualité de l'eau naturelle (Nsikak, 2008). Ce phénomène affecte notamment l'eau douce, que ce soit par acidification ou, Par contamination des eaux souterraines, entraînant une altération de sa pureté (Park, 2007).

4. 1) Origine de la pollution

L'origine de la contamination environnementale varie selon les types d'eau. Généralement, les eaux souterraines présentent une moindre vulnérabilité à la pollution par rapport aux eaux de surface, (Fawell et Nieuwenhuijsen, 2003).

L'origine de la pollution de l'eau est multifactorielle, comprenant des sources naturelles, domestiques, industrielles et agricoles. Les phénomènes naturels, tels que les pluies, peuvent entraîner le ruissellement à travers des sols riches en métaux lourds, tandis que les précipitations peuvent transporter des polluants atmosphériques vers le sol (Smith et al, 2023). Les activités domestiques contribuent également, avec les eaux résiduaires domestiques, notamment des salles de bains et des cuisines (Chen *et al.*, 2022). Les activités agricoles et industrielles amplifient la pollution, avec des eaux chargées en produits chimiques provenant de l'épandage d'engrais et de pesticides, ainsi que des résidus de traitement métallurgique. (Jones *et al.*, 2024), (Patel *et al.*, 2023).

4.2) Types de la pollution

4.2.1) Pollution microbiologique

La pollution microbiologique est largement attribuée à l'activité humaine, avec les contaminants fécaux se classant parmi les principaux polluants des sources d'eau potable. En conséquence, les êtres humains et les animaux domestiques sont souvent exposés à des microbes pathogènes.

Les eaux contaminées peuvent abriter une multitude de colonies de bactéries pathogènes, dont la plupart sont d'origine fécale. Ces agents pathogènes sont plus facilement identifiables et quantifiables, étant donné leur lien direct avec les matières fécales et leur mode de transmission fécale. Parmi les principaux agents pathogènes d'origine fécale se trouvent les coliformes totaux et fécaux (y compris *E. coli*), les streptocoques du groupe D (également connus sous le nom de streptocoques fécaux) et les bactéries réductrices de sulfure de *Clostridium*. (Bennana, 2013).

4. 2.2) Pollution physique

La pollution physique découle principalement de la présence de substances en suspension, telles que les matières solides. Elle peut également inclure divers autres aspects tels que la coloration, la transparence et le pH. Parmi ceux-ci :

- **Pollution mécanique :**

Elle est le résultat de l'accumulation de déchets et de particules solides transportés par les eaux résiduaires industrielles. Ces contaminants incluent les particules grossières, le sable, et les matières en suspension MES (Galaf, 2003).

- **Altération thermique :**

Les eaux rejetées par les installations industrielles utilisant des systèmes de refroidissement, telles que les centrales thermiques, les raffineries et les aciéries, entraînent une augmentation de la température qui réduit la teneur en oxygène dissous. Cette élévation de température favorise la biodégradation accélérée et la prolifération des micro-organismes (Chapman, 1996).

4. 2.3) Pollution chimique

Les polluants chimiques présents dans les eaux sont généralement regroupés en deux catégories distinctes.

- **Pollution minérale**

La présence de minéraux dans les eaux peut perturber la croissance des plantes et causer des problèmes physiologiques chez les animaux.

Les principaux polluants minéraux incluent les éléments minéraux nutritifs et les métaux lourds (Smith et Jones, ,2020).

- **Eléments minéraux nutritifs**

Tels que les nitrates et les phosphates, sont principalement issus de l'agriculture et des déchets domestiques. Ils sont responsables du phénomène d'eutrophisation, caractérisé par une croissance excessive d'algues et de plancton dans les écosystèmes aquatiques. (Johnson et Smith, 2021).

- Métaux lourds

Tels que le mercure (Hg), le cuivre (Cu) le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le nickel (Ni) l'argent (Ag), le chrome (Cr), et le zinc (Zn), peuvent avoir une origine naturelle, comme les roches du sous-sol et les minerais, mais ils sont principalement introduits dans l'environnement par le biais des rejets industriels divers. Ces substances ont la capacité de s'accumuler dans les organismes vivants et de se propager à travers la chaîne alimentaire (Keck, 2000).

- Pollution organique

Se compose d'effluents contenant des matières organiques fermentescibles, principalement émis par les industries alimentaires et agroalimentaires telles que les laiteries, les abattoirs et les sucreries, ainsi que par les eaux usées domestiques comprenant les déchets humains et les graisses, entre autres. La première conséquence de cette pollution est la consommation d'oxygène dissous dans les eaux. Les principaux polluants organiques comprennent les hydrocarbures agents de nettoyage, les pesticides (Chapman, 1996).

- Hydrocarbures

Emis par les industries pétrolières et les transports, ils sont des composés peu miscibles dans l'eau et résistants à la biodégradation (AIE). Leur densité plus faible que celle de l'eau les fait remonter à la surface, formant une pellicule qui altère les échanges gazeux avec l'atmosphère (Drouiche, 2012).

- Agents de nettoyage :

Sont des agents chimiques synthétiques actifs en surface dont la présence dans les cours d'eau découle des déversements d'eaux usées urbaines et industrielles (EPA). Les inconvénients associés à l'utilisation de ces agents comprennent :

- L'émergence d'une saveur de savon.
- La production de mousse, ce qui entrave le processus naturel ou artificiel de purification.
- La diminution de la vitesse de transfert et de dissolution de l'oxygène dans l'eau

- Pesticides

Les produits chimiques agricoles, communément appelés pesticides, sont souvent associés à des effets néfastes résultant de leurs propriétés :

- Persistance et résistance chimique, entraînant une accumulation dans les écosystèmes alimentaires.
- Perturbation de l'équilibre naturel environnement (Johnson et White, 2023).

5) Critères des eaux

6. 1) Critères organoleptiques

- L'aspect chromatique (la couleur) :

La teinte de l'eau résulte des composants qui y sont dissous. Elle est considérée authentique ou réelle lorsqu'elle découle des substances en solution, et apparente lorsqu'elle est influencée par les substances en suspension qui y ajoutent leurs teintes distinctes (Franck, 2002).

Une eau teintée ne présente pas d'attraits pour la consommation, car elle suscite toujours des interrogations quant à sa potabilité.

- Saveur :

Il est essentiel que les eaux potables aient un goût agréable. Les principaux éléments susceptibles de conférer une saveur désagréable à l'eau sont le manganèse, le fer (Rodier, 2009).

- Odeur :

Les eaux destinées à la consommation doivent être sans odeur. En effet, toute présence d'odeur est un indicateur de pollution ou de la présence de substances organiques en décomposition. Ces éléments sont souvent présents en quantités si infimes qu'elles ne peuvent être détectées par les méthodes d'analyse habituelles (Rodier, 2009).

5. 2) Critères physico-chimiques

5. 2.1) Critères physiques

- Température (T°) :

La température joue un rôle crucial dans l'écosystème aquatique car elle influe sur la plupart des réactions physiques, chimiques et biologiques qui s'y déroulent.

Toute fluctuation soudaine de ce paramètre peut perturber l'équilibre de cet écosystème, (Garcia et Smith, 2023).

- Turbidité :

La turbidité de l'eau est corrélée à sa clarté (tableau 02). Elle offre une perception du volume de matières en suspension.

Les eaux opaques contiennent des particules finement dispersées (comme les grains de silice, la matière organique, les limons...), et elle est mesurée à l'aide d'un turbidimètre. (Smith.et Johnson, 2022).

Tableau 02 : Classes de turbidité de l'eau. (Rodier *et al.*, 2009).

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

NTU : Unités de turbidité Néphélobimétrie.

- Conductivité électrique :

La mesure de la conductivité électrique est largement utilisée dans divers domaines tels que le contrôle qualité, la surveillance de la qualité de l'eau potable, la production industrielle, ainsi que dans l'agroalimentaire pour évaluer la salinité des produits. Elle reflète la capacité d'un liquide à conduire un courant électrique et est influencée par plusieurs facteurs tels que la concentration des substances dissoutes, l'ionisation, la charge ionique, la température et la mobilité des particules.

La conductivité électrique est également un indicateur du niveau de minéralisation de l'eau (tableau 03). Des valeurs élevées de conductivité peuvent être associées à des niveaux de pH inhabituels ou à une forte salinité (Kouidri, 2006).

Tableau 03 : Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité (Samake, 2002).

Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C	Minéralisation
Conductivité 100	Une eau à très faible minéralisation.
$100 \leq \text{Conductivité} \leq 200$	Eau de minéralisation faible

$200 \leq \text{Conductivité} \leq 400$	Une eau avec une minéralisation peu prononcée.
$400 \leq \text{Conductivité} \leq 600$	Une eau avec une minéralisation modérée.
$600 \leq \text{Conductivité} \leq 1000$	Une eau avec une minéralisation élevée.
$\text{Conductivité} \geq 1000$	Une eau avec une minéralisation excessive.

- **Taux des Sels Dissous (TDS) :**

La quantification des TDS représente la masse totale des ions anions, cations, et autres solides non dissociés dans une solution, exprimée en parties par million (ppm) ou milligrammes par litre (mg/l). (Cuneyt *et al* 2002).

- **Potentiel d'hydrogène (PH) :**

Le pH, ou indice d'acidité, est une évaluation de la concentration en ions H⁺ dans l'eau, reflétant l'équilibre entre les acides et les bases sur une échelle de 0 à 10 (tableau04). Ce paramètre est fondamental pour déterminer de nombreux équilibres physico-chimiques et est soumis à diverses influences, notamment l'origine de l'eau. (Johnson *et al.*, 2022).

Tableau 04 : Classification des eaux d'après leur PH (Apfelbaum, 1995).

PH<5	Un pH inférieur à 5 dans les eaux naturelles indique la présence d'acides minéraux ou organiques.
PH=7	PH neutre
7<PH<8	La plupart des eaux de surface.
5.5<PH<8	La plupart des eaux souterraines.
PH=8	Une forte alcalinité accompagnée d'une évaporation intense.

5.2.2) Paramètres chimiques

5.2.2.1) Paramètres volumétrique

- Chlorure (Cl⁻) :

Les ions chlorure représentent des composés inorganiques cruciaux présents à des concentrations variables dans les sources d'eau naturelles. Leur présence et leur quantité varient considérablement en fonction des caractéristiques géologiques des terrains traversés.

Les cours d'eau non altérés affichent généralement des niveaux de chlorures inférieurs à 25 mg/l, mais il n'est pas rare de trouver des concentrations exceptionnelles atteignant jusqu'à 1000 mg/l. (Nouayti *et al*, 2015).

- Indice de rigidité (la dureté) (TH) :

L'indice de rigidité de l'eau découle de la présence d'une diversité d'ions métalliques polyvalents en solution, principalement les sels de calcium et de magnésium qu'elle renferme (Malloum *et al*, 2015).

L'indice de rigidité constitue la mesure courante de la capacité de l'eau à interagir avec le savon, les eaux dures exigeant significativement plus de savon pour générer de la mousse (OMS, 2017).

- Calcium (Ca²⁺) :

Un métal alcalino-terreux largement présent dans la nature, se trouve principalement dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Il joue un rôle majeur dans la dureté de l'eau, étant l'élément prédominant dans de nombreuses sources d'eau potable, sa concentration variant en fonction des caractéristiques géologiques des terrains traversés. Les eaux ayant traversé des formations calcaires sont souvent riches en calcium, ainsi qu'en magnésium (Ayad et Kahou, 2016).

- Magnésium (Mg²⁺) :

Sous forme de Mg²⁺, est souvent présent en faible quantité dans les eaux naturelles, jouant un rôle important dans la dureté de l'eau. Sa présence peut altérer le goût de l'eau, ajoutant une note désagréable.

La quantité de magnésium est généralement évaluée en retranchant la dureté calcique de la dureté totale de l'eau. (Nouayti *et al*, 2015).

- Titre alcalimétrique simple TA :

Évalue la concentration d'alcalis libres et de carbonates alcalins dans l'eau. En d'autres termes, il quantifie la présence d'hydroxyde (OH^-) et la moitié de la concentration en carbonate (CO_3^{2-}) dans l'échantillon d'eau (Durand *et al.*, 2023).

- **Titre alcalimétrique complet TAC :**

Ces deux données fournissent des informations sur les quantités de bicarbonates (HCO_3^-), de carbonates (CO_3^{2-}) et potentiellement d'hydroxydes (OH^-) présentes dans l'eau. Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC), en mesurant l'alcalinité totale de l'eau, évalue les composés basiques présents dans cette dernière, tels que les ions hydroxydes (OH^-), les ions carbonates (CO_3^{2-}) et les ions bicarbonate (HCO_3^-). Il constitue un indicateur du pouvoir tampon de l'eau contre les substances acides (Bengaibona, 2010)..

5.2.2.2) Paramètres de pollution

- **Nitrites (NO_2^-) :**

Jouent un rôle crucial dans le processus de métabolisation des composés azotés en s'insérant dans le cycle de l'azote entre l'ammoniaque et les nitrates. Leur présence résulte principalement de l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque ou de la réduction des nitrates. Ne constituent qu'une étape intermédiaire et sont rapidement convertis en nitrates par oxydation. Les nitrites d'origine naturelle sont très peu courants, bien que leur présence ait été signalée dans l'eau de fonte des neiges et dans des nappes aquifères profondes (Dupont *et al.*, 2021).

- **Phosphates (PO_4^{3-}) :**

Présents dans les eaux de surface ou souterraines peuvent avoir diverses origines, telles que la désagrégation de la matière organique, le lessivage des minéraux, ainsi que les rejets industriels provenant notamment du secteur agroalimentaire, domestiques incluant les polyphosphates des détergents, et les engrais comprenant les pesticides, entre autres (Smith *et al.*, 2023). En l'absence d'oxygène, les phosphates sont présents uniquement à des niveaux traces dans les eaux naturelles. Leur augmentation dans les eaux de surface comme les rivières est souvent attribuée aux eaux usées insuffisamment traitées (Jean-Claude, 1992).

- **L'ion ammonium (NH_4^+) :**

L'ion ammonium n'a généralement pas d'impact significatif sur la santé des consommateurs, mais sa présence dans les eaux est souvent le signe d'une pollution, surtout dans les eaux profondes. Sa présence peut également résulter de conditions réductrices dans les

nappes phréatiques. Il est recommandé de l'éliminer des eaux destinées à la consommation, car il peut favoriser la croissance de certaines bactéries dans les systèmes de distribution (Smith et al., 2020).

5.3) Critères bactériologiques

Principales bactéries recherchées dans les eaux :

5.3.1) Germes totaux

Les microorganismes récupérables, incluant toutes les bactéries aérobies, ainsi que les levures ou les moisissures, capables de se développer dans le milieu spécifique (Rejseck, 2002). Cette mesure offre une évaluation globale de l'hygiène générale de l'eau, sans toutefois identifier les sources de contamination (Ayad et Kahoul, 2017).

5.3.2) Coliformes

Sont un ensemble d'espèces bactériennes faisant membre de la famille des Enterobacteriaceae. Leur caractéristique principale est la capacité à fermenter le lactose et à produire du gaz. Il existe deux types de coliformes :

- Coliformes Totaux :

Le regroupement des bactéries totales du groupe des coliformes englobe toutes les bactéries aérobies et anaérobies facultatives, de type gram négatif, non sporulées, et qui ne possèdent pas de cytochrome oxydase, se présentant sous forme de bâtonnets. Ces bactéries ont la capacité de fermenter le lactose en produisant du gaz en moins de 48 heures à une température de 35°C. La plupart des bactéries coliformes appartiennent aux genres Escherichia, Citrobacter, Klebsiella et Entérobactérie (Rejseck, 2002).

- Coliformes fécaux :

Ces micro-organismes sont des bacilles Gram négatifs qui peuvent vivre dans des environnements aérobies ou anaérobies facultatifs, et sont négatifs à l'Oxydase. Les coliformes fécaux, également connus sous le nom de coliformes thermotolérants, forment un sous-ensemble des coliformes totaux, aptes à métaboliser le lactose à une température de 44,5 °C. (Ayad et Kahoul, 2017).

5.3.3) Streptocoques fécaux

Micro-organisme Gram positif, de forme sphérique à ovoïde, qui se regroupe en chaînettes, non sporulé, ayant une réaction négative à la catalase, doté de l'antigène du groupe D, se développant en anaérobiose à une température de 44 °C et à un pH de 9.6 (Rejseck, 2002).

5.3.4) Clostridium sulfito-réducteurs

Les bactéries strictement anaérobies qui forment des spores et réduisent le sulfite servent de marqueurs pour détecter la pollution fécale. Leur forme sporulée, plus résistante que leur forme végétative, est particulièrement utile à cet effet (Chen et al., 2023). Ces bactéries se trouvent généralement dans les rivières et le sol. Leur absence dans une nappe phréatique, notamment en l'absence de spores, indique l'efficacité de la purification naturelle (Rodier et al., 2005).

5.3.5) Escherichia coli

Également abrégé « E. coli », représente des bactéries coliformes thermotolérantes capables de produire de l'indole à partir de tryptophane à 44°C. Ce microorganisme est considéré comme l'indicateur principal de la contamination fécale, ce qui suggère la possible présence de pathogènes fécaux d'origine hydrique dans l'eau. La détection d'une quantité élevée d'E. coli au-dessus des normes réglementaires est souvent associée à des défaillances de la qualité de l'eau (Abberton *et al.*, 2016). Escherichia coli réside naturellement dans le tractus intestinal des humains et les animaux homéothermes (Delarras, 2014).

5.4) Maladies à transmission hydrique :

Comprennent celles contractées par ingestion, contact direct, ou celles pour lesquelles l'eau est un habitat pour les larves ou parasites. (Yelezouomin S. Coentlin et al. En 2014).

- **Diarrhée**

Se caractérise par une augmentation de la fréquence des selles, une quantité excessive de selles, et une consistance anormale, liquide ou très molle. Cela survient généralement après avoir consommé de la nourriture contaminée ou de l'eau non potable, ou encore en mangeant avec des mains sales, ou en portant des objets souillés à la bouche (Freddy Shukuru S, 2010).

- **Hépatite A et E**

Sont généralement transmis par voie fécale-orale, soit par le contact direct entre personnes, Cela peut se produire en consommant de l'eau ou des aliments contaminés. Ils peuvent également se propager lors de certaines pratiques sexuelles (OMS, 2012).

- **Maladies de mains sales**

Les affections causées par une mauvaise qualité de l'eau ont des conséquences sérieuses sur la santé humaine, mettant en évidence l'importance cruciale de l'accès à une eau salubre. Un large éventail de maladies résulte de l'utilisation d'une eau non potable pour la consommation et la préparation des aliments. D'autres maladies sont liées à une hygiène corporelle et vestimentaire inadéquate, souvent due à une pénurie d'eau. En somme, les maladies associées aux mains sales représentent un risque pour la santé en raison d'une quantité insuffisante d'eau et de problèmes d'hygiène (Freddy, 2010)

Dans ce chapitre, nous présentons le matériel utilisé, la méthode expérimentale et les techniques utilisées pour la caractérisation physico-chimique et microbiologique des échantillons explorés.

1. Sites des prélèvements

L'objectif de notre étude est de réaliser une analyse physico-chimique et microbiologique de 7 échantillons d'eau de source provenant de la wilaya de Bouira à savoir : Lekheal, Masdour, Ain Tagmia, Bouhreb, Aghbalou, Noire et Elbaher. Les eaux de source ressemblent aux eaux minérales naturelles, étant exclusivement souterraines, microbiologiquement saines, protégées de la pollution anthropique et sans aucun traitement ou ajout. Les eaux provenant des sources doivent respecter les mêmes normes de qualité de l'eau utilisée pour la consommation. La figure suivante représente la localisation des sources naturelles étudiées.

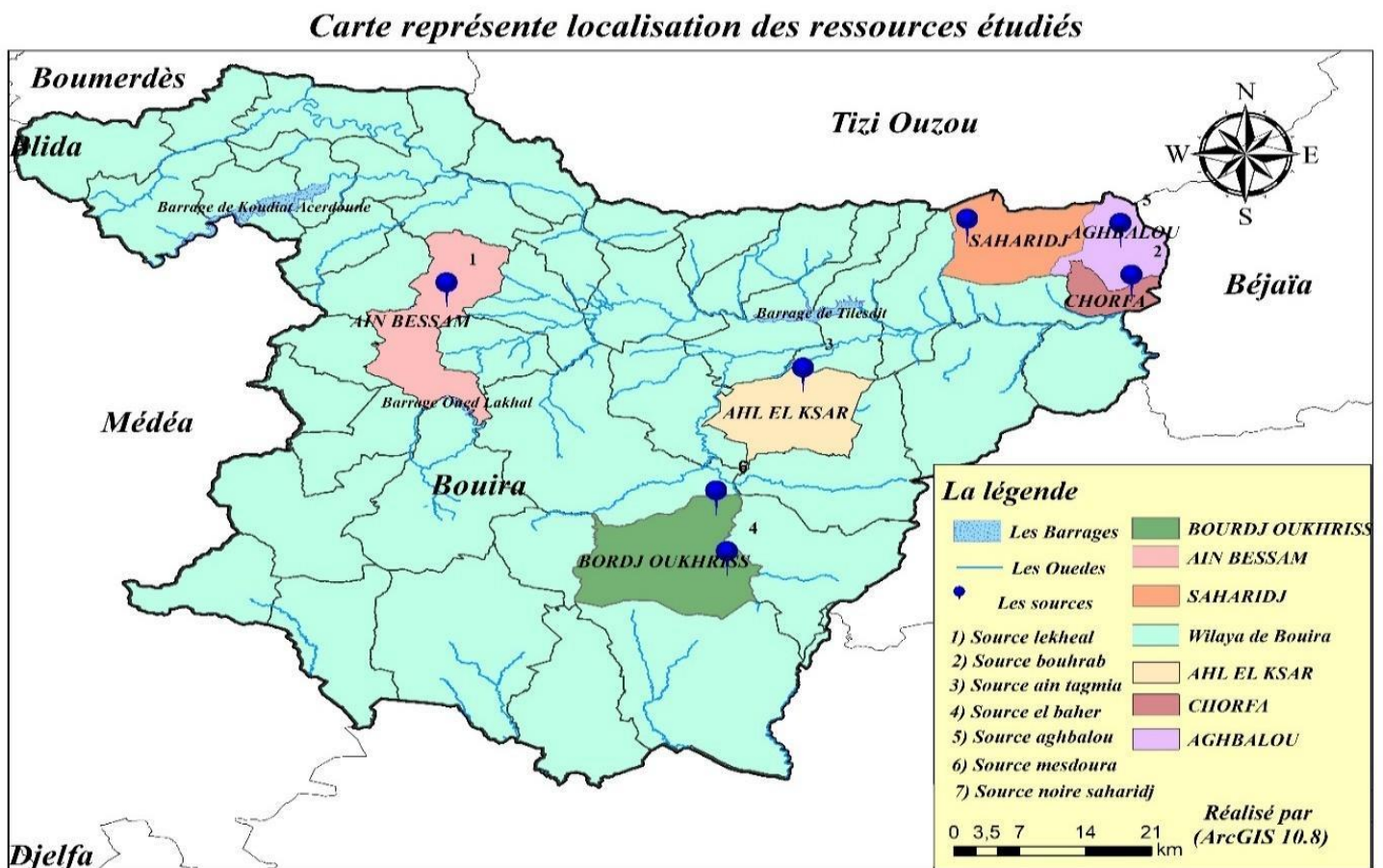


Figure 02 : Carte représente la localisation des sources d’eau étudiées dans la wilaya de Bouira (Arc GIS 10.8).

2- Matériel et échantillonnage

2.1- Matériel

Durant notre stage au niveau de l'ADE, nous avons pu accéder à la verrerie disponible au sein du laboratoire, à savoir : flacons. fioles jaugées. pipettes –éprouvettes graduées- erlenmeyers- burettes avec robinet. - béccher- pissettes. - spatules- balance de précision -ballons -comparateur- étuve: 180°C.- boîtes de pétrie. La poire...etc, ainsi que aux appareillages à savoir : le conductimètre.- le turbidimètre.- le pH-mètre- le spectrophotomètre.- Le spectrophotomètre à flamme.- photomètre à chlore.

2.2) Echantillonnage

Les prélèvements sont réalisés dans des flacons de polyéthylène préalablement rincés avec de l'eau distillée (voir figure 03). La démarche à suivre consiste à :

- Ouvrir et remplir le flacon de polyéthylène avec de l'eau de source ;
- Effectuer le test de chlore à l'aide du réactif DPD ;
- Mesurer la concentration de chlore à l'aide d'un comparateur ;
- Fermer et nettoyer le flacon, apposer une étiquette, enregistrer les détails dans un cahier, puis le placer dans une glacière en vue du transport.



Figure 03 : Flacons polyéthylènes.

2.3) Transport et conservation

Les analyses physico-chimiques doivent être réalisées dans les 24 heures suivant le prélèvement. Il est impératif de transporter les échantillons dans une glacière maintenant une température entre 4 à 6 °C (Ameen , 2019).

3) Méthodes

➤ Test de chlore

- Principe

La concentration du chlore résiduel dans l'eau est mesurée en milligrammes par litre à l'aide du test DPD.

- Mode opératoire

- Remplir le tube avec l'eau à analyser ;
- Ajouter du DPD (sous forme de granules) ; l'apparition d'une couleur rose (figure 04) indique la présence de chlore ;
- Placer le tube dans un correcteur (figure 05) ;
- Estimer la concentration de chlore en fonction de l'intensité de la couleur (chaque couleur correspond à une certaine concentration) (Hien, 2007).

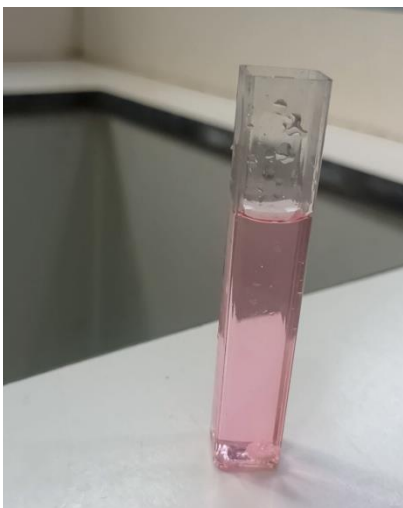


Figure 04 : Test de chlore.



Figure 05 : Le comparateur.

3.1) Analyses physiques

➤ Détermination du pH

- Principe

Le pH représente une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité d'une solution, une échelle de 0 à 14 est utilisée pour évaluer la concentration en ions H^+ .

- Mode opératoire

- Mettre en marche le pH mètre ;
- Rincer soigneusement l'électrode à l'eau distillée ;
- Prélever environ 100 ml de la solution à analyser dans un récipient adéquat ;
- Plonger l'électrode du pH mètre dans le récipient contenant la solution ;
- Laisser la solution se stabiliser pendant un moment, puis enregistrer la valeur du pH (Ameen, 2019).

Les résultats sont obtenus directement à partir de la lecture sur l'écran du pH mètre.

➤ Détermination de la température**- Principe**

En plus de mesurer le pH, l'appareil fournit la température de l'échantillon en degrés Celsius ($^{\circ}C$).

- Mode opératoire

Insérer une électrode dans l'échantillon d'eau à analyser et consulter la lecture directement sur l'écran de l'appareil.

➤ Détermination de la turbidité**• Principe**

La turbidité est mesurée en se basant sur l'effet Tyndall ou l'opacimétrie. Cette méthode évalue une propriété optique de l'eau qui découle de la diffusion et la dispersion de la lumière par les particules de matières en suspension (ISO, 7027 : 1999).

• Mode opératoire

- Calibrer l'appareil à 0 avant utilisation ;
- Préparer une cuvette de mesure propre et essuyée soigneusement avec du papier hygiénique, puis verser-y l'échantillon à analyser après l'avoir homogénéisé ;

- Placer la cuvette dans le turbidimètre ;
- Effectuer rapidement la mesure ;
- Vérifier l'absence de bulles d'air avant la mesure.

- **Expression des résultats**

Les mesures sont directement exprimées en Unités de Turbidité Néphélogométrique (UTN) (Bneder, 2008).

- **Détermination de la conductivité**

- **Principe**

L'objectif est de quantifier la conductivité électrique d'une colonne d'eau enfermée entre deux électrodes en platine (Pt) (ou recouvertes de noir de platine), maintenues de manière parallèle.

- **Mode opératoire**

- Nettoyer la verrerie avant utilisation avec de l'eau distillée ;
- Allumer le conductimètre ;
- Rincer la sonde à conductimètre d'abord avec de l'eau distillée ;
- Prélever environ 100 ml d'eau à analyser dans un bécher ;
- l'électrode du conductimètre dans le bécher ;

Une fois stabilisée il ne reste qu'à noter la valeur de la conductivité affichée sur l'écran, qui est exprimé en $\mu\text{s/cm}$ (Badjadj, 2017).

- **Détermination de Taux de sel (TDS)**

La concentration des sels dissous est évaluée à l'aide d'un conductimètre, pour cela, une électrode est intégrée à l'intérieur de l'appareil, tandis que l'autre est plongée dans la solution. La concentration des sels dissous est ensuite directement affichée sur l'écran exprimé par mg/l. (Badjadj, 2017).

3.2) Analyses chimiques

3.2.1) Paramètres volumétriques

- **Détermination de calcium**

- **Principe**

Le calcium est dosé en utilisant une solution aqueuse d'EDTA avec un pH entre 12 et 13. L'indicateur Murexide, qui forme un complexe rose avec le calcium, est utilisé. Pendant le titrage, l'EDTA réagit avec les ions calcium. Ce qui provoque un changement de couleur de l'indicateur, passant du rose au violet.

- **Mode opératoire**

- Verser 50 ml de l'échantillon d'eau à analyser dans une fiole de 100 ml ;
- Ajouter 2 à 3 ml de NaOH (2N) et 0,2 g de Murexide ;
- Maintenir une agitation constante, puis ajouter rapidement la solution d'EDTA au début du titrage, et ensuite goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au rose (figure 06) ;
- l'ajout d'EDTA lorsque la couleur ne change plus, même après l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA (Mendaham *et al.* 2000).

- **Expression des résultats :**

Les résultats sont exprimés en mg/l, ils sont calculés avec la formule suivante :

$$[\text{Ca}^{2+}] = F \times FD \times V_{\text{eq}} \quad [\text{Ca}^{2+}] = 8 \times 1 \times V_{\text{eq}}$$

F: facteur de correction du titre de l'EDTA.

FD: facteur de dilution.

V_{eq} : le volume de titrage.



Figure 06 : Résultats de virage de Calcium.

➤ **Détermination de la dureté totale TH**

La détermination du Titre Hydrométrique (TH) implique la mesure de la concentration totale des cations. De Calcium et Magnésium, à l'exception des alcalins.

- **Principe**

La dureté est titrée avec une solution aqueuse d'EDTA à un pH d'environ 10. L'indicateur utilisé est le Noir Erochrome, qui forme un complexe bleu avec la solution. Pendant le titrage, l'EDTA réagit en présence des ions de TH, provoquant un changement de couleur de l'indicateur de rose à bleu.

- **Mode opératoire**

-Prendre 50 ml d'eau à analyser et les placer dans un erlenmeyer de 100 ml ;
-Ajouter 4 ml de solution tampon et 3 gouttes de Noir Erochrome ;
-Titrer immédiatement avec la solution d'EDTA (commencer rapidement puis ralentir vers la fin) jusqu'à l'apparition d'un virage bleu (figure 07) (Bremond, 1973).

- **Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en mg/l, ils sont calculés avec la formule suivante :

$$[\text{TH}] = F \times F_D \times V_{\text{TH}}$$

$$[\text{TH}] = 20 \times 1 \times V_{\text{TH}}$$

F : facteur de correction du titre de l'EDTA.

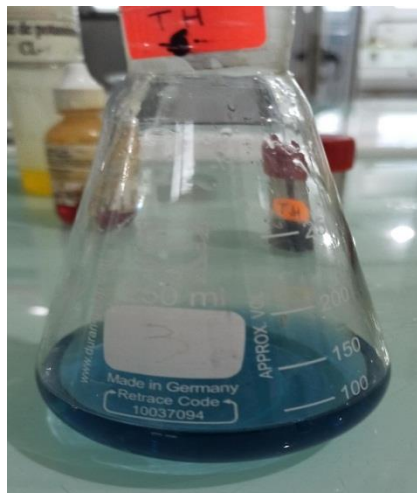


Figure 07 : Résultats de virage de TH.

➤ **Dosage de magnésium**

La concentration de magnésium est calculée directement à partir de l'équation suivante :

$$[\text{Mg}^{+}] = (\text{VTH} - \text{VCa}^{2+}) * 4.86$$

➤ **Détermination de chlorure**

• **Principe**

Les ions chlorures entrent en réaction avec les ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble, qui précipite complètement. Un excès léger d'ions argent est introduit, produisant du chromate d'argent brun-rouge en présence d'ions chromates, servant ainsi d'indicateur de fin de réaction.

• **Mode opératoire**

-Prélever 100 ml d'eau à analyser ;

-Ajouter 1 ml de solution de K_2CrO_4 (donnant une coloration jaune) et 1 ml d'eau distillée ;

-Effectuer la titration avec une solution d' AgNO_3 à 0,01 N jusqu'à l'apparition d'une coloration brun-rougeâtre (figure08).

*Essai blanc :

Utiliser 100 ml d'eau distillée à la place de l'échantillon (la quantité d' AgNO_3 ajoutée ne doit pas dépasser 0,2 ml) (Bouguet, 2015).

• **Expression des résultats**

$$\text{mg/l, Cl} = (\text{VAgNO}_3 - \text{Vblanc}) * 7,1 * F$$

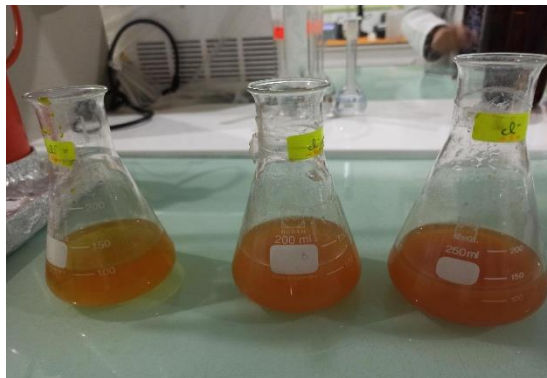


Figure 08 : Résultats de Virage de chlorure.

➤ **Détermination de titre alcalimétrique complet (TAC)**

• **Principe**

La détermination du TAC implique le titrage d'un échantillon avec une solution aqueuse de HCl jusqu'à atteindre un pH de 4,3. L'indicateur Méthylorange est utilisé, formant un complexe jaune avec l'échantillon.

• **Mode opératoire**

-Utiliser l'échantillon traité précédemment si aucune coloration n'a été observée ;
-Incorporer deux gouttes de la solution de... » Méthylorange, entraînant une coloration jaune ;
-Titrer avec une solution de HCl 0,02 N jusqu'à ce que la couleur jaune vire à un orangé clair (figure 09), (pH 4,3), en s'assurant qu'une goutte d'acide en excès provoque le changement de la couleur jaune orangé à un rose orangé (pH 4) (Bouguetit, 2015).

• **Expression des résultats**

méq/l, $TAC = (V_{tac} - 0,5) \cdot 10$



Figure 09 : Résultats de virage de TAC.

3.2.2) Paramètres spectrophotométriques

➤ **Dosage des nitrates**

• **Principe**

En utilisant du salicylate de sodium, les nitrites forment du paranitrosalicylate de sodium, ce qui produit une couleur jaune. Cette solution est ensuite dosée spectrométriquement à une

longueur d'onde de 415 nm. Pour le dosage des nitrites, il est important d'utiliser uniquement une solution claire, et les échantillons troubles doivent être filtrés à travers une membrane de 0,45 μm .

- **Mode opératoire**

-À l'aide d'une pipette graduée, prélever 10 ml de l'échantillon que transformer dans un bécher de 200 ml préalablement alcalinisé légèrement avec une solution d'hydroxyde de sodium NaOH ;

-Ajouter 0,5 ml de solution azoture de sodium (NaN_3) et 0,2 ml d'acide acétique, puis laisser reposer pendant 5 minutes ;

-Procéder ensuite à l'évaporation sur un bain-marie, en veillant à ne pas surchauffer ;

- Verser 1 ml de solution de salicylate de sodium. Mélanger à nouveau et faites évaporer ;

-Laisser ensuite refroidir ;

-Ajouter au résidu 1 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) en l'humectant complètement et attendre 10 minutes ;

-Ajouter ensuite 15 ml d'eau distillée et verser 10 ml de solution d'hydroxyde de sodium. (NaOH) pour obtenir une couleur jaune ;

-Enfin, procéder à la lecture au spectrophotomètre (Degreement, 1952).

- **Expression des résultats**

Les résultats sont affichés sur l'écran du spectrophotomètre et exprimés en mg/l.

➤ **Dosage de fer**

- **Principe**

Pour évaluer la concentration en fer total et en fer dissous, on introduit du chlorhydrate d'hydroxylamine afin de convertir le Fe^{3+} en Fe^{2+} .

En cas de présence de fer non dissous, d'oxydes de fer ou de complexes de fer, un traitement préalable est requis pour solubiliser ces composés.

L'ajout d'une solution de dphénanthroline-1,10 engendre la formation d'un complexe rouge-orangé qui est ensuite quantifié par spectrométrie à une longueur d'onde de $\lambda_{\text{max}}=510\text{nm}$.

- **Mode opératoire**

-Utiliser une pipette graduée pour prélever 50 ml de l'échantillon, puis le transférer dans une capsule en verre ;

- Ajouter 1 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) :
- Ensuite, ajouter 1 ml de chlorhydrate d'hydroxylamine et ajouter-les à une fiole jaugée de 100 ml.
- Bien mélanger la solution ;
- Incorporer 2 ml de solution tampon acétate, puis ajouter 2 ml de solution phénantroline ;
- Conserver à l'obscurité pendant 15 minutes, de même pour l'essai à blanc ;
- Enfin, effectuer la lecture au spectrophotomètre en commençant par l'essai à blanc pour l'utiliser comme référence (Degreement, 2005).

- **Expression des résultats**

Les résultats apparaissent sur l'écran du spectrophotomètre et sont exprimés en milligrammes par litre (mg/l).

- **Dosage de sulfate**

- **Principe**

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique sous forme de sulfate de baryum, qui est ensuite stabilisé en utilisant une solution de tween 20 ou de polyvinyle-pyrrolidone. Les suspensions homogènes sont ensuite mesurées au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 650 nm.

- **Mode opératoire**

- Utiliser une pipette graduée pour Transférer 50 ml de l'échantillon dans une fiole jaugée de 100 ml.
- Ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique (HCl) et 5 ml de solution de chlorure de baryum ($BaCl_2$) ;
- Agiter vigoureusement deux à trois fois, puis laisser reposer pendant 15 minutes. Répéter l'agitation, y compris pour l'essai à blanc ;
- Effectuer ensuite la lecture au spectrophotomètre, en commençant par l'essai à blanc (Dégréement, 2005).

- **Expression des résultats**

Les résultats apparaissent sur l'écran du spectrophotomètre et sont exprimés en milligrammes par litre.

➤ **Paramètres du spectrophotomètre à flamme : (Na⁺ et K⁺)**

La méthode de photométrie de flamme est reconnue comme l'une des techniques les plus efficaces et sensibles pour la détection des éléments alcalins et alcalino-terreux.

• **Mode opératoire**

-Activer l'appareil en utilisant le bouton de mise en marche ; puis on démarre la pompe ; ensuite on ouvre le robinet de la bouteille de gaz propane ; en allumant la flamme ;

-Effectuer l'étalonnage en utilisant une solution de concentration connue (10) et ajuster le spectrophotomètre en conséquence ;

-Toujours immerger la sonde dans de l'eau distillée ; Après l'étalonnage, introduire la sonde dans l'échantillon d'eau à analyser et noter la valeur indiquée à l'écran

- On applique la même méthode pour l'analyse du sodium,

3.2.3) paramètres de pollution

➤ **Dosage de nitrite**

• **Principe**

Les ions nitrites subissent une réaction dans un environnement acide en présence de réactif amino-4 benzène sulfonamide et d'acide ortho phosphorique pour former un diazoïque qui réagit avec le chlorhydrate de N-(naphtyl-1,2 méthane pour produire un complexe coloré rose, mesuré spectrométriquement à une longueur d'onde de 2340 nm (figure 10). Cette méthode est valide pour des concentrations en ions nitrites jusqu'à $NO=0.25$ mais pour des concentrations plus élevées, une dilution est nécessaire (Dupont et Leclerc2023).

• **Mode opératoire**

-Prélever 40 ml d'eau à analyser ;

-Ajouter 1 ml de réactif coloré NO₂ ;

-Homogénéiser immédiatement en agitant doucement, puis compléter jusqu'à 50 ml. Le pH doit être maintenu à 1.9. Laisser reposer pendant 20 minutes ;

-Effectuer les mesures au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 540 nm.

- **Expression les résultats**

Le résultat fournit la concentration de nitrate d'azote (N-NO₃), exprimée en mg. Pour obtenir la concentration en nitrite (NO₂), multipliez ce résultat par 3,29.



Figure 10 : Dosage de nitrite.

- **Dosage de l'ammonium**

- **Principe**

L'ammonium réagit avec les ions hypochlorite, générés par l'hydrolyse alcaline du sel de dichloroisocyanurate de sodium, pour former des chloramines, qui à leur tour réagissent ensuite avec le salicylate de sodium à un niveau de pH de 12,6 en utilisant du nitrosopentacyanoferrate pour produire un composé de couleur bleue (figure 11).

Le citrate de sodium est ajouté aux réactifs pour neutraliser les interférences des cations tels que le calcium et le magnésium. Ce composé bleu est ensuite quantifié spectrométriquement à une longueur d'onde de 655 nm. L'application de cette méthode à des eaux fortement colorées ou salées nécessite une distillation préalable.

- **Mode opératoire**

-Prélever 40 ml de l'échantillon d'eau à analyser ;

-Ajouter 4 ml du réactif coloré ;

-Homogénéiser soigneusement la solution ;

-Incorporer 4 ml de la solution de dichloroisocyanurate de sodium, en veillant à ce que le pH soit égal à 12,6 ;

- Compléter le volume jusqu'à 50 ml en utilisant de l'eau distillée ;
- Laisser reposer pendant au moins 60 minutes ;
- Tous les dosages et étalonnages doivent être réalisés à la même température (25 °C dans un bain-marie) ;
- Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 655 nm. (Garnier, 2012).

Expression des résultats

La concentration en azote ammoniacal est exprimée en mg/l de N. Pour convertir cette valeur en concentration de NH_4 , il suffit de la multiplier par 1,28.

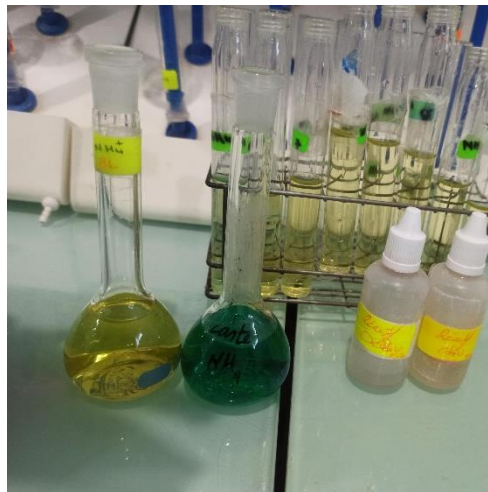


Figure 11 : Dosage de l'ammonium.

➤ Dosage de phosphore

• Principe

Les ions orthophosphate interagissent avec une solution acide contenant des ions molybdate et antimoine pour former un complexe. D'antimonyl-phosphomolybdate. Par la suite, cet ensemble est réduit par l'acide ascorbique pour créer un complexe de molybdène très coloré en bleu, lequel est ensuite quantifié spectrométriquement à une longueur d'onde maximale de 880 nm.

• Mode opératoire

- Transférer 40 ml de l'échantillon d'eau à analyser dans une fiole volumétrique de 50 ml à l'aide d'une éprouvette ;
- Ajouter 1 ml d'acide ascorbique à la fiole et agiter pour homogénéiser ;

-Ensuite, introduire 2 ml du réactif molybdate dans la fiole et compléter le volume jusqu'à 50 ml avec de l'eau. Attendre ensuite entre 20 et 30 minutes pour observer l'apparition de la couleur bleue ;

-Procéder ensuite à la lecture au spectrophotomètre (FALL, 2007).

- **Expression des résultats**

Les résultats sont affichés et notés en mg/l sur l'écran du spectrophotomètre.

4) Analyses bactériologiques

4.1) Méthode de prélèvement

- **Lavage et stérilisation**

Collecte les prélèvements bactériologiques dans des flacons en verre stériles subi un nettoyage minutieux et une stérilisation efficace.

-Immerger ces récipients pendant 24 heures dans de l'eau contenant du détergent ;

-Nettoyer toutes les surfaces internes avec une brosse et un goupillon ;

-Rincer-les à l'eau du robinet, puis réaliser 3 à 4 rinçages avec de l'eau distillée ;

-Laissez sécher la verrerie à l'air libre ;

-Ajouter ensuite quelques gouttes de thiosulfates pour inhiber le chlore avant de procéder à la stérilisation ;

-Stériliser dans une étuve à 140 °C pendant 3 heures ;

-Ouvrir le Falcon en verre stérile sans entrer en contact avec l'intérieur du flacon, le bouchon, etc. et le placer immédiatement sous le jet d'eau de source ;

-Prélever l'eau tout en laissant un dixième de l'espace du flacon pour de l'air ;

-Refermer immédiatement le flacon hermétiquement ;

-Nettoyer le flacon, apposer une étiquette, noter les détails dans un cahier, et placer le tout dans une glacière en vue du transport.

4.2) Mode opératoire d'analyses bactériologique

➤ Recherche des germes totaux

Pour déterminer les germes totaux, une approche consiste à effectuer des recherches et des dénombrements à deux températures distinctes, soit 22°C pour les micro-organismes psychrophiles et 37°C pour les mésophiles.

• Mode opératoire

À partir de l'eau à analyser :

- transférer aseptiquement 2 fois 1 ml dans deux boîtes de Pétri vides stériles ;
- Ajouter environ 20 ml de gélose TGEA liquéfiée et refroidie à environ 45°C dans chaque boîte ;
- Effectuer ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de 8 pour garantir une répartition uniforme de l'échantillon dans la gélose ;
- Laisser les boîtes solidifier sur la paillasse.

• Incubation

La première boîte sera placée dans un incubateur à une température de 22°C pendant 72 heures, afin de favoriser la croissance des micro-organismes saprophytes présents dans l'eau.

La deuxième boîte sera placée dans un incubateur à une température de 37°C pendant 48 heures, pour encourager la croissance des micro-organismes d'origine humaine ou animale à température corporelle. (ISO 6222, 1999).

• La lecture

Les microorganismes totaux apparaissent dans les deux situations sous la forme de colonies rondes.

Se multipliant en groupe.

L'objectif est de compter toutes les colonies, en prenant en considération les deux remarques suivantes :

- Compter uniquement les récipients renfermant de 15 à 300 colonies ;
- Le résultat sera indiqué par millilitre (ml) d'eau à analyser à 22° et à 37°C.



Figure 12 : Les germes totaux

➤ **Recherche des coliformes totaux et fécaux (technique des tubes multiples 3/3/3)**

▪ **Principe**

La méthode en milieu liquide implique deux tests successifs :

- **Test de présomption** : Utilisé pour détecter les coliformes totaux.
- **Test de confirmation** : Aussi connu sous le nom de test de Mackenzie, il est utilisé pour rechercher les coliformes fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption.

✓ **Test présomptif**

- Préparer une série de trois tubes contenant chacun 10 ml de bouillon (B.C.PL) (figure 18) (double concentré), auxquels ajouter 10 ml d'eau à analyser.
- Une autre série de trois tubes contenant chacun 10 ml de bouillon (B.C.P.L) (simple concentration), auxquels ajouter 1 ml d'eau à analyser dans chaque tube.
- Enfin, une série de trois tubes contenant chacun 10 ml de B.C.P.L (simple concentration) auxquels ajouter 0,1 ml d'eau à analyser dans chaque tube. (Abbas, M., Messaoudi, H, 2011).



Figure 13 : Milieu de culture (BCPL).

▪ **Incubation**

Placer dans un incubateur à une température de 37 ° pendant une durée de 24 à 48 heures.

Lecture.

Le changement de couleur du milieu en jaune et la production de gaz (la cloche de Durham) indique la présence de germes coliformes dans l'eau.

✓ **Test confirmatif**

Déposer 6 à 8 gouttes des échantillons positifs (avec un changement de couleur en jaune et une émission de gaz) dans des tubes renfermant un milieu appelé Schubert (figure14).

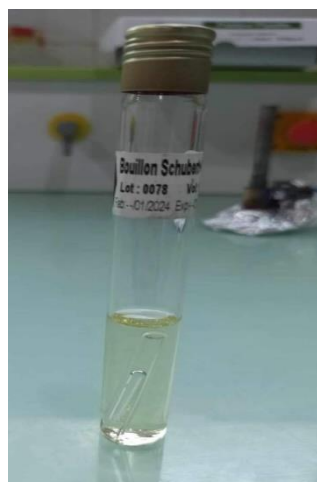


Figure 14 : Milieu de culture (Schubert).

- **Incubation**

Placer dans un incubateur à une température de 44°C pendant une durée de 24 à 48 heures.

- **Lecture**

Une réaction positive se manifeste par un changement de couleur en jaune et une production de gaz.

La formation d'un anneau rouge après l'ajout de quelques gouttes de réactif de Kovacs confirme la présence d'*Escherichia coli* dans l'eau analysée (figure 15).

_ L'interprétation des résultats qualitatifs s'effectue en consultant le tableau du nombre le plus probable (NPP).

_ donnant ainsi le nombre de germes dans 100 ml d'eau analysés.



Figure 15 : E. Coli.

- **Recherche des streptocoques fécaux (technique des tubes multiples 3/3/3)**

Le principe de cette méthode implique le comptage des microorganismes dans un milieu liquide lors de la recherche des streptocoques, la méthode en milieu liquide implique deux tests successifs :

✓ Test présomptif

-Préparer une série de trois tubes contenant chacun 10 ml de bouillon de Rothe (figure 16) (double concentration), auxquels ajouter 10 ml d'eau à analyser ;

-Préparer une série de trois tubes contenant chacun 10 ml de bouillon de Rothe (simple concentration), auxquels ajouter 1 ml d'eau à analyser dans chaque tube ;

-Préparer une série de trois tubes contenant chacun 10 ml de bouillon Rothe (simple concentration), auxquels ajouter 0,1 ml d'eau à analyser dans chaque tube. (Abbas, M., Messaoudi, H, 2011).



Figure 16 : Milieu de culture (Roth).

▪ Incubation

Placer dans un incubateur à une température de 37 ° pendant une durée de 24 à 48 heures.

▪ Lecture

En cas de lecture positive, un trouble dans le milieu est observé.

✓ Test confirmatif

- Transfert 6 à 8 gouttes des réactions positives dans un milieu sélectif de bouillon glucose à l'éthyle violet à l'azide de sodium (milieu d'Eva – Litskey) (figure17).

▪ Incubation

Placer dans un incubateur à une température de 37 ° pendant une durée de 24 à 48 heures.

▪ Lecture

Une réaction positive est confirmée par la présence d'une pastille violette au fond des tubes, Le nombre de ces derniers est déterminé à l'aide des tables N.P.P.



Figure 17 : Milieu de culture (Eva litsky).

➤ **Recherche des clostridium sulfito-réducteur**

▪ **Principe**

Après avoir soumis l'échantillon à un traitement thermique pour éliminer les formes végétatives, il est ensuite filtré à travers une membrane déposée sur un milieu sélectif (gélose contenant du sulfate de sodium et des sels de fer). L'incubation dans des conditions favorables à la croissance anaérobie permet d'identifier les colonies sulfito-réductrices, reconnaissables par la présence d'un halo noir.

▪ **Mode opératoire**

- Prélever 25 ml de l'eau à analyser et les transférer dans un tube stérile. Placer le tube dans un bain d'eau à 80°C pendant 10 minutes afin d'éliminer toute forme végétative de bactéries potentiellement présentes. Ensuite, refroidir immédiatement le tube ;
- Répartir le contenu du tube dans 4 autres tubes stériles, en ajoutant 5 ml dans chaque tube ;
- Verser 20 ml de gélose Viande Foie (VF) (figure 25), fondue dans chaque tube, puis refroidir à $45 \pm 1^\circ\text{C}$.
- Ajouter par la suite 1 millilitre de solution de sulfite de sodium et 4 gouttes de solution d'alun de fer à chaque tube ;
- Mélanger délicatement pour éviter les bulles d'air et l'introduction d'oxygène ;

- Laisser la gélose solidifier sur la paillasse pendant environ 30 minutes, puis incuber à 37°C pendant 24 à 48 heures (Lebres, 2005).
- Exprimer les résultats en nombre de spores pour 20 ml d'échantillon.

1) Résultats d'analyses physicochimiques

Tous les résultats que nous avons obtenus sont résumés dans le tableau 05 et sont illustrés dans les figures du 18 au 33.

Tableau 05 : Résultats des analyses physico-chimiques des sources étudiées.

Paramètres	Source Lekheal	Source El baher	Source Mesdour	Source Noire	Source Aghbalou	Source Ain tagmia	Source Bouhrabe	Normes (JORA, 2014)
PH	7,41	6,7	8,07	7,34	7,91	6,73	7,74	8,5
Température °C	15,5	25,7	14,1	27	27,8	25,9	24,5	25
Turbidité	0,19	9,47	0,22	0,46	1,08	8,73	0,49	5
Conductivité Us/cm	1385	370	625	586	282	414	473	2800
TDS mg/L	741	203	343	323	155	227	260	1000
Calcium mg/L	145,8	36,8	41,6	76,8	44	38,4	141,4	200
TH mg/L	528	142	200	262	140	148	324	500
Magnésium mg/L	37,9	12,15	23,32	17,01	7,2	12,63	9,23	50
Chlorure mg/L	140,58	24,85	39,76	14,2	5,68	26,27	17,75	500
TAC	123	96	147	222	228	122	335	500

mg/L								
Nitrate mg/L	17,40	0,44	00	0,39	0,97	0,26	00	50
Fer mg/L	00	0,33	00	00	00	0,24	00	0,30
Sulfate mg/L	177,58	45,56	86,51	57,60	2,60	41,33	32,26	400
Na+ mg/L	10,2	8,3	8,9	0,9	0,3	0,2	1	200
K+ mg/L	3,8	2,2	3,2	10,3	3,4	0,2	18	12
Nitrites mg/L	00	00	00	00	00	00	00	0,2
Ammonium mg/L	00	0,089	00	00	00	00	00	0,5
Phosphore mg/L	00	00	00	00	00	00	00	0,5

- **PH** : La figure 18 montre les résultats du pH obtenus pour les 7 échantillons étudiés

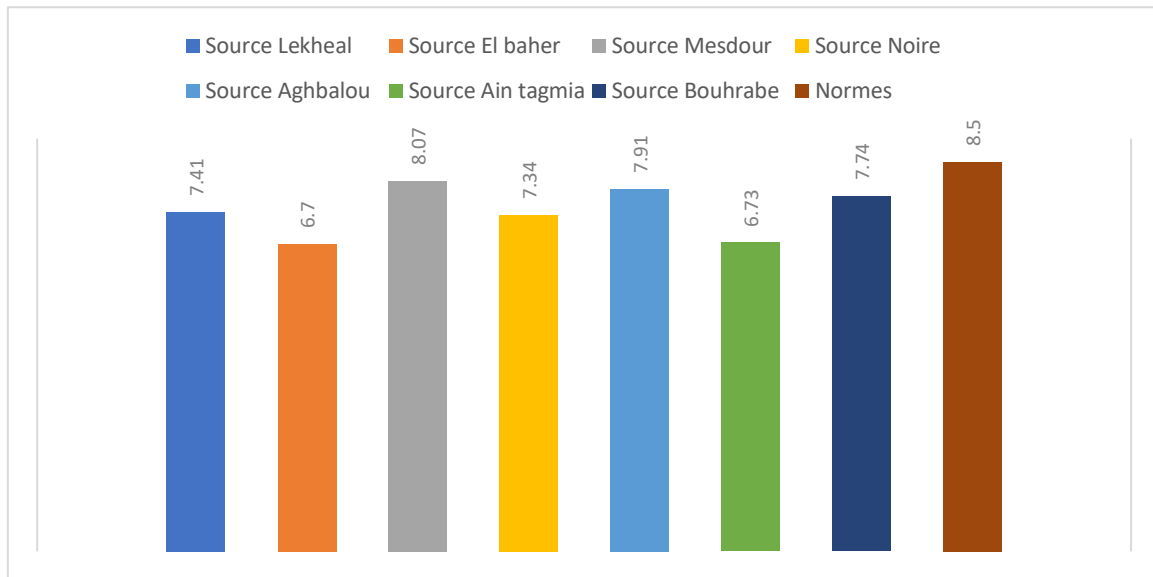


Figure 18 : Diagramme de résultats de PH.

Les caractéristiques des eaux naturelles varient en fonction du pH, qui lui-même est influencé par les concentrations des ions hydrogène présents dans l'eau (Rodier et al., 2009). À partir des résultats obtenus, on remarque que la valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de la source « Mesdour », estimée à 8.07, tandis que les valeurs les plus basses ont été enregistrées à la fois pour les sources « Lekhal » et « Ain tagmia », évaluées à environ 6.7. Et ils sont conformes à la norme Algérienne (6.5 – 8.5). Ces résultats sont supérieurs aux résultats trouvés par Ali Ben moussa et al. (2011). qui se situent entre 6 et 7 .

- **Température :**

Les résultats que nous avons obtenus pour la mesure de la température sont illustrés dans la figure 19

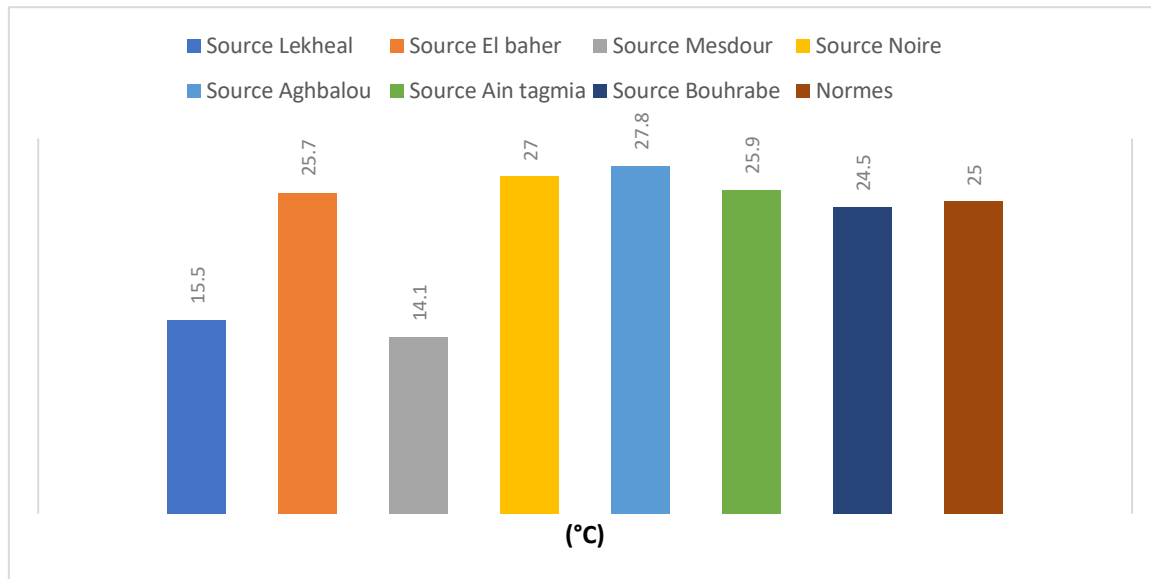


Figure 19 : Diagramme de résultats de température.

La température de l'eau est un facteur déterminant du confort pour les utilisateurs. Elle sert également à ajuster les critères d'analyse dont les mesures dépendent de la température. Bien que des températures élevées ne soient pas nocives pour la santé humaine, elles favorisent l'activité chimique des bactéries. Cette température peut varier en fonction des conditions extérieures, des saisons, de la composition géologique et de la profondeur de l'eau par rapport au sol. (Rodier, 2009). D'après les résultats obtenus, la source Aghbalou a enregistré la valeur la plus élevée, atteignant 27.8 C°, tandis que la source Noire a atteint 27 C°, qui n'est pas conforme à norme algérienne (<25C°). La valeur la plus basse a été enregistrée au niveau de la source mesdour, avec 14.1 C°. Ces résultats sont supérieurs aux résultats trouvés par Herkat et Idioui (2022), et inférieures aux résultats trouvés par Ali Ben Moussa et al.(2011) , qui ont dépassé 33C°.

- **Turbidité**

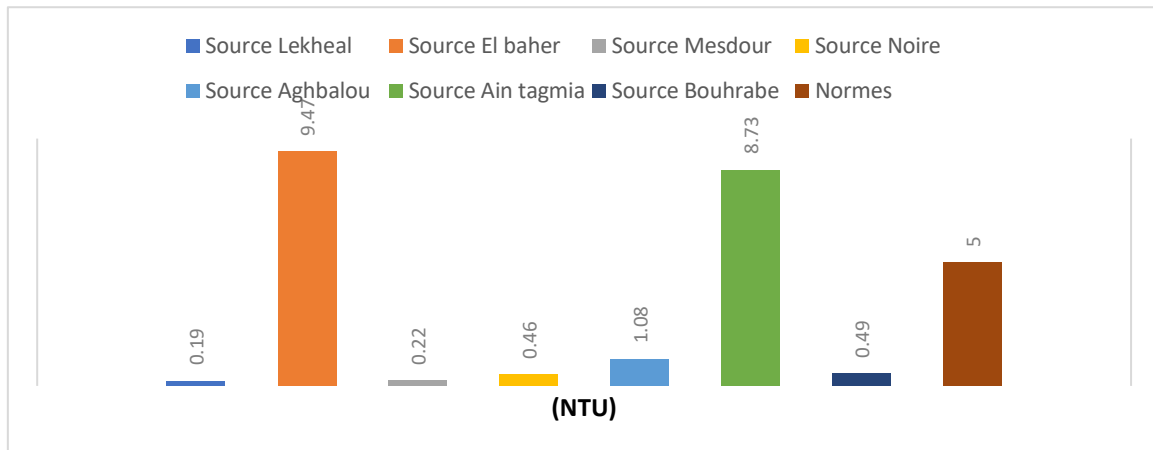


Figure 20 : Diagramme de résultats de turbidité.

La turbidité est un indicateur de la transparence de l'eau. (Joel, 2003).

À partir des résultats obtenus, on observe que la valeur minimale enregistrée est au niveau de la source « lekheal » et elle est de 0.19NTU (la moins turbide). En revanche, la valeur maximale a été enregistrée au niveau de la source « El baher » avec 9.74NTU, ainsi qu'au niveau de la source « Ain tagmia » avec 8.73NTU (les plus turbides), Ces résultats dépassent la norme algérienne (5UTN) . Ces résultats sont supérieures aux résultats trouvés par Ali Ben Moussa et al.(2011) .

- Conductivité

La capacité conductrice de l'eau est souvent utilisée comme indicateur du niveau de minéralisation de cette dernière. Plus une eau est riche en ions dissous, plus elle sera conductrice. Ainsi, une mesure de la conductivité peut donner des informations sur la quantité de sels minéraux, comme le calcium, le magnésium, le sodium, etc., présents dans l'eau. (Rodier 2009).

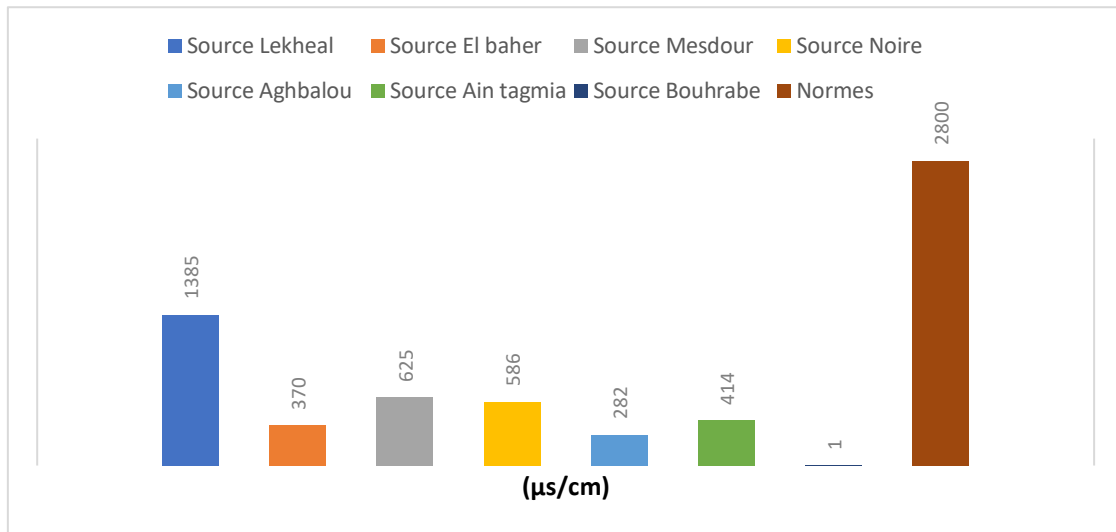


Figure 21 : Diagramme de résultats de conductivité.

À partir des résultats obtenus de la mesure du degré de conductivité dans chacune des sept sources, on remarque que la valeur la plus élevée a été enregistrée dans la source « Lekheal » qui s’est élevée à 1385uS /cm, tandis que la valeur la plus basse a été enregistrée dans la source « Aghbalou » qui s’est chiffrée à 282 uS/cm. Ils sont conformes à la norme algérienne (<2800uS/cm). Ces résultats sont inférieurs aux résultats trouvés par Ali Ben Moussa et al.(2001) , qui ont dépassé 4500 uS/cm .

- **Taux de sel (TDS)**

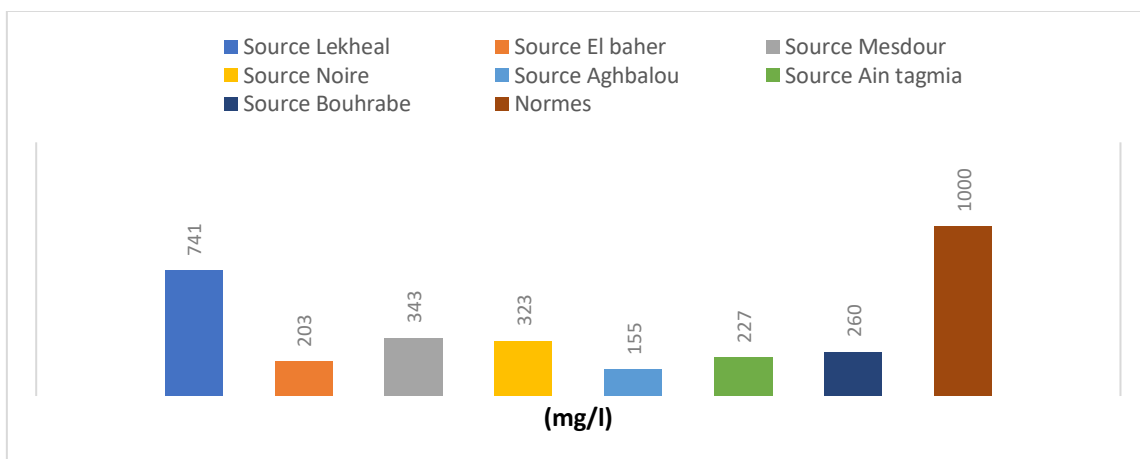


Figure 22 : Diagramme de résultats de TDS.

À partir des résultats obtenus, on remarque que la valeur de TDS (Total Dissolved Solids) la plus élevée a été enregistrée au niveau de la source « Lekheal » avec 761mg/l. Alors que la valeur la plus basse a été enregistrée au niveau de la source « Aghbalou », estimée à 155mg/l.

Toutes les valeurs obtenues sont conformes à la norme de l'OMS (1000mg/l). Ces résultats sont inférieurs aux résultats trouvés par Ali Ben Moussa et al.(2001).

- Calcium Ca²⁺

Le calcium est en effet un élément couramment présent dans les eaux potables. Il est souvent responsable de la dureté de l'eau, qui peut avoir un impact sur le goût et la texture de l'eau. (Khelili et Lazali,2015).

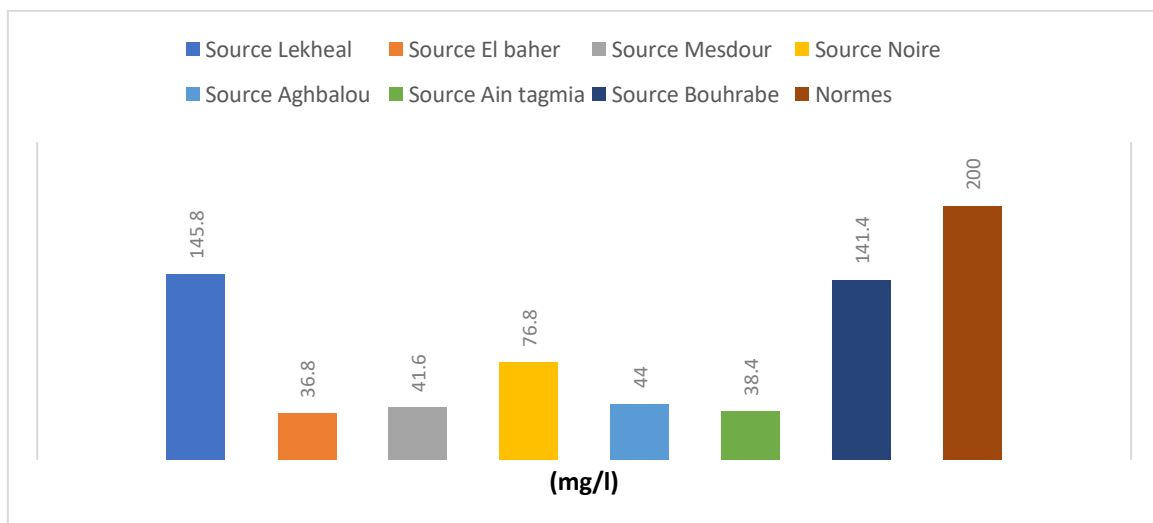


Figure 23 : Diagramme de résultats de calcium.

Il semble y avoir des différences importantes dans les valeurs du taux de calcium entre les différentes sources. La source « Lekheal » enregistre la valeur la plus élevée à 145,8, tandis que la source « El baher » enregistre la valeur la plus basse à 36,8. Ces valeurs respectent la norme algérienne < 200 mg/l, les changements dans le taux de calcium sont principalement dus au type de sols rencontrés et à la composition de la roche originelle. Ces résultats sont inférieurs aux résultats trouvés par Ali Ben Moussa et al.(2011).

- Dureté totale (TH)

La dureté est intrinsèquement liée à l'érosion des terrains parcourus et est déterminée par la concentration de calcium et de magnésium. (Rodier et al, 2009).

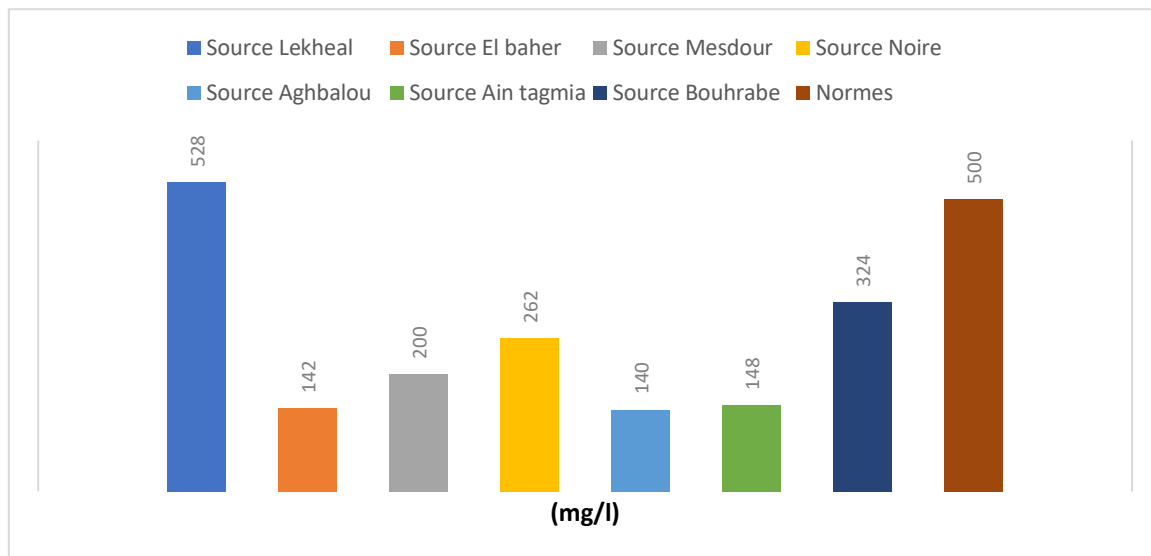


Figure 24 : Diagramme de résultats de TH.

À partir des résultats obtenus, nous remarquons que la valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de la source « Lekheal » avec 528mg/l de CaCO_3 . Ce qui n'est pas conforme à la norme algérienne qui est de 500mg/l de CaCO_3 , tandis que les résultats obtenus pour toutes les autres sources sont dans à la norme algérienne qui règlementent ce type de boissons.

Cette fluctuation est généralement attribuée à la solubilisation des sels existants dans la couche supérieure du sol, et elle est également causée par les ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+} . Ces résultats sont supérieurs aux résultats trouvés par Ali Ben Moussa et al .(2001), qui n'ont pas dépassé 225 mg/ CaCO_3 .

- **Magnésium Mg^{2+}**

Le magnésium (Mg^{2+}) est essentiel pour le métabolisme humain, jouant un rôle crucial dans la régulation de la perméabilité des cellules. Une concentration inadéquate de cet élément peut sérieusement affecter les fonctions cardiovasculaires (Rochier, 1978).

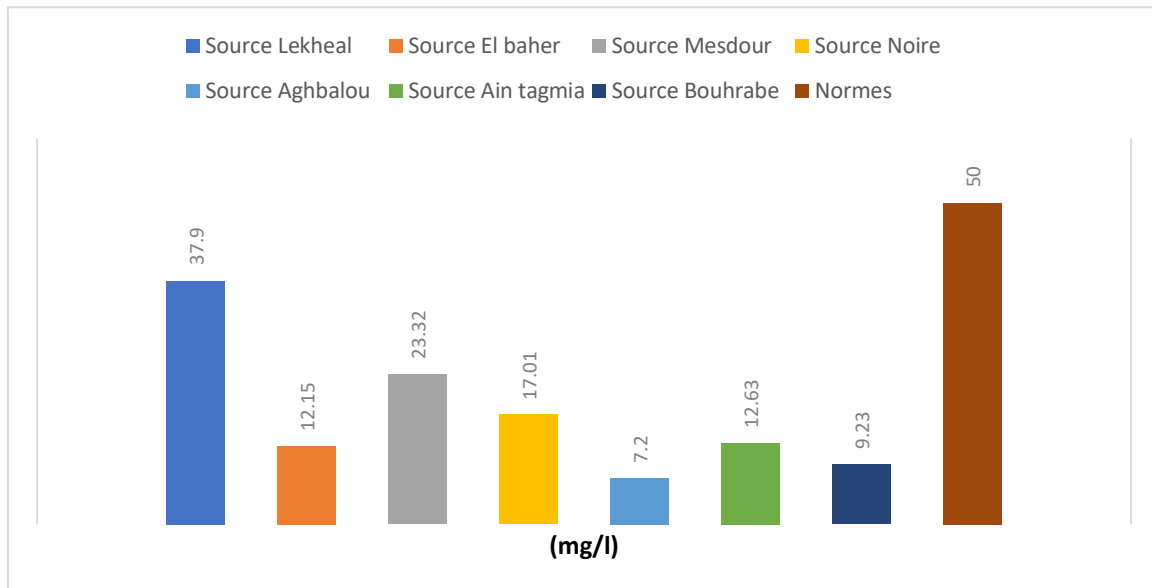


Figure 25 : Diagramme de résultats de magnésium.

À partir des résultats obtenus, on remarque que la valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de la source « Lekheal » avec 37,90 et la valeur la plus basse a été enregistrée au niveau de la source « Aghbalou » avec 7,2. Toutes les valeurs obtenues sont inférieures à la norme algérienne qui est de 50 mg/l. Ces résultats sont inférieurs aux résultats trouvés par Ali Ben Moussa et al .(2001).

- **Chlorure Cl-**

Les concentrations de chlorures dans les eaux varient considérablement et sont principalement dépendant de la composition des sols qu’elle traverse. (Ayad et Kahoul 2017)

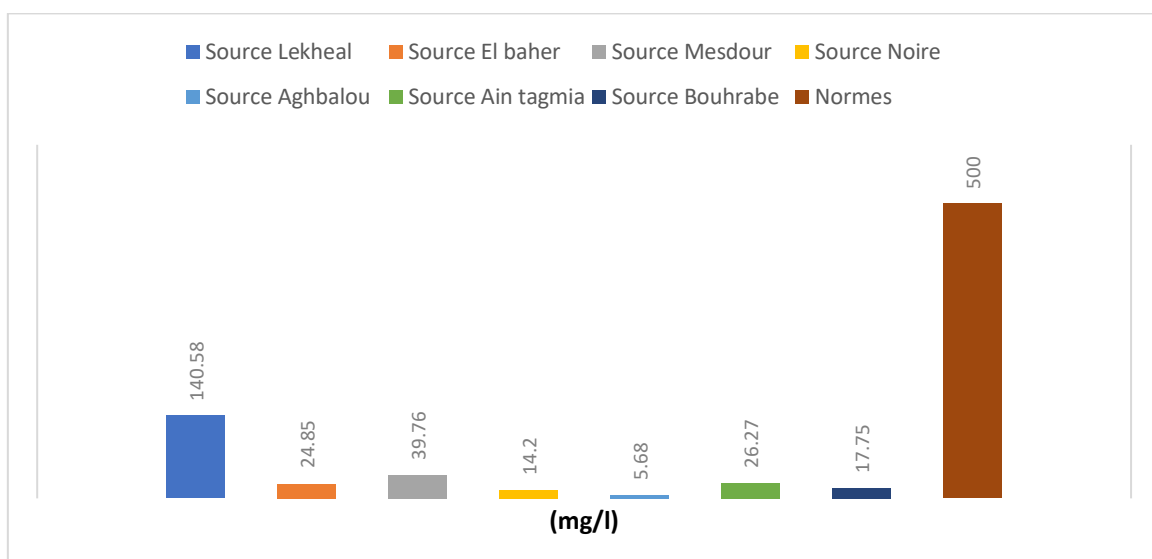
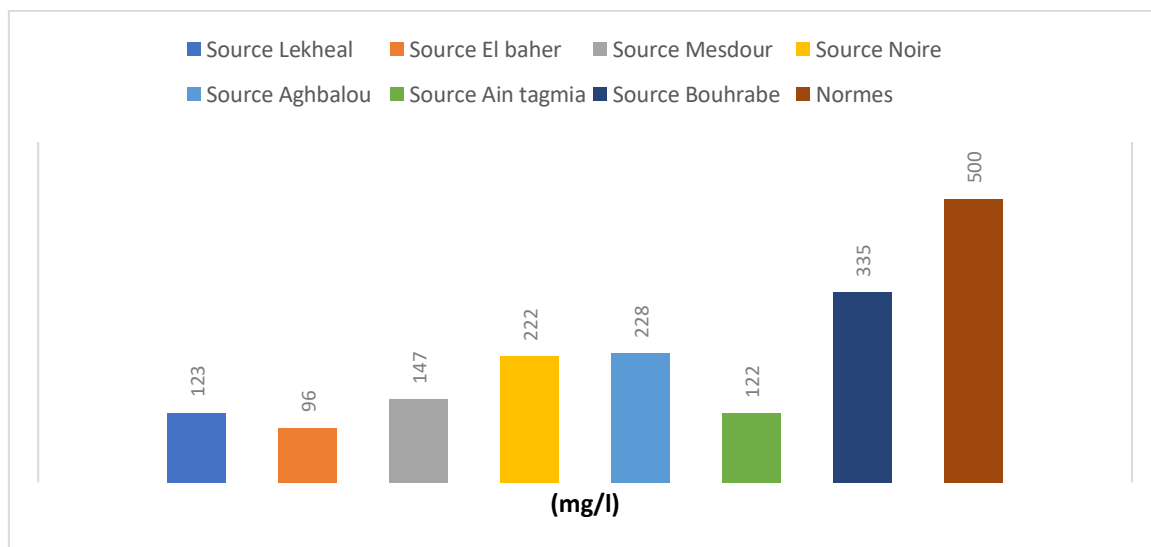


Figure 26 : Diagramme de résultats de chlorure.

En se basant sur les résultats obtenus, on remarque que la valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de la source « Lekheal » avec 140,58 mg/l, tandis que la valeur la plus basse a été enregistrée au niveau de la source « Aghbalou » qui était de 5,68 mg/l. Tous les résultats obtenus ne dépassent pas la norme de potabilité de l'eau. (500mg/l). Ces résultats sont inférieurs aux résultats trouvés par Ali Ben Moussa et al (2011), qui ont dépassé 600mg/L.

- **Titre alcalimétrique complet (TAC)**

**Figure 27** : Diagramme de résultats de TAC.

Après avoir effectué des analyses au niveau des sept sources pour mesurer le TAC, on constate que les valeurs varient entre elles. La source « Bouhrabe » a enregistré la valeur la plus élevée qui est de 335 mg/l, tandis que la valeur la plus basse a été enregistrée au niveau de la source « El baher », qui est de l'ordre de 96 mg/l. Tous les résultats obtenus sont conformes à la norme de potabilité de l'eau. (500mg/l). Des résultats supérieures ont été trouvés dans les études réalisées par Ali Ben Moussa et al .(2011).

- **Nitrate**

Les nitrates marquent la phase ultime de l'oxydation de l'azote, constituant ainsi la forme d'azote avec le degré d'oxydation le plus haut (Makhoukh et al., 2011).

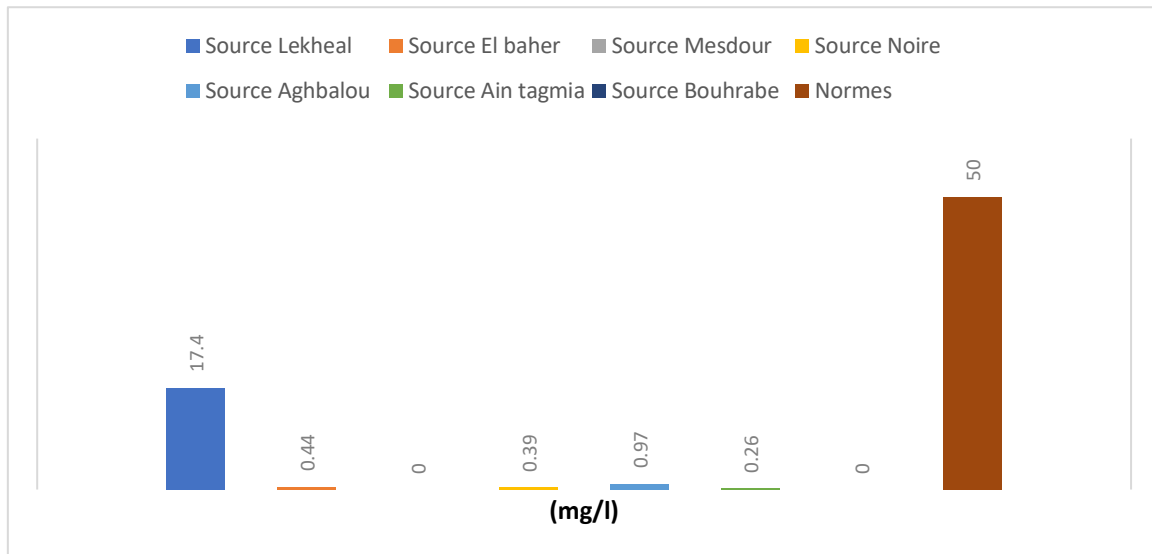


Figure 28 : Diagramme de résultats de nitrate.

À partir des résultats obtenus, on remarque que la valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de la source « Lekheal » qui est de 17,40. Alors que la valeur du nitrate a été nulle au niveau de la source « Mesdour » et de la source « Bouhrabe ». Toutes les valeurs obtenues restent conformes à la norme algérienne (50mg/l). Ces résultats sont supérieures aux résultats trouvés par Ali Ben Moussa et al .(2011) ,qui n’ont pas dépassé 2.5 mg/L.

- **Fer**

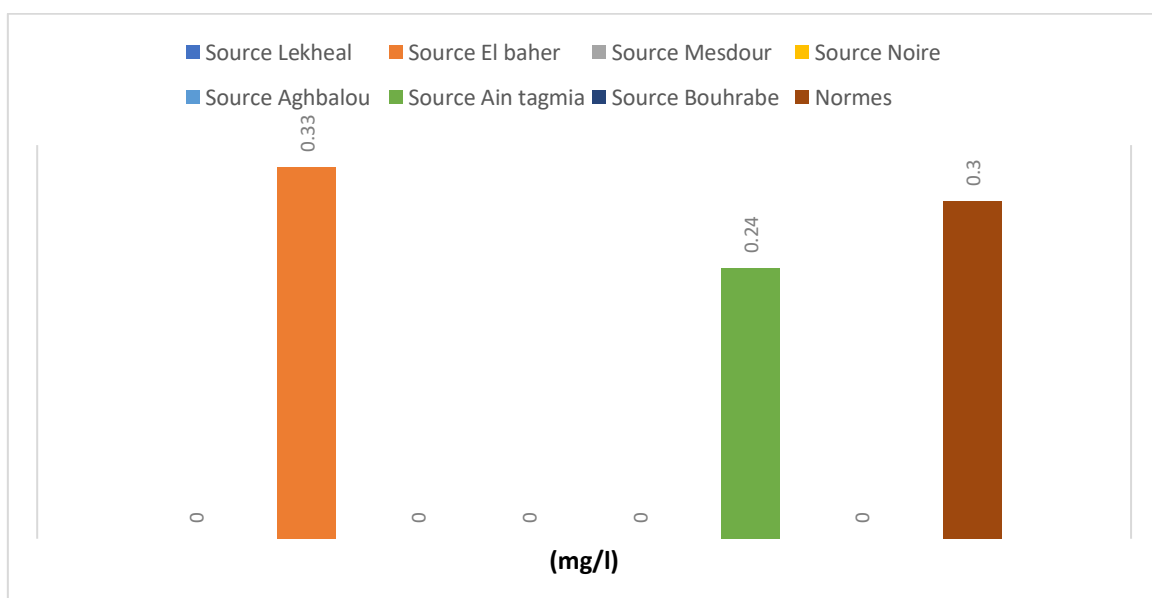


Figure 29 : Diagramme de résultats de fer.

À partir des résultats obtenus, on remarque une absence de fer au niveau de tous les sources, à l'exception de la source « Aghbalou » qui a enregistré une valeur de 0,24mg/l. Cette valeur reste conforme à la norme algérienne. Cependant, la source « El baher » a enregistré une valeur de 0,33mg/l, dépassant ainsi la norme algérienne (0.30mg/l). Ces résultats sont similaires aux résultats trouvés par Ali Ben Moussa et al .(2011).

- Sulfate SO₄

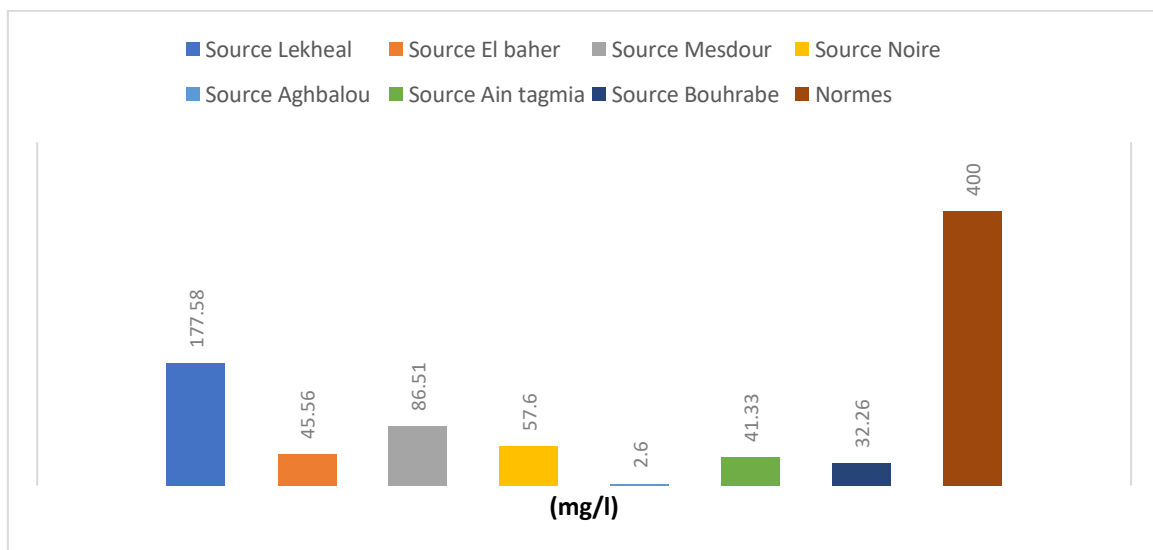


Figure 30 : Diagramme de résultats de sulfate.

À partir des résultats obtenus, on constate que la valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de la source « Lekheal » avec 177,58mg/l, tandis que la valeur la plus basse a été enregistrée au niveau de la source « Aghbalou » avec 2,60mg/l. Tous les résultats obtenus sont conformes à la norme algérienne. (400mg/l).

Les sels sulfatés dans les eaux souterraines proviennent de la dégradation du gypse. Ils sont également générés par l'action de certaines bactéries, comme les chlorothiobactéries et les rhodothiobactéries, qui transforment l'hydrogène sulfuré (H₂S) nuisible en sulfate (Hcefld, 2007). Ces résultats sont inférieurs aux résultats trouvés par Ali Ben Moussa et al.(2011), qui ont dépassé 1400 mg/L.

- Nitrate NO₃

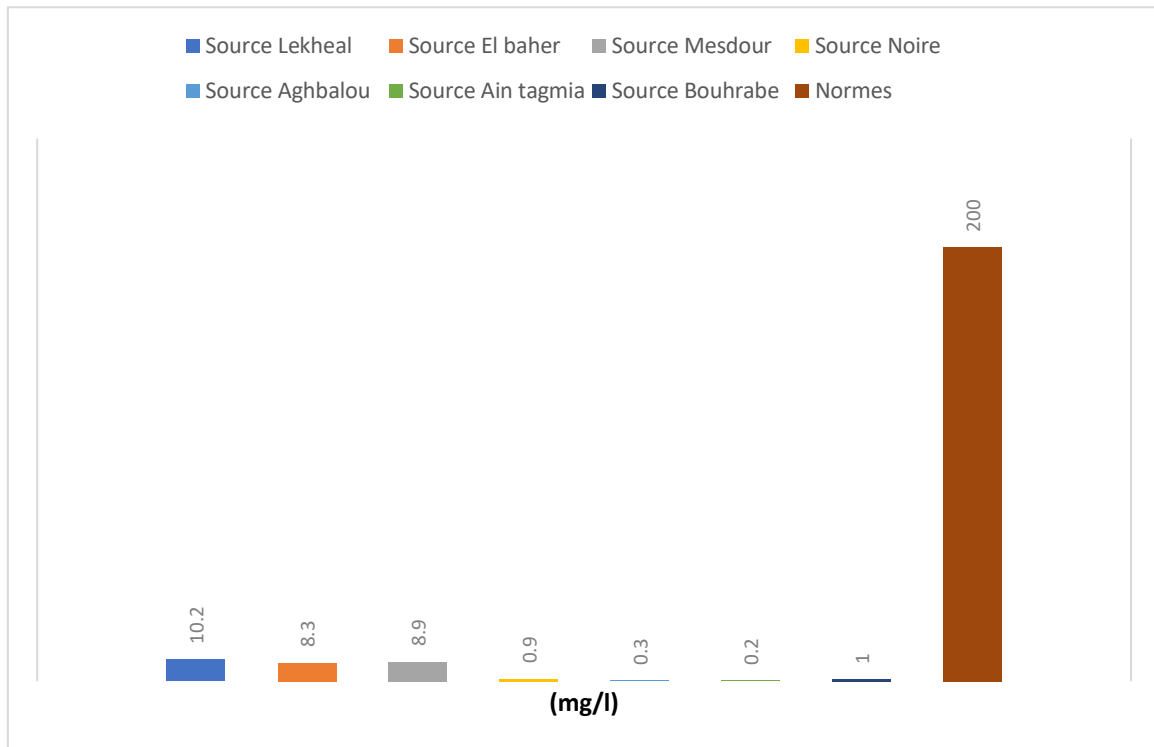


Figure 31 : Diagramme de résultats de nitrate.

À partir des résultats obtenus, on remarque une absence totale de nitrates dans les sept sources étudiées. La détection de nitrite dans l'eau témoigne d'une pollution engendrée par les émissions urbaines, industrielles et surtout agricoles (Rodier, 2009).

- **L'ammonium NH4**

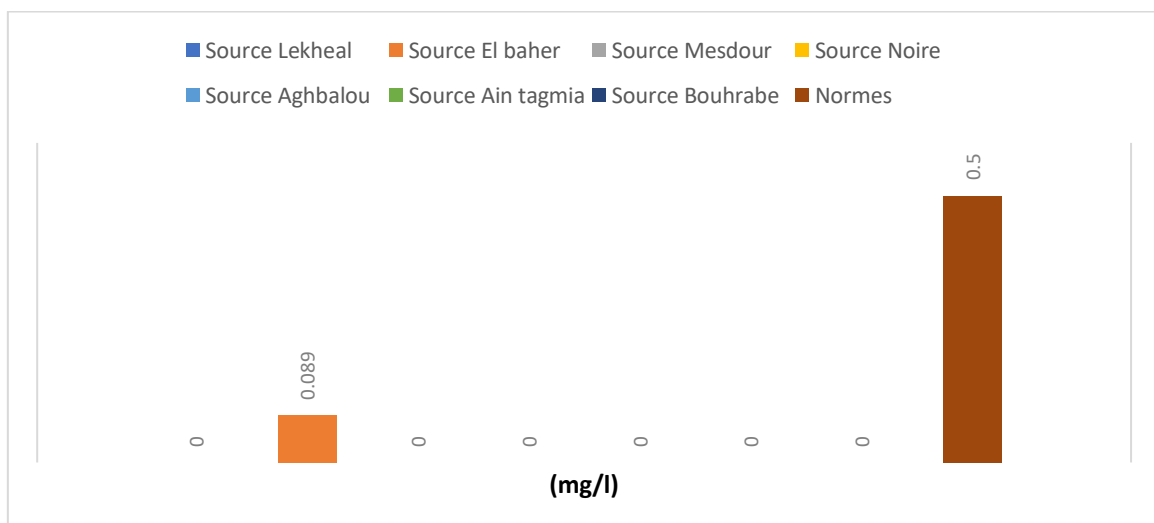


Figure 32 : Diagramme de résultats de l'ammonium.

À partir des résultats obtenus, on remarque une absence totale d'ammonium dans tous les échantillons de l'eau des sources étudiées, à l'exception de la source « El baher » qui présente une valeur minime estimée à 0.089mg/l mais qui reste inférieure à la norme algérienne de portabilité d'eau (0.5mg/l). Des résultats similaires ont été trouvés dans les études réalisées par Ali Ben Moussa et al.(2011).

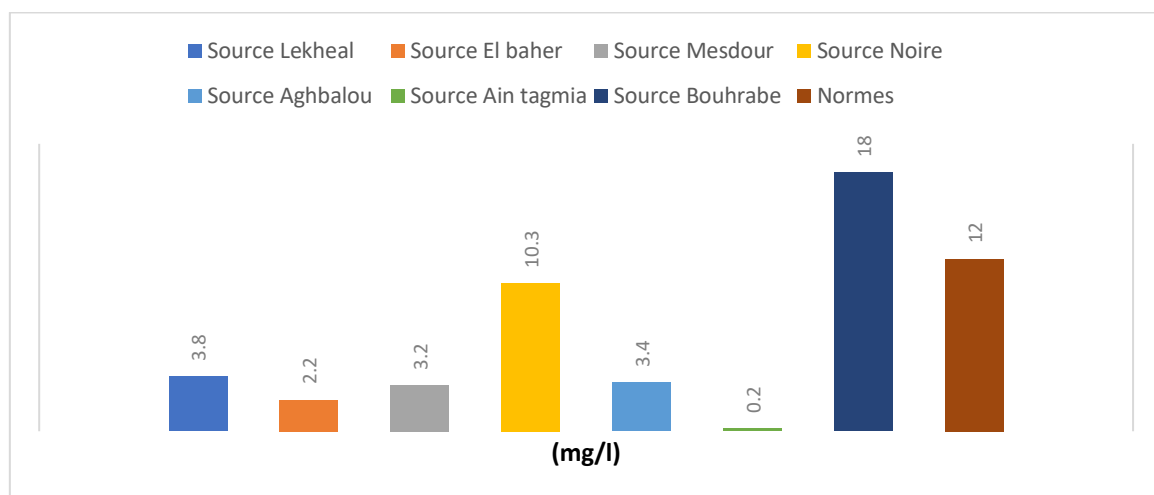
- **Phosphate PO₄**

Les résultats obtenus indiquent une absence complète de phosphore dans les sept sources analysées.

- **Sodium Na⁺**

À partir des résultats obtenus, on observe des concentrations variables de sodium, allant de 8,9 à 0,2 mg/l. Toutefois, ces valeurs restent conformes à la norme algérienne (200mg/l), avec la valeur la plus élevée enregistrée au niveau de la source « Mesdour » à 8,9 mg/l. Ces résultats sont inférieurs aux résultats trouvés par Ali Ben Moussa et al .(2011).

- **Potassium k⁺**

**Figure 33** : Diagramme de résultats de potassium.

Le potassium se trouve généralement dans l'eau à des concentrations faibles.

À partir des résultats obtenus, on remarque que la valeur la plus basse enregistrée au niveau de la source « Ain Tagmia » qui est de 0,2 mg/l, tandis que la valeur la plus élevée a été enregistrée

au niveau de la source « Bouhrabe », qui est de l'ordre de 18 mg/l, cette dernière dépasse la norme algérienne de potabilité d'eau (12 mg/l).

2) Résultats d'analyses bactériologiques

Tableau 06 : Résultats des analyses bactériologique des sources étudiées.

	Germes totaux		Coliformes		E. coli	Streptocoque	Clostridium
	37C°	22C°	Totaux	Fécaux			
Source Lekheal	14	13	4	Abs	Abs	Abs	Abs
Source El.baher	23	45	30	Abs	Abs	4	2
Source Mesdour	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Source Noire	40	145	3	Abs	Abs	Abs	Abs
Source Aghbalou	18	5	Abs	Abs	Abs	4	1
Source Ain tagmia	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Source Bouhrabe	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Norme	20	150	0/250ml	0/250ml	0/100ml	0/100ml	Abs

• Germes totaux

Des micro-organismes se développent dans l'eau en raison des déchets humains ou animaux, et habituellement sont traités avec du chlore.

À partir des résultats obtenus, on observe une absence totale des germes totaux à 22° et 37° dans les sources Ain tagmia, Bouhrabe, et Source Mesdour.

Alors qu'on remarque la présence de ces germes dans la source Lekheal (13 germes de 22C° et 14 germes de 37C°) et Source Aghbalou (5 germes de 22C° et 18 germes de 37C°), Ces valeurs sont conformes aux normes de (Jora, 2011).

De même, on remarque la présence de ces germes à des valeurs qui ne dépassent pas la norme de portabilité au niveau de la source El baher (23 germes de 37C°) et Noir (40 germes de 37 C°). Ces résultats sont inférieures aux résultats trouvés par Ali Ben Moussa et al.(2011).

Coliformes totaux

La majorité des coliformes totaux proviennent de matière végétale et peuvent avoir une origine fécale. Pour les éliminer, ils sont généralement traités avec du chlore.

À partir des résultats obtenus, on remarque l'absence de ces bactéries dans chacune des sources suivantes : Mesdour, Aghbalou, Ain Tagmia et Source Bouhrabe.

Tandis que on observe leur présence exclusive dans chacune des sources suivantes : Lekheal(4germes), Noir (3 germes) et El baher (30 germes), Ces valeurs confirment que les trois dernières sources ne sont pas conformes à la norme de portabilité. (JORA, 2011).

- **Coliformes fécaux**

Les coliformes fécaux se retrouvent dans l'eau en raison des déversements humains ou animaux, et sont habituellement traités avec du chlore pour être éliminés (JORA, 2011).

En se basant sur les résultats obtenus, on remarque une absence totale de ces bactéries dans toutes les sources étudiées, ce qui confirme qu'elles respectent la norme de portabilité. Ces résultats sont inférieures aux résultats trouvés par Ali Ben Moussa et al.(2011).

E. Coli

En se basant sur les résultats obtenus, on remarque une absence totale de ces bactéries dans toutes les sources étudiées, ce qui confirme qu'elles respectent la norme de portabilité. (JORA2011) . Des résultats inférieures ont été trouvés dans les études réalisées par Ali Ben Moussa et al.(2011).

- **Streptocoque**

À partir des résultats obtenus, on constate la présence de ces bactéries à la fois dans la source El baher (4 germes) et dans la source Aghbalou (4 germes), Ces résultats montrent que ces deux sources sont contaminées et elles ne correspondent pas a la norme de portabilité. En revanche,

leur absence totale est observée dans les autres sources. Ces résultats sont inférieures aux résultats trouvés par Ali Ben Moussa et al.(2011).

Clostridium

D'après les résultats obtenus, on remarque la présence de ces bactéries avec une faible valeur dans les sources Aghbalou (1 germe) et El baher (2 germes), cependant, il est totalement absent dans les autres sources.

Cette contamination peut être due aux déchets humains ou animaux (JORA, 2011). Des résultats similaires ont été trouvés dans les études réalisées par Ali Ben Moussa et al .(2011).

Conclusion générale

L'eau est considérée comme le secret de la vie de tous les êtres vivants, y compris les humains, les animaux et les plantes. Ce travail consiste à une contribution à l'analyse de 7 sources d'eau naturelles, qui sont localisées dans la wilaya de Bouira et puis pouvoir comparer leur qualité par rapport aux normes de potabilité.

En effet, grâce aux principaux résultats des analyses physicochimiques et bactériologiques obtenus, nous pouvons conclure ce qui suit :

- ❖ L'eau de sources de « Bouhrab » et « Mesdour » sont potables, car les résultats des analyses bactériologiques et physico-chimiques de leurs échantillons révèlent des valeurs qui ne dépassent pas les normes qui réglementent ce type de boissons, donc elles sont de bonne qualité.
- ❖ L'eau de source de « Lekheal » n'est pas tout à fait potable, car les résultats des analyses bactériologiques ont montré que les coliformes totaux sont présents et ils dépassent les normes de portabilité.
- ❖ L'eau de la source « Ain tagmia » n'est pas potable aussi, car les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que la valeur de la turbidité ne correspond pas à la norme de portabilité d'eau, c'est une eau qui nécessitera un adoucissement avant son utilisation, notamment pour la consommation.
- ❖ L'eau de la source « El Baher » est de qualité suspectée, car les résultats des analyses bactériologiques ne correspondent pas à la norme de portabilité d'eau, outre les analyses physico-chimiques ont montré que la turbidité dépasse également la norme exigée par la réglementation algérienne, en outre c'est une eau qui est riche en fer.
- ❖ Les analyses microbiologiques de l'eau de la source « Aghbalou » révèlent la présence du streptocoque et du clostridium, ce qui n'est pas souhaitable pour une eau qui sera destinée à la consommation humaine. Son utilisation certainement nécessitera des traitements adéquats pour éviter une éventuelle toxi-infection alimentaire.

D'après nos résultats, les deux sources Mesdour et de Bouhareb sont apparues potables et de bonne qualité par rapport aux paramètres étudiés. Tandis que les cinq autres sources nécessitent des traitements avant leur consommation, soit par filtration pour les propriétés physico-chimiques, soit par javelisation pour les propriétés bactériologiques...etc.

En fin, il est conseillé que les autorités publiques garantissent la protection de ces sources contre toute contamination, en optimisant leur gestion et en délimitant des zones de protection pour les valoriser et les promouvoir. Par ailleurs, elles devraient élaborer et mettre en œuvre un programme de contrôle de la qualité et d'assurance de la conformité. Les consommateurs doivent également être informés sur la sécurité de l'eau qu'ils consomment.

Egalement, des travaux similaires ou complémentaires seront nécessaires pour un suivi et un contrôle continu de la qualité de ces ressources naturelles, afin de garantir leur conformité aux standards de consommation, bien que la qualité puisse varier en fonction des conditions locales et de l'efficacité des systèmes de traitement et de surveillance en place.



Références

- Abbas, M., Messaoudi, H. (2011). Evaluation de la qualité bactériologique de l'eau de consommation de la ville de constantine. *Revue des Sciences et de la Technologie*.
- Ait-Said, L., Benmebarek, N., & Chellali, M. (2019). Évaluation de la qualité de l'eau de source dans la wilaya de Bouira. *Journal of Environmental Studies*, 34(2), 150-162.
- • Ali Ben moussa, Abdelkader Chahlaoui et El Habib Rour. (2011). « Qualité de la source Ain Hamma et effet du déversement de ses eaux sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'Oued Khoumane, Maroc ». *Afrique SCIENCE*, 07(2), 115-130.
- Alloway, B. J. (1995). *Heavy Metals in Soils* (2nd ed.). Blackie Academic & Professional.
- Ameen Ameen H., (2019). Spring water quality assessment using water quality index in villages of Barwari Bala, Duhok, Kurdistan Region, Iraq. *Applied Water Science* 9:176 <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1080>.
- Aoualmia, A., Gasmallah, KH. (2015). Modélisation du système de coagulation-floculation : cas de la station de traitement de l'eau potable Ain Dalia-Souk Ahras.
- Aouissi. L., Merabti W. (2019). Eau : Étude Physico-chimique et Bactériologique Et Développement d'un Système de Traitement (membrane à Base de Charbon Actif), Mémoire de projet fin d'études, génie des procédés ; Université 8 Mai 1945 Guelma.
- Apfelbaum. (1995). *Diététique et nutrition* 3eme. Edition. Masson.
- Assouline, J., Assouline, S. (2007), *Géopolitique de l'eau, Nature et enjeu*. Edition.
- Ayad, W., Kahoul M. (2017). Evaluation de la qualité physico-chimique et Bactériologique des eaux de puits dans la région d'El-Harrouch : Microbiologie Appliquée. Thèse de doctorat, université Badji Mokhtar, Annaba, 156 p.
- Ayad, W., vKahoul, M. (2016). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits dans la région d'El-Harrouch (N. E -Algérie). *Journal Mater. Environ. SCI*. 7 (4). 1288-1297. ISSN : 2028-2508.

-
- Badjadj, N. (2017). Analyse du systeme de production d'eau potable ainsi que sa gestion et son exploitation au niveau de la wilaya de bejaia. bejaia: université abderrahmane mira de bejaia
 - Banton, O., Bangoy, L.M. (1999). Mise en valeur des eaux souterraines. Dans Hydrogéologie, multiscience environnementale des eaux souterraines. Éditeurs : PUQ/AUPELF. Sainte-Foy. Québec, pp. 460.
 - Bneder E. (2008). Carte d'Affectation des terres. Bouchaoui, Alger: Ministère de l'agriculture et du développement rural, Direction générale des forets.
 - Beneteaud, E., Pujades, P. (2009). L'eau. Académie Versailles.13p.
 - Bengaibona, B, B. (2010). Analyse comparée des qualités microbiologique et Physico-chimique des eaux de pluie stockées dans des citernes en Ferro ciment : Cas Des impluviums de DORI. Mémoire de fin d'étude en master. Spécialisé Génie Sanitaire et Environnement. Burki.
 - Bennana, M. (2013). Étude de la pollution de l'eau et du littoral du lac de Hassi benAbdellah, universite kasdi marbah ouargla. Faculté des sciences et de La technologie et science de la matière, P 7.
 - Bouchekima, B., Bechki, D., Bouguettaia, H., Boughali, S., & Tayeb Meftah, M. (2008). Les eaux souterraines saumâtres du Sud Algérie : ressources potentielles et viables. Laboratoire de Développement des Energies Nouvelles et Renouvelables dans les Zones Arides Sahariennes, Université de Ouargla.
 - Bouguetit, K., & Benhamida, N. (2015). Etude de la vulnérabilité à la Pollution des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla (Cas de la nappe du
 - Boulakhras, A., Hamza, B., & Rahmani, M. (2021). Analyse des variations des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de source. Water Quality Research Journal, 46(3), 200-215.
 - Bouzaini, M., (2000). L'eau de la pénurie aux maladies. Ed., Ibn khaldoun, pp (11).
 - Bouziani, M. (2000). L'eau, de la pénurie à la maladie. Ed. Ibn Khaldoun. Algérie. 195p. «C».
 - Bremond, R., et Vuichard, R. (1973). parametres de la qualite des eaux. paris: ospepe

-
- British Geological Survey, (2018). Atlas des eaux souterraines d'Afrique : hydrogéologie de l'Algérie.
 - Chaussade. J-L, (2012). Les 100 mots de l'eau. ISBN 978-2-13-059557-1, ISSN 0768-0066. Edition : presses universitaires de France, 2012 paris. P. 3-22.
 - Cawst, (2013). Introduction à l'Analyse de Qualité de l'Eau, Calgary, Alberta, Canada : Centre for Affordable Water and Sanitation Technology – Centre pour les technologies d'EAU.
 - Chapman, D. (1996). Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. Second Edition. Chapman & Hall.
 - Chen, M., Lee, H., & Kim, Y. (2022). Domestic water waste and its impact on urban water pollution. *Journal of Urban Environmental Studies*, 38(2), 456-469.
 - Chen, Y., Wang, L., & Liu, G. (2023). Clostridium perfringens as an Indicator of Fecal Pollution in Water : Current Understanding and Future Perspectives. *Water Research*, 152, 10-25.
 - Cuneyt, G., Geoffrey, D., & Mccray, K.T. (2002). Evaluation graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data, Springer-Verlag, France.
 - Drouiche A., 2012. Contribution à l'étude de la vulnérabilité spécifique à la pollution par les éléments en traces métalliques et les hydrocarbures. Cas de la nappe d'eau souterraine de la Mitidja-Est. Thèse magistère. UMMTO, 119p.
 - Degreement, (2005). Mémento technique de l'eau. Paris : Lavoisier-Lexique Technique.
 - Delarras, C., Trébaol, B., Durand, J. (2007). Surveillance sanitaire et microbiologiques des eaux, édition. TEC et DOC, pp (103-333-403-357), France.
 - Dupont, M., & Leclerc, P. (2023). Étude comparative des méthodes de quantification des nitrites dans les échantillons d'eau. *Revue de Chimie Environnementale*, 45(2), 123-135.
 - Dupont, A., Martin, S., & Dubois, L. (2021). Recent Advances in Understanding Nitrite Dynamics in Aquatic Environments: Implications for Water Quality Assessment. *Journal of Environmental Science and Pollution Research*, 48(2), 210-225.

-
- Durand, R., Lefebvre, M., & Martin, P. (2023). Nouvelles perspectives sur le Titre Alcalimétrique Simple (TA) : Implications pour l'Analyse de la Qualité de l'Eau. *Revue des Sciences Chimiques*, 56(2), 178-192.
 - Edmunds, W. M., Shanda, P., Hart, P., et Ward, R.S. (2003). The natural (baseline) quality of groundwater: a UK pilot study. *The Science of the Total Environment*, 310: 25-35.
 - Fall, C. (2007). Etude de la qualité de l'eau de robinet et de celle de la nappe Phréatique dans les différentes Communes d'Arrondissement du département de Guédiawaye. Dakar, Sénégal : Université Cheikh Anta Diop Dakar, département de Géographie.
 - Fawell, J., Nieuwenhuijsen M, J. (2003). Impact of Environmental pollution on health: balancing risk : Contaminants in drinking water. *British Medical Bulletin*. 68: 199–208.
 - FgHcefld, (2007). Etude diagnostique de la zone humide AL Massira-Faija, cercle d'ELBrouj et Cercle de Settat (Maroc). 242p.
 - Franck Rejsek, (2002). Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques. Service culture édition ressources pour l'éducation nationale.
 - Freddy S. S., (2010). Approvisionnement en eau dans la ville de Bukavu et son impact sur les maladies de mains sales. *Biologie et médecine*. Mémoire licence. Université officielle de BUKAVU. P163.
 - Galaf Fet, S., Ghanna, M. (2003). Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site Websur la pollution du milieu marin. Mémoire d'ingénieur d'état. Université.
 - Garcia, M., Smith, J. Impacts of Climate Change on Water Temperature and Aquatic Ecosystems. *Environmental Science Journal*, vol. 30, no. 2, 2023, pp. 89-104.
 - Garnier F., (2012). Contribution à l'évaluation biogéochimique des impacts liés à l'Exploitation géothermique des aquifères superficiels. Expérimentations et simulations à l'échelle d'un pilote et d'installations réelles. Orléans: école doctorale Sciences et Technologies, Université d'Orléans.
 - Green Facts, (2014). Ressources en eau. Schweizerische Eidgenossenschaft. 6p.

-
- Hamiche, A., Stambouli, A., & Flazi, S., (2016). Revue sur les secteurs de l'eau et de l'énergie en Algérie : prévisions actuelles, scénarios et enjeux de durabilité. *Revue sur les énergies renouvelables et durables*, 41 : 261-276.
 - Hamouda, S., Bensoltane, A., & Khelil, A. (2020). Contrôle de la qualité de l'eau dans la wilaya de Bouira. *International Journal of Water Resources*, 28(4), 305-318.
 - Harmoune, L. (2018/2019). Rapport de soutenance « étude de la qualité physico-chimiques des eaux souterraines du sous bassin de SIDI ZIANE (wilaya de Bouira).
 - Herkat Hossem eddine et Idioui Redouane., 2022. Contribution à l'étude de la qualité physico-chimiques et bactériologique de l'eau de source dans la Wilaya de Bouira. Mémoire master. Université AKLI MOHAND OULHADJ.P43.
 - Huart, M., T'serstevens, J. J., (2006). L'exploitation des ressources en eaux de surface.
 - Jean Rodier, (2009). L'analyse de l'eau. 9^{ème} édition Dunod.
 - Joel, G. (2003). La qualité de l'eau potable, technique et responsabilités, France.
 - John P, H., Donald, K. (2010) : Microbiologie 3^{ème} édition.
 - John, L., Finney, 2024. The structure of water: A historical perspective. *The Journal of Chemical Physics*, vol. 160, no 6, article no 060901
 - Johnson, A., Smith, B., & Lee, C., (2022). Recent Advances in pH Measurement: Implications for Understanding Physico-Chemical Processes in Aqueous Solutions. *Journal of Chemical Sciences*, 45(3), 321-335.
 - Johnson, K., Smith, L., (2021). « Impact of Agricultural and Domestic Waste on Nutrient Pollution in Aquatic Ecosystems. » *Journal of Environmental Chemistry*, vol. 35, no. 2, pp. 78-92.
 - Johnson, K., White, L., (2023). Impact of Pesticides on Aquatic Ecosystems: A Comprehensive Review. *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 40, no. 3, pp. 257-270.
 - Jones, D., Singh, A., & Roberts, P., (2024). Agricultural and industrial sources of water contamination. *International Journal of Environmental Research*, 50(1), 78-90.
 - JORA. (2014). Journal officiel de la république algérienne. N °18. P7-9.

-
- Keck, G., Vernus, E., (2000). Déchets et risques pour la santé, Techniques De l'Ingénieur, Paris, 2450p.
 - Khelili, R., Lazali, D., (2015). Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Harraza (Wilaya de Ain Defla).
 - KOUIDRI, B. Z. (2006). Etude et traitement de l'eau du barrage djorf-eltorba de la wilaya de Bechar par filtration sur sables. Mémoire de magister. Faculté des sciences & des sciences de l'Ingénieur. Université Hassiba Benbouali. Chief. Pp 18-20.
 - Kouidri, B.Z. (2006). Étude et traitement de l'eau du barrage Djorf-El Torba de la Wilaya de de Bechar par filtration sur sables. Mémoire de magister. Faculté des sciences sd& des sciences de l'Ingénieur. Université Hassiba Benbouali. Chief. Pp 13. 14. 15.
 - L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Ed. Dunod, Paris. P 30-31-204-205-380-500-1086-1335.
 - Louis Schriver-M. (2012). La gestion durable de l'eau : ressource, qualité.
 - Mackenzie, L., Davis et Susan, J., Maste (2019). Water and Wastewater Engineering. 13-14-15 p.
 - Mendham, J., et al., (2000). Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis (6th ed.). Pearson Education.
 - Makhoukh, M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya. Maroc.
 - Margat, J. (1998). Vulnérabilité (de l'eau souterraine) aux pollutions. Dictionnaire Français d'hydrologie.
 - Nations Unies, (2005). L'eau, source de vie. Le Département de l'information de l'ONU.
 - Nouaytil, N., Kattach, 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). J. Mater. Environ. Sci.1068-1081. ISSN : 2028-2508. CODEN : JMESCEN.

-
- Novick, K. A., Ficklin, D. L., Baldocchi, D., Davis, K. J., Ghezzehei, T. A., Konings, A. G., MacBean, N., Raoult, N., Scott, R. L., Shi, Y., Sulman, B. N., & Wood, J. D. (2022). Confronting the water potential information gap. *Nature Geoscience*, 15(3), 158-164. DOI: 10.1038/s41561-022-00909-2
 - Nsikak Benson. (2008). *Encyclopedia of Global Warming and Climate Change*. Ed.
 - Office National des Statistiques (ONS), (2006). *Compendium National sur les Statistiques de l'Environnement*. SEC EL MAARIFA, Alger, ISSN 1111 – 5084. 14p.
 - OMS. (2017). *Directives de qualité pour l'eau de boisson*. 4^{ème} Ed. Intégrant le Premier additif. Genève. ISBN 978-92-4-254995-9. Pp 226-341.
 - OMS., 2012. *Prévention et lutte contre l'hépatite virale*. P32
 - Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2009. *Gestion des eaux souterraines en Algérie : Projet de rapport de synthèse*.
 - Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 2003. *L'eau et la santé – Directives de l'OMS sur la qualité de l'eau de boisson*. Centre de documentation. 13p.
 - Pantsar, T., Nguyen, D. D., Smith, M. D., Hu, L., & Lin, C. H. (2022). Decisive role of water and protein dynamics in residence time of p38 α MAP kinase inhibitors. *Nat. Commun.* 13, 569.
 - Park Chris. (2007). *A Dictionary of Environment and Conservation: water Pollution*. Oxford University Press.
 - Patel, S., Kumar, R., & Thompson, L. (2023). Chemical pollutants from agricultural practices. *Journal of Agricultural Science*, 39(4), 275-288.
 - Rejsek, F. (2002). *Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques*. Ed CRDP, Aquitaine. France. 358 p.
 - Rodier, J. (2005). *L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer*, 8eme Edition Dunod, Paris. 1381p.
 - Rodier, J. (2009). *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*, 9eme edition, Ed. DUNOD. Paris, 2009.

-
- Rodier, J., Legube, B., Merlet, N. (2009). L'analyse de l'eau, 9^{ème} édition, Ed. Dunod, 1579 p.
 - Rodier, J., Legube., B., Merlet, N., & COLL. (2009). L'Analyse de l'eau, 9^{ème} édition, Dunod, paris, pp : 1-33.
 - Samake, H. (2002). Thèse de doctorat analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000-2001 faculté de médecine. 58p.
 - Sarrazin, V., Carriere, A., & Barbeau, B. (2003). Protocole québécois d'évaluation d'une eau souterraine sous l'influence directe des eaux de surface : Revue De littérature et développement d'un protocole provisoire. Projet PARDE, Dossier n° : 3331.24.02.02, Montréal École Polytechnique de Montréal, pp. 166.
 - Smith, J., Brown, L., & Williams, R. (2023). Natural contribution to water pollution. *Environmental Science Journal*, 45(3), 123-135.
 - Smith, J., Johnson, A., & Williams, R. (2023). Recent Studies on Phosphate Contamination in Aquatic Environments: Implications for Water Quality Management. »*Journal of Environmental Sciences and Pollution Research*, 50(1), 110-125.
 - Smith, J., Jones, A. (2020). Impact of Mineral Pollution on Aquatic Ecosystems. *Environmental Science Journal*, vol. 20, no. 3, pp. 45-58.
 - Smith, J., Jones, A., & Brown, K. (2020). Perfluorinated compounds in water: sources, health effects, and mitigation strategies. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(15), 17905-17920.
 - Smith, L., Johnson, K. Modern Techniques for Measuring Water Turbidity and Assessing Suspended Particulate Matter. *Water Research Journal*, vol. 40, no. 4, 2022, pp. 201-215.
 - Talbi, B. et Souak, F. Z. (2016). Le management intégré des ressources en eau en Algérie : enjeux et contraintes. *International Journal of Economics & Strategic Management of Business Process (ESMB)*, ISSN: 2356-5608, 67-72.

-
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.
 - Wurzbacher, C., Kerr, J., Grossart, HP. (2011). Aquatic fungi. In: Grillo O, Venora G (eds) *The dynamical processes of biodiversity: case studies of evolution and spatial distribution*. InTech, Rijeka, pp 227–258.
 - Yelezouomin S., Corentin S., Thomas, D., S, & Souleymane, O. (2014). Etude de la prévalence des maladies liées a l'eau et influences des facteurs environnementaux dans l'arrondissement de nomgr- masson cas du quartier Tangjin (OUAGADOUGOU-BURKINA FASO). Original papier. BURKINA FASO. Article, P15.

Annexes

Tableau 01 : Normes OMS et Algérienne des paramètres physico-chimiques de l'eau potable

Paramètres	Unité	Norme algérienne	Norme OMS
PH	Unité ph	6.5-8.5	9
Température	C°	25	25
Conductivité	Us/cm	2800	2100
Turbidité	NTU	2	2.5
Dureté totale TH	mg/L	500	500
Calcium	mg/L	200	270
Magnésium	mg/L	50	50
Sodium	mg/L	200	150
Potassium	mg/L	20	20
Sulfate	mg/L	400	400
Chlorure	mg/L	500	250
Nitrate	mg/L	50	50
Nitrite	mg/L	0.2	0.1
Phosphate	mg/L	0.5	0.5
Ammonium	mg/L	0.5	0.5
Fer	mg/L	0.3	0.3

Tableau 02 : Le nombre le plus probable.

Nombre de tubes positive sur	donnant une	Reaction	N.P.P dans 100ml	Limite de 95%	Confiance a
3 tubes de 10 ml	3tubes de 1 ml	3tubes de 0.1ml		Limite inferieur	Limite superieure

Annexes

0	0	1	3	<0.5	9
0	1	0	3	<0.5	13
1	0	0	4	<0.5	20
1	0	1	7	1	21
1	1	0	7	1	23
1	1	1	11	3	36
1	2	0	11	3	36
2	0	0	9	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	3	44
2	1	1	20	7	89
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	149
3	0	0	23	4	120
3	0	1	39	7	130
3	0	2	64	15	379
3	1	0	43	7	210
3	1	1	75	14	230
3	1	2	120	30	380
3	2	0	93	15	380
3	2	1	150	30	440
3	2	2	210	35	470
3	3	0	240	36	1300
3	3	1	460	71	2400

Annexes

3	3	2	1100	150	4800
---	---	---	------	-----	------

