

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou  
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques  
Département d'Écologie et Environnement



Mémoire de fin de cycle universitaire

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Écologie et Environnement

Spécialité : Écologie Animale

Thème

**Caractérisation physico-chimique et bactériologique de la  
source d'eau Ath Aggad sur deux périodes d'échantillonnage  
au niveau de la commune d'Ath Ouacif (Tizi-Ouzou)**

**Présenté par :**

M<sup>elle</sup> NAIT CHABANE Lyticia

M<sup>elle</sup> OSMANI Dyhia

**Soutenu devant le jury :**

|  |     |       |
|--|-----|-------|
| <b>Président :</b> Dr BERRADJ O.                 | MCA | UMMTO |
| <b>Promoteur :</b> Dr MEZANI S.                  | MCA | UMMTO |
| <b>Examinatrice :</b> M <sup>me</sup> YAKOUBI S. | MAA | UMMTO |

Année universitaire : 2023/2024

## *Remerciements*

*Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur Dr MEZANI, pour son encadrement, sa patience et sa confiance tout au long de ce travail de recherche. Ses précieux conseils, son expertise et son soutien inébranlable ont été d'une aide inestimable et ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail.*

*Merci également aux membres du jury de notre soutenance de mémoire Dr BERRADJ et Mme YAKOUBI pour avoir accepté de faire partie du jury. Leurs remarques et suggestions seront précieuses et nous permettra d'en améliorer la qualité.*

*Nos remerciements vont également à l'ensemble des professeurs du département de Sciences agronomiques et science biologiques de l'Université Mouloud MAMMERI pour leur enseignement de qualité et les connaissances qu'ils nous ont transmises durant nos années d'études. Leur passion et leur dévouement pour la recherche nous ont inspiré et motivé à poursuivre nos propres questionnements scientifiques.*

*Nous remercions la cheffe de service laboratoire de l'ADE de Boukhalfa Madame LADJEL, et toute l'équipe du laboratoire qui ont contribué à la réussite de notre stage dans le cadre de cette étude. Leurs retours ont enrichi ce travail et nous ont permis de questionner et de réorienter notre problématique de mémoire.*

*Nous ne saurions oublier nos familles pour leur soutien indéfectible et pour avoir toujours cru en nous. Leurs encouragements ont été notre refuge et notre motivation durant tout le parcours académique.*

*Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Que ce soit à travers des discussions enrichissantes, des conseils ou simplement par leur présence, leur contribution a été précieuse.*

*Ce mémoire est le résultat d'une collaboration tant collective que personnelle, et nous sommes extrêmement reconnaissantes envers tous ceux qui nous ont soutenus.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail marquant de ma vie à la mémoire de mon grand-père disparu trop tôt.  
J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme  
preuve de reconnaissance de la part de sa petite fille qui a toujours prié pour le salut de  
son âme. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde, j'espère de tout  
mon cœur qu'il sera fière de moi là où il est*

*À ma grand-mère*

*Celle qui veille sur moi depuis ma naissance, merci pour ce que tu as fait pour nous.  
Que dieu te protège et longévité.*

*À mon cher père*

*L'homme le plus courageux, qui m'a toujours soutenu avec tout ce qu'il peut, aujourd'hui  
je te dis que je suis fière d'être ta fille j'ai tellement de la chance de t'avoir je t'aime papa.*

*À ma chère mère*

*La lumière de ma vie, celle qui me redonne le sourire à chaque fois que je me sens triste,  
merci d'être à mes côtés, que dieu te garde pour moi et merci pour tes sacrifices et ta  
patience je t'aime de tout mon cœur maman.*

*À ma grande sœur Sassia*

*Merci d'être la 2eme maman pour moi, je n'oublierai jamais tes conseils et tes mots  
précieux, je t'aime.*

*À ma sœur Louisa*

*Ma confidente, la prunelle de mes yeux, merci d'exister, je t'aime très fort ma préférée*

*Je dédie ce modeste travail à toute la Famille NAIT CHABANE.*

*À mes chères copines*

*Yasmine, Celine, Kenza, Fatima, Amel, Sarah, Aldjiya, Sara.*

*À ma chère binôme*

*Dyhia Je te dis merci pour ton aide, et pour ton amitié durant ces 4 ans.*

*À mes chers amis*

*Mheni, Nordine, Mokrane, Massi, Boussad, Yanis.*

*Lyticia*

## *Dédicace*

*À ma chère grand-mère*

*Je dédie ce travail à votre mémoire, en reconnaissance infinie pour l'amour et le soutien que vous m'avez offerts tout au long de mon cheminement académique. Votre dévouement et votre sagesse ont été les fondations de mon parcours, et votre absence laisse un vide que seule votre présence pouvait combler. Que cet hommage soit le reflet de ma profonde gratitude et de l'impact indélébile que vous avez eu sur ma vie.*

*À ma chère mère*

*Dont le soutien constant et les encouragements ininterrompus ont constitué le socle sur lequel repose ma réussite. Ton amour et tes sacrifices ont illuminé chaque étape de cette aventure.*

*À mes frères et sœur*

*Pour votre présence assidue et votre soutien inestimable tout au long de ce cheminement.*

*À Mohned,*

*Pour ton soutien, et ta compréhension. Ta présence a été une source précieuse de force et d'inspiration. Je te remercie sincèrement d'avoir cru en moi et de m'avoir accompagné.*

*À mes amis proches*

*Mheni, Sara, Kamilia*

*Pour votre compréhension empathique et votre soutien moral, qui ont adouci les moments de doute et de fatigue.*

*À ma chère binôme Lytcia*

*Pour ton engagement résolu, ta constance et ta collaboration précieuse.*

*Notre coopération étroite a considérablement enrichi cette expérience et a été déterminante pour son succès.*

*Dyhia*

**OMS** : Organisation mondiale de la santé

**pH** : Potentiel hydrogène

**ADE** : L'Algérienne des eaux

**C** : Colonies

**RS** : Résidus secs

**DPD** : Diéthyle-p-phénylènediamine

**EDTA** : Éthylènediaminetétraacétique

**NTU** : unité de turbidité néphélométrique

**TA** : Titre alcalimétrique

**TAC** : Titre alcalimétrique complet

**TH** : Titre hydrotimétrique

**DC** : Double concentration

**SC** : Simple concentration

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : Le cycle de l'eau.....   | 3  |
| Figure 2 : Schéma comptable montre les différents bilans de l'empreinte eau. ....                 | 6  |
| Figure 3 :Proportion des maladies à transmission hydrique en Algérie. ....                        | 19 |
| Figure 4 : Localisation de La source Anfoug. ....   | 20 |
| Figure 5 : Source d'eau "Anfoug". ....  | 20 |
| Figure 6 : Couvert végétal de la zone d'étude.....  | 21 |
| Figure 7 : Réalisation de test chlore pour l'eau de source. ....                                  | 23 |
| Figure 8 : Les flacons d'eau destinés à l'analyse physico-chimique et bactériologique.....        | 24 |
| Figure 9 : pH-mètre.....  | 25 |
| Figure 10 : Conductimètre.....  | 25 |
| Figure 11 : Turbidimètre. ....  | 26 |
| Figure 12 : Détermination de la dureté.....   | 27 |
| Figure 13 : Dosage de calcium. ....   | 28 |
| Figure 14 : Détermination de TAC. ....  | 29 |
| Figure 15 : Dosage de chlorure.....   | 30 |
| Figure 16 : Dosage de la matière organique. ....  | 31 |
| Figure 17 : Dosage de l'ammonium. ....  | 33 |
| Figure 18 : Dosage de nitrite. ....   | 34 |
| Figure 19 : Dosage de nitrate.....  | 35 |
| Figure 20 : Dosage de fer. ....   | 36 |
| Figure 21 : Photomètre à flamme.....  | 37 |
| Figure 22 : Rampe de filtration.....  | 38 |
| Figure 23 : Membrane filtrante de porosité 0,45. ....   | 40 |
| Figure 24 : Test de présomption pour les coliformes totaux. ....                                  | 42 |
| Figure 25 : Test de confirmation pour les coliformes totaux. ....                                 | 43 |
| Figure 26 : Milieu de culture Rothe. ....   | 44 |
| Figure 27 : Test de confirmation pour les streptocoques. ....                                     | 45 |
| Figure 28 : Résultats des mesures de la température hivernale et estivale de l'eau de source..... | 47 |
| Figure 29 : Valeurs de pH de l'eau de source en hiver et en été. ....                             | 48 |
| Figure 30 : Niveaux de conductivité de l'eau durant l'hiver et l'été. ....                        | 49 |
| Figure 31 : Niveaux de turbidité de l'eau durant l'hiver et l'été. ....                           | 50 |
| Figure 32 : Résultats d'analyse de la dureté totale pour la période hivernale et estivale. ....   | 51 |

|  |    |
|--|----|
| Figure 33 : Concentration de calcium dans l'eau de source pour les périodes hivernale et estivale.....                               | 52 |
| Figure 34 : Concentration de magnésium dans l'eau de source pour les périodes hivernale et estivale.....                             | 53 |
| Figure 35 : Concentration de potassium dans l'eau de source pour les périodes hivernale et estivale.....                             | 54 |
| Figure 36 : Concentration de sodium dans l'eau de source pour les périodes hivernale et estivale.....                                | 55 |
| Figure 37 : Variation du titre alcalimétrique complet de l'eau de source en hiver et en été...                                       | 56 |
| Figure 38 : Concentration de bicarbonates dans l'eau de source pour les périodes hivernale et estivale.....                          | 57 |
| Figure 39 : Concentration de chlorures dans l'eau de source pour les périodes hivernale et estivale.....                             | 58 |
| Figure 40 : Concentration de sulfates dans l'eau de source pour les périodes hivernale et estivale.....                              | 59 |
| Figure 41 : Variation des résidus secs pendant la période hivernale et estivale.....   | 60 |
| Figure 42 : Variation des concentrations d'ammonium dans l'eau de source durant les périodes hivernale et estivale.....              | 61 |
| Figure 43 : Variation des concentrations de nitrates dans l'eau de source durant les périodes hivernale et estivale.....             | 62 |
| Figure 44 : Variation des concentrations de nitrites dans l'eau de source durant les périodes hivernale et estivale.....             | 63 |
| Figure 45 : Variation des concentrations de phosphates dans l'eau de source durant les périodes hivernale et estivale.....           | 64 |
| Figure 46 : Variation des concentrations de la matière organique dans l'eau de source durant les périodes hivernale et estivale..... | 65 |
| Figure 47 : Variation des concentrations de fer dans l'eau de source durant les périodes hivernale et estivale.....                  | 66 |

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1 : classification de l'eau en fonction de son potentiel hydrogène. ....                                  | 9  |
| Tableau 2 : Croissance de la conductivité en fonction de la minéralisation de l'eau.....                          | 10 |
| Tableau 3 : Concentrations des eaux en ions Na <sup>+</sup> et K <sup>+</sup> selon les terrains traversées. .... | 11 |
| Tableau 4 : Qualité de l'eau selon la concentration des résidus secs. ....  | 12 |
| Tableau 5 : Classification des eaux selon la dureté. ....   | 13 |
| Tableau 6 : Résultats des analyses bactériologiques de l'eau de source Anfoug. ....                               | 66 |

## *Sommaire*

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

### *Introduction*

#### *Premier chapitre*

|   |    |
|---|----|
| 1. Qu'est ce que l'eau ? .....                          | 3  |
| 2. Cycle de l'eau .....                                 | 3  |
| 3. Sources d'eau.....                                   | 4  |
| 4. Fonctions de l'eau.....                              | 4  |
| 4.1 Transport des particules .....                      | 5  |
| 4.2 Santé des écosystèmes.....                          | 5  |
| 4.3 Habitat vital des espèces .....                     | 5  |
| 4.4 Production des ressources .....                     | 5  |
| 4.5 Pratiques culturelles.....                          | 5  |
| 5. Empreinte eau .....                                  | 5  |
| 6. Législation .....                                    | 6  |
| 7. Paramètres déterminants la potabilité de l'eau ..... | 7  |
| 7.1 Paramètres organoleptiques.....                     | 7  |
| 7.1.1 Goût.....   | 7  |
| 7.1.2 Odeur.....  | 8  |
| 7.1.3 Couleur.....                                      | 8  |
| 7.2 Paramètres physico-chimiques .....                  | 8  |
| 7.2.1 Température.....                                  | 8  |
| 7.2.2 Potentiel hydrogène (pH) .....                    | 8  |
| 7.2.3 Salinité.....                                     | 9  |
| 7.2.4 Conductivité électrique .....                     | 10 |

|                              |   |    |
|------------------------------|---|----|
| 7.2.5                        | Cations.....                                      | 10 |
| 7.2.6                        | Anions .....                                      | 11 |
| 7.2.7                        | Turbidité.....                                    | 12 |
| 7.2.8                        | Résidus secs.....                                 | 12 |
| 7.2.9                        | Dureté.....                                       | 12 |
| 7.3                          | Paramètres indésirables.....                      | 13 |
| 7.3.1                        | Aluminium (Al).....                               | 13 |
| 7.3.2                        | Cuivre (Cu).....                                  | 13 |
| 7.3.3                        | Fer (Fe).....                                     | 13 |
| 7.3.4                        | Manganèse (Mn).....                               | 14 |
| 7.3.5                        | Zinc (Zn) .....                                   | 14 |
| 7.4                          | Paramètres de toxicité .....                      | 14 |
| 7.5                          | Paramètres de pollution de l'eau.....             | 14 |
| 7.5.1                        | Composés azotés.....                              | 15 |
| 7.5.2                        | Phosphate .....                                   | 15 |
| 7.6                          | Paramètres bactériologiques.....                  | 15 |
| 7.6.1                        | Les coliformes totaux.....                        | 15 |
| 7.6.2                        | <i>Escherichia coli</i> .....                     | 16 |
| 7.6.3                        | Streptocoques fécaux .....                        | 16 |
| 8.                           | Pollution de l'eau .....                          | 16 |
| 8.1                          | Types de pollution de l'eau .....                 | 17 |
| 9.                           | Maladies à transmission hydrique en Algérie ..... | 18 |
| <br><i>Deuxième chapitre</i> |   |    |
| 1.                           | Présentation de la zone d'étude .....             | 20 |
| 1.1                          | Situation géographique de la source d'eau.....    | 20 |
| 1.2                          | Situation climatique .....                        | 21 |
| 1.3                          | Sol .....   | 21 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.4   | Couvert végétal.....  | 21 |
| 2.    | Matériels et méthodes .....   | 21 |
| 2.1   | Présentation de laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE).....     | 21 |
| 2.2   | Stérilisation du matériel de laboratoire .....                      | 22 |
| 2.3   | Échantillonnage .....   | 22 |
| 2.3.1 | Analyse des paramètres organoleptiques .....                        | 22 |
| 2.3.2 | Test chlore .....   | 23 |
| 2.3.3 | Échantillonnage pour analyse physico-chimique .....                 | 23 |
| 2.3.4 | Échantillonnage pour analyse bactériologique.....                   | 23 |
| 2.4   | Méthodes d'analyse physicochimique .....                            | 24 |
| 2.4.1 | Analyses électrochimiques.....                                      | 24 |
| 2.4.2 | Analyses volumétriques .....  | 26 |
| 2.4.3 | Analyses spectro-photométriques.....                                | 32 |
| 2.4.4 | Analyses photométriques à flammes .....                             | 36 |
| 2.4.5 | Dosage des résidus secs .....                                       | 37 |
| 2.5   | Méthodes d'analyse bactériologique.....                             | 37 |
| 2.5.1 | Principe de filtration sur membrane.....                            | 37 |
| 2.5.2 | Principe de méthode du NPP (Nombre le plus probable).....           | 38 |
| 2.5.3 | Recherche des bactéries coliformes fécaux et Escherichia coli ..... | 39 |
| 2.5.4 | Recherche des streptocoques fécaux.....                             | 43 |

### *Troisième chapitre*

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Résultats des paramètres organoleptiques ..... | 46 |
| 1.1 | Odeur.....                                     | 46 |
| 1.2 | Gout .....                                     | 46 |
| 1.3 | Couleur.....                                   | 46 |
| 2.  | Résultats des analyses physico-chimiques ..... | 46 |
| 2.1 | Température.....                               | 46 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 2.2    | Potentiel hydrogène .....                                | 47 |
| 2.3    | Conductivité électrique .....                            | 48 |
| 2.4    | Turbidité .....  | 49 |
| 2.5    | Résultats des paramètres de minéralisation globale ..... | 50 |
| 2.5.1  | Dureté totale .....                                      | 50 |
| 2.5.2  | Dureté calcique .....                                    | 51 |
| 2.5.3  | Dureté magnésienne.....                                  | 52 |
| 2.5.4  | Potassium .....  | 53 |
| 2.5.5  | Sodium .....   | 54 |
| 2.5.6  | Titre alcalimétrique complet .....                       | 55 |
| 2.5.7  | Bicarbonates .....                                       | 56 |
| 2.5.8  | Chlorure.....  | 57 |
| 2.5.9  | Sulfates.....  | 58 |
| 2.5.10 | Résidus secs à 105 °C .....                              | 59 |
| 2.6    | Résultats des paramètres de pollution.....               | 60 |
| 2.6.1  | Ammonium.....  | 60 |
| 2.6.2  | Nitrates .....   | 61 |
| 2.6.3  | Nitrites.....  | 62 |
| 2.6.4  | Phosphates .....   | 63 |
| 2.6.5  | Matière organique .....                                  | 64 |
| 2.7    | Résultats des paramètres indésirables.....               | 65 |
| 2.7.1  | Fer .....  | 65 |
| 3.     | Résultats des analyses bactériologiques.....             | 66 |

### ***Conclusion***

### ***Références bibliographiques***

### ***Résumé***

# *Introduction*

Bien que les scientifiques débattent de l'origine de l'eau, il est largement admis qu'elle est étroitement liée aux premiers instants de la Terre. Cela est soutenu par la découverte des anciennes roches sédimentaires datant de 3,8 milliard d'années au Groenland, qui témoignent de la présence de l'eau depuis cette époque, car la formation des roches sédimentaires dépend de l'eau (Anctil, 2017).

La quantité totale de l'eau sur Terre est chiffrée à environ 138 000 000 km<sup>3</sup> sachant qu'un km<sup>3</sup> équivalant à un milliard de litres. Les océans représentent 96,5 % de cette quantité, tandis que les 3,5 % restants se répartissent principalement entre les réserves glacières, les eaux souterraines, les eaux de surface, l'atmosphère et la biomasse, exclusivement 2,5 % de l'eau est potable et la grande majorité de cette ressource est difficilement disponible pour la consommation (Anctil, 2017).

Les eaux potables sont en effet des eaux douces qui contiennent une faible concentration de sels dissous par opposition à l'eau de mer, ce qui les rend appropriée pour la consommation. Ces eaux sont réparties d'une façon inégale sur la surface du globe en raison de plusieurs facteurs naturels, certaines régions bénéficient d'abondantes réserves d'eau douce, tandis que d'autres souffrent des pénuries chroniques.

L'Algérie avec son vaste territoire, certaines régions sont caractérisées par des ressources en eaux douces limitées, irrégulières et principalement concentrées dans la zone côtière. Le volume total de précipitations est estimé à environ 100 milliards de m<sup>3</sup> par année, dont 12,4 milliards s'écoule en surface et seulement 6 milliards sont exploitables, compte tenu des conditions hydrologiques, topographiques et géologiques favorables. Les réserves en eaux souterraines au Nord estimées à 1,8 milliards de m<sup>3</sup> alors que la capacité du Sud est chiffrée à 6000 milliards, mais, bien que considérable, ce volume est difficilement exploitable et renouvelable, avec seulement 4 à 5 milliards de m<sup>3</sup> utilisable chaque année (Kettab, 2001).

Les années récentes ont peut-être connu des sécheresses prolongées ou des schémas de précipitations irréguliers, réduisant ainsi la recharge des aquifères. De plus, l'augmentation de la demande en eau due à la croissance démographique et aux activités économiques a probablement exacerbé la pression sur les ressources en eau disponibles. Ces facteurs combinés peuvent expliquer pourquoi les eaux souterraines exploitables ne suffisent plus à satisfaire les besoins en eau dans la région de Tizi-Ouzou ces dernières années.

La réduction de niveau d'eau peut concentrer les polluants, augmentant ainsi le risque de contamination de l'eau souterraine. Certaines personnes sont persuadées que l'eau

provenant des sources des cours d'eau est intrinsèquement pure et potable car elle est couramment consommée sans incident, ce qui peut engendrer une confiance quant à sa qualité. Néanmoins, il est important de souligner que même l'eau de source peut être souillée par des agents pathogènes ou des substances nuisibles, et il est donc recommandé de la soumettre à une analyse avant de la boire afin de garantir sa salubrité.

À travers notre étude, nous allons analyser et caractériser les paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de la source d'eau Ath Aggad sur deux périodes d'échantillonnage au niveau de la commune d'Ath Ouacif (Wilaya de Tizi-Ouzou), en se basant sur les normes algériennes en vigueur de potabilité des eaux.

Notre travail est structuré en trois chapitres qui aborderont successivement les aspects suivants : dans le premier chapitre, nous explorons les généralités sur l'eau, dans le deuxième chapitre, nous penchons sur la localisation et la présentation de la source d'eau étudiée, puis nous décrivons l'ensemble de matériels et les méthodes utilisées. Dans le dernier chapitre, nous annonçant les résultats et leurs discussions. Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion et quelques perspectives sur de la source d'eau étudiée.

## *Premier chapitre*

---

# *Généralités sur l'eau*

## 1. Qu'est ce que l'eau ?

L'eau est un composé chimique transparent, incolore, inodore et insipide. Cet élément se distingue par sa capacité à exister sous les trois états de la matière. Il subit des transformations en fonction des variations de température et de pression, ce qui le rend exceptionnel (Ouiles, 2021).

Selon Lécuyer (2014), l'eau est constituée grâce à des liaisons covalentes entre un atome d'oxygène et deux atomes d'hydrogène, formant une géométrie d'un tétraèdre, avec un angle de 105°, due à la répulsion des paires d'électrons non liées sur l'atome d'oxygène.

## 2. Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau est un phénomène par lequel l'eau se déplace à travers des différents réservoirs de la planète (Figure 1). Ce processus est alimenté par l'énergie solaire et le flux géothermique de la Terre qui conduisent à l'évaporation de l'eau des océans, des surfaces terrestres, ainsi que l'eau contenant dans les tissus végétaux, puis elle se condense dans l'atmosphère et retombe sous forme de précipitations, contribuant à nourrir les différents éléments de l'environnement, la cryosphère dans les régions froides, et une partie est captée par la végétation et retourne dans l'atmosphère par évapotranspiration ou sublimation. Dans les régions chaudes, les pluies non interceptées par la flore, forme les eaux de ruissèlement qui rejoignent les cours d'eau, elles peuvent également s'infiltrer dans le sol pour reconstituer les nappes phréatiques, bouclant ainsi le cycle (Gilli et al., 2016).

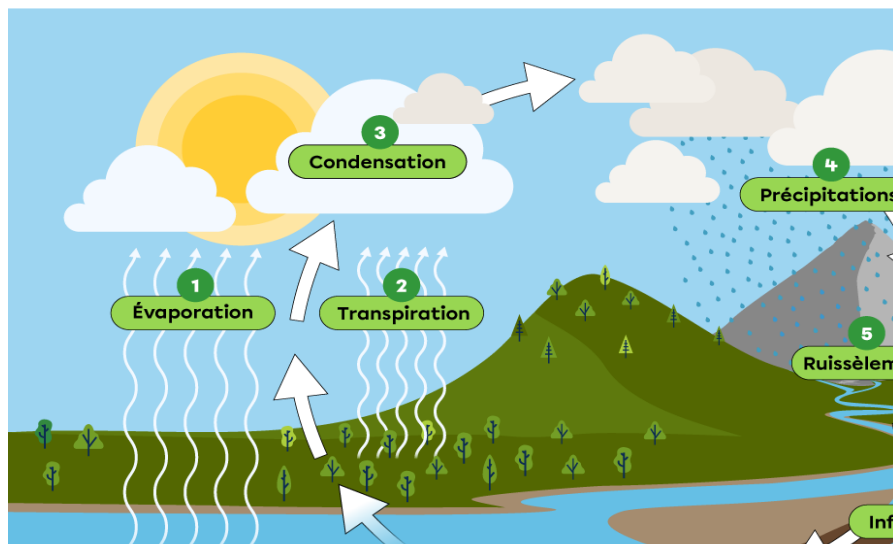


Figure 1 : Le cycle de l'eau (Anonyme, 2023).

### 3. Sources d'eau

Une source d'eau est une zone en amont d'un système lotique, où l'eau souterraine jaillit naturellement du sol, elle est l'origine d'approvisionnement en eaux, donc de cet endroit l'eau entame son périple à travers le paysage, formant ainsi le biotope et apportant des nutriments et de l'humidité aux écosystèmes qu'elle traverse.

Diverses classifications ont été avancées pour désigner les sources en raison de la complexité des processus qui influent sur leur formation. De plus, les caractères utilisés pour définir ces sources peuvent varier en fonction des besoins spécifiques des géologues, des hydrologues, des écologues et d'autres scientifiques qui se penchent sur les cours d'eau.

Trois critères proposés pour la classification des sources (Fouché, 2013) :

**La géologie** : les caractéristiques géologiques du terrain, tel que nature des roches et des sols qui influencent la formation et la localisation des sources.

**La nature de la perméabilité** : la capacité du sol ou de la roche à permettre à l'eau de s'infiltrer et de circuler.

**L'origine hydrodynamique** : ce critère se réfère à la dynamique de l'eau souterraine y compris les mouvements et la pression.

#### 3.1 Classification des sources d'eau selon la température

Selon la différence entre la température moyenne annuelle de l'eau et celle de l'air, on distingue trois types de sources d'eau (ACF, 2006) :

- Si la température de l'eau est supérieure de plus de 4 °C à celle de l'air, elle est qualifiée de source thermale.
- Si la température de l'eau est équivalente à celle de l'air, elle est considérée comme une source normale.
- Si la température de l'eau est inférieure de moins de 4 °C par rapport à celle de l'air, on parle de source hypothermale.

### 4. Fonctions de l'eau

On compte cinq fonctions fondamentales pour l'eau dans le système biogéographique (Falkenmark et al., 2019), en particulier, ce qui est relatif aux répartitions des espèces et les communautés à travers la surface de la Terre :

#### **4.1 Transport des particules**

L'eau est capable d'induire une altération chimique et une fragmentation mécanique pour les roches, elle exerce une force sur les particules générées, les transports des plus petits aux gros fragments de roches, contribue ainsi à la formation des reliefs, et véhicule également des nutriments en suspension nécessaires au développement des organismes vivants.

#### **4.2 Santé des écosystèmes**

Cette fonction réside dans la capacité de l'eau à fournir les éléments nécessaires à la vie des végétaux, des animaux, et des microorganismes. En effet, l'eau est indispensable pour assurer l'hydratation des êtres vivants, favoriser la croissance des plantes et maintenir l'équilibre des écosystèmes aquatiques.

#### **4.3 Habitat vital des espèces**

L'habitat se réfère au lieu de vie, de reproduction et de nourriture des espèces aquatiques, les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau jouent un rôle dans la prospérité de ces espèces en conditionnant leur capacité à se développer et survivre.

#### **4.4 Production des ressources**

Les végétaux recourent à l'eau afin d'assimiler les éléments nutritifs du sol, de réaliser la photosynthèse et de préserver leur intégrité cellulaire, de plus une irrigation suffisante revêt une importance capitale pour garantir des rendements agricoles optimaux.

#### **4.5 Pratiques culturelles**

L'eau est liée à des rituels religieux, elle est employée dans les rituels de baptême, de purification et de rétablissement, elle occupe aussi une place dans les arts visuels, la littérature et la musique, elle crée un environnement apaisant et relaxant ce qui fait un élément indispensable des loisirs pour beaucoup de gens.

### **5. Empreinte eau**

L'empreinte eau a d'abord été introduite sous l'angle de l'eau virtuelle, soulignant les relations entre la production de biens et la pollution de l'eau à l'échelle mondiale. Cela signifie que certains pays importent des biens nécessitant une importante quantité d'eau pour leur fabrication, ce qui leur permet d'externaliser leur consommation d'eau en l'achetant à des pays où cette ressource est plus abondante. Ainsi, les pays importateurs peuvent préserver

leurs propres ressources en eau tout en répondant à la demande de leurs citoyens pour ces biens.

Plus tard dans les années 2000, cela été repris sous l'expression water foot print, celle-là est un outil de mesure qui évalue la quantité totale d'eau nécessaire à la production. Elle révèle les pressions exercées localement par nos façons de consommation sur les ressources hydriques en soulignant que de nombreux pays doivent importer des biens, en particulier des produits agricoles, qui requièrent une grande quantité d'eau pour leur production. Ainsi l'empreinte eau permet de mieux appréhender l'impact de consommation sur les ressources en eau, et elle peut être estimée tant de point de vue du producteur que de point de vue de consommateur (Figure 2) (WWF, 2010).

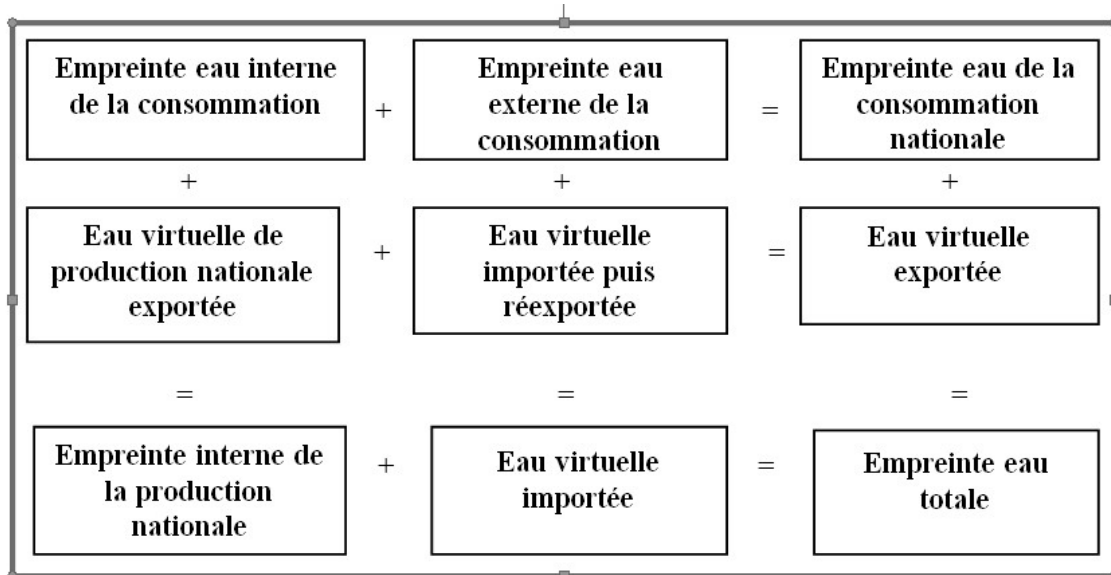


Figure 2 : Schéma comptable montre les différents bilans de l'empreinte eau (Zimmer, 2013).

## 6. Législation

L'article 19 de la Constitution algérienne concerne les ressources naturelles. Il stipule que les richesses naturelles, notamment l'eau, sont la propriété de l'État. Elles sont gérées et exploitées dans l'intérêt de la nation, dans le respect de l'environnement et de la préservation des équilibres écologiques et la loi n°05-12 du 04 août 2005 modifiée et complétée par l'ordonnance n°09-12, régit le domaine de l'eau. Cette loi comporte 183 articles, elle établit un cadre légal pour la gestion, la protection et la préservation des ressources hydriques en

Algérie, définissent les droits et les responsabilités des différents organismes impliqués dans sa gestion.

Cette loi est exécutée au moyen de plusieurs textes réglementaires, 35 décrets qui détaillent les modalités d'application de texte législatif n°05-12, et fixent les conditions d'application et mettre en place les procédures nécessaires à sa mise en œuvre, parmi ces décrets :

- Décret exécutif n° 11-125 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.
- Décret exécutif n° 09-414 fixant la nature, la périodicité et les méthodes d'analyse de l'eau de consommation humaine.
- Décret exécutif n° 10-26 fixant les méthodes et les produits chimiques utilisés pour le traitement et la correction des eaux de consommation humaine.

## **7. Paramètres déterminants la potabilité de l'eau**

D'après les directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'eau potable est définie comme une eau présentant des caractéristiques microbiennes, chimiques et physiques conformes à des normes établies afin d'assurer sa qualité pour la consommation. En d'autres termes, l'eau potable doit être dépourvue de contaminants microbiens tels que les bactéries, les virus et les parasites, ainsi que de substances chimiques nocives, tout en respectant des critères physiques tels que la clarté et le goût. En veillant à ce que l'eau potable réponde à ces normes, il est possible de réduire les risques pour la santé liés à la consommation d'eau contaminée.

### **7.1 Paramètres organoleptiques**

Les caractères organoleptiques de l'eau se réfèrent à ses propriétés perceptibles par les sens.

#### **7.1.1 Goût**

Correspond à l'ensemble des perceptions ressenties après la stimulation des papilles gustatives par des substances solubles. L'eau pure a un goût neutre, mais elle peut prendre le goût des substances dissoutes en elle, comme les minéraux ou les produits chimiques.

### 7.1.2 Odeur

L'eau pure est inodore, mais elle peut développer une odeur en raison de la présence de certaines substances volatiles inhalées par l'organe olfactif.

### 7.1.3 Couleur

Elle s'agit de la propriété optique qui consiste à altérer la composition spectrale de la lumière transmise. On la qualifie de "vraie" lorsque la couleur est uniquement causée par les substances dissoutes, et de "apparente" lorsque la couleur est due aux substances dissoutes et en suspension.

## 7.2 Paramètres physico-chimiques

### 7.2.1 Température

Les écosystèmes aquatiques ont une stabilité thermique plus élevée que les milieux terrestres, ce qui signifie que la température de l'eau varie moins que la température de l'air sur Terre. Cependant, la température de l'eau est un facteur crucial pour la distribution des organismes aquatiques. Il est important de noter que la solubilité des gaz diminue avec l'augmentation de la température de l'eau. Ainsi, à des températures plus élevées, l'eau peut contenir moins d'oxygène dissous, et encore la température peut influencer plusieurs paramètres de l'eau ce qui peut avoir des répercussions sur la survie des organismes aquatiques (Euzen et al., 2015).

### 7.2.2 Potentiel hydrogène (pH)

#### 7.2.2.1 Acidité

L'acidité de l'eau est le résultat de la présence d'ions hydrogène ( $H^+$ ) dans l'eau. L'échelle pH a été conçue pour simplifier la description du caractère acide qui est définie comme le logarithme décimal négatif de la concentration en ions ( $H^+$ ), elle va de 0 à 14 (Ancitil, 2017).

Le pH est une propriété essentielle dans de nombreux équilibres physico-chimiques et est influencé par divers facteurs, parmi lesquels figure l'origine de l'eau (Tableau 1).

La réglementation stipule que la valeur de pH souhaitée doit se situer entre 6,5 et 9. En effet, un pH inférieur à 6,5 peut entraîner une corrosion des matériaux en contact avec l'eau en raison de son caractère acide, ce qui peut entraîner une augmentation de la charge en ions. De même, un pH supérieur à 9 peut altérer la configuration chimique de certains éléments (Lefevre et al., 2020).

**Tableau 1** : classification de l'eau en fonction de son potentiel hydrogène (ACF, 2006).

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>pH &lt; 5</b>          | Acidité forte, des acides minéraux ou organique dans l'eau à l'état naturel |
| <b>pH = 7</b>             | pH neutre   |
| <b>7 &lt; pH &lt; 8</b>   | La plupart des eaux de surface (proche de la neutralité)                    |
| <b>5,5 &lt; pH &lt; 8</b> | La plupart des eaux souterraines  |
| <b>pH &lt; 8</b>          | Alcalinité, évaporation intense   |

### 7.2.2.2 Alcalinité

L'alcalinité de l'eau se réfère à sa capacité à neutraliser les ions ( $H^+$ ) présents, ce qui permet de maintenir un pH constant malgré l'ajout d'ions ( $H^+$ ). Cette capacité est assurée principalement par la présence de bicarbonates ( $HCO_3^-$ ), qui agissent comme un tampon pour maintenir la stabilité du pH. L'alcalinité de l'eau varie en fonction du type de roches constituant le sous-sol du bassin versant, car ces roches influencent la disponibilité des bicarbonates dans l'eau. Ainsi, les bassins versants traversant des roches riches en bicarbonates présenteront une alcalinité plus élevée que ceux traversant des roches moins riches en bicarbonates (Anctil, 2017).

### 7.2.3 Salinité

Le processus de circulation des sels dans les eaux douces continentales peut être subdivisé en deux principaux domaines : le domaine "marin", influencé par l'eau de mer, et le domaine "continental/interactions eaux-roches", où les sels dissous résultent principalement des réactions avec les formations géologiques. Dans le domaine marin, la salinité provient des aérosols marins, de l'infiltration d'eau de mer dans les aquifères côtiers et des dépôts de saumures dans les sédiments. Les évaporites marines peuvent également se dissoudre et impacter les nappes phréatiques. Dans le domaine continental, les eaux de surface deviennent plus salées par réaction avec les roches du bassin versant et par évaporation, particulièrement dans les régions arides. Les sols agricoles irrigués et les bassins endoréiques sont des lieux où les sels peuvent précipiter. Enfin, l'interaction avec des roches cristallines, favorisée par les conditions hydrothermales, ainsi que les gaz volcaniques, contribuent également à l'enrichissement en sels des eaux douces continentales (Kloppmann et al., 2011).

### 7.2.4 Conductivité électrique

La conductivité de l'eau est une mesure de sa capacité à conduire un courant électrique, directement influencée par la présence de solides dissous, tels que des minéraux et des sels. En effet, lorsque des minéraux et des sels se dissolvent dans l'eau, ils augmentent sa concentration en solutés minéraux, ce qui, à son tour, augmente la conductivité de l'eau (Tableau 2). Ainsi, en général, plus le niveau de solides dissous totaux (SDT) est élevé, plus la conductivité de l'eau sera grande (ACF, 2006).

**Tableau 2** : Croissance de la conductivité en fonction de la minéralisation de l'eau (ACF, 2006).

| $\sigma$ ( $\mu\text{S/cm}$ ) | Type d'eau  |
|-------------------------------|---|
| 0,005                         | Eau déminéralisée                                     |
| $0 < \sigma < 80$             | Eau de pluie  |
| $30 < \sigma < 100$           | Eau légèrement minéralisée, contexte granitique       |
| $300 < \sigma < 500$          | Eau relativement bien minéralisée, contexte carbonaté |
| $500 < \sigma < 1000$         | Eau minéralisée                                       |
| $1000 < \sigma < 1500$        | Eau fortement minéralisée                             |
| $1500 < \sigma < 3000$        | Eau saumâtre  |
| $\sigma > 20000$              | Eau de mer  |

### 7.2.5 Cations

#### 7.2.5.1 Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

Le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Leur solubilité élevée les rend largement répandus dans la plupart des eaux. L'altération des roches cristallines libère du calcium et du magnésium, bien que en moindre quantité que certaines roches sédimentaires carbonatées (Merabet, 2010).

#### 7.2.5.2 Sodium ( $\text{Na}^+$ )

Le sodium ( $\text{Na}^+$ ) est largement répandu sur notre planète, se trouvant dans les roches cristallines et les roches sédimentaires telles que les sables, les argiles et les évaporites. La roche Halite, une forme d'évaporite contenant du chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ ), est utilisée comme sel de cuisine. Le sodium est hautement soluble dans l'eau, mais il est généralement

moins présent dans les roches carbonatées (Tableau 3). Il est à noter que les argiles peuvent être saturées en ions  $\text{Na}^+$  grâce au processus d'échange de base (Gouaidia, 2008).

### 7.2.5.3 Potassium ( $\text{K}^+$ )

Le potassium ( $\text{K}^+$ ) est abondamment répandu sur terre, cependant il est moins fréquent dans les eaux en raison de son adsorption et de sa recombinaison aisées dans les sols, en particulier sur les argiles. Les principales sources de potassium sont les roches cristallines (Tableau 3). De plus, le potassium provient de la dissolution des engrais chimiques (NPK) largement utilisés par les agriculteurs. Sa présence peut également être attribuée au rejet des eaux usées domestiques dans la nappe (Gouaidia, 2008).

**Tableau 3** : Concentrations des eaux en ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  selon les terrains traversés (ACF, 2006).

| Contexte   | $\text{Na}^+$ (mg/l)     | $\text{K}^+$ (mg/l)       |
|--|--------------------------|---------------------------|
| Eaux souterraines dans les formations calcaires    | $1 < [\text{Ions}] < 4$  | $0,3 < [\text{Ions}] < 3$ |
| Eaux souterraines dans les formations cristallines | $2 < [\text{Ions}] < 15$ | $1 < [\text{Ions}] < 5$   |
| Eau de mer   | $[\text{Ions}] < 10000$  | 380                       |

## 7.2.6 Anions

### 7.2.6.1 Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )

Les caractéristiques singulières de l'ion chlorure le distinguent des autres éléments. Contrairement à ces derniers, il ne subit pas d'adsorption par les formations géologiques, ce qui signifie qu'il n'est pas retenu ou capturé par ces structures. De plus, sa propension à ne pas se combiner aisément avec d'autres éléments chimiques le rend très mobile, ces caractéristiques en font un indicateur précieux de la pollution, permettant de suivre la propagation de celle-ci dans l'environnement (Gouaidia, 2008).

### 7.2.6.2 Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

Les origines naturelles des sulfates dans l'eau incluent les pluies due à l'évaporation de l'eau de mer ainsi que la dissolution de roches sédimentaires évaporitiques, et plus rarement de roches magmatiques. Les origines anthropiques comprennent la combustion de charbon et de pétrole, qui entraîne une importante production de sulfures (présents dans les précipitations), ainsi que l'utilisation d'engrais chimiques (ACF, 2006).

### 7.2.7 Turbidité

La turbidité dans l'eau indique la présence de particules en suspension telles que des résidus organiques, des argiles et des micro-organismes. Elle pose des problèmes d'acceptation pour les utilisateurs et peut compromettre la qualité bactériologique de l'eau en protégeant les micro-organismes des processus de désinfection. Une forte turbidité favorise également la formation d'organochlorés toxiques et entrave l'efficacité de la chloration en protégeant les pathogènes fixés aux particules (ACF, 2006).

### 7.2.8 Résidus secs

Les résidus secs présents dans l'eau, représentent les minéraux, les sels et d'autres substances solides dissoutes dans l'eau, provenant de diverses sources. Leur concentration a un impact sur la qualité potable de l'eau : une concentration faible est généralement préférable, tandis qu'une concentration élevée peut altérer le goût de l'eau et potentiellement présenter des risques pour la santé à long terme (tableau 4) (Rodier, 2005).

**Tableau 4 :** Qualité de l'eau selon la concentration des résidus secs (Rodier, 2005).

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

### 7.2.9 Dureté

La dureté de l'eau est une mesure de la concentration des ions métalliques reflétant la spécificité de l'eau (tableau 5), qui peut avoir un impact sur de nombreux usages domestiques et industriels de l'eau (Anctil, 2017). Elle se mesure généralement en milligrammes par litre de CaCO<sub>3</sub>, ou en degrés de dureté (°F). Un degré de dureté français (°F) correspond à 10,3 milligrammes par litre de CaCO<sub>3</sub>.

**Tableau 5** : Classification des eaux selon la dureté (Lefever et al., 2020).

| Dureté (°f)      | Spécificité de l'eau |
|------------------|----------------------|
| 0 < Dureté < 7   | Très douce           |
| 7 < Dureté < 15  | Douce                |
| 15 < Dureté < 30 | Plutôt dure          |
| 30 < Dureté < 40 | Dure                 |
| Dureté > 40      | Très dure            |

### 7.3 Paramètres indésirables

#### 7.3.1 Aluminium (Al)

L'aluminium (Al) présent dans l'eau potable provient principalement de sources naturelles ainsi que des sels d'aluminium utilisés à des fins de traitement. Des concentrations élevées peuvent induire des dépôts et des altérations de la couleur de l'eau, suscitant des récriminations de la part des consommateurs. Il est impératif d'optimiser les procédés de traitement afin de réduire au minimum la présence d'aluminium résiduel dans les réseaux de distribution, en visant des concentrations inférieures à 0,1 mg/l dans des conditions idéales (OMS, 2017).

#### 7.3.2 Cuivre (Cu)

Des concentrations significatives de cuivre (Cu) peuvent engendrer divers désagréments, tels que la coloration de la faïence sanitaire et du linge, perceptible à partir de 1 mg/l. Lorsque la concentration dépasse 5 mg/l, le cuivre peut altérer la teinte de l'eau et y imprimer un goût amer. Néanmoins, conformément aux normes sanitaires en vigueur, une concentration de cuivre jusqu'à 2 mg/l demeure admissible (OMS, 2017).

#### 7.3.3 Fer (Fe)

Les eaux souterraines anaérobies peuvent présenter des concentrations élevées de fer ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) sans que leur apparence ne soit altérée lors de leur pompage direct. Toutefois, au contact de l'air, le fer ferreux s'oxyde en fer ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ), ce qui confère à l'eau une teinte rougeâtre indésirable. Ce processus favorise la prolifération de bactéries ferreuses qui génèrent un biofilm sur les surfaces métalliques. Des concentrations en fer dépassant 0,3 mg/l peuvent colorer le linge et les robinetteries, bien que le goût métallique ne soit généralement

pas perceptible en dessous de ce seuil. Actuellement, aucune valeur seuil sanitaire n'a été établie pour la présence de fer dans l'eau (OMS, 2017).

### 7.3.4 Manganèse (Mn)

La présence de manganèse (Mn) dans l'eau à des concentrations excédant 0,1 mg/l peut engendrer une altération gustative désagréable des boissons ainsi qu'une coloration indésirable de la faïence sanitaire et du linge. À des niveaux plus élevés, tels que 0,2 mg/l, ce métal peut générer des dépôts noirs dans les canalisations, susceptibles de se détacher sous forme de précipités. Bien que la norme sanitaire recommandée soit de 0,4 mg/l, dépasser le seuil toléré de 0,1 mg/l peut parfois entraîner la présence prolongée de manganèse en solution dans certaines eaux destinées à la consommation (OMS, 2017).

### 7.3.5 Zinc (Zn)

À des concentrations élevées, la présence significative de zinc (Zn) dans l'eau peut induire une sensation astringente et provoquer une opalescence de l'eau, accompagnée d'un film grasseyeux lors de l'ébullition. Les matériaux galvanisés couramment employés en plomberie sont susceptibles d'accroître les concentrations de zinc dans l'eau du robinet, souvent sans qu'il existe de régulation sanitaire spécifique pour cette substance dans les normes relatives à l'eau potable (OMS, 2017).

## 7.4 Paramètres de toxicité

Les métaux peuvent exercer divers effets toxiques sur les organismes vivants. Certains d'entre eux, tels que le cuivre (Cu), le sélénium (Se) et le zinc (Zn), sont indispensables, tandis que le cadmium (Cd), le mercure (Hg) et le plomb (Pb) sont potentiellement nocifs même à de faibles doses. À des concentrations élevées, la plupart des métaux deviennent toxiques. Certains, comme l'arsenic (As), peuvent induire des cancers, tandis que le mercure peut altérer les systèmes immunitaires et reproductifs. Les impacts sur la santé dépendent de la forme chimique des métaux, de leur concentration, de leur biodisponibilité et de leur capacité à s'intégrer dans la chaîne alimentaire (Cuniasse et Glass, 2020).

## 7.5 Paramètres de pollution de l'eau

Les concentrations en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et phosphates ( $\text{PO}_4^{2-}$ ) sont des paramètres de pollution de l'eau en raison de leur association fréquente avec des activités anthropiques telles que l'agriculture intensive, l'industrie et le traitement des eaux usées. Lorsque ces composés sont présents en quantités importantes dans l'eau, ils peuvent engendrer des problèmes environnementaux tels que l'eutrophisation, qui se

caractérise par un excès de nutriments favorisant la prolifération excessive d'algues et de végétaux aquatiques. Cela entraîne une diminution de l'oxygène dissous dans l'eau et la mortalité des organismes aquatiques.

### 7.5.1 Composés azotés

L'azote, prédominant dans l'atmosphère, revêt une importance vitale pour la biosphère. Dans les eaux, il provient essentiellement de la pluie et du lessivage des sols. Lorsque la matière organique se décompose, elle libère de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dans le sol ou dans les eaux environnantes. Les bactéries nitrifiantes convertissent l'ammonium en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), puis en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ). Ce cheminement inclut la nitrosation, générant des nitrites, suivie de la nitratisation qui convertit ces nitrites en nitrates. La présence de nitrates dans les eaux est influencée par la matière organique et les activités anthropiques telles que l'usage d'engrais. Leur absorption peut induire des problèmes de santé, notamment chez les jeunes enfants, en favorisant la méthémoglobinémie (ACF, 2006).

### 7.5.2 Phosphate

Les phosphates ( $\text{PO}_4^{2-}$ ) trouvent leur origine principalement dans le lessivage des roches carbonatées, les contaminations fécales ainsi que les pollutions domestiques et agricoles par les détergents. Ils peuvent induire des difficultés sur le plan de l'acceptabilité, notamment en raison de leur influence sur le goût et la coloration, tout en favorisant la prolifération microbienne. Par ailleurs, ils jouent un rôle crucial en tant qu'indicateurs de la présence de contaminations d'origine fécale (ACF, 2006).

## 7.6 Paramètres bactériologiques

Les coliformes totaux, *Escherichia coli* (*E. coli*) et les streptocoques fécaux sont des marqueurs fréquemment utilisés pour évaluer la qualité de l'eau en termes de contamination fécale. Leur présence dans l'eau peut indiquer la présence de matières fécales d'origine humaine ou animale, ce qui peut être associé à un risque accru de maladies d'origine hydrique. En raison de leur lien avec la contamination fécale, la recherche de ces indicateurs dans l'eau est souvent la première étape pour évaluer le risque de contamination bactérienne et prendre des mesures appropriées pour assurer la sécurité de l'eau potable.

### 7.6.1 Les coliformes totaux

Le terme "coliformes" englobe plusieurs espèces bactériennes appartenant à la famille des *Enterobacteriaceae*, caractérisées par leur morphologie en bacilles Gram négatif, leur absence de formation de spores, et leur faculté à se développer dans des conditions aérobies

ou anaérobies facultatives. Elles présentent des propriétés structurales et de croissance spécifiques à des températures comprises entre 35 et 37°C, et elles manifestent une sensibilité au chlore (Rodier, 2005).

### 7.6.2 *Escherichia coli*

*E. coli* présente des caractéristiques bactériologiques distinctives. Morphologiquement, il se présente sous forme de bacilles mobiles, à Gram négatif. Sur le plan culturel, cette bactérie est un organisme aéro-anaérobie facultative, se développant aisément sur des milieux contenant du lactose. Après une incubation de 18 à 24 heures sur milieux solides, ses colonies se distinguent par leur forme arrondie, leur surface lisse et leurs bords réguliers, atteignant typiquement 2 à 3 mm de diamètre. Sur le plan enzymatique et biochimique, *E. coli* est dépourvu d'oxydase (Clave, 2015).

### 7.6.3 Streptocoques fécaux

Ces micro-organismes se présentent sous forme de sphères regroupées en paires ou en chaînes, affichant une coloration Gram positif après la coloration de Gram. Ils se distinguent par leur absence d'activité catalase et leur capacité à vivre tant en présence qu'en absence d'oxygène, qualifiés alors d'anaérobies facultatives. Ce groupe bactérien se subdivise en deux catégories distinctes : les Entérocoques et les Streptocoques, chacune caractérisée par des traits spécifiques et des implications cliniques particulières (Rodier, 2005).

## 8. Pollution de l'eau

On dit souvent qu'il y a un manque de l'eau potable. Néanmoins l'eau subit un processus de recyclage perpétuel à travers le cycle hydrologique, ce qui implique que la qualité totale de l'eau d'eau demeure relativement constante au fil du temps, donc la problématique est dans la pollution qui affecte la potabilité de l'eau.

Les réservoirs d'eau entrant en contact avec d'autres éléments de l'environnement, ce qui provoque des échanges en fonction des types de substances polluantes présente, or les eaux souterraines sont relativement protégées contre la contamination.

Quatre mécanismes naturels contribuent à la contamination de l'eau (Gilli et al., 2016) :

- La lente décomposition des silicates qui entraîne une minéralisation modérée, et la dissolution rapide des évaporites qui introduit des ions contaminants.

- Le phénomène de biseau salé qui se manifeste lors du mélange entre eaux douce et salée, altérant la qualité des eaux souterraines.
- Dans les aquifères captifs, La diminution du potentiel redox favorise la dissolution de métaux tels que le fer et le manganèse, ainsi que la présence accrue d'ammonium, sulfures et méthane.
- Les nappes alluviales contiennent des hydrocarbures et du carbone organique transportés par les cours d'eau, reflétant des niveaux de pollution comparables à ceux des zones peu affectées par les activités humaines.

### **8.1 Types de pollution de l'eau**

Divers types de pollution affectent la qualité de l'eau. On peut distinguer la pollution thermique, radioactive, chimique et microbienne et parasitaire (Festy et al., 2003) :

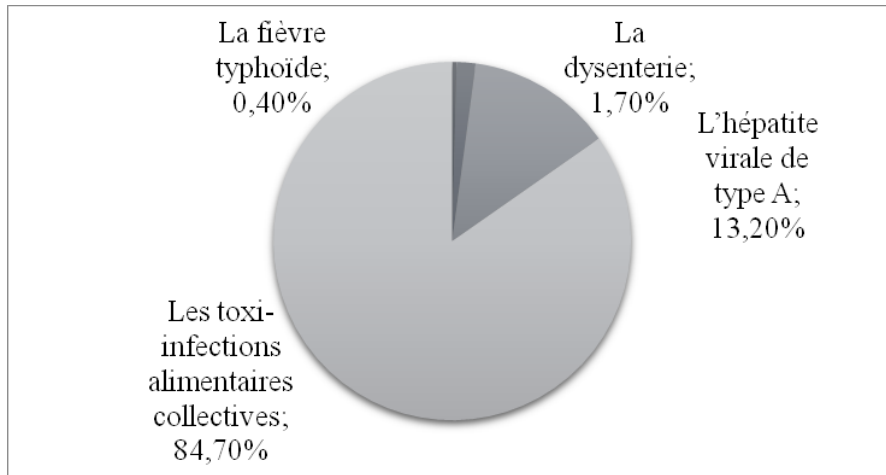
- La pollution thermique survient lorsque la température de l'eau augmente suite à des activités humaines telles que le rejet d'eaux de refroidissement par les centrales électriques ou les usines industrielles. Elle peut avoir des effets néfastes sur les écosystèmes aquatiques en affectant la sensibilité des espèces aux variations de température et en réduisant la quantité d'oxygène dissous dans l'eau.
- La pollution radioactive résulte du déversement de substances radioactives dans l'eau, que ce soit par des causes naturelles ou des incidents nucléaires, des rejets non contrôlés d'installations nucléaires ou de sites de stockage de déchets radioactifs. Elle pose de graves risques pour la santé humaine et les écosystèmes aquatiques.
- La pollution chimique peut être organique ou inorganique, selon la nature des substances impliquées. Les polluants organiques, composés de carbone, peuvent réduire l'oxygène dissous et libérer des substances toxiques et des nutriments en excès, favorisant la prolifération d'algues et de bactéries. Les polluants inorganiques s'accumulent dans les organismes aquatiques, perturbant leur métabolisme et leur reproduction.
- La pollution microbienne et parasitaire fait référence à la présence de micro-organismes comme les bactéries et les virus dans l'eau, provenant souvent des eaux usées, et posant des risques pour la santé publique.

## 9. Maladies à transmission hydrique en Algérie

Selon les relevés épidémiologiques, les toxi-infections alimentaires collectives, l'hépatite virale de type A, la dysenterie et la fièvre typhoïde, sont les plus fréquentes maladies transmises par l'eau en Algérie depuis des années. Les incidences de ce groupe de maladies ne cessent d'augmenter en allant du taux de 15,3 % en 2020 (INSP, 2020) à 25 % en 2021 (INSP, 2021) et encore à 29,8 % en 2022 (INSP, 2022).

Ces maladies ont une association avec la contamination de l'eau potable ou des aliments par des agents pathogènes tels que les virus et les bactéries. En effet les pratiques d'assainissement en Algérie favorisent la propagation de ces agents, ce qui augmente le risque de transmission des maladies par voie hydrique.

L'augmentation des incidences des toxi-infections alimentaires collectives, contribue à l'augmentation globale du taux d'incidences des maladies transmises par l'eau (Figure 3), elles sont les plus fréquentes, représentant 84,7 % des totalités des cas, précédées de l'hépatite virale de type A avec une proportion de 13,2 %, de la dysenterie à 1,7 % et au final la fièvre typhoïde à 0,4 % (INSP, 2022).



**Figure 3 :**Proportion des maladies à transmission hydrique en Algérie (INSP, 2022).

## *Deuxième chapitre*

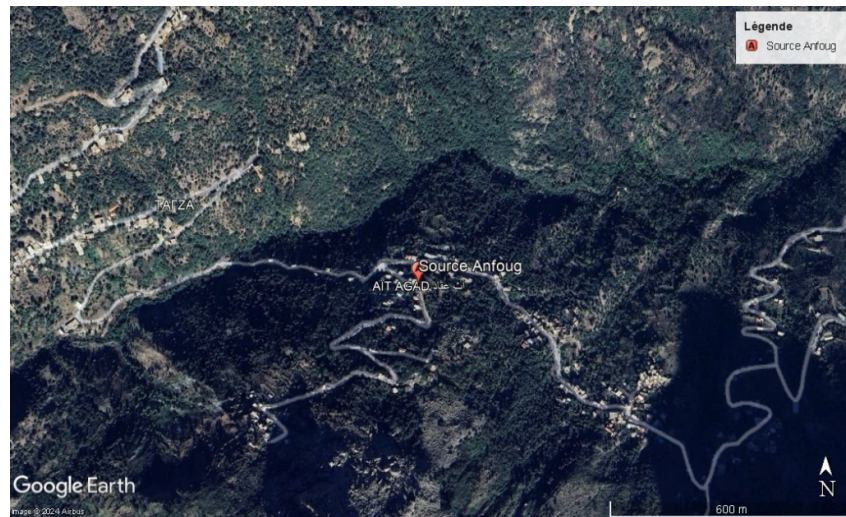
---

### *Matériels et méthodes*

## 1. Présentation de la zone d'étude

### 1.1 Situation géographique de la source d'eau

La source d'eau "Anfoug" (Figure 5) est située à environ 650 m d'altitude, au village Ath Aggad faisant partie de la commune d'Aït Boumehdi, situé dans la daïra des Ouacifs, se trouve à plus de quarante kilomètres au sud de la wilaya de Tizi-Ouzou. Il est bordé au sud par la chaîne montagneuse du Djurdjura, à l'ouest par le village d'Ath Erguene, au nord par le village d'Agueni Fourou et à l'est par les villages d'Aït Boumehdi et de Timeghrasse.



**Figure 4 :** Localisation de la source Anfoug (Google Earth, 2024).



**Figure 5 :** Source d'eau "Anfoug" (Photographie originelle, 2024).

## 1.2 Situation climatique

Le climat de la région se caractérise par son caractère méditerranéen sub-humide, marqué par des étés chauds et arides, ainsi que des hivers doux et pluvieux. Les températures estivales sont généralement élevées, avec des précipitations limitées à cette période. En revanche, les hivers sont plus humides, avec des précipitations modérées à abondantes et des chutes fréquentes de neige à partir de 700 mètres d'altitude.

## 1.3 Sol

Le sol de la région est principalement composé de roches sédimentaires, riche en calcaire et en argile, pauvre en nutriments.

## 1.4 Couvert végétal

La végétation est de type maquis (Figure 6), caractérisé par une formation dense et arbustive, avec des buissons serrés et une canopée relativement fermée, avec des espèces adaptées à des conditions de sécheresse et de sols pauvres en nutriments, comme les figuiers (*Ficus carica*), Les ronces (*Rubus fruticosus*).



**Figure 6 :** Couvert végétal de la zone d'étude (Photographie originelle, 2024).

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1 Présentation de laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE)

Le laboratoire central de l'Algérienne des eaux (ADE) est localisé au niveau de l'unité de Tizi-Ouzou sise à Boukhalfa, c'est une entreprise commerciale qui a pour rôle l'autocontrôle de la qualité des eaux de distribution et l'eau naturelle sur le plan physico-

chimique et bactériologique en se basant sur des méthodes normalisées en respectant les normes de potabilité.

## **2.2 Stérilisation du matériel de laboratoire**

La stérilisation de la verrerie et des flacons au sein du laboratoire revêt une importance capitale afin de prévenir toutes formes de contamination et de garantir la fiabilité des conclusions tirées des expériences et des analyses. Cette opération vise à éradiquer les micro-organismes présents sur la verrerie et les flacons, ce qui s'avère essentiel pour écarter toute distorsion des résultats. L'autoclavage, méthode largement répandue, consiste à placer la verrerie dans un autoclave et à la soumettre à des températures élevées et à une pression adéquate en vue d'éliminer les micro-organismes.

## **2.3 Échantillonnage**

L'échantillonnage a été structuré autour de deux périodes distinctes, chacune correspondant à une journée spécifique. Plus précisément, la première période a été couverte par l'échantillonnage effectué le 22 janvier 2024 en saison hivernale, tandis que la seconde période a été observée le 18 juillet 2024 en saison estivale. Cette méthodologie permet de comparer les données recueillies à des moments clés de l'année, offrant ainsi une perspective enrichie sur les variations saisonnières et les impacts potentiels sur les paramètres étudiés.

### **2.3.1 Analyse des paramètres organoleptiques**

Lors de notre étude, nous avons effectué des analyses organoleptiques qui ont été fondées sur les éléments suivants.

#### **2.3.1.1 Analyse de la couleur**

Le choix de la couleur a été effectué à l'œil nu ou à l'aide d'observations visuelles de plusieurs bouteilles et flacons contenant de l'eau prélevée à la source.

#### **2.3.1.2 Analyse de l'odeur et le goût**

À l'aide des organes sensoriels, l'odeur et le goût ont été évalués. Les eaux destinées à la consommation doivent être exemptes d'odeur, car leur présence peut indiquer une éventuelle pollution ou la présence de matière organique en décomposition. Le goût a été identifié par dégustation, ce qui implique de rincer la bouche avec de l'eau distillée avant chaque consommation.

### 2.3.2 Test chlore

La première phase de l'échantillonnage consiste en l'exécution d'un test de chloration. Un tube est rempli de notre eau, dans lequel est introduit le réactif diéthyl-p-phénylènediamine DPD en le mélangeant soigneusement. Une coloration rose apparaît, indiquant la présence de chlore dans notre eau. Les résultats sont immédiatement interprétés à l'aide d'un témoin. Une coloration foncée révèle une concentration élevée en chlore. Les eaux brutes, non traitées réagissant de manière négative au test (Figure 7).



**Figure 7 :** Réalisation de test chlore pour l'eau de source (Photographie originelle, 2024).

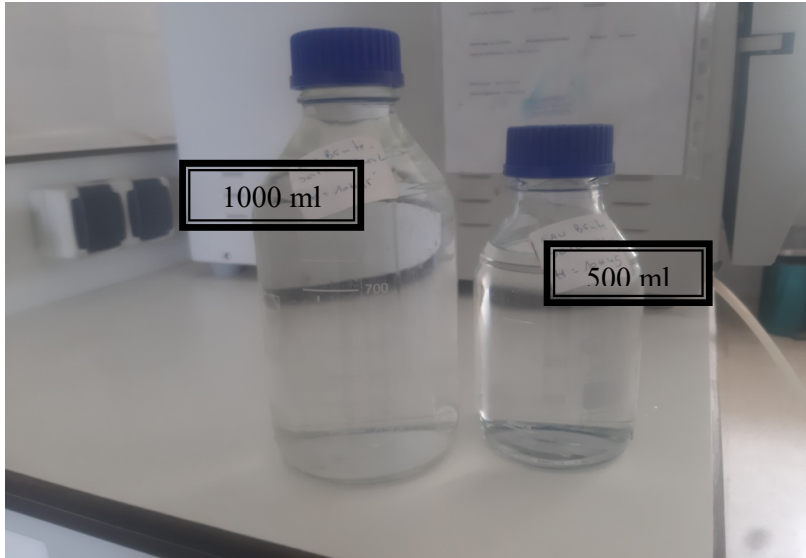
### 2.3.3 Échantillonnage pour analyse physico-chimique

Les flacons utilisés pour les échantillons destinés à l'analyse physico-chimique ont une capacité de 1000 ml (figure 8). Après avoir laissé l'eau s'écouler, les flacons sont rincés à deux ou trois reprises avec l'eau à analyser, puis remplis jusqu'au bord pour éviter toute entrée d'air et ainsi prévenir toute altération de la composition ionique. Ils sont ensuite transportés dans une glacière maintenue à une température de 4 °C. Chaque flacon est étiqueté avec des informations telles que le lieu et la date du prélèvement, l'heure et le nom du préleveur.

### 2.3.4 Échantillonnage pour analyse bactériologique

Pour procéder à l'échantillonnage en vue de l'analyse bactériologique, il est impératif de respecter scrupuleusement les règles d'asepsie afin d'éviter toute forme de contamination externe. Dans un premier temps, l'orifice du robinet est soumis à une opération de flambage à l'aide d'une pince recouverte de coton imbibé d'alcool enflammé pendant une durée d'une minute. Ensuite, nous ouvrons le robinet pour permettre à l'eau de s'écouler pendant quelques

minutes et nous ouvrons le flacon en verre d'une contenance de 500 ml (Figure 8) dans la zone stérile créée par le coton enflammé. Après avoir flambé le flacon, celui-ci est rempli aux trois quarts de sa capacité afin de maintenir les bactéries aérobies en vie et de permettre une agitation de l'échantillon avant l'analyse. Enfin, les flacons étiquetés sont transportés en compagnie de ceux destinés à l'analyse physico-chimique.



**Figure 8 :** Les flacons d'eau destinés à l'analyse physico-chimique et bactériologique (Photographie originelle, 2024).

## **2.4 Méthodes d'analyse physicochimique**

### **2.4.1 Analyses électrochimiques**

#### **2.4.1.1 Température**

Il est possible de mesurer la température de l'eau sur le terrain à l'aide d'un thermomètre, puis de l'évaluer en laboratoire à l'aide d'un conductimètre ou d'un pH-mètre.

#### **2.4.1.2 Potentiel hydrogène (pH)**

La détermination du pH est réalisée au moyen d'un pH-mètre électronique connecté à une électrode en verre (Figure 9). Cette dernière est plongée dans l'échantillon d'eau à analyser, la valeur est directement affichée sur l'enregistreur électronique une fois que l'affichage est stabilisé. Préalablement, l'électrode a été calibrée en étant immergée dans une solution tampon avant d'être introduit dans l'eau à analyser.



Figure 9 : pH-mètre (Photographie originelle, 2024)

### 2.4.1.3 Conductivité

La mesure de la conductivité électrique est effectuée à l'aide d'un conductimètre relié à une électrode (Figure 10). Cette opération requiert une calibration préalable à l'aide d'une solution tampon. Après avoir immergé l'électrode dans le flacon contenant l'eau à analyser, nous avons enregistré le résultat affiché sur l'écran de l'appareil.



Figure 10 : Conductimètre (Photographie originelle, 2024).

#### 2.4.1.4 Turbidité

La mesure de la turbidité s'effectue à l'aide d'un turbidimètre (Figure 10). Le processus débute par la calibration de l'appareil à l'aide d'une cuve contenant de l'eau distillée. Une fois étalonné, l'échantillon est placé dans une cuve en verre parfaitement sèche, puis insérée dans le turbidimètre qui émet un faisceau lumineux à travers la cuve, permettant ainsi de quantifier le taux de particules en suspension dans l'eau, en unité de turbidité néphélométrique (NTU).



Figure 11 : Turbidimètre (Photographie originelle, 2024).

### 2.4.2 Analyses volumétriques

#### 2.4.2.1 Dureté totale

- **Principe**

La dureté totale évalue la concentration des ions calcium et magnésium dissous dans l'eau. Ces métaux alcalino-terreux réagissent avec le sel disodique de l'acide Ethylène Diamine Tétra Acétique (EDTA) à pH de 10 pour former des complexes. L'indicateur employé, le noir ériochrome, prend une teinte rose en présence des ions calcium et magnésium, permettant ainsi de déterminer leur quantité dans l'échantillon d'eau analysé.

- **Mode opératoire**

Nous procédons à l'aide d'une pipette à un prélèvement de 50 ml d'échantillon d'eau à analyser, que nous transférons ensuite dans un erlenmeyer de 250 ml. Ensuite, nous avons ajouté 4 ml d'une solution tampon et 2 à 3 gouttes de coloration violette. Lorsque l'échantillon

prend une teinte rose, nous commençons le titrage avec la solution d'acide Éthylènediaminetétraacétique (EDTA) jusqu'à ce que la couleur vire au bleu (Figure 12).

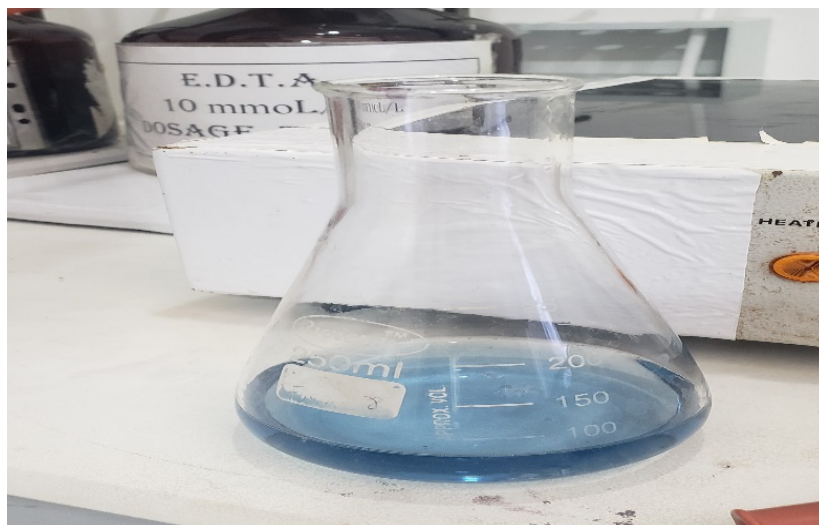


Figure 12 : Détermination de la dureté (Photographie originelle, 2024).

#### 2.4.2.2 Dosage de calcium

- **Principe**

L'indicateur murexide exhibe une teinte rose en présence de calcium. Lors de l'addition progressive d'EDTA (0,01 mol/l), celui-ci forme des complexes avec le calcium, entraînant la libération de l'indicateur qui passe de la teinte rose caractéristique à une couleur bleue au point d'équivalence du titrage.

- **Mode opératoire**

Nous prélevons 50 ml de l'échantillon à l'aide d'une pipette que nous transférons dans une fiole conique de 250 ml. Ensuite, nous ajoutons 2 ml de solution d'hydroxyde de sodium NaOH, ainsi qu'une pincée d'indicateur HSN (environ 0,2 g). Nous agitions le mélange et en le titre avec la solution d'EDTA en la versant lentement jusqu'à ce que le changement de couleur se produise, passant du rose au bleu foncé (figure 13).



Figure 13 : Dosage de calcium (Photographie originelle, 2024).

#### 2.4.2.3 Dosage de magnésium

- **Principe**

En prenant en considération à la fois la dureté globale et la dureté calcique, il devient aisé, par soustraction, de déterminer la dureté magnésienne, elle se calcule en retranchant la teneur en calcium de la teneur globale en calcium et magnésium, représentée par l'équation suivante :

$$C_{Mg} \text{ (mg/l)} = C \text{ (Ca + Mg)} - C_{Ca}$$

Où

$C_{Mg}$  (mg/l) : représente la concentration en magnésium

$C \text{ (Ca + Mg)}$  : désigne la concentration totale en calcium et magnésium

$C_{Ca}$  : correspond à la concentration en calcium.

#### 2.4.2.4 Alcalinité

- **Principe**

L'alcalinité de l'eau prélevée est évaluée en mesurant la présence d'hydrogénocarbonates et de carbonates. Ces deux conclusions sont :

Le titre alcalimétrique, également appelé TA, évalue la quantité de carbonates présents dans l'eau ( $\text{CO}_3^{2-}$ ).

Le titre alcalimétrique complet, également appelé TAC, représente la quantité de bicarbonates présents dans l'eau ( $\text{HCO}_3^-$ ). Ces mesures reposent sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué (acide sulfurique) en présence de phénolphtaléine.

- **Mode opératoire**

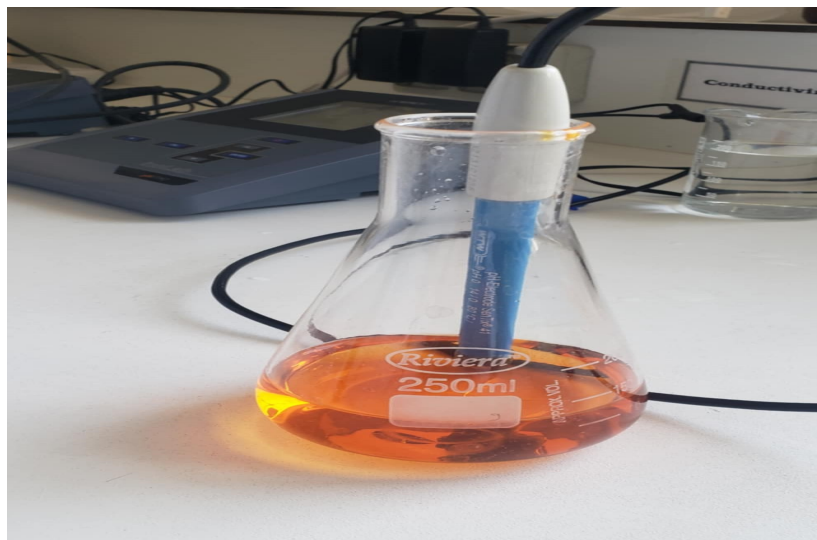
- ✓ **Détermination de TA**

Dans un erlenmeyer de 250 ml, nous avons placé 100 ml de l'échantillon d'eau, puis nous avons ajouté 3 gouttes de phénolphtaléine, ce qui a donné une teinte rose à notre échantillon (le pH doit être supérieur à 8.3). Si tel n'est pas le cas, la couleur rose ne sera pas visible, ce qui signifie que le TA est nul). Par la suite, nous avons ajouté de l'acide sulfurique à notre solution à l'aide d'une burette tout en agitant en permanence, jusqu'à ce que la solution soit complètement décolorée (pH=8.3). La teneur en carbonates correspond au volume de l'acide sulfurique versé en mg/l.

- ✓ **Détermination de TAC**

L'échantillon traité précédemment a été utilisé, puis nous avons ajouté 2 gouttes de solution méthyle orange. Ensuite, nous l'avons retiré avec le même acide jusqu'à ce que la solution passe de jaune à jaune orangé (Figure 14), avec un pH de la solution de 4.3.

La quantité de bicarbonates correspond au volume de l'acide sulfurique versé en mg/l.



**Figure 14 :** Détermination de TAC (Photographie originale, 2024).

### 2.4.2.5 Dosage des chlorures

- **Principe**

Les ions chlorures d'une concentration inconnue sont dosés volumétriquement par précipitation (méthode de titrage de Mohr) en utilisant une solution de nitrate d'argent de concentration connue, en présence d'un indicateur de fin de réaction, le chromate de potassium. Nous arrivons à l'équivalence lorsque tous les ions chlorure présents à l'origine ont réagi avec les ions d'argent versés. L'ajout de la goutte à la réaction donne naissance à un précipité rouge brique de chromate d'argent ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ).

- **Mode opératoire**

Nous avons placé 100 ml de la prise d'essai dans un récipient en erlenmeyer, puis nous avons ajouté 1 ml de chromates de potassium. Nous avons étiqueté la solution avec du nitrate d'argent ( $\text{AgNO}_3$ ) à une concentration connue, en agitant constamment jusqu'à ce qu'elle devienne rouge brique (Figure 15). En mg/l, le nitrate d'argent versé correspond à la concentration des chlorures dans la solution titrée.

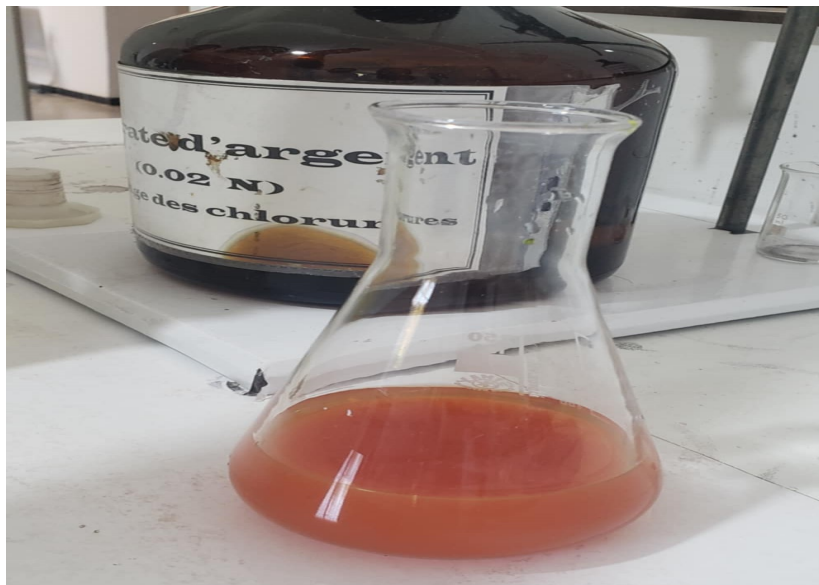


Figure 15 : Dosage de chlorure (Photographie originelle, 2024).

### 2.4.2.6 Dosage de la matière organique

- **Principe**

Le but de ce test est de mesurer la quantité d'oxygène utilisée pour réduire le permanganate de potassium ( $\text{KMnO}_4$ ) par les matières organiques présentes dans l'eau de

source à analyser afin d'approcher la teneur en matières organiques dans l'eau de source. C'est une mesure en retour.

- **Mode opératoire**

Nous avons introduit 100 ml de l'eau de source dans un erlenmeyer, puis nous avons ajouté 20 ml d'acide sulfurique que nous avons attiédis. Nous avons ensuite ajouté 20 ml de permanganates de potassium, ce qui donne une teinte violette à la solution. Après avoir placé le produit sur une plaque chauffante, nous l'avons mis à ébullition (Figure 16). En utilisant une pipette, 20 ml d'oxalate de sodium ( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) ont été ajoutés, ce qui a provoqué une décoloration de la solution. La solution, alors qu'elle est encore chaude, a été tirée avec la solution titrant du permanganate de potassium jusqu'à ce qu'elle ait une teinte rose pâle qui marque l'oxydation totale de la matière organique. L'apport de  $\text{KMnO}_4$  correspond au taux de matière organique en mg/l dans l'échantillon d'eau de source.



**Figure 16 :** Dosage de la matière organique (Photographie originelle, 2024).

### 2.4.3 Analyses spectro-photométriques

#### 2.4.3.1 Dosage d'ammonium

- **Principe**

L'ammonium réagit avec les ions salicylate, l'hypochlorite et le nitroprussiate de sodium. Cette réaction forme un complexe bleu. La quantité de complexe bleu formé est directement proportionnelle à la concentration d'ammonium dans la solution, permettant ainsi de quantifier précisément la quantité d'ammonium présente.

- **Mode opératoire**

Le dosage de l'ammonium consiste à prélever 40 ml de l'échantillon d'eau, les verser dans une fiole jaugée, puis y ajouter 4 ml du réactif coloré et 4 ml du réactif discholoroscyanurate de sodium (Figure 17). Après agitation pour assurer une homogénéisation optimale de l'échantillon, une couleur jaune se forme. Si une teinte verdâtre apparaît dans l'heure suivante, il convient de mesurer la concentration en ions ammonium à l'aide d'un spectrophotomètre, à une longueur d'onde 655 nm.



Figure 17 : Dosage de l'ammonium (Photographie originelle, 2024).

#### 2.4.3.2 Dosage de nitrite

- **Principe**

Le nitrite entre en réaction avec l'acide sulfanilique pour générer un sel diazonium intermédiaire. Ce composé réagit ensuite avec l'acide chromotrope pour donner naissance à un complexe rose, dont l'intensité est proportionnelle à la concentration de nitrite dans la solution.

- **Mode opératoire**

Le dosage des nitrites s'effectue en introduisant 40 ml de l'échantillon d'eau dans une fiole jaugée, après filtration si l'eau est trouble, puis en ajoutant 1 ml du réactif et en assurant une homogénéisation adéquate (Figure 18). Après un temps minimum de 10 à 20 minutes, en cas d'apparition d'une coloration rose, l'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 540 nm.



Figure 18 : Dosage de nitrite (Photographie originelle, 2024).

#### 2.4.3.3 Dosage de phosphate

- **Principe**

Le dosage de phosphate repose sur la réaction des ions orthophosphates avec une solution acide contenant des ions molybdate et d'antimoine. Cette réaction forme un complexe stable appelé antimonyl-phosphomolybdate. La mesure de concentration de ce complexe permettant de déterminer précisément la quantité de phosphate présente dans l'échantillon d'eau analysé.

- **Mode opératoire**

Le dosage des phosphates commence par le prélèvement de 40 ml d'échantillon d'eau dans une fiole jaugée, suivi de l'ajout de 1 ml d'acide ascorbique et 2 ml du réactif. Après un laps de temps de 10 à 30 minutes, la présence des phosphates est révélée par l'apparition d'une coloration bleue. L'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 880 nm, cette valeur étant la plus significative. Enfin, la valeur obtenue est multipliée par 3,06 et les résultats sont exprimés en mg/l.

#### 2.4.3.4 Dosage du nitrate

- **Principe**

Cela consiste à former le nitro 4 diméthyl 2,6-phénol à partir de la réaction du nitrate avec le diméthyl 2,6-phénol en présence d'acide sulfurique et d'acide phosphorique.

- **Mode opératoire**

Nous introduisons 35 ml du mélange acide dans une fiole puis nous ajoutons 5ml de l'échantillon et 5ml de diméthyl-2,6 phénol (Figure 19). Nous mélangeons soigneusement le contenu et laisser reposer pendant 10 min. L'apparition de la coloration jaune indique la présence des nitrates, la concentration en nitrate est la valeur donnée par spectrophotomètre à une longueur d'onde  $\lambda=324$  nm.



Figure 19 : Dosage de nitrate (Photographie originelle, 2024)

#### 2.4.3.5 Dosage du fer

- **Principe**

Après avoir été oxydé dans un milieu acide, le fer est réduit à l'état ferreux et mesuré par spectrophotométrie en utilisant la phénanthroline (1,10 mol/l). Cette substance réagit avec les sels ferreux et donne une teinte marron claire à une longueur d'onde de 510 nm.

- **Mode opératoire**

Nous prélevons 50 ml d'échantillon dans une fiole (Figure 20), puis nous ajoutons 1 ml de solution de chlorhydrate d'hydroxylamine et mélangeons avec soin. Ensuite, nous ajoutons 2 ml de tampon d'acétate afin d'obtenir un pH compris entre 3,5 et 5,5, de préférence autour de 4,5. Enfin, nous incorporons 2 ml de solution de phénanthroline, puis nous plaçons la fiole à l'obscurité pendant 15 minutes. Après ce délai, nous analysons l'échantillon à l'aide du spectrophotomètre, réglé sur une longueur d'onde de 510 nanomètres.



Figure 20 : Dosage de fer (Photographie originelle, 2024).

#### 2.4.3.6 Dosage du sulfate

- **Principe**

En réagissant avec le baryum du sulfate, les ions sulfates de l'échantillon forment un précipité de sulfate de baryum.

- **Mode opératoire**

Nous prélevons un échantillon de 100 ml, nous ajoutons 5 ml de la solution stabilisante avec 2 ml de chlorure de baryum. Par la suite, nous agitons le mélange avec force pendant une minute. Le spectrophotomètre est utilisé pour effectuer une mesure à une longueur d'onde de 450 nm. Lorsque le taux de dilution dépasse 70 mg/l ou que la conductivité dépasse 500 s/m, nous procédons à une dilution, puis nous multiplions par le facteur de dilution pour obtenir les résultats.

#### 2.4.4 Analyses photométriques à flammes

##### 2.4.4.1 Dosage de sodium et potassium

- **Principe**

Le principe consiste à mesurer le taux de potassium et de sodium avec un photomètre à flamme étalonné à l'aide d'une solution étalon d'une concentration égale à 1000 mg/l contenant 1.907 g de chlorures de potassium (KCl) dissoutes dans 1 litre d'eau distillée pour le dosage du potassium.

Pour le sodium, l'étalonnage de l'appareil s'effectue à l'aide d'une solution étalon contenant 2.54 g de chlorures de sodium (NaCl) dissoutes dans 1 litre d'eau distillée d'une concentration de 1000 mg/l.

- **Mode opératoire**

Nous avons passé trois fois un bécher contenant une solution de sodium et de potassium de 10 mg/L au photomètre à flamme (figure 21) qui doit afficher 10. Après avoir passé l'échantillon, la valeur est affichée. Dans le cas où la concentration de sodium et de potassium dépasse 10 mg/, nous procédons à une dilution. Le facteur de dilution multiplie le résultat.



Figure 21 : Photomètre à flamme (Photographie originelle, 2024).

#### 2.4.5 Dosage des résidus secs

- **Principe**

La distillation d'un volume d'eau sélectionné en fonction des quantités de matières fixes présentes, la déshydratation à l'étuve à une température spécifique et la pesée du résidu.

- **Mode opératoire**

Laissons refroidir la capsule et son contenu presque jusqu'à la température ambiante, pour la placer ensuite dans un dessiccateur pendant quart d'heure environ et peser.

## 2.5 Méthodes d'analyse bactériologique

### 2.5.1 Principe de filtration sur membrane

Le principe de filtration sur membrane repose sur la capture des bactéries par le biais de la filtration de 100 ml d'un échantillon d'eau à travers une membrane poreuse. Cette

procédure est réalisée à l'aide d'une rampe de filtration (Figure 22). La membrane est ensuite déposée sur divers milieux gélosés, favorisant ainsi la croissance des bactéries. Après une incubation appropriée, le comptage des colonies bactériennes permet d'estimer la concentration initiale de bactéries dans l'échantillon.

- ✓ **CCA (Coliform Chromogenic Agar)** : pour la recherche des coliformes fécaux et les coliformes thermo tolérants (*E. coli*).
- ✓ **Slanetz et Bartley** : pour la recherche des streptocoques.
- ✓ **BEA (Bile Esculine Azoture)** : pour la confirmation de la présence des streptocoques.



**Figure 22** : Rampe de filtration (Photographie originelle, 2024).

### 2.5.2 Principe de méthode du NPP (Nombre le plus probable)

La méthode du Nombre le Plus Probable (NPP) implique l'ensemencement de plusieurs tubes avec des milieux de culture liquides issus d'un même échantillon pour identifier et quantifier divers microorganismes. Le système de dilution est choisi en fonction de la qualité de l'eau : pour les eaux polluées ou de qualité inférieure, on utilise le premier ou le deuxième système, tandis que pour les eaux traitées ou de haute qualité, comme l'eau de source, on adopte le troisième ou le quatrième système. Pendant l'incubation, la croissance observée dans les tubes indique la présence de microorganismes. Le nombre de ces microorganismes est estimé en fonction des tubes positifs, et les résultats sont interprétés à l'aide de la table de Mac Grady, qui permet d'évaluer la concentration en fonction du nombre de tubes positifs.

- ✓ **BCPL (Bouillon lactosé au pourpre de bromocresol)** muni d'une cloche de **Durham** : pour la recherche des *E. coli* et des coliformes.
- ✓ **Tryptophane** : pour la confirmation des *E. coli*.
- ✓ **BLBVB (Bouillon lactosé bilié au vert brillant)** muni d'une cloche de **Durham** : pour la confirmation des coliformes fécaux.
- ✓ **Rothe** : pour la recherche des streptocoques.
- ✓ **EVA Litsky** : pour la confirmation des streptocoques.

### 2.5.3 Recherche des bactéries coliformes fécaux et *E. coli*

#### 2.5.3.1 Méthode par filtration sur membrane

- **Mode opératoire**

Nous procédons à la stérilisation des entonnoirs et de la plaque poreuse à l'aide d'un bec bunsen pour préparer la rampe de filtration sur membrane. Après la stérilisation, nous refroidissons les entonnoirs avec de l'eau distillée ou de l'eau à analyser. Nous extrayons délicatement une membrane stérile de porosité 0,45  $\mu\text{m}$  (Figure 23) à l'aide d'une pince, en veillant à placer sa face quadrillée vers le haut sur la plaque. Ensuite, nous versons 100 ml d'eau à analyser dans la zone stérile après avoir agité le flacon. Nous ouvrons le robinet de la rampe pour permettre la filtration de l'eau à travers la membrane. Nous prélevons avec précaution la membrane filtrante à l'aide d'une pince et la déposons soigneusement sur le milieu chromogène CCA pour éviter la formation de bulles d'air. Nous incubons les boîtes de Pétri à 37 °C pendant 24 heures, avec le couvercle orienté vers le bas.



Figure 23 : Membrane filtrante de porosité 0,45 µm (Photographie originelle, 2024).

- **Test de présomption**

Nous identifions les colonies après incubation. Les colonies rose à rouge indiquent la présence de bactéries coliformes autres qu'*E. coli*, tandis que les colonies bleu foncé à violet signalent la présence d'*E. coli*.

- **Test de confirmation**

Afin de vérifier la présence de bactéries coliformes autres que les *E. coli*, un test de confirmation par disque d'oxydase est effectué. Ce test consiste à déposer une colonie sur un disque imprégné d'une goutte d'eau distillée stérile à l'aide d'une pipette stérile. La réaction est considérée comme positive si une coloration bleu foncé apparaît dans les 30 secondes suivant l'application. Toutes les colonies présentant une réaction négative à l'oxydase sont identifiées comme des bactéries coliformes. Les résultats sont exprimés à l'aide de l'équation suivante :

$$a = b / A . C$$

Où :

**b** : représente le nombre de colonies répondant favorablement aux critères du test de confirmation.

**A** : correspond au nombre de colonies réensemencées.

**C**: représente le nombre total de colonies caractéristiques (de couleur rose à rouge) identifiées dans la boîte.

### **2.5.3.2 Méthode par ensemencement en milieu liquide**

- **Mode opératoire**

Nous préparons les tubes à essais en les remplissant avec 10 ml de milieu BCPL coloré en violet, chacun étant équipé d'une cloche de Durham. Nous utilisons des tubes à double concentration (DC) et des tubes à simple concentration (SC), selon la méthode du NPP. Ensuite, nous introduisons de manière aseptique 10 ml d'eau de source à analyser dans chaque tube à double concentration, 1 ml dans certains tubes à simple concentration, et 0,1 ml dans d'autres, en fonction du protocole spécifique de l'eau analysée. Nous mélangeons méticuleusement le milieu et l'inoculum pour éliminer les bulles d'air, en procédant par des mouvements de va-et-vient. Enfin, nous incubons les tubes à 37°C pendant 24 heures dans une zone stérile.

- **Teste de présomption**

Les tubes sont considérés comme positifs s'ils présentent un dégagement de gaz dépassant un dixième de la hauteur de la cloche et ils montrent des signes de turbidité microbiologique accompagnés d'un changement de couleur du milieu vers le jaune grâce à la fermentation de lactose présent dans le milieu.



**Figure 24 :** Test de présomption pour les coliformes totaux (Photographie originelle, 2024).

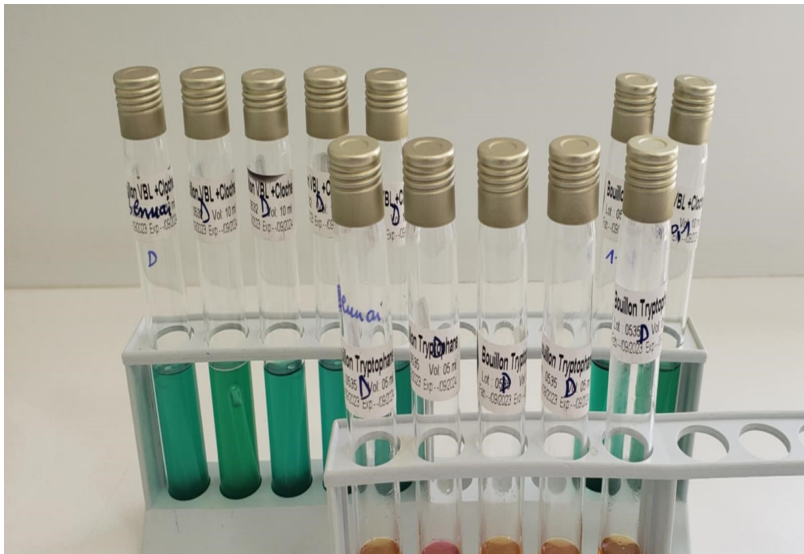
- **Teste de confirmation**

- ✓ **Pour les *E. coli* :**

Nous prélevons quelques gouttes du mélange des tubes BCPL positifs et les transférons dans le milieu Tryptophane jaune, que nous incubons à 44 °C pendant 24 heures. Après incubation, nous ajoutons 2 à 3 gouttes du réactif Kovacs. La présence d'*E. coli* est confirmée par l'apparition d'un anneau rouge cerise, indiquant la production d'indole.

- ✓ **Pour les coliformes :**

Nous transférons quelques gouttes du mélange (milieu et inoculum) des tubes BCPL positifs dans le milieu BLBVB équipé d'une cloche Durham à l'aide d'une pipette. Nous incubons ensuite à 37 °C pendant 24 heures. La présence de coliformes fécaux est signalée par une perturbation microbienne et une émission de gaz.



**Figure 25 :** Test de confirmation pour les coliformes totaux (Photographie originelle, 2024).

## 2.5.4 Recherche des streptocoques fécaux

### 2.5.4.1 Méthodes par filtration sur membrane

- **Mode opératoire**

Nous procédons à la mise en place de la rampe de filtration en suivant les étapes décrites précédemment. Ensuite, nous extrayons la membrane à l'aide d'une pince stérile en la saisissant par son bord et la déposons soigneusement sur le milieu Slanetz et Bartley pour éviter toute formation de bulles d'air. Nous incubons ensuite les boîtes de Pétri à 37 °C pendant 48 heures, en veillant à ce que les couvercles soient orientés vers le bas.

- **Test de présomption**

Après la période d'incubation, l'émergence de petites colonies lisses légèrement bombées, aux contours réguliers et colorées en rouge, marron ou rose, témoigne de la présence de streptocoques.

- **Test de confirmation**

Nous transférons la membrane filtrante provenant du milieu Slanetz de manière aseptique sur une gélose BEA préalablement préchauffée à 44 °C. Nous incubons ensuite le tout dans une étuve à 44 °C pendant 2 heures. Après l'incubation, les colonies confirmées se teintent en noir, indiquant ainsi l'hydrolyse de l'esculine présente dans le milieu BEA.

### 2.5.4.2 Méthode par ensemencement en milieu liquide

- **Mode opératoire**

Nous préparons des tubes contenant 10 ml de bouillon Roth coloré en jaune (Figure 26), comprenant à la fois des tubes à double concentration (DC) et des tubes à simple concentration (SC). Nous introduisons 10 ml d'échantillon à tester dans chaque tube DC, en procédant dans une zone stérile. Nous ajoutons ensuite de l'eau de source, en quantité de 1 ml ou 0,1 ml selon le système choisi, aux tubes SC. Après avoir mélangé les milieux et l'inoculum, nous incubons les tubes dans une étuve à 37 °C pendant 48 heures.

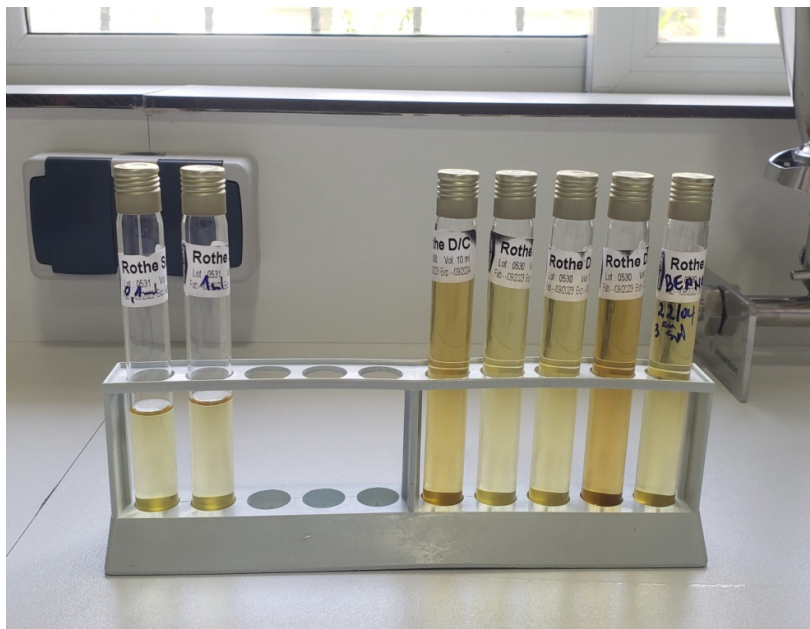


Figure 26 : Milieu de culture Rothe (Photographie originale, 2024).

- **Test de présomption**

Après la période d'incubation, les tubes montrant une turbidité microbienne sont qualifiés de positifs. Cependant, ils ne doivent pas être comptés à ce stade ; au lieu de cela, ils doivent être transférés sur milieu EVA Litsky en vue d'une confirmation précise.

- **Test de confirmation**

Nous transférons quelques gouttes des tubes Roth positifs dans des tubes contenant un milieu EVA Litsky jaune à l'aide d'une pipette. Nous agitons soigneusement les tubes pour mélanger l'inoculum avec le milieu, puis nous incubons les tubes à 37 °C dans une étuve pendant 24 heures. Après incubation, nous observons les tubes pour détecter la présence de trouble microbien et de pastille blanchâtre au fond (Figure 27). Enfin, nous procédons à la lecture finale et au dénombrement des bactéries selon les instructions de la table de Mac Grady, adaptées au système utilisé.



**Figure 27** : Test de confirmation pour les streptocoques (Photographie originelle, 2024).

## *Troisième chapitre*

---

### *Résultats et discussion*

## 1. Résultats des paramètres organoleptiques

### 1.1 Odeur

L'eau de notre source ne présente aucun parfum ou odeur, ce qui suggère qu'il n'y a pas de substances volatiles ou de contaminations chimiques perceptibles.

### 1.2 Gout

L'eau de la source Anfoug ne présente aucun goût perceptible, ce qui est généralement un signe de pureté. Une eau sans goût peut suggérer qu'il n'y a pas de contaminants ou de minéraux en quantités suffisantes pour affecter le goût.

### 1.3 Couleur

L'eau de source Anfoug n'a pas de couleur tout au long de l'année, tant en hiver qu'en été. Cette stabilité est corroborée par la faible présence de fer et de matière organique, qui n'influence pas la couleur de l'eau.

## 2. Résultats des analyses physico-chimiques

### 2.1 Température

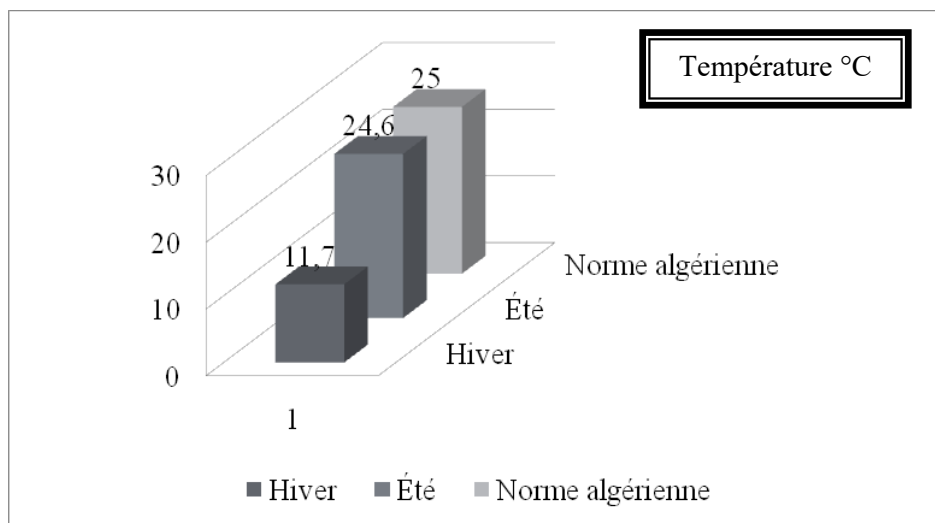
Le graphique montre que la température de l'eau était de 11,7°C pendant la période hivernale, tandis que durant la période estivale, elle a atteint 24,6°C (Figure 28).

Il y a un écart notable de 12,9°C entre les températures hivernales et estivales. Cet écart souligne que l'eau de la source est beaucoup plus chaude en été qu'en hiver, ce qui est attendu en raison des variations saisonnières de la température.

Les températures mesurées sont conformes aux normes établies par les autorités algériennes et les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), qui fixent la température maximale admissible de l'eau potable à 25°C.

Les températures relevées pour la source Anfoug témoignant ainsi d'une amplitude saisonnière significative. En comparaison, les données obtenues pour la source Aghbalou par Atek et Touabi en 2022, dans le cadre de leur analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau de cette source au niveau de la commune de Makouda dans la région de Tizi-Ouzou, montrent des températures de 16°C en hiver et de 23,7°C en été. Quant aux mesures effectuées pour les sources Thebouth et Boukhira par Akli et Stiti en 2022, également dans le cadre d'analyses physico-chimiques et bactériologiques, les températures enregistrées dans

les communes de Ouadias et Tizirt, respectivement, sont de 11,5°C et 17,5°C en hiver, et de 23,2°C et 22,1°C en été. Ces différences indiquent que la source Anfoug possède une amplitude thermique plus étendue par rapport aux autres sources, avec une variation saisonnière plus prononcée.



**Figure 28** : Résultats des mesures de la température hivernale et estivale de l'eau de source.

## 2.2 Potentiel hydrogène

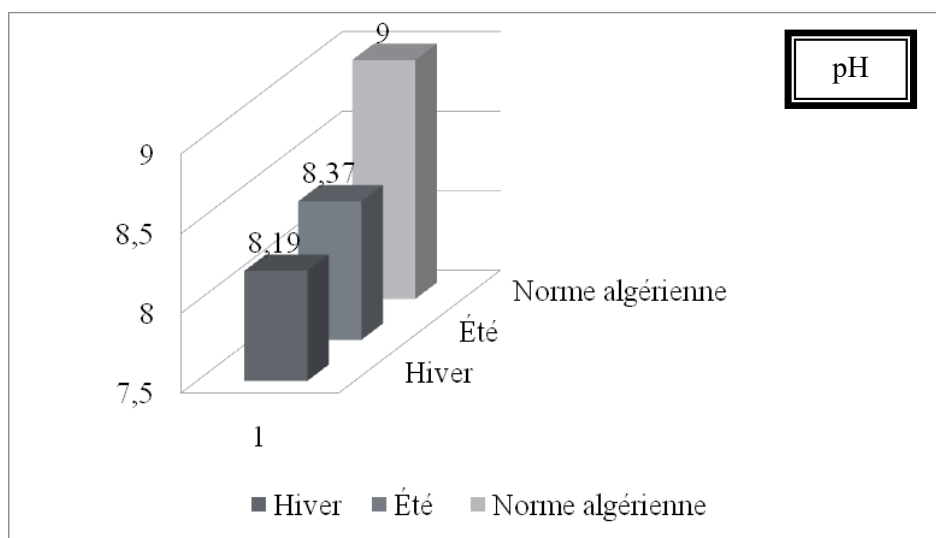
Le potentiel hydrogène mesuré pour la source d'eau d'Ath Aggad, durant les deux saisons d'échantillonnage est illustré dans le graphique (Figure 29).

Selon Rodier (1996), le pH de l'eau augmente avec la température. En hiver, les températures sont généralement plus basses, ce qui pourrait expliquer un pH plus bas (8,19). En été, les températures sont plus élevées, ce qui pourrait entraîner une augmentation du pH à 8,37. La légère augmentation du pH en été par rapport à l'hiver est cohérente avec l'effet de la température sur le pH de l'eau. Plus la température augmente, plus le pH de l'eau a tendance à augmenter. Cette variation saisonnière du pH est donc probablement liée à la variation des températures.

Le pH de l'eau dans les deux périodes d'échantillonnage (8,19 en hiver et 8,37 en été) se situe bien dans la plage requise pour l'eau de consommation, qui est comprise entre 6,5 et 9.

Les résultats des mesures du pH de l'eau de la source Anfoug, affichant une valeur de 8,19 en hiver et de 8,37 en été, révèlent une tendance légèrement alcaline comparativement aux données obtenues pour la source Aghbalou par Atek et Touabi (2022), qui montrent un pH de

7,29 en hiver et de 7,32 en été. De même, les résultats d'Akli et Stiti (2022) concernant les sources de Tizirt et Ouadias (avec un pH de 7,99 en hiver et de 7,54 en été pour Tizirt, et de 7,52 en hiver et de 7,25 en été pour Boukhira) indiquent des valeurs de pH globalement inférieures.



**Figure 29 :** Valeurs de pH de l'eau de source en hiver et en été.

### 2.3 Conductivité électrique

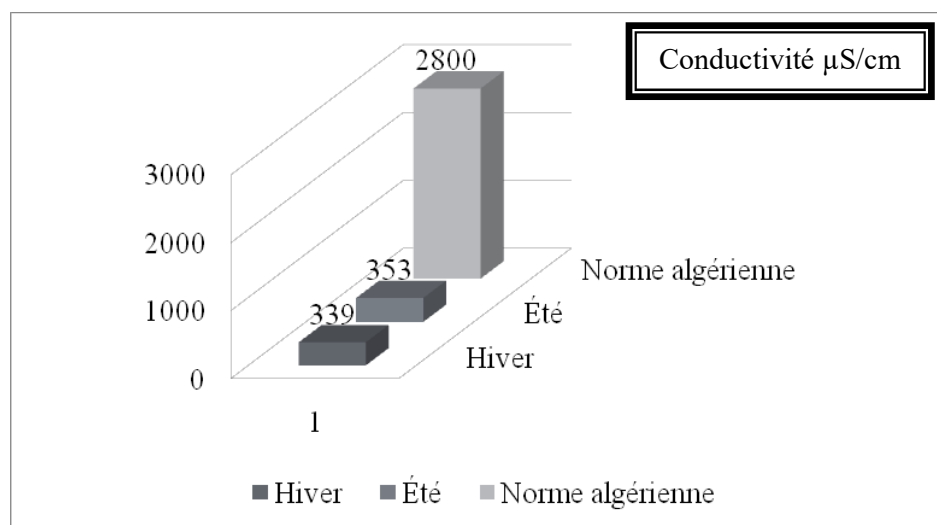
Les valeurs de conductivité mesurées durant l'hiver et l'été (Figure 30), se situent dans l'intervalle 300-500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ce qui indique que l'eau est effectivement relativement bien minéralisée. Cela suggère que l'eau de source a une concentration équilibrée de sels dissous typique des eaux carbonatées. Étant donné que l'eau est carbonatée, la présence de carbonates et bicarbonates contribue à la conductivité mesurée. La gamme de conductivité observée (339 à 353  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) est cohérente avec une eau légèrement minéralisée, enrichie en ions carbonates.

La légère augmentation de la conductivité en été par rapport à l'hiver (augmentation de 14  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) peut être due à plusieurs facteurs, tels que l'évaporation accrue et la concentration plus élevée de minéraux en été lorsque le volume d'eau est plus bas. Cette variation saisonnière est normale et reflète des changements dans la minéralisation de l'eau.

Les valeurs mesurées de 339  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dans la période hivernale et 353  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dans la période estivale sont bien en dessous de la norme algérienne de 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

La source d'eau Anfoug affiche des valeurs de conductivité qui la classent ainsi parmi les eaux légèrement minéralisées à faible minéralisation. À l'opposé, les sources Aghbalou (Atek

et Touabi, 2022), Thebouth et Boukhira (Akli et Stiti, 2022) présentent des conductivités sensiblement plus élevées. La source Aghbalou, avec une conductivité de 973  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en hiver et de 971  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en été, se classe dans la catégorie des eaux minéralisées, indiquant une présence accrue de sels dissous. La source Thebouth, avec une conductivité de 368  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en hiver et de 395  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en été, est qualifiée d'eau relativement bien minéralisée, bien que ses valeurs soient proches des limites inférieures de cette catégorie. Enfin, la source Boukhira, avec une conductivité de 1136  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en hiver et de 1130  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en été, est caractérisée comme une eau fortement minéralisée, avec une concentration élevée en ions dissous.



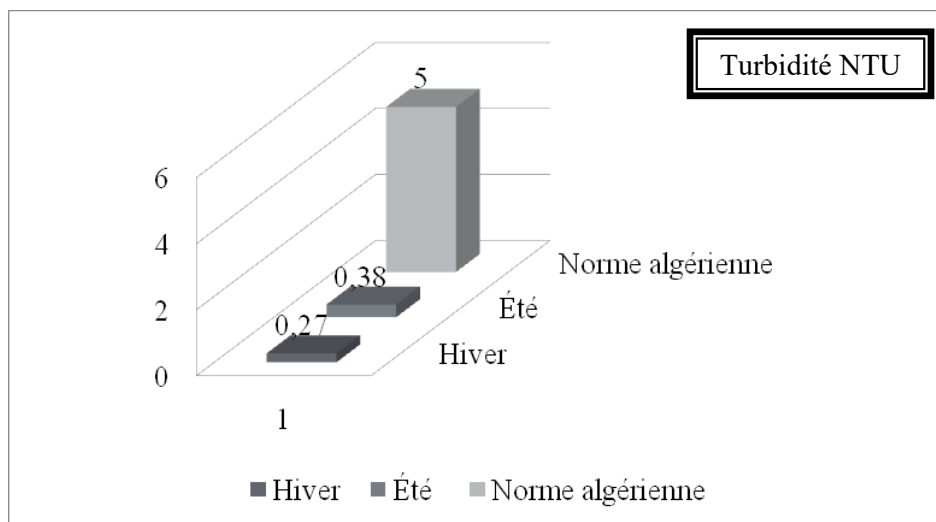
**Figure 30 :** Niveaux de conductivité de l'eau durant l'hiver et l'été.

## 2.4 Turbidité

L'analyse de la turbidité révèle des variations saisonnières (Figure 31). La légère augmentation de la turbidité pendant l'été peut résulter de plusieurs facteurs environnementaux. En été, les températures plus élevées favorisent souvent la croissance des algues et des micro-organismes aquatiques, qui peuvent augmenter la concentration de particules en suspension dans l'eau. Cependant, il est essentiel de noter que les valeurs de turbidité mesurées, soit 0,27 NTU en hiver et 0,38 NTU en été, sont bien au-dessous du seuil maximal réglementaire fixé par les normes algériennes, qui est de 5 NTU.

À l'examen des données de turbidité il apparaît que la source Anfoug affiche des valeurs de turbidité systématiquement inférieures à celles des sources étudiées par Atek et Touabi (2022); Akli et Stiti (2022). En hiver, la turbidité d'Anfoug est mesurée à 0,27, ce qui

est au dessous des valeurs enregistrées pour Aghbalou (0,35), Thebouth (0,84) et Boukhira (0,7). En été, Anfoug maintient également une turbidité plus faible, avec une valeur de 0,38, contre 0,5 pour Aghbalou et 0,72 pour Boukhira, tandis que la turbidité de Thebouth (0,38) est comparable. Ces données suggèrent que la source Anfoug offre une qualité d'eau plus homogène et moins turbide que les autres sources, tant en hiver qu'en été. Cette stabilité pourrait refléter une efficacité supérieure dans le processus de filtration naturel ou une moindre vulnérabilité aux facteurs externes influençant la turbidité.



**Figure 31** : Niveaux de turbidité de l'eau durant l'hiver et l'été.

## 2.5 Résultats des paramètres de minéralisation globale

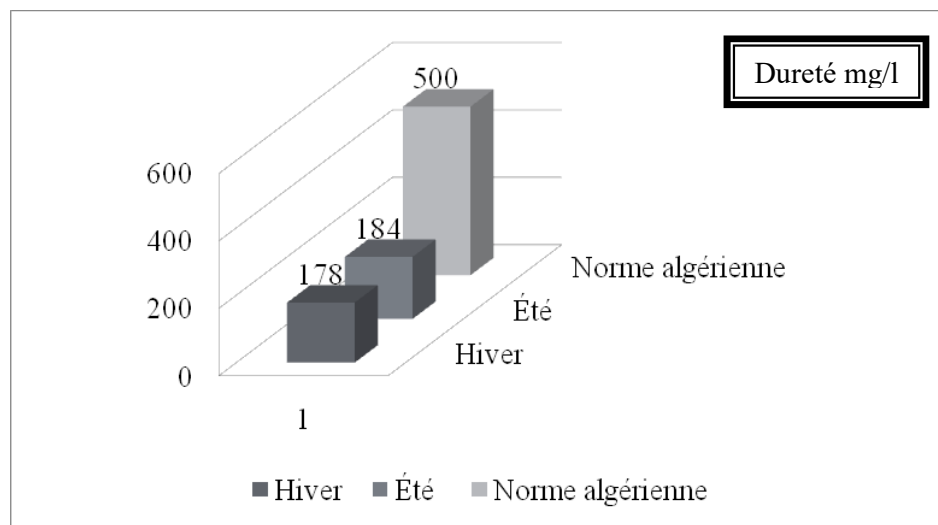
### 2.5.1 Dureté totale

Nous observons que la dureté mesurée en hiver est de 178 mg/l, tandis qu'en été, elle est légèrement plus élevée à 184 mg/l (Figure 32). Cette légère augmentation pendant la période estivale pourrait être attribuée à divers facteurs, tels que des changements dans les sources d'eau, les conditions météorologiques ou d'autres processus naturels influençant la composition de l'eau.

Comparées à la norme algérienne de 500 mg/l, ces valeurs sont largement inférieures, indiquant que la dureté de l'eau est bien en dessous du seuil réglementaire.

La source d'eau Anfoug se situe dans la catégorie « Plutôt dure », en revanche, la source Aghbalou, avec des valeurs de 412 mg/l en hiver et de 424 mg/l en été (Atek et Touabi,

2022), est clairement dans la catégorie « Très dure ». La source Thebouth, avec une dureté de 188 mg/l en hiver et de 200 mg/l en été, se place également dans la catégorie « Très dure » et la source Boukhira affiche une dureté constante de 180 mg/l tout au long de l'année, ce qui la classe également dans la catégorie « Très dure » (Akli et Stiti, 2022). Ainsi, parmi les sources comparées, Anfoug est la moins dure, tandis qu'Aghbalou, Thebouth et Boukhira présentent une dureté beaucoup plus élevée, indiquant une eau beaucoup plus minéralisée et potentiellement plus adaptée à des usages nécessitant une haute teneur en minéraux.



**Figure 32 :** Résultats d'analyse de la dureté totale pour la période hivernale et estivale.

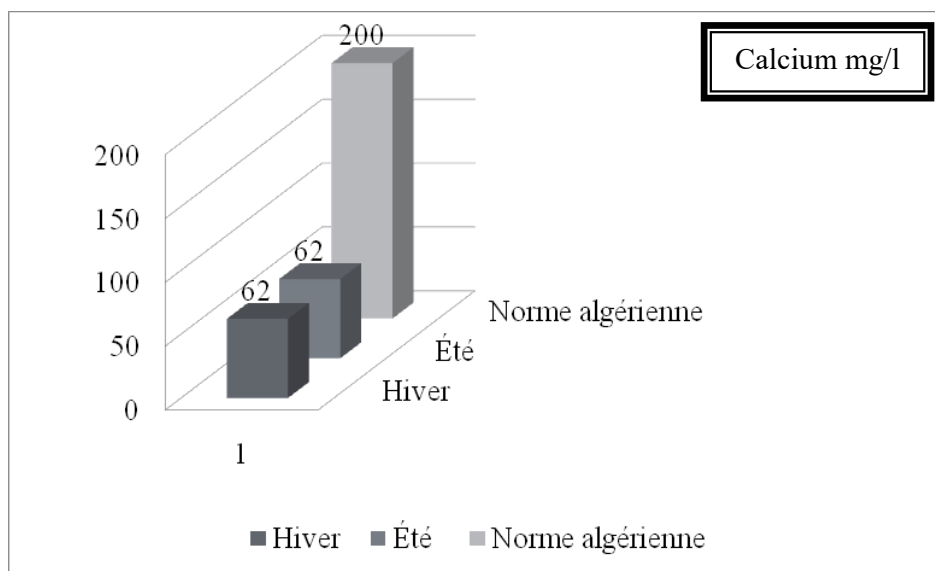
### 2.5.2 Dureté calcique

Le graphique des variations saisonnières de la dureté calcique de l'eau de source (Figure 33) montre une valeur constante de 62 mg/l aussi bien en hiver qu'en été. Cette stabilité indique que la dureté calcique de cette source d'eau ne fluctue pas au cours des saisons, suggérant que les facteurs influençant sa composition minérale restent constants tout au long de l'année.

En comparaison avec la norme algérienne de 200 mg/l pour la dureté calcique, la valeur mesurée est nettement inférieure. Cette différence indique que l'eau de source est beaucoup plus douce que la norme établie, ce qui peut réduire les problèmes liés aux dépôts calcaires dans les tuyaux et les appareils domestiques. Toutefois, bien que cette dureté faible soit généralement bénéfique pour éviter l'accumulation de tartre, il est important de considérer les implications sur la présence de minéraux essentiels pour la santé. Une dureté calcique trop

basse peut indiquer un manque de certains minéraux bénéfiques dans l'eau, ce qui pourrait avoir des répercussions selon les besoins individuels en minéraux.

En comparant les niveaux de dureté calcique, la source Anfoug se distingue par une dureté constante de 62 mg/l tout au long de l'année, suggérant une composition en calcium stable indépendamment des saisons. À l'inverse, la source Aghbalou (Atek et Touabi, 2022) présente des niveaux nettement supérieurs, avec une dureté de 120 mg/l en hiver et 122 mg/l en été, indiquant une concentration en calcium considérablement plus élevée que celle d'Anfoug. La source Thebouth affiche des valeurs intermédiaires, avec une dureté de 66 mg/l en hiver augmentant à 71 mg/l en été, ce qui témoigne d'une légère variation saisonnière et la source Boukhira présente les niveaux de dureté les plus bas, avec 34 mg/l en hiver et 35 mg/l en été, illustrant ainsi la concentration en calcium la plus faible parmi les sources analysées (Akli et Stiti, 2022).

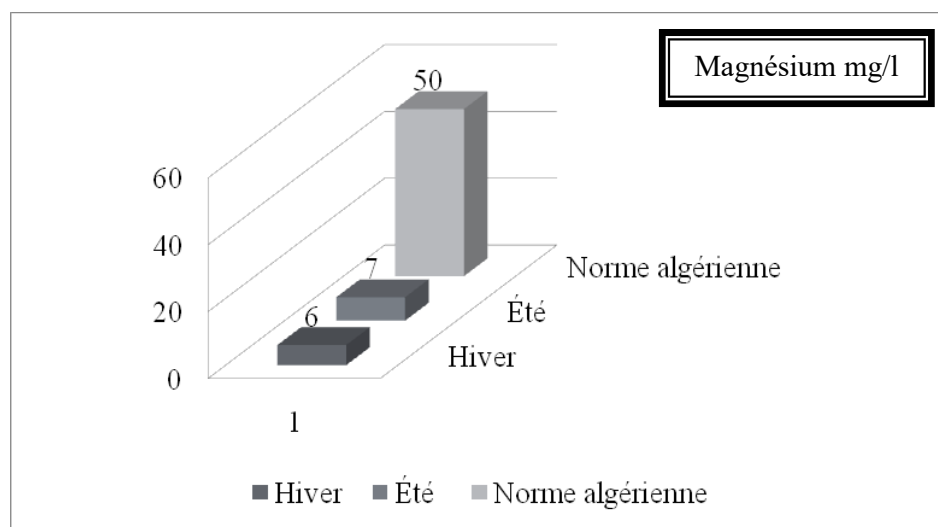


**Figure 33 :** Concentration de calcium dans l'eau de source pour les périodes hivernale et estivale.

### 2.5.3 Dureté magnésienne

L'analyse des variations saisonnières de la dureté magnésienne de l'eau de source montre que les valeurs observées (Figure 34), soit 6 mg/l en hiver et 7 mg/l en été, sont largement inférieures à la norme algérienne de 50 mg/l. La légère augmentation estivale est minime et pourrait être due à des facteurs naturels tels que le processus de dissolution des minéraux.

Conformément à Akli et Stiti (2022), Atek et Touabi (2022), notre source Anfoug et la source Thebouth présentent une dureté faible, avec des concentrations de magnésium variant de 6 à 7 mg/l. En comparaison, la source Aghbalou se caractérise par une dureté beaucoup plus élevée, atteignant 27 mg/l en hiver et 29 mg/l en été, tandis que la source Boukhira, bien que moins dure que Aghbalou, affiche des valeurs également élevées, avec 22 mg/l en hiver et 23 mg/l en été. La source Thebouth se distingue par sa constance, restant la plus douce avec une dureté uniforme de 6 mg/l tout au long de l'année. À l'autre extrémité, la source Aghbalou est la plus dure parmi toutes les sources examinées.



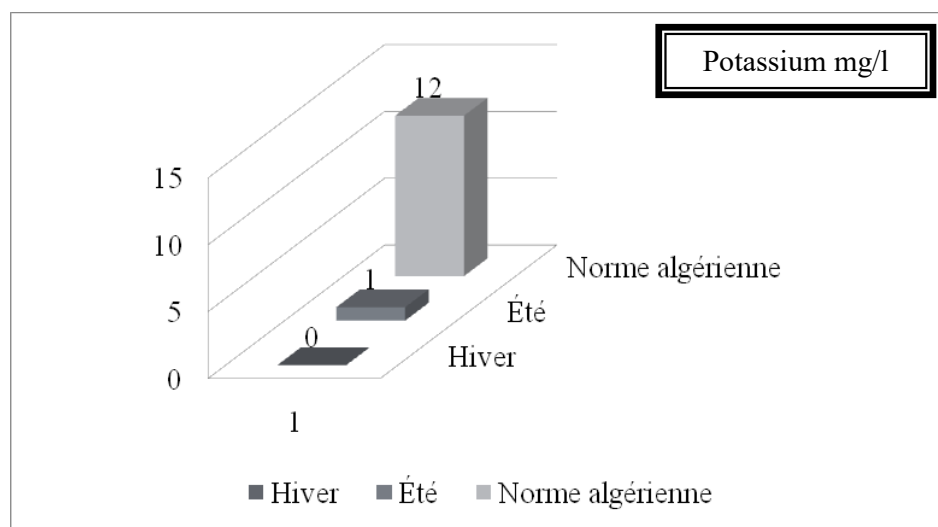
**Figure 34 :** Concentration de magnésium dans l'eau de source pour les périodes hivernale et estivale.

#### 2.5.4 Potassium

Le graphique des variations saisonnières du potassium dans l'eau de source révèle des fluctuations marquées au cours de l'année (Figure 35). En hiver, la concentration est nulle 0 mg/l, tandis qu'en été, elle atteint 1 mg/l, ce qui indique une augmentation saisonnière des niveaux de potassium durant les mois plus chauds. Les faibles concentrations relevées pourraient être attribuées aux caractéristiques spécifiques de la source ou à une absence notable de sources naturelles de potassium dans la région.

Lorsque l'on compare ces valeurs à la norme algérienne de 12 mg/l, il apparaît que les concentrations mesurées sont largement inférieures. En effet, les niveaux observés sont au dessous des seuils réglementaires.

La source Anfoug présente une concentration nulle en hiver et une augmentation à 1 mg/l en été. En comparaison, la source Aghbalou (Atek et Touabi, 2022) affiche une concentration stable de 1 mg/l tout au long de l'année, tant en hiver qu'en été. La source Thebouth, quant à elle, maintient également une concentration constante de 1 mg/l en toutes saisons, en revanche, la source Boukhira se distingue par des concentrations plus élevées, avec 3 mg/l aussi bien en hiver qu'en été (Akli et Stiti, 2022). Cette analyse met en évidence une variation notable dans les niveaux de potassium, la source Boukhira ayant les concentrations les plus élevées et la source Anfoug les plus basses.



**Figure 35 :** Concentration de potassium dans l'eau de source pour les périodes hivernale et estivale.

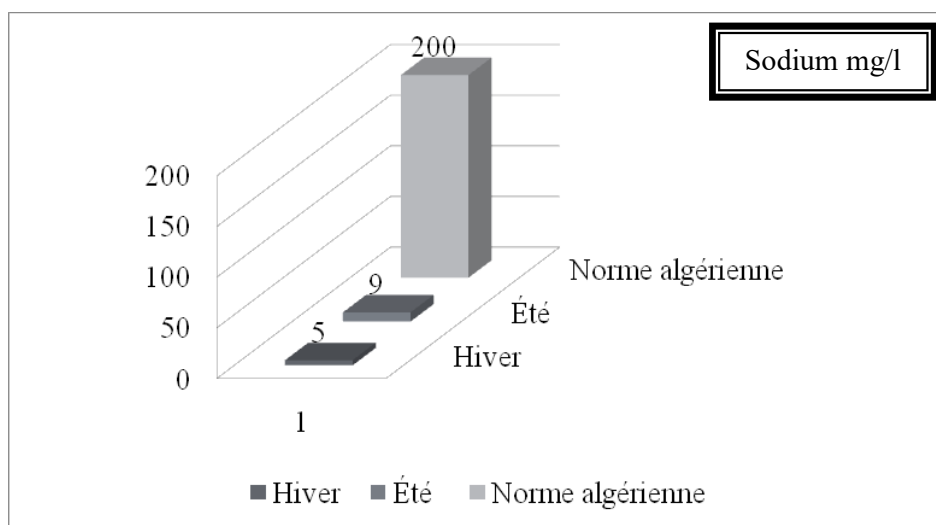
### 2.5.5 Sodium

Le graphique des variations saisonnières du sodium dans l'eau de source montre que la concentration est de 5 mg/l en hiver et de 9 mg/l en été (figure 36).

En examinant les variations saisonnières, nous observons une augmentation de la concentration de sodium pendant l'été par rapport à l'hiver. Cette hausse pourrait être attribuée à divers facteurs, tels que des changements dans la composition de l'eau, une évaporation accrue en période estivale, ou d'autres influences environnementales. Cependant, ces valeurs sont considérablement inférieures à la norme algérienne de 200 mg/l.

La source Anfoug se caractérise par des concentrations de sodium relativement faibles, à savoir 5 mg/l en hiver et 9 mg/l en été. En comparaison, la source Aghbalou (Atek et Touabi,

2022) présente des niveaux plus élevés, atteignant 40 mg/l en hiver et 52 mg/l en été. La source Thebouth, bien que supérieure à Anfoug, affiche des concentrations modérées, soit 6 mg/l en hiver et 6,78 mg/l en été et la source Boukhira se distingue par des teneurs particulièrement élevées, avec 200 mg/l en hiver et 210 mg/l en été (Akli et Stiti, 2022). Ces variations notables témoignent des différences dans la composition minérale des eaux entre les différentes sources.



**Figure 36** : Concentration de sodium dans l'eau de source pour les périodes hivernale et estivale.

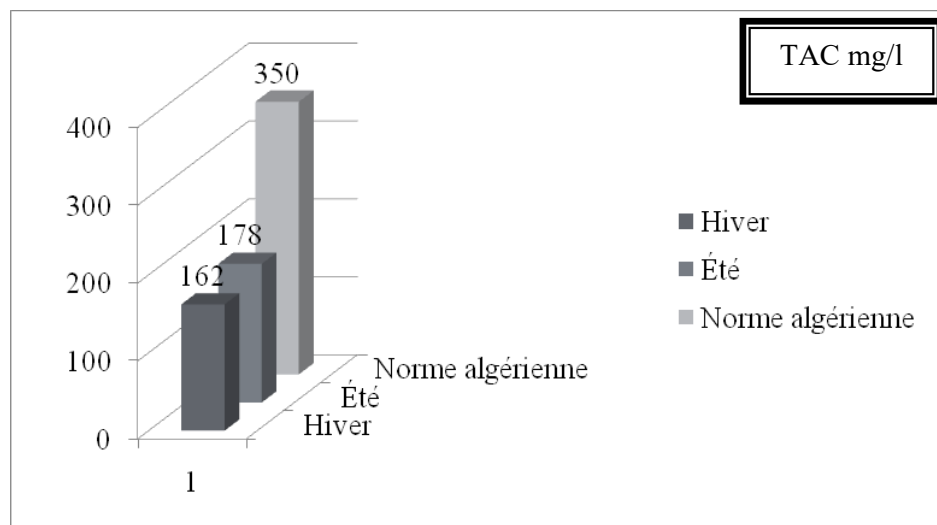
### 2.5.6 Titre alcalimétrique complet

Les variations saisonnières du titre alcalimétrique complet (TAC) dans l'eau de source montrent une concentration de carbonates de 162 mg/l pendant la période hivernale et de 178 mg/l durant la période estivale (Figure 37). Donc, la concentration de carbonates augmente d'environ 9,9% de l'hiver à l'été. Cette augmentation relative mesure le changement proportionnel par rapport à la concentration initiale.

Cette tendance peut être attribuée à divers facteurs environnementaux, tels que l'évaporation accrue, les changements dans les précipitations ou les variations de température, qui affectent la solubilité des minéraux dans l'eau.

Toutefois, il est important de noter que ces valeurs restent largement inférieures à la norme algérienne de 350 mg/l, garantissant ainsi que l'eau de source respecte les exigences de potabilité en ce qui concerne les carbonates.

Pour Anfoug, le TAC est de 162 mg/l en hiver et de 178 mg/l en été. En revanche, la source Aghbalou (Atek et Touabi, 2022) présente un TAC constant de 290 mg/l, tant en hiver qu'en été. La source Thebouth affiche des valeurs proches de celles d'Anfoug, avec 172 mg/l en hiver et 180 mg/l en été, en comparaison, la source Boukhira révèle des concentrations nettement plus élevées, s'élevant à 368 mg/l en hiver et 370 mg/l en été (Akli et Stiti, 2022). Cette variation met en évidence une différence marquée des niveaux de carbonates entre ces sources.



**Figure 37 :** Variation du titre alcalimétrique complet de l'eau de source en hiver et en été.

### 2.5.7 Bicarbonates

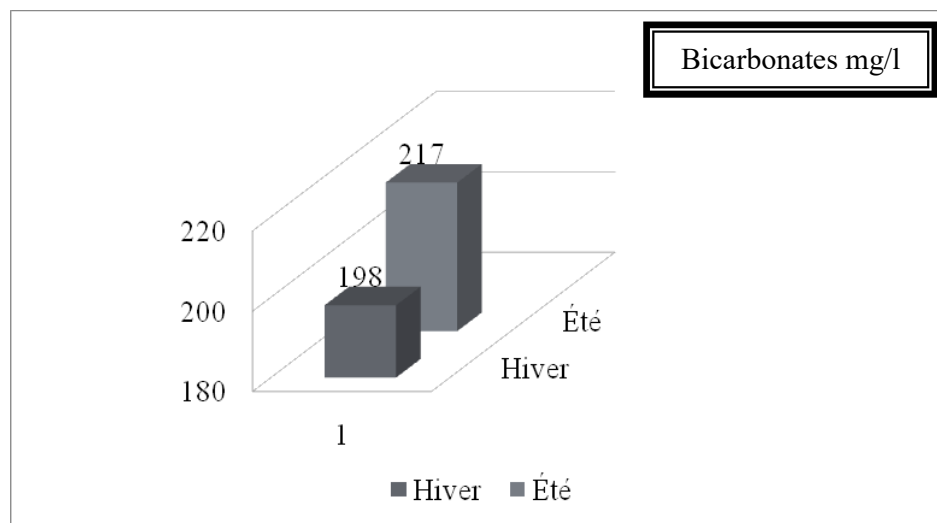
Nous observons que la concentration est de 198 mg/l en hiver et de 217 mg/l en été (Figure 38). Cette fluctuation saisonnière suggère une origine bicarbonatée de l'eau.

En été, la concentration plus élevée peut être attribuée à une évaporation accrue, concentrant les bicarbonates, ou à une intensification des processus biologiques et chimiques qui libèrent davantage de bicarbonates dans l'eau.

En hiver, la concentration réduite peut résulter de la dilution par les précipitations ou de modifications des processus géochimiques.

Ces variations saisonnières sont compatibles avec une origine bicarbonatée, car elles reflètent l'impact des conditions climatiques et hydrologiques sur la concentration en bicarbonates. Par ailleurs, selon Nouayti et *al.* (2015), la teneur en bicarbonates des eaux souterraines non affectées par des influences anthropiques varie entre 50 et 400 mg/l.

Nos résultats concordent avec les travaux de Bessalem et Hassani (2017) dans leur étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques sur deux périodes d'échantillonnage de deux sources d'eau au niveau de deux communes (Ouacif et Ouadias), d'une valeur 175,68 mg/l en hiver et 192,76 mg/l en été, ces valeurs qui sont conformes aux normes algériennes.

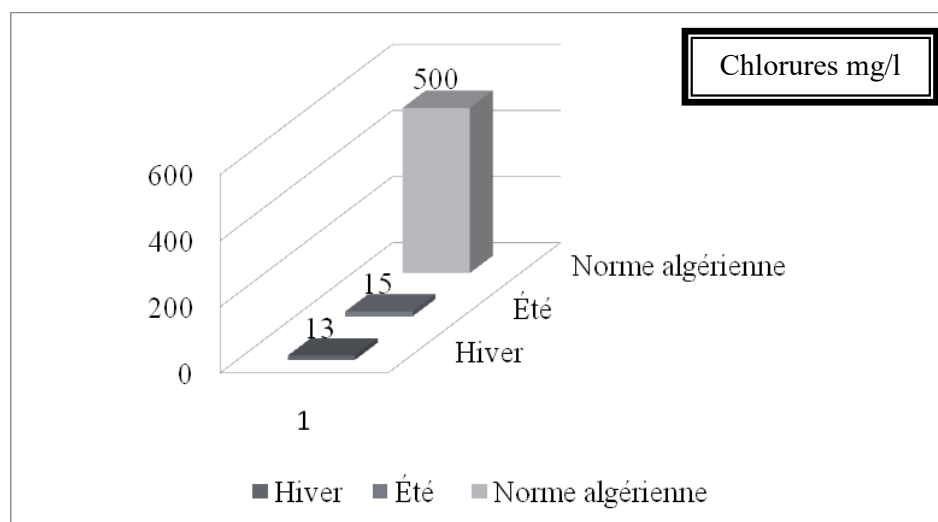


**Figure 38** : Concentration de bicarbonates dans l'eau de source pour les périodes hivernale et estivale.

### 2.5.8 Chlorure

Les variations saisonnières des chlorures dans l'eau de source révèlent que la concentration en chlorures est de 13 mg/l en hiver et de 15 mg/l en été (Figure 39), montrant ainsi une légère augmentation durant la saison estivale. Comparées à la norme algérienne, qui est fixée à 500 mg/l, ces valeurs demeurent nettement inférieures, attestant de la conformité de l'eau avec les normes en vigueur. Cette légère fluctuation saisonnière pourrait résulter de facteurs tels que l'évaporation accrue pendant l'été ou des variations dans les apports en chlorures.

Nous avons obtenu des résultats donc soutenus les travaux de Chegrani et Hammoudi (2022) travaillant sur l'analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source Laïnsar Ouqarmoud au niveau de la commune d'Iloulou Oumalou dans la région de Tizi-Ouzou, d'une valeur 10mg/l en été.



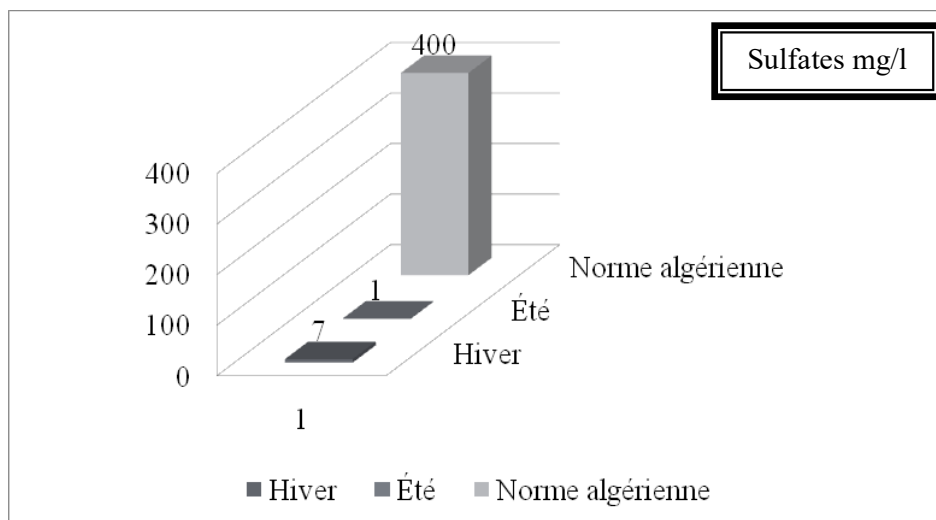
**Figure 39 :** Concentration de chlorures dans l'eau de source pour les périodes hivernale et estivale.

### 2.5.9 Sulfates

L'analyse des variations saisonnières des sulfates dans l'eau de source révèle que les concentrations sont significativement plus élevées en hiver 7 mg/l qu'en été 1 mg/l (Figure 40). Ces valeurs restent largement inférieures à la valeur guide recommandée de 400 mg/l en Algérie.

La hausse des concentrations en hiver pourrait être due à des processus tels que la lessive des sulfates des sols ou des changements hydrologiques, tandis que la baisse en été pourrait résulter d'une dilution accrue ou d'une évaporation réduite.

Nos résultats ne sont pas similaires avec les résultats obtenus de travail Bessalem et Hassani (2017) qui sont des valeurs élevées, Ainsar (13,1 mg/l en hiver, 21,2 mg/l en été), Kebout (16,1 mg/l en hiver, 14,2 mg/l en été).



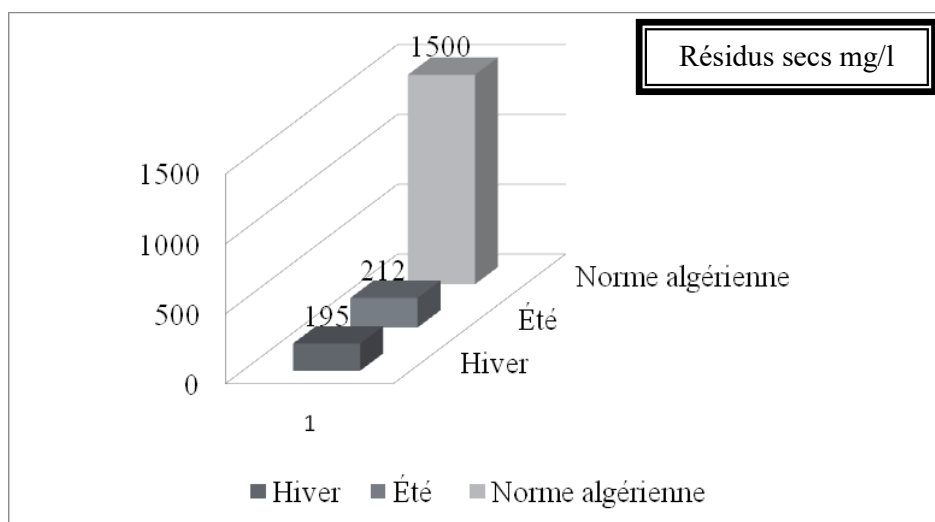
**Figure 40 :** Concentration de sulfates dans L'eau de source pour les périodes hivernale et estivale.

#### 2.5.10 Résidus secs à 105 °C

Dans le graphique des variations saisonnières des résidus secs à 105°C dans l'eau de source, nous observons des valeurs de 195 mg/l en hiver et de 212 mg/l en été (Figure 41). Cette légère augmentation estivale pourrait être attribuée à des facteurs tels que l'augmentation de l'évaporation ou des changements dans les apports en nutriments ou contaminants au cours des différentes saisons.

Il est important de noter que ces valeurs restent largement inférieures à la norme fixée à < 1500 mg/l. Ainsi, selon cette norme, l'eau de source est considérée comme conforme, selon Rodier (2005), indépendamment des variations saisonnières observées.

Nous avons remarqué que nos résultats sont en accord avec les résultats obtenus par Bessalem et Hassani (2017), qui sont presque des valeurs similaires.



**Figure 41 :** Variation des résidus secs pendant la période hivernale et estivale.

## 2.6 Résultats des paramètres de pollution

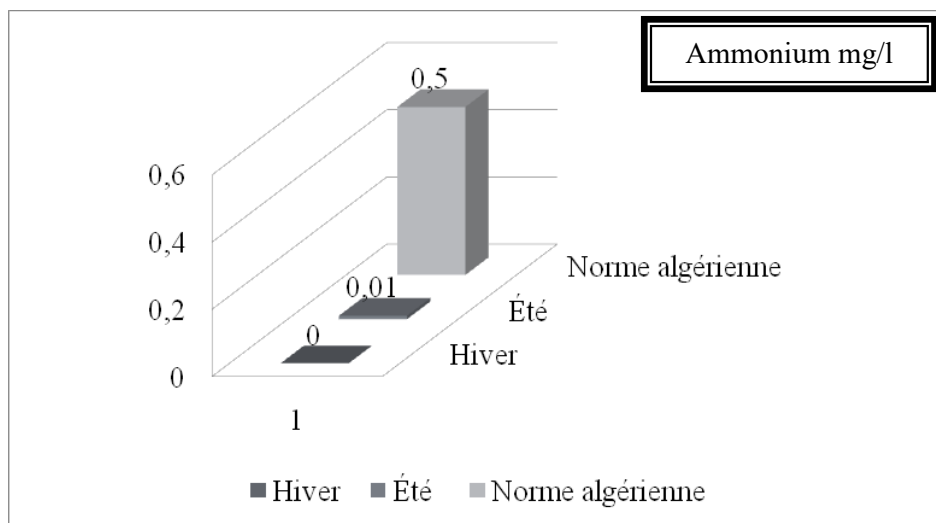
### 2.6.1 Ammonium

Il ressort du graphique (Figure 42) que la concentration d'ammonium augmente de manière marginale en été par rapport à l'hiver. La variation saisonnière mineure peut être due à des processus naturels ou à des facteurs environnementaux temporaires.

La concentration mesurée, même en été 0,01 mg/l, est bien inférieure à la norme algérienne de 0,5 mg/l. Cela indique que la qualité de l'eau de source respecte largement les critères de sécurité en matière de pollution par l'ammonium.

Nos résultats correspondent à ceux rapportés par Ouhamouche et Zane (2021) qui ont évalué les paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux de trois sources (Thianserine, Thala Bouada et Ait Naïm) dans la région de Tizi-Ouzou (résultats nuls au niveau des deux sources d'eau Thianserine et Thala Bouada), en accord aussi à ceux trouvés par Amichi et Amiri (2020) analysant les paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de la source Thebouth. Ainsi à ceux de Lassouaoui et Kitous (2017) concernant les paramètres physico-chimiques et bactériologiques de deux sources d'eau de deux stations « Akerrou et Tizi-Ouzou » wilaya de Tizi-Ouzou. Les résultats de Houmel (2017) qui varient entre 0 mg/l et 0.01 mg/l dans le cadre de l'étude des paramètres physicochimiques et bactériologiques sur deux périodes d'échantillonnage de deux sources d'eau au niveau de deux communes « Tizi Rached et Ait Toudert » Wilaya de Tizi-Ouzou, et ceux de Ramdane

et Tiguercha (2015) qui analyse les paramètres physico- chimiques et bactériologiques de l'eau de source « Alma, Tamazirt Ourabah » de la commune de Mizran, qui ont enregistré une valeur de 0.25 mg/l ne conviennent pas avec les valeurs trouvées dans notre travail.

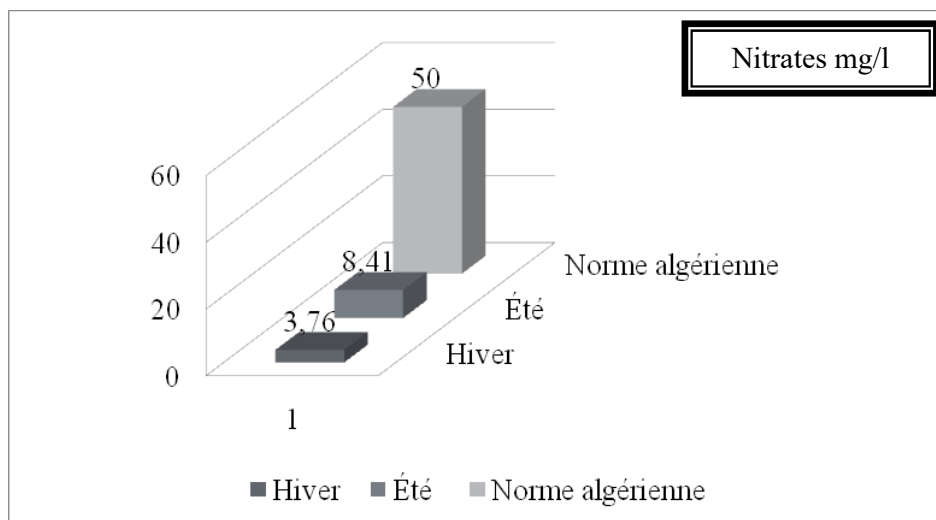


**Figure 42 :** Variation des concentrations d'ammonium dans l'eau de source durant les périodes hivernale et estivale.

### 2.6.2 Nitrates

Il est clair à partir du graphique (Figure 43) qu'il y a une augmentation significative des nitrates entre l'hiver et l'été. Cette augmentation pourrait être due à plusieurs facteurs saisonniers, tels que l'évaporation accrue, les changements dans l'apport en eau ou les variations dans les activités agricoles (comme la fertilisation) pendant l'été. La concentration maximale limite de nitrates dans l'eau de consommation est de 50 mg/l, et les niveaux mesurés en hiver 3,76 mg/l et en été 8,41 mg/l, sont largement inférieurs à cette limite.

Nos résultats sont en accord avec ceux de Ouhamouche et Zane (2021) qui fluctuent entre 2.92 mg/l et 7.92 mg/l, et similaires à ceux de Bessalem et Hassani (2017) qui oscillent entre 2,57 mg/l et 5,75 mg/l.



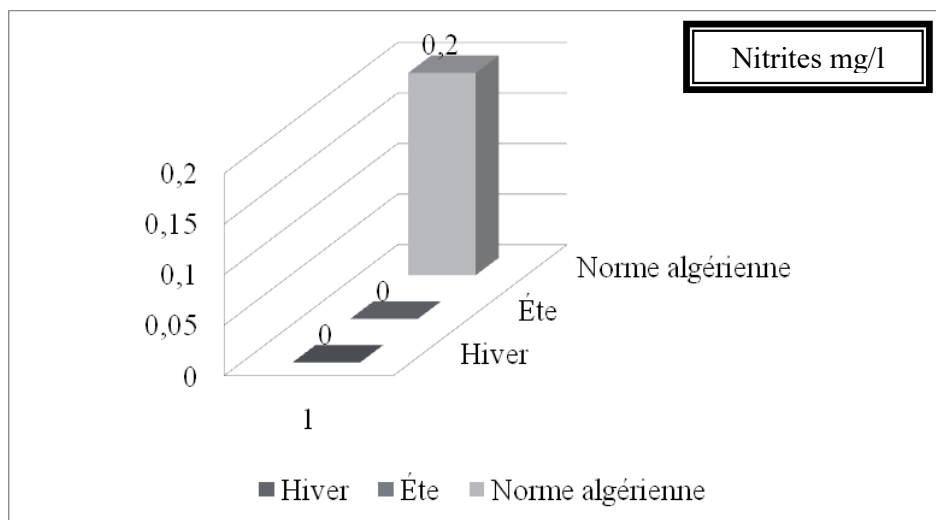
**Figure 43** : Variation des concentrations de nitrates dans l'eau de source durant les périodes hivernale et estivale.

### 2.6.3 Nitrites

L'absence de variation dans les concentrations de nitrites (figure 44) entre les deux saisons (hiver et été) suggère que les conditions environnementales n'ont pas un impact significatif sur la concentration de nitrites dans l'eau de source. Cela peut être le résultat de plusieurs facteurs, comme une gestion efficace des sources de pollution ou des caractéristiques géologiques de la source qui limitent l'influence des saisons.

La norme algérienne pour les nitrites dans l'eau de source est de 0,2 mg/l. Étant donné que les valeurs mesurées sont de 0 mg/l tout au long de l'année, cela signifie que les concentrations de nitrites sont bien en dessous de la norme légale.

Nos résultats concordent avec ceux trouvés par Amichi et Amiri (2020), Houmel (2017), Lassouaoui et Kitous (2017), Bessalem et Hassani (2017) et Iltache (2015) dans son étude sur les paramètres physico-chimiques et bactériologiques de trois sources d'eau de deux communes « Thala-athman et Yakourene » Wilaya de Tizi-Ouzou, et Chegrani et Hammoudi (2022), qui ont tous enregistré des valeurs nulles en nitrites.



**Figure 44 :** Variation des concentrations de nitrites dans l'eau de source durant les périodes hivernale et estivale.

#### 2.6.4 Phosphates

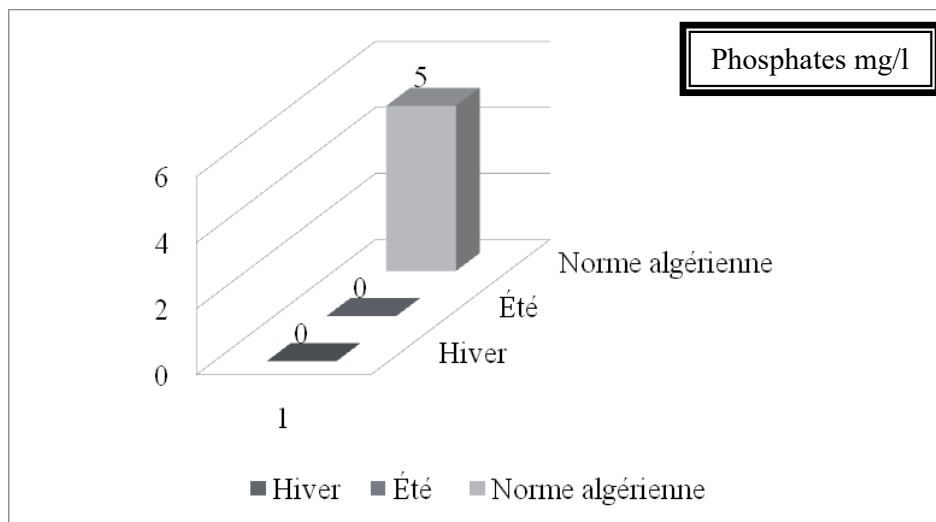
Le graphique indique une concentration des phosphates constante de 0 mg/l, tant pendant la période hivernale qu'estivale (Figure 45). Cette observation indique que les niveaux de phosphates dans l'eau de source sont systématiquement absents tout au long de l'année.

Conformément à la norme algérienne, qui fixe la limite maximale de phosphates dans l'eau de consommation à 5 mg/l, l'absence totale de phosphates observée sur le graphique est largement en dessous de ce seuil.

Cette absence constante de phosphates peut être attribuée à plusieurs facteurs naturels et environnementaux, tels que la composition géologique de la région, le type de sol, et l'absence de sources potentielles de pollution comme les pratiques agricoles intensives ou les déversements industriels.

Nos résultats sont similaires à ceux trouvés par Chegrani et Hammoudi (2022) Ouhamouche et Zane (2021), Achoui et Souci (2015) qui ont étudié les paramètres physicochimiques et bactériologiques de différentes sources Lakhroub (Yakourene), Fontaine Fraîche (Yakourene) et Ainser Akdhim (Thala Athmane) dans la wilaya de Tizi-Ouzou et ceux de Ramdane et Tiguercha (2015), qui ont trouvées des valeurs nulles en phosphate. Et d'autre part, les travaux d'Amichi et Amiri (2020) qui varient entre 0 mg/l et 0.14 mg/l, ceux

de Houmel (2017) qui fluctuent entre 0 mg/l et 0.39 mg/l et ceux de Lassouaoui et Kitous (2017) qui oscillent entre 0 mg/l et 0.03 mg/l ne sont pas en accord avec nos résultats.



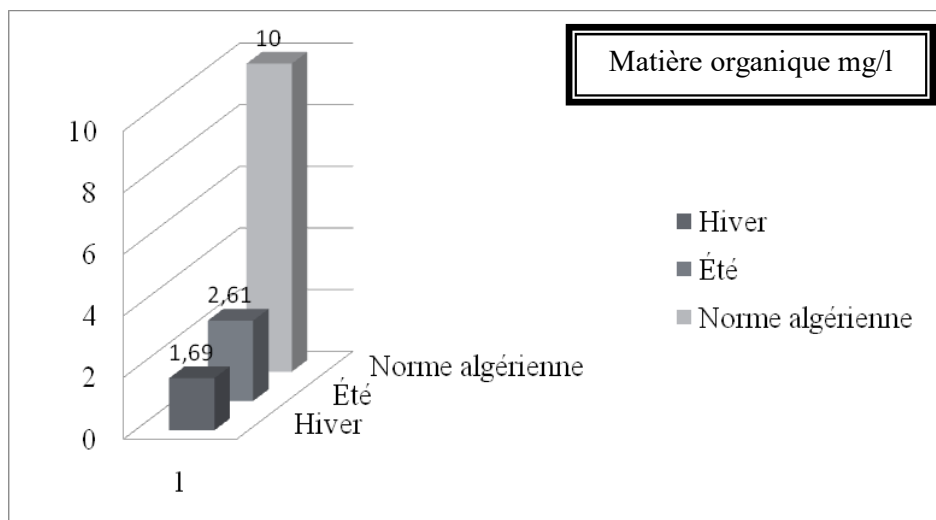
**Figure 45 :** Variation des concentrations de phosphates dans l'eau de source durant les périodes hivernale et estivale.

### 2.6.5 Matière organique

À vue du diagramme (Figure 46), il est évident que les concentrations mesurées sont bien inférieures à la norme algérienne de 10 mg/l. En hiver, la concentration est de 1,69 mg/l, tandis qu'en été, elle atteint 2,61 mg/l. Ces valeurs respectent les normes en vigueur.

Toutefois, nous observons une légère augmentation de la concentration estivale par rapport à l'hiver. Cette variation saisonnière pourrait être attribuée à des facteurs tels que les changements dans le ruissellement des eaux de pluie ou les variations de température, qui influencent la décomposition de la matière organique.

Nos résultats concordent avec ceux rapportés par Bessalem et hassani (2017) qui oscillent entre 0.33 mg/l et 2.31 mg/l, et ne sont pas en accord avec ceux obtenus par Ouhamouche et Zane (2021) (résultats varient entre 0.04 mg/l et 2.83 mg/l), ceux de Ramdane et Tiguercha (2015) qui ne dépassent pas 1.33 mg/l.



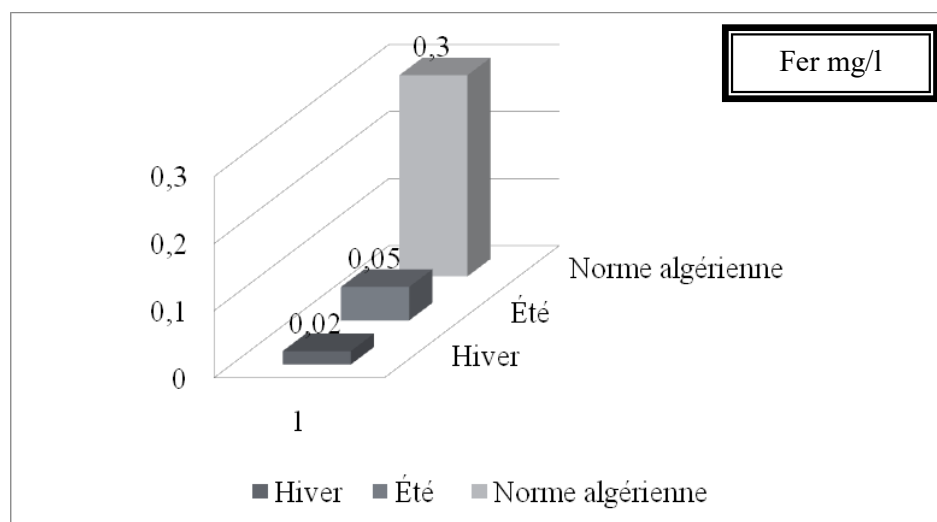
**Figure 46 :** Variation des concentrations de la matière organique dans l'eau de source durant les périodes hivernale et estivale.

## 2.7 Résultats des paramètres indésirables

### 2.7.1 Fer

Les données représentées (Figure 47) indiquent que les niveaux de fer ferreux mesurés sont nettement inférieurs à la norme algérienne de 0,3 mg/l. En hiver, la concentration de fer est de 0,02 mg/l, tandis qu'en été, elle augmente légèrement à 0,05 mg/l. Cette variation saisonnière, avec des concentrations plus élevées en été, peut être attribuée à des facteurs tels que les changements de température et les conditions de ruissellement. Toutefois, ces valeurs restent largement en dessous des limites réglementaires.

Nos résultats sont proches à ceux interprétés par Ouhamouche et Zane (2021) (résultats varient entre 0.01 mg/l et 0.04 mg/l) ainsi à ceux de Houmel (2017) qui fluctuent entre 0.04 mg/l et 0.06 mg/l et ceux de Iltache (2015) qui varient entre 0.01 mg/l et 0.08 mg/l. Et y compris ceux de Chegrani et Hammoudi (2022), nos résultats ne sont pas en accord avec ceux trouvés par Ramdane et Tiguercha (2015) qui ont enregistré une valeur de 0.45 mg/l.



**Figure 47 :** Variation des concentrations de fer dans l'eau de source durant les périodes hivernale et estivale.

### 3. Résultats des analyses bactériologiques

**Tableau 6 :** Résultats des analyses bactériologiques de l'eau de source Anfoug.

| Germes               | Période hivernale | Période estivale |
|----------------------|-------------------|------------------|
| Coliformes totaux    | 0 C/100ml         | 0 C/100ml        |
| <i>E. coli</i>       | 0 C/100ml         | 0 C/100ml        |
| Streptocoques fécaux | 0 C/100ml         | 0 C/100ml        |

C : Colonies

Les résultats des analyses bactériologiques de l'eau de source montrent des concentrations nulles pour les coliformes totaux, *E. coli*, et les streptocoques fécaux, avec des valeurs de 0 C/100 ml pour chacune de ces catégories.

Ces résultats sont très positifs et indiquent que l'eau est exempte de contamination bactérienne. L'absence de coliformes totaux signifie que l'eau ne présente pas de présence de bactéries coliformes, souvent utilisées comme indicateurs de contamination microbiologique. Ce résultat suggère que l'eau est probablement propre et sans contamination d'origine fécale.

De plus, l'absence d'*E. coli*, une bactérie spécifique à l'intestin humain et animal, renforce l'assurance que l'eau ne contient pas de contaminations fécales. Étant donné que la

présence d'*E. coli* est un indicateur direct de contamination d'origine fécale, son absence est particulièrement rassurante concernant la qualité microbiologique de l'eau.

Enfin, l'absence de streptocoques fécaux complète cette évaluation positive. Ces bactéries sont également des marqueurs de contamination fécale, et leur absence confirme que l'eau est de bonne qualité et ne présente pas de risques sanitaires liés à une telle contamination.

Selon les critères de l'OMS, si le nombre de germes par millilitre d'eau est compris entre 0 et 10, l'eau est considérée comme pure. Dans ce cas précis, les niveaux de tous les indicateurs microbiologiques sont à zéro, ce qui dépasse même les standards de pureté de l'OMS.

Nous avons des résultats similaires à ceux d'Ouhamouche et Zane (2021), Iltache (2015) et Achoui et Souci (2015), et ceux de Chegrani et Hammoudi (2022) qui ont tous mis en évidence l'absence de ce genre de bactéries. Les résultats de notre étude ne correspondent pas aux résultats de Amichi et Amiri (2020), qui varient entre 15 colonies 38 colonies dans le volume de 100 ml de l'eau analysée, ceux de Bessalem et Hassani (2017), qui varient entre 96 C/100 ml et 150 C/100ml, et ceux de Lassouaoui et Kitous (2017), qui ont trouvé 240 C/100 ml pour la source Tigounatine et 163 C/100 ml pour la source Ain Helouf.

# *Conclusion*

Notre étude visait à évaluer la qualité organoleptique, physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source Anfoug, située dans la commune d'Ath Ouacif, durant les saisons hivernale et estivale de l'année 2024.

Les résultats obtenus ont été confrontés aux normes algériennes en vigueur, et il en ressort que tous les paramètres analysés sont conformes à la réglementation relative à la potabilité de l'eau.

Sur le plan organoleptique, l'échantillon prélevé se distingue par sa clarté, sans coloration, odeur ou saveur désagréable. Concernant l'analyse physico-chimique, l'eau de la source est légèrement basique, comme en témoigne l'élévation du pH. La minéralisation de l'eau demeure adéquate pendant les deux saisons, avec une turbidité de 0,27 en hiver et de 0,38 en été, ainsi qu'une conductivité électrique de 339  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en hiver et de 353  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en été.

Sur le plan chimique, l'eau se révèle douce, comme l'indiquent les valeurs de dureté totale, de 178 mg en  $\text{CaCO}_3$  en hiver et de 184 mg en été. La dureté calcique reste stable 62 mg/l au cours des deux saisons, tandis que la dureté magnésienne connaît une légère augmentation en été 7 mg/l, bien que restant inférieure à la norme algérienne. Les concentrations en sodium et en potassium demeurent conformes aux limites réglementaires, et la chloration de l'eau est faible 13 à 15 mg/l.

En matière de pollution, nous avons constaté l'absence de pollution nitrique, phosphorique et ammoniacale tout au long de l'année, ainsi que l'absence de pollution ferrique, ce qui reflète une dégradation complète de la matière organique et l'absence de rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industrielle.

Les résultats bactériologiques indiquent l'absence totale de germes indicateurs de pollution, soit les coliformes totaux, les coliformes thermotolérants *E. coli* et les streptocoques fécaux, tant pendant la période hivernale qu'estivale.

L'eau de la source Anfoug satisfait pleinement aux exigences des normes de potabilité en vigueur. Pour aller plus loin, il serait pertinent d'envisager une surveillance continue pour longitudinal régulier de la qualité de l'eau est nécessaire pour détecter d'éventuelles variations saisonnières ou temporelles plus fines. Cette approche permettra de surveiller l'évolution de la potabilité de l'eau sur une période prolongée et d'identifier rapidement toute altération de ses caractéristiques.

Il est crucial de réaliser une analyse approfondie des sources potentielles de pollution environnementale autour de la source Anfoug. Cette étude devrait inclure l'examen des activités agricoles, industrielles et urbaines susceptibles d'affecter la qualité de l'eau. Une telle évaluation aidera à anticiper les risques de contamination et à mettre en place des mesures préventives appropriées.

L'impact du changement climatique sur la qualité de l'eau mérite également une attention particulière. Une analyse des effets des variations climatiques, notamment des changements dans les précipitations et les températures, pourrait fournir des informations précieuses sur les futurs défis auxquels la source pourrait être confrontée.

En informant les citoyens sur la gestion de la qualité de l'eau et la protection des ressources hydriques, on favoriserait une gestion durable et responsable de cette ressource précieuse. Ces initiatives contribueraient non seulement à maintenir la qualité actuelle de l'eau, mais aussi à anticiper et à gérer les futurs défis environnementaux.

## *Références bibliographiques*

1. **Action contre la faim.** Eau - Assainissement – Hygiène pour les populations à risques. 2<sup>ème</sup> édition augmentée. Hermann, 2006. 744 p.
2. **A, Euzen ; C, Jeandel ; R, Mosseri.** L'eau à découvert. Paris : CNRS, 2015. 365 p.
3. **A, Kettab.** Les ressources en eau en Algérie : Stratégie, enjeux et vision. Desalination, 2001, 136. 25 - 33 p.
4. **Amareo : Explorer, Protéger, se ressourcer.** Le cycle de l'eau : le comprendre pour en prendre soin, 2023, consulté en 2024. <https://www.amareo.com/cycle-eau-savoir#h2-5>
5. **A, Ouiles.** Analyse physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de source de la région Iferhounene. Mémoire de master. Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques. Département de biochimie. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2021. 61 p.
6. **B, Cuniasse ; T, Glass.** Métaux lourds. Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques : Bilan des émissions en France de 1990 à 2018. Citepa, 2020. 167 - 208 p.
7. **B, Festy ; P, Hartemann ; M, Ledrans ; P, Levallois ; P, Payement ; D, Tricard.** Qualité de l'eau in Environment et santé publique : Fondements et pratiques. Paris : Edisem, Toc et Doc, Actonvale, 2003. 333 - 368 p.
8. **C, Lécuyer.** L'eau sur la Terre : Propriétés physico-chimiques et fonctions biologiques. Hermes science publishing Ltd, 2014. 265 p.
9. **C, Ouhamouche ; N, Zane.** Evaluation des paramètres physico- chimiques et bactériologiques des eaux de trois sources (Thianserine, Thala Bouada et Ait Naïm) dans la région de Tizi-Ouzou. Mémoire de Master. Faculté des sciences Biologiques et Agronomiques. Département de Biologie. Université Mouloud MAMMERI de Tizi–Ouzou, 2021. 66 p.
10. **D, Clave.** Fiche technique : *Escherichia coli*. Centre Toulousain pour le Contrôle de qualité en Biologie clinique, 2015. 2 p.
11. **D, Zimmer.** L'empreinte eau : Les faces cachées d'une ressource vitale. Paris : Charles Léopold Mayer, 2013. 211 p.
12. **E, Gilli ; C, Mangan ; J, Mudry.** Hydrogéologie : Objet, méthodes, applications. 4<sup>ème</sup> édition. Paris : Dunod, 2016. 368 p. F, Anctil. L'eau et ses enjeux. 2<sup>ème</sup> édition. De Boeck, 2017. 264 p.
13. **E, Ramdane ; M, Tiguercha.** Étude des paramètres physico- chimiques et bactériologiques de l'eau de source « Alma, Tamazirt Ourabah » de la commune de

- Mizrana, wilaya de Tizi-Ouzou. Mémoire de Master Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques Département Biochimie Microbiologie. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015. 82 p.
14. **F, Atek ; H, Touabi.** Analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source Aghbalou sur deux périodes d'échantillonnage au niveau de la commune de Makouda dans la région de Tizi-Ouzou. Mémoire de master. Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques. Département de biologie. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2022. 39 p.
  15. **F, Touhari.** Etude de la qualité des eaux de la vallée de Haut Cheliff. Thèse de doctorat es-science. Blida : L'école nationale supérieure d'hydraulique, 2015. 172 p.
  16. **Institut national de santé publique.** Relevé épidémiologique mensuel. Ministère de la santé, 2020, 2021, 2022.
  17. **J, Rodier.** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaire, eaux de mers. Paris : Dunod, 1996. 1383p
  18. **J, Rodier ; B, Legube ; N, Merlet.** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Paris : Dunod, 2005. 1384 p.
  19. **L, Iltache.** Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de trois sources d'eau de deux communes « Thala-athman et Yakourene » Wilaya de Tizi-Ouzou. Mémoire de Master. Faculté des sciences biologiques et agronomiques. Département de biologie animale et végétale. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015. 77 p.
  20. **L, Gouaidia.** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi des zones arides, cas de la nappe de Meskiana nord-est Algérien; Université Badji Mokhtar-Annaba Algérie, 2008.
  21. **M, Falkenmark.** The purpose of this book in Water a reflection of land use : Options for countacting land and water mismanagement. Sweden : El andres gotab ab, 1999. 10 - 16 p.
  22. **N, Akli ; M, Stiti.** Analyse physico-chimique et bactériologique de deux sources d'eau au niveau de deux commune de la wilaya de Tizi-Ouzou «Tigzirt et Ouadias». Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques. Département de biologie. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2022. 55 p.

23. **N, Amichi ; K, Amiri.** Contribution à l'étude des paramètres physico- chimiques et bactériologiques de l'eau de la source Thebouth « Ouadias, wilaya de Tizi-Ouzou ». Mémoire de master. Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques département de Biologie. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2020. 90 p.
24. **N, Lassouaoui ; L, Kitous.** Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de deux sources d'eau de deux stations « Akerrou et Tizi-Ouzou » wilaya de Tizi-Ouzou. Mémoire de master. Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques. Département des sciences biologiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2017. 75p.
25. **N, Nouayti ; D, Khattach ; M, Hilali.** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas, Maroc). JMES, 2015, 6. 1068 – 1081 p.
26. **O, Fouché.** Aquifères, nappes et essais d'eau in Théorie et pratique de la géotechnique, Tome 1, Outils pour la conception des ouvrages. Le Moniteur, 2013. 723 - 846 p.
27. **Organisation mondiale de la santé.** Directives de qualité pour l'eau de boisson. 4<sup>ème</sup> édition. 2017. 539 p.
28. **R, Achoui ; N, Souci.** Étude des paramètres physicochimiques et bactériologiques de différentes sources « Lakhroub » « Fontaine Fraiche » et « Ainser Akdim » wilaya de Tizi Ouzou. Mémoire de master. Faculté des sciences et technologies département chimie. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015. 70 p.
29. **S, Lefever ; S, Genin-Lomier ; P, Orlandini ; O, Cabre.** Maîtrise de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine à bord des bâtiments de la marine : enjeu des paramètres chimiques et organoleptiques. Bulletin de l'académie vétérinaire de France, 2020, 173. 220 - 230 p.
30. **S, Merabet.** Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de Beni Harroun. Mémoire de master. Faculté des sciences exactes. Département de chimie. Université Mentouri, Constantine, 2010. 88 p.
31. **T, Chegrani et S, Hammoudi.** Analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source Laïnsar Ouqarmoud au niveau de la commune d'Illoula Oumalou dans la région de Tizi-Ouzou. Mémoire de master. Faculté des sciences Biologiques et sciences Agronomiques. Département de Biologie. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2022. 70 p.

32. **T, Houmel.** Contribution à l'étude des paramètres physicochimiques et bactériologiques sur deux périodes d'échantillonnage de deux sources d'eau au niveau de deux communes « Tizi Rached et Ait Toudert » Wilaya de Tizi-Ouzou. Mémoire de Master. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Département de Biologie Animale et Végétale. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2017. 77p.
33. **W, Kloppmann ; A, Bourhane ; F, Asfirane.** Méthodologie de diagnostic de l'origine de la salinité des masses d'eau : Emploi des outils géochimiques, isotopiques et géophysiques. BRGM, 2011. 123 p.
34. **World Wide Fund for Nature.** Connaitre l'empreinte de l'eau. Newsletter Empreint Écologique n°7, 2010. 16 p.
35. **Z, Bessalem ; S, Hassani.** Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques sur deux périodes d'échantillonnage de deux sources d'eau au niveau de deux communes « Ouacif et Ouadias » wilaya de Tizi-Ouzou. Mémoire de master. Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques département de biologie. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2017. 62 p.

## Résumé

Ce mémoire propose une analyse approfondie des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de source Anfoug, prélevée dans la région d'Ath Ouacif. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la qualité de cette eau en termes de potabilité et de conformité aux normes sanitaires algérienne en vigueur, tant pour la période hivernale que pour la période estivale. Les échantillons ont été prélevés à deux reprises, le 22 janvier 2024 et le 18 juillet 2024, puis soumis à diverses analyses, comprenant la mesure de la température, du pH, de la conductivité, des concentrations en minéraux, des paramètres de pollution, ainsi que des tests bactériologiques pour détecter la présence des microbes nocifs. Les résultats indiquent que l'eau de source respecte les normes de qualité requises pour l'eau potable, malgré certaines variations saisonnières. Ce mémoire propose également des recommandations pour le suivi régulier de la qualité de l'eau et pour la mise en place de mesures préventives visant à maintenir la pureté de la source.

**Mots clés :** Source d'eau Anfoug, paramètres physico-chimiques et bactériologiques, période hivernale, période estivale, Ait Aggad.

## Abstract

This thesis provides a comprehensive analysis of the physicochemical and bacteriological characteristics of the Anfoug spring water, sourced from the Ath Ouacif region. The primary objective of this study is to assess the water quality in terms of potability and compliance with current health standards, both for the winter and summer periods. Samples were collected on two occasions, January 22, 2024, and July 18, 2024, and were subjected to a series of analyses, including measurements of temperature, pH, conductivity, mineral concentrations, pollution parameters, and bacteriological tests to detect the presence of harmful microbes. The results indicate that the spring water meets the required potable water quality standards, despite some seasonal variations. This thesis also offers recommendations for regular monitoring of water quality and preventive measures to maintain the purity of the source.

**Key words:** Anfoug spring, the physicochemical and bacteriological characteristics, the winter periods, the summer periods, Ait Aggad.

## ملخص

يقدم هذا البحث تحليل شامل للخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية لمياه المنبع أنفوغ، التي تم جمعها من منطقة أث واسيف. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم جودة هذه المياه من حيث صلاحيتها للشرب وامتثالها للمعايير الصحية السارية، سواء في فترة الشتاء أو الصيف. تم جمع العينات مرتين، في 22 يناير 2024 و 18 يوليو 2024، ثم خضعت لعدة تحليلات، بما في ذلك قياس درجة الحرارة، الرقم الهيدروجيني، التوصيل الكهربائي، تركيزات المعادن، معايير التلوث، بالإضافة إلى اختبارات ميكروبيولوجية للكشف عن وجود الميكروبات الضارة. تشير النتائج إلى أن مياه المنبع تفي بالمعايير المطلوبة لجودة مياه الشرب، على الرغم من بعض التغيرات الموسمية. كما يقدم هذا البحث توصيات للمتابعة المنتظمة لجودة المياه ولتطبيق إجراءات وقائية تهدف إلى الحفاظ على نقاء المنبع.

**كلمات مفتاحية :** منبع أنفوق، الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية، فترة الشتاء، فترة الصيف، آيت أقاد.