

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE  
Département : GENIE DES PROCÉDES  
Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIE  
Filière : GENIE DES PROCÉDES  
Spécialité : GENIE DES PROCÉDES  
DE L'ENVIRONNEMENT

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master  
Thème :

**ETUDE DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES  
SOURCES D'EAU SOUTERRAINE DE SERAIDI -W. ANNABA**

Présenté par : *BELANIGUE Khaoula et ABED Kawter*

Encadrant : *KERMICHE MESSAOUD MAITRE DE CONFERENCES B*

*Université Badji Mokhtar - ANNABA*

### Jury de Soutenance :

TOUBAL ABDELAZIZ	PROFESSEUR	UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA	Président
KERMICHE MESSAOUD	MAITRE DE CONFERENCES B	UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA	Encadrant
SAOUDI FETHI	MAITRE ASSISTANT A	UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023



# Remerciements

*Je remercie avant tout ALLAH de m'avoir aidé...*

*Nous tenons à remercier notre encadreur :*

*Dr Kermiche Messaoud. .*

*Tout notre respect et nos remerciements vont vers les membres du jury Pr Toubal et Mr Saoudi qui vont pleinement consacrer leur temps et leur attention afin d'évaluer notre travail, qui espérons le sera à la hauteur de leurs attentes.*

*Nos vifs remerciements à tous les enseignants du département génie de procédé.*

*Nous exprimons nos respectueux remerciements à Mr MEHAMEDIA Nacer responsable du laboratoire de l'ADE pour nous avoir accueillis dans son laboratoire. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre vive reconnaissance pour l'aide permanente qu'ils nous ont apportée.*

*Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont apporté leur contribution à ce travail. On leur exprime ici notre reconnaissance et gratitude.*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à :*

❖ *Mon cher père «Melbarek» pour l'intérêt qu'il m'a accordé et pour les précieux conseils qu'il m'a donnés pendant les moments difficiles.*

❖ *A ma très chère mère « Samia » pour sa tendresse, son amour, ses sacrifices et son encouragement durant toute ma vie pour que je puisse réussir que dieu me la garde.*

❖ *A mon cher frère : Abd El Wakil.*

❖ *Ames chères sœurs : Arwa, Acil.*

❖ *A tout les membres de la famille*

❖ *A mon binôme : Khaoula*

❖ *A Tous mes meilleurs Amis*

**ABED Kawter**



# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à :*

❖ *À mes chers parents, Il est difficile d'exprimer par des simples mots toute la gratitude et l'amour que je ressens à votre égard. Vous avez été mes piliers tout au long de ma vie, m'encourageant, me soutenant et me guidant vers la réussite. Aujourd'hui, alors que je termine mon projet de fin d'études, je tiens à vous dédier ce travail, car c'est grâce à vous que j'ai pu en arriver là.*

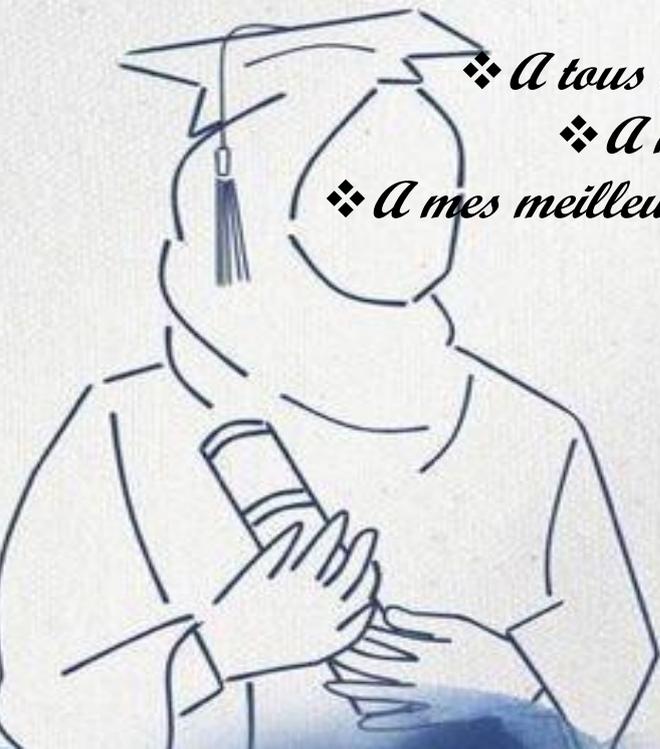
❖ *Ames chères sœurs : Amel, Fouzia, Amira et Nousssa*

❖ *A tous les membres de la famille*

❖ *A mon binôme : Kawter*

❖ *A mes meilleurs Amis : Rayen, Melissa, Aya et renou*

**BELANIGUE Khaoula**



## الملخص

نناقش في هذه مذكرة جودة مياه الينابيع ل سنة 2021/ 2022 لخمس مصاد (عين محكيم، بارك او جو، عين بربر، عين داموس الغول، عين بوحادة) التي تقع في بلدية سرايدي على الرغم من الصعوبات التي وجدها في نتائج تحليل عينات الماء وقلة البيانات التي تم جمعها خلال الدراسة.

أظهرت المذكرة استعراضاً للمعايير والمؤشرات المستخدمة لتقييم جودة مياه الينابيع، مثل المؤشرات الكيميائية والفيزيائية (درجة الحموضة، درجة الحرارة، التوصيل، الملوحة، مستوى الأملاح، الكالسيوم، المغنيسيوم، التعكر) التي تم إجراؤها في مختبر المياه المركزي التابع للشركة الجزائرية للمياه حيث أظهرت نتائج تحليل المياه من المصادر المدروسة أن هذه المياه لا تزال ذات جودة فيزيائية كيميائية جيدة، للاستهلاك البشري.

كما تستعرض الطرق الجديدة والحديثة من أجل معالجة وتحليل المياه واكتشاف أي عناصر ضارة مع اختلاف تراكيزها التي من شأنها ان تشكل خطراً على الانسان بصفة خاصة والبيئة بصفة عامة نستنتج في هذه المذكرة بأن استخدام هذه الطرق في تحليل ومعالجة مياه الينابيع يمكن أن يساهم في تحسين دقة وفعالية عمليات تقييم جودة المياه يشمل ذلك تقنيات مثل الطيف الكهرومغناطيسي، وأجهزة استشعار ذكية وعامل التصفية الحيوي.

### Résumé :

L'objectif de cette étude est de connaître la qualité de l'eau des sources donc, nous avons étudié la qualité de l'eau pour l'année 2021/2022 dans cinq sources (Aïn Mahkam, Parc au jeux, Aïn Barber, Aïn Damouss El Ghoul, Aïn Bouhdada) situées dans la municipalité de Sraïdi, Malgré les difficultés rencontrées dans les résultats des analyses des échantillons d'eau et la faible quantité de données collectées au cours de l'étude.

Le mémoire présente un aperçu des normes et des paramètres utilisés pour évaluer la qualité de l'eau des sources, tels que les paramètres chimiques et physiques (pH, température, conductivité, salinité, niveau de sel, calcium, magnésium, turbidité) qui ont été analysés au laboratoire central des eaux. On a étudié l'évolution spatiale et temporelle des paramètres Analysés (...) durant l'année 2021 et 2022, et pour on a utilisé le diagramme de piper et de shoeller berkaloof à l'aide du logiciel Aquachem.

Les résultats des analyses de l'eau provenant des sources étudiées ont montré que ces eaux conservent une bonne qualité physique et chimique pour la consommation humaine

Aussi présente les nouvelles méthodes innovantes de traitement et d'analyse de l'eau, ainsi que la détection des éléments présents avec des concentrations variables pouvant représenter un danger pour la santé humaine en particulier, et pour l'environnement en général.

## **Abstract:**

The objective of this study is to know the water quality of the sources so, we studied the water quality for the year 2021/2022 in five sources (Ain Mahkam, Parc au jeux, Ain Barber, Ain Damouss El Ghoul, Ain Bouhdada) located in the municipality of Sraïdi, Despite the difficulties encountered in the analysis results of the water samples and the small amount of data collected during the study.

The brief provides an overview of the standards and parameters used to assess the water quality of sources, such as chemical and physical parameters (pH, temperature, conductivity, salinity, salt level, calcium, magnesium, turbidity) which were analysed at the central water laboratory. We studied the spatial and temporal evolution of the parameters Analyzed (...) during 2021 and 2022, and used the piper and shoeller berkaloof diagram using the Aquachem software.

The results of water analyses from the sources studied have shown that these waters retain good physical and chemical quality for human consumption

Also presents the new innovative methods of water treatment and analysis, as well as the detection of elements present with varying concentrations that may pose a danger to human health in particular, and to the environment in general.

# ***SOMMAIRE***

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
----------------------------	---

## **Chapitre I : Recherche bibliographique**

I.1 Introduction. ....	3
I.2.Définition de l'eau .....	3
I.3. Les différents états de l'eau .....	4
I.4.Le cycle hydrologique .....	5
I.5. Propriétés physico _ chimique et biologique de l'eau .....	7
I.5.1. Propriétés physico _ chimique .....	7
I.5.2. Propriétés biologiques.....	8
I.6. La classification des eaux .....	10
I.6.1.les eaux naturelles .....	10
I.6.2. Classification des eaux naturelles .....	10
I.6.2.1. Eaux douces .....	11
I.6.2.2. Eaux salées .....	11
I.6.2.3. Eaux de surface .....	11
I.6.2.4. Eaux glaciales.....	12
I.6.2.5. Eaux minérales.....	12
I.6.2.6. Eaux thermales.....	12
I.6.2.7. Eaux de pluie .....	12
I.6.2.8. Eaux de source .....	12
I.6.2.9. Eaux souterraines .....	13
6.2.9.1 Qualité de l'eau souterraine .....	13
I.6.2.9.2. Les différents types d'eaux souterraines .....	14
a. L'eau de constitution .....	14
b. L'eau de rétention .....	14
c. L'eau libre .....	15
I.6.2.10. Les différents types de nappes .....	15

I.6.3. Eaux de consommation .....	16
I.6.4. Eaux industrielles .....	17
I.6.5 Eaux usées .....	17
a. Eaux résiduaires urbaines (ERU) .....	17
b. Les eaux usées industrielles (ERI) .....	18
Conclusion .....	18

## **Chapitre II : Situation géographique de la zone d'étude**

Introduction .....	19
II. Situation géographique : .....	19
II .1 Situation Géographique d'Annaba .....	19
II .2 Situation Géographique Du Massif De L'edough .....	19
II .3 La ville de Séraïdi.....	20
II.4. La qualité du sol .....	21
II.5. Les sources étudiées .....	22
II.5.1. Source Ain mahkim .....	23
II.5.2. Source parc aux jeux .....	23
II.5.3. Source ain barber .....	24
II.5.4. Source ain damouss el ghoul .....	24
II.5.5. Source ain bouhdada .....	25
Conclusion .....	25

## **Chapitre III : Matériel et méthode**

Introduction .....	26
III.1 Échantillonnage et modes de prélèvements .....	26
III.1.1 PRINCIPE D'ECHANTILLONNAGE .....	26
III.1.2 BUT D'ECHANTILLONNAGE .....	26
III.1.3 CONSERVATION DES ECHATILLONS .....	26
III.1.3.1 CONSIDERATIONS GENERALES .....	26
III.2 Méthodes d'analyses organoleptiques .....	31
III.2.1 Test de la couleur .....	31
III.2.2 Test de l'odeur et de la saveur .....	31

III.3 Méthodes d'analyses physico-chimiques .....	32
III.3.1 Méthodes électrochimiques .....	32
III.3.1.1. Mesure de la turbidité .....	32
III.3.1.2. Mesure de la température .....	34
III.3.1.3 Mesure du Ph .....	35
III.3.1.4 Mesure de la conductivité .....	37
III.3.1.5 Mesure de la minéralisation .....	38
III.3.2 Méthodes volumétriques .....	39
III.3.2.1 Dosage de l'alcalimétrie (TA) .....	39
III.3.2.2 Dosage Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) .....	40
III.3.2.3 Dosage de la dureté totale (titre hydrométrique TH) .....	41
III.3.2.4 Dosage des ions calcium. ....	42
III.3.2.5 Dosage des ions magnésium .....	43
III.3.2.6 Dosage d'ion chlorure .....	43
III.3.2.7 Dosage des bicarbonates .....	44
III.3.3 Méthodes Spectrophotométriques .....	45
III.3.3.1 Dosage des nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	46
III.3.3.2 Dosage Des Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) .....	46
III.3.3.3 Dosage des sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) .....	47
III.3.3.4 Dosage de fer .....	47
III.3.3.5 Dosage de L'ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	48
III.3.3.6 Dosage De Potassium .....	49
III.3.3.7 Dosage De Phosphore .....	50
III.4 Méthodes d'analyses bactériologiques .....	51
III.4.1. Recherche de coliformes fécaux .....	52
III.4.2. Recherche de coliformes totaux .....	52
III.4.3. Recherche et dénombrement des Streptocoques par filtration .....	54
Conclusion .....	54
<b>Chapitre IV : Résultats et discussion</b>	
Introduction .....	55

IV.1. Évolution spatiotemporelle des paramètres physico-chimiques .....	55
IV.1.1. TURBIDITÉ (turb) .....	55
IV.1.2. TEMPÉRATURE .....	56
IV.1.3. Conductivité .....	57
IV.1.4. Potentiel d'hydrogène. ....	59
IV.1.5 DURETÉ(TH) .....	59
IV.1.6. Titre alcalimétrique complet (TAC) .....	61
IV.1.7. CHLORURES (CL <sup>-</sup> ) .....	62
IV.1.8. NITRITES (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) .....	64
IV.1.9. Magnésium (Mg <sup>2+</sup> ) .....	65
IV.1.10. Calcium (Ca <sup>2+</sup> ) .....	66
IV.1.11. Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	66
IV.1.12. Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) .....	67
IV.1.13. Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	68
IV.1.14. PHOSPHATES (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) .....	69
IV.1.15. POTASSIUM (K <sup>+</sup> ) .....	70
IV.1.16. La matière organique (MO) .....	71
IV.2. Détermination du faciès chimique des eaux des sources étudiées.....	72
IV.2.1. Représentation de piper .....	72
IV.2.2. Représentation de schoeller .....	73
IV.2.3. Évolution du Faciès chimique de différentes sources étudiées .....	74
a. Les Faciès chimique d'eau de Source ain mahkim.....	74
b. Les Faciès chimique d'eau de Source parc aux jeux .....	75
c. Les Faciès chimique d'eau de Source ain barber.....	76
d. Les Faciès chimique d'eau de Source ain damouss el ghoul .....	76
e. Les Faciès chimique d'eau de Source ain bouhdada.....	77
f. Les faciès chimiques des sources étudiées .....	78
IV.3. Potabilité des eaux du secteur d'étude- Séraïdi .....	79
IV.4. Des nouvelles méthodes innovantes proposé pour analyser et traiter l'eau des sources .....	80
IV.4. 1. Capteur intelligent .....	80

IV.4. 2. Les biofiltres .....	81
IV.4. 3.Détection des contaminants par l'intelligence artificielle.....	82
Conclusion .....	85
Conclusion générale .....	86

# ***LISTE DES FIGURES***

---

## **Chapitre I**

Figure 01 : la molécule d'eau .....	4
Figure 2 : les différents états de l'eau .....	5
Figure 3 : Le cycle hydrologique.....	6
Figure.4 : L'eau de constitution .....	14
Figure.5 : L'eau de rétention .....	15
Figure.6 : Nappe libre et Nappe captive .....	16

## **Chapitre II**

Figure 7 : Situation Géographique d'Annaba .....	19
Figure 8 : Situation Géographique Du Massif De L'edough .....	20
Figure 9 : Situation géographique de la zone d'étude (Séraidi) .....	20
Figure 10 : Situation géographique des cinq sources étudiées .....	22
Figure 11 : Situation géographique de la source ain mahkim .....	23
Figure 12 : Situation géographique de la source parc aux jeux.....	23
Figure 13 : Situation géographique de la source ain barber .....	24
Figure 14 : Situation géographique de la source ain damouss el ghoul .....	24
Figure 15 : Situation géographique de la source ain bouhdada .....	25

## **Chapitre III**

Figure 16 : Turbidimètre (TL2300) (HACH) .....	33
Figure 17 : les composants du turbidimètre .....	34
Figure 18 : un appareil multifonctions HACH SL1000 (température, pH, conductivité).....	35
Figure 19 : méthode de la mesure de ph .....	36
Figure 20 : Le spectrophotomètre UV-VIS DR6000. ....	45
Figure 21 : La méthode de colimétrie par filtration.....	53

## Chapitre IV

Figure 22 : 'Évolution spatial du Turbidité année 2021/2022 .....	56
Figure 23 : 'Évolution spatiotemporelle du Température année (2021 /2022) .....	57
Figure 24 : L'Évolution spatiotemporelle de la conductivité année (2021 /2022) .....	58
Figure 25 : L'Évolution spatiotemporelle du Ph année (2021 /2022). ....	59
Figure27 : L'Évolution spatiotemporelle du TH année (2021 /2022) .....	61
Figure 26 : L'Évolution spatiotemporelle du TH année (2021 /2022) .....	60
Figure 28 : L'Évolution spatiotemporelle du chlorures ( $CL^-$ ) année (2021 /2022) .....	63
Figure 29 : L'Évolution spatiotemporelle des nitrites ( $NO_2^-$ ) année (2021 /2022).....	64
Figure 30 : L'Évolution spatiotemporelle de Magnésium ( $Mg^{2+}$ ) année (2021 /2022). ....	65
Figure 31 : L'Évolution spatiotemporelle de Calcium ( $Ca^{2+}$ ) année (2021 /2022). ....	66
Figure 32 : L'Évolution spatiotemporelle de Bicarbonate ( $HCO_3^-$ ) année (2021 /2022) .....	67
Figure 33 : L'Évolution spatiotemporelle de Sulfate ( $SO_4^{2-}$ ) année (2021 /2022) .....	68
Figure 34 : L'Évolution spatiotemporelle d'Ammonium ( $NH_4^+$ ) année (2021 /2022) .....	68

Figure 35 : L'Évolution spatiotemporelle de PHOSPHATES ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) année (2021 /2022) .....	69
Figure 36 L'Évolution spatiotemporelle de POTASSIUM ( $\text{K}^+$ ) année (2021 /2022) .....	70
Figure 37 : L'Évolution spatiotemporelle de La matière organique (MO) année (2021 /2022) ...	71
Figure 38 : Répartition des différents faciès chimiques sur le triangle de piper .....	73
Figure 39 : Le diagramme de shoeller berkaloof.....	74
Figure 40 : (a) ; (b) Évolution spatiotemporelle de faciès chimique de la source ain mahkim....	75
Figure 41 : (a) ; (b) Évolution spatiotemporelle de faciès chimique de la source parc aux jeux..	75
Figure 42 : (a) ; (b) Évolution spatiotemporelle de faciès chimique de la source ain barber.....	76
Figure 43 : (a) ; (b) Évolution spatiotemporelle de faciès chimique de la source ain damouss el ghoul.....	77
Figure 44 : (a) ; (b) Évolution spatiotemporelle de faciès chimique de la source ain bouhdada.....	77
Figure 45 : (a) ; (b) Évolution spatiotemporelle de faciès chimique des toutes les sources.....	78

# **LISTES DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Techniques généralement appropriées pour la conservation des échantillons.....	28
Tableau 2 : Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité.....	38
Tableau 3 : Potabilité des eaux des sources étudiées.....	80

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE:**

Les sources sont des sources naturelles d'eau qui émergent du sol, souvent associées aux aquifères et aux systèmes d'eau souterraine. Elles sont connues pour leur fraîcheur et leur pureté, ce qui les rend très appréciées pour la consommation, l'agriculture et les besoins écologiques. L'eau de source est généralement exempte de nombreux contaminants présents dans d'autres sources d'eau, ce qui en fait une option attrayante pour divers usages.

Plusieurs facteurs peuvent influencer la qualité de l'eau de source. Parmi ceux-ci figurent les caractéristiques géologiques, les activités d'utilisation des terres dans la zone environnante, le climat et les influences humaines telles que la pollution et les activités industrielles. Comprendre ces facteurs et leurs effets sur la qualité de l'eau est crucial pour maintenir et améliorer la sécurité et l'intégrité de l'eau de source.

La surveillance de la qualité de l'eau de source peut être difficile en raison de la nature dynamique des sources et de la possibilité de changements rapides dans la composition de l'eau. L'accessibilité limitée à certaines sources de source, la nécessité d'échantillonnages et d'analyses régulières, ainsi que la diversité des contaminants pouvant affectés la qualité de l'eau pose des défis supplémentaires pour une surveillance et une évaluation efficace.

Les méthodes traditionnelles d'analyse de la qualité de l'eau impliquent des tests physiques et chimiques de base, tels que la mesure du pH, de la température, de la turbidité et des niveaux d'oxygène dissous. Cependant, les avancées technologiques ont introduit des techniques plus sophistiquées et précises. Celles-ci incluent la spectrométrie, la chromatographie, les méthodes de biologie moléculaire et la télédétection, offrant des informations détaillées sur la composition de l'eau et la présence de contaminants spécifiques.

En étudiant et en abordant la qualité de l'eau de source, les chercheurs et les décideurs peuvent élaborer des stratégies pour garantir sa protection, son utilisation durable et son accessibilité aux générations futures. Grâce à une compréhension complète des facteurs influençant la qualité de l'eau de source et à l'application de techniques d'analyse modernes, nous pouvons prendre des mesures significatives pour préserver cette ressource inestimable et assurer un approvisionnement en eau fiable pour les communautés et les écosystèmes.

Dans la région de Séraïdi situé au Nord-Ouest de la ville d'Annaba, les sources souterraines Approvisionnent une bonne partie de la population. Nous avons essayé d'étudier et de déterminer la qualité physico-chimique de l'eau de certaines sources de la région de Séraïdi.

Notre travail s'articule sur quatre chapitres suivants :

Chapitre I : Recherche bibliographique

Chapitre II : Cadre générale de la zone d'étude

Chapitre III : Matériel et méthode

Chapitre IV : Résultats et discussion

Et à la fin ces quatre chapitres se terminent par une conclusion générale.

**Chapitre I :**  
**Recherche bibliographique**

## I.1 Introduction :

L'eau est l'une des ressources les plus précieuses de notre planète. Elle est essentielle à la vie et à la survie de toutes les formes de vie, qu'elles soient humaines, animales ou végétales. Cependant, l'eau n'est pas une ressource inépuisable et elle est soumise à de nombreuses pressions, telles que la pollution, le changement climatique et l'utilisation excessive.

Pour mieux comprendre les différents aspects liés à l'eau, il est important de connaître les types d'eau disponibles. Les types d'eau peuvent varier en fonction de leur source, de leur composition chimique et de leur usage. Cette connaissance est importante pour comprendre comment l'eau est utilisée, traitée et distribuée, ainsi que pour garantir que l'eau soit utilisée de manière sûre et durable.

## I.2. Définition de l'eau :

L'eau est une substance unique et précieuse dans la nature, avec une formule chimique  $H_2O$  qui signifie qu'une molécule d'eau est constituée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène. Les organismes vivants dépendent fortement de l'eau pour leur survie, car elle est un solvant universel, transporte les nutriments, régule la température corporelle et permet la photosynthèse chez les plantes.

Cependant, la quantité d'eau douce disponible sur Terre est limitée et sa distribution n'est pas uniforme, avec des pénuries dans de nombreuses régions du monde et des inondations dans d'autres. Par conséquent, il est crucial de préserver et de protéger les ressources en eau douce pour assurer la survie des espèces vivantes et maintenir les écosystèmes.

Nous pouvons tous contribuer à la conservation de l'eau en adoptant des pratiques de gestion responsables, telles que la réduction de la consommation d'eau, la réutilisation de l'eau et la protection des sources d'eau douce. En fin de compte, l'eau est une ressource vitale pour notre existence et nous avons tous la responsabilité de la préserver pour les générations futures.

Dans notre domaine, l'eau est un fluide universellement utilisé pour de nombreuses applications industrielles. Elle est utilisée comme solvant, réactif, dispersant, agent de nettoyage, liquide de refroidissement et de chauffage, et bien d'autres utilisations.

L'eau peut également être utilisée comme matière première dans la production de divers produits, tels que les produits chimiques, les aliments, les médicaments, les

plastiques et les textiles. Dans ce contexte, l'eau est souvent purifiée ou traitée pour répondre aux exigences spécifiques du procédé.

Dans l'industrie, il est important de surveiller et de contrôler la qualité de l'eau utilisée pour éviter les problèmes de production ou de sécurité. Par conséquent, des procédés de traitement de l'eau, tels que l'osmose inverse, la filtration, la stérilisation et la désinfection, sont souvent utilisés pour garantir la qualité et la pureté de l'eau.

En résumé, dans le domaine du génie des procédés, l'eau est un fluide essentiel qui est utilisé pour de nombreuses applications industrielles et qui peut nécessiter un traitement spécifique pour répondre aux exigences du procédé [1].

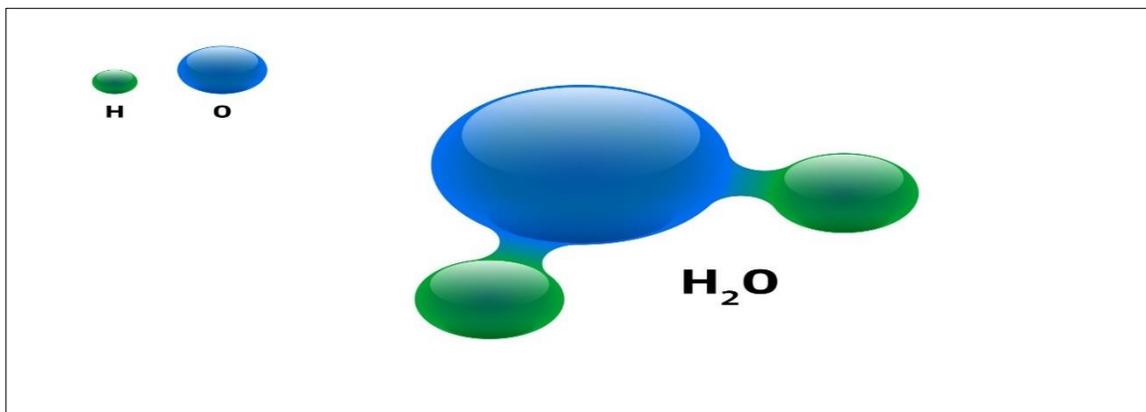


Figure 01 : la molécule d'eau

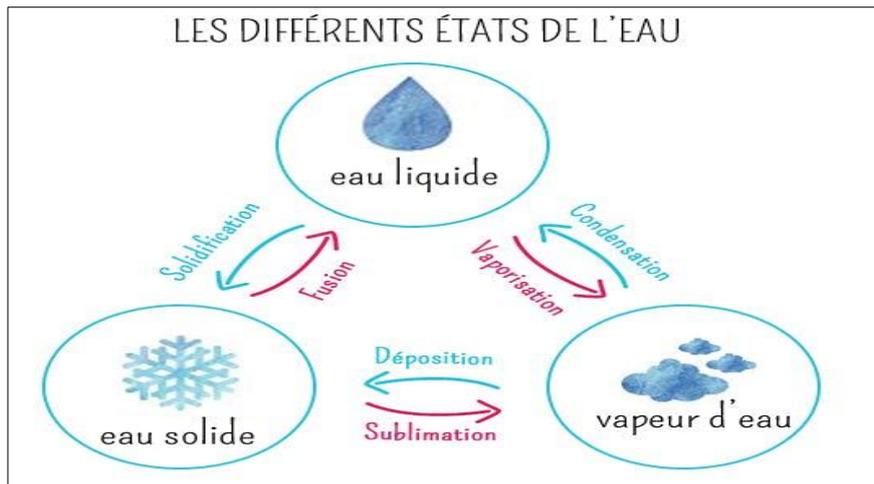
### I.3. Les différents états de l'eau :

L'eau peut exister sous trois états différents à températures et pressions normales :

1. **L'eau solide** : l'eau gèle et se transforme en glace à une température de 0°C (32°F). L'eau peut se présenter sous forme solide sous différentes formes telles que la neige, la glace ou le verglas.

2. **L'eau liquide** : l'eau est à l'état liquide à une température comprise entre 0°C (32°F) et 100°C (212°F) à pression atmosphérique normale. L'eau liquide est la forme la plus courante dans laquelle nous trouvons l'eau sur Terre. Elle est utilisée pour la consommation humaine, l'agriculture, l'industrie, etc.

3. **Vapeur d'eau** : l'eau s'évapore et se transforme en vapeur d'eau à une température supérieure à 100°C (212°F) à pression atmosphérique normale. La vapeur d'eau est également présente dans l'air que nous respirons sous forme d'humidité, et peut se condenser pour former des nuages et de la pluie.



**Figure 2** : les différents états de l'eau

Il est important de noter que l'eau peut également exister sous d'autres états dans des conditions extrêmes de température et de pression, tels que l'eau supercritique, l'eau ionique, etc.

## **I.4. Le cycle hydrologique :**

Le cycle hydrologique, également appelé cycle de l'eau, est le processus naturel par lequel l'eau circule dans l'environnement terrestre. Ce cycle implique l'évaporation de l'eau à partir de la surface de la terre, l'élévation de cette vapeur d'eau dans l'atmosphère, la condensation de cette vapeur d'eau en nuages, la précipitation de l'eau sous forme de pluie ou de neige, l'infiltration de l'eau dans le sol, la recharge des nappes phréatiques, l'écoulement de l'eau dans les rivières et les lacs, et enfin, l'évaporation à nouveau de l'eau à partir de ces mêmes plans d'eau.

Ce cycle est alimenté par l'énergie solaire, qui fournit l'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau à partir de la surface de la terre. Le cycle hydrologique est essentiel pour maintenir les écosystèmes et la vie sur Terre, car il fournit de l'eau douce pour la consommation humaine, l'agriculture et la vie animale. Cependant, des changements dans les modèles climatiques et les activités humaines peuvent perturber le cycle de l'eau et causer des problèmes tels que des sécheresses, des inondations, la pollution de l'eau et des pénuries d'eau [2].

Les étapes du cycle hydrologique, avec une brève explication de chacune d'entre elles :

1. **Évaporation** : l'eau est chauffée par l'énergie solaire et se transforme en vapeur d'eau, qui s'élève dans l'atmosphère.

## Chapitre I : Recherche bibliographique

2. **Transpiration** : les plantes absorbent l'eau du sol par leurs racines et la rejettent sous forme de vapeur d'eau par leurs feuilles.

3. **Condensation** : la vapeur d'eau se refroidit en montant dans l'atmosphère et se condense en nuages.

4. **Précipitation** : les gouttelettes d'eau dans les nuages s'agglomèrent et deviennent assez lourdes pour tomber sous forme de pluie, de neige, de grêle ou de grésil.

5. **Infiltration** : l'eau de pluie qui atteint le sol pénètre dans le sol.

6. **Ruissellement** : l'eau qui ne peut pas pénétrer dans le sol s'écoule en surface et peut former des ruisseaux et des rivières.

7. **Transfert** : l'eau souterraine et l'eau de surface se déplacent vers les océans.

8. **Évapotranspiration** : l'eau s'évapore à nouveau depuis les océans, les lacs, les rivières, les sols et les plantes, et le cycle recommence.

Le cycle hydrologique est un processus continu qui transporte de l'eau entre les différents réservoirs d'eau de la planète (océans, rivières, lacs, nappes souterraines, etc.) en réponse aux changements de température, de pression et de composition chimique de l'atmosphère. Ce cycle est vital pour la vie sur Terre, car il fournit de l'eau douce pour la consommation humaine, l'agriculture et la vie animale.

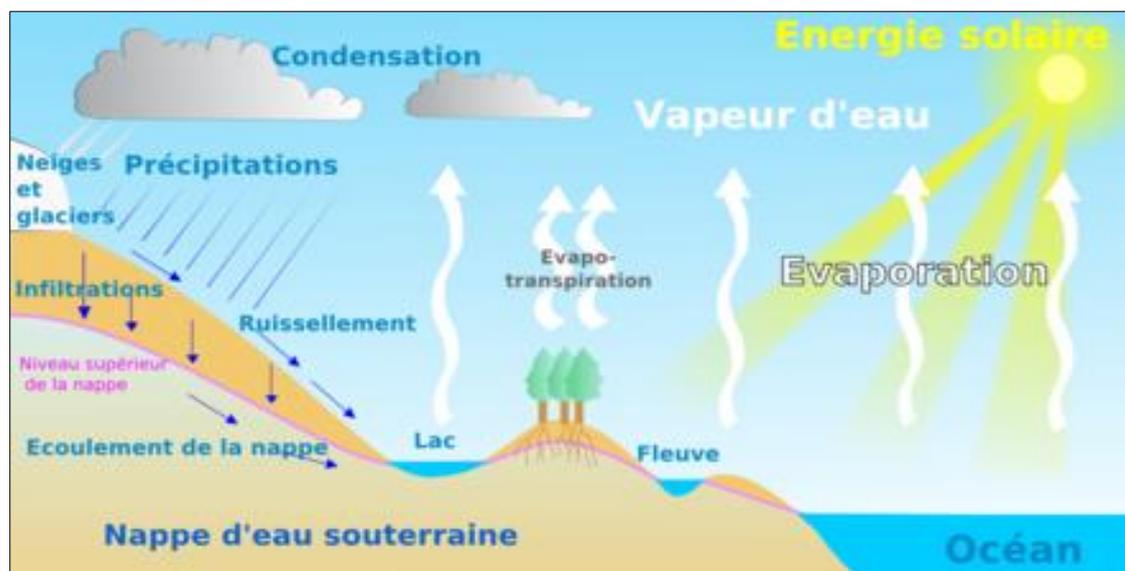


Figure 3 : Le cycle hydrologique.

## I.5. Propriétés physico \_ chimique et biologique de l'eau :

### I.5.1. Propriétés physico \_ chimique :

1. Température : La température de l'eau mesure le degré de chaleur de l'eau et peut avoir un impact sur les réactions chimiques, la solubilité des substances et les processus biologiques.

2. pH : Le pH mesure l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. Il est basé sur la concentration en ions hydrogène (H<sup>+</sup>) et est exprimé sur une échelle de 0 à 14. Un pH inférieur à 7 indique une acidité, un pH égal à 7 indique une neutralité, et un pH supérieur à 7 indique une alcalinité [3].

3. Conductivité électrique : La conductivité électrique mesure la capacité de l'eau à conduire l'électricité. Elle est influencée par la présence d'ions dissous dans l'eau, tels que les ions minéraux. La conductivité électrique est souvent utilisée comme indicateur de la salinité ou de la minéralisation de l'eau.

4. Dureté : La dureté de l'eau est déterminée par la concentration en ions calcium et magnésium présents dans l'eau. Elle peut être exprimée en degrés français (°f) ou en milligrammes par litre (mg/L) et peut avoir des implications sur la formation de dépôts calcaires et l'utilisation de détergents.

5. TAC (Titre Alcalimétrique Complet) : Le TAC mesure la concentration des carbonates, des bicarbonates et des hydroxydes dans l'eau. Il est souvent exprimé en degrés français (°f) ou en milligrammes par litre (mg/L) et est utilisé pour évaluer l'alcalinité de l'eau.

6. Chlorures : Les chlorures sont des ions présents dans l'eau et proviennent généralement de sources naturelles ou de la contamination par des activités humaines. Leur concentration peut être mesurée en milligrammes par litre (mg/L) et est souvent utilisée comme indicateur de la salinité de l'eau.

7. Nitrites : Les nitrites sont des composés chimiques qui peuvent se retrouver dans l'eau en raison de la pollution d'origine humaine, telle que l'utilisation d'engrais ou la décomposition de la matière organique. Les nitrites peuvent être mesurés en milligrammes par litre (mg/L) et peuvent être toxiques pour la santé humaine à des concentrations élevées.

8. Phosphates : Les phosphates sont des composés chimiques qui peuvent provenir de sources naturelles ou de la pollution, notamment les détergents et les engrais. Les phosphates peuvent contribuer à la prolifération excessive d'algues dans les plans d'eau,

ce qui peut entraîner des problèmes écologiques. Les phosphates peuvent être mesurés en milligrammes par litre (mg/L).

Ces propriétés physico-chimiques de l'eau sont importantes à surveiller et à analyser pour évaluer la qualité de l'eau, déterminer sa potabilité et son adéquation à différents usages, et identifier toute contamination ou altération.

Nous avons aussi d'autres Propriétés plus générales comme :

1. Polarité : L'eau est une molécule polaire, ce qui signifie qu'elle a une charge partielle positive à une extrémité de la molécule et une charge partielle négative à l'autre extrémité. Cette polarité lui permet d'être un excellent solvant pour les composés ioniques et les molécules polaires.

2. Tension de surface : L'eau a une tension de surface élevée, ce qui signifie qu'elle peut former une fine pellicule à la surface d'un liquide ou d'un solide. Cette propriété est importante pour les plantes, car elle permet à l'eau de remonter dans les tiges et les feuilles contre la gravité.

3. Chaleur spécifique : L'eau a une chaleur spécifique élevée, ce qui signifie qu'elle peut absorber ou libérer une grande quantité de chaleur sans subir de changement de température important. Cette propriété est importante pour le maintien de la température corporelle chez les animaux et pour la régulation de la température dans les écosystèmes aquatiques.

4. Chaleur de vaporisation : L'eau a une chaleur de vaporisation élevée, ce qui signifie qu'elle a besoin d'une grande quantité d'énergie pour passer de l'état liquide à l'état gazeux. Cette propriété est importante pour le refroidissement du corps humain par la transpiration.

5. Cohésion : Les molécules d'eau ont tendance à s'attirer mutuellement, ce qui crée une cohésion élevée de l'eau. Cette propriété est importante pour le transport de l'eau à travers les plantes et pour la formation de la tension superficielle.

Ces propriétés physico-chimiques de l'eau ont des implications importantes dans la vie quotidienne, dans l'industrie et dans les écosystèmes.

## **I.5.2. Propriétés biologiques :**

Micro-organismes : L'eau peut contenir différents types de micro-organismes tels que les bactéries, les virus, les protozoaires et les algues. La présence de certains micro-organismes peut être utilisée comme indicateur de la qualité sanitaire de l'eau.

Indice de pollution microbiologique : Cet indice permet d'évaluer le niveau de contamination microbiologique de l'eau. Il est basé sur le dénombrement des coliformes

fécaux, qui sont des bactéries d'origine intestinale, et d'autres micro-organismes indicateurs de contamination fécale.

**Activité biologique :** L'activité biologique de l'eau peut être évaluée en mesurant la demande biochimique en oxygène (DBO) ou la demande chimique en oxygène (DCO). Ces paramètres indiquent la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader la matière organique présente dans l'eau par des processus biologiques.

**Eutrophisation :** L'eutrophisation est un processus dans lequel une augmentation excessive des nutriments, tels que les nitrates et les phosphates, favorise la croissance excessive d'algues et d'autres organismes, ce qui peut entraîner une diminution de la qualité de l'eau.

**Index biotique :** L'index biotique est une mesure de la diversité et de la santé des organismes aquatiques présents dans un écosystème donné. Il peut être utilisé pour évaluer l'impact des activités humaines sur les communautés biologiques et l'état général de l'écosystème aquatique.

**Sensibilité biologique :** La sensibilité biologique de l'eau fait référence à la tolérance des organismes aquatiques à certaines conditions environnementales, telles que le pH, la température, la teneur en oxygène dissous, etc. Certains organismes peuvent être plus sensibles que d'autres aux changements de ces paramètres.

Ces propriétés biologiques de l'eau sont importantes à considérer pour évaluer la qualité biologique de l'eau, son écosystème aquatique et son aptitude à soutenir la vie aquatique. L'analyse de ces paramètres peut fournir des informations sur l'état de santé de l'écosystème et l'impact des activités humaines sur l'eau.

Aussi l'eau est un élément essentiel pour la vie et possède plusieurs propriétés biologiques plus générales, notamment :

1. **Solvant universel :** L'eau est un excellent solvant pour de nombreuses molécules biologiques, notamment les sels minéraux, les sucres, les acides aminés et les protéines.
2. **Transport :** L'eau est un moyen de transport important dans les organismes vivants, transportant des nutriments, des déchets et d'autres molécules dans tout le corps.
3. **Régulation thermique :** L'eau est utilisée pour réguler la température du corps dans les organismes vivants, à travers la transpiration et l'évaporation.
4. **Réactions biochimiques :** L'eau est nécessaire pour de nombreuses réactions biochimiques dans les organismes vivants, y compris la photosynthèse, la respiration cellulaire et la digestion.

5. **Habitat** : L'eau est un habitat pour de nombreux organismes vivants, des bactéries aux poissons, et est nécessaire pour maintenir des écosystèmes sains.

En résumé, l'eau est non seulement importante en tant que ressource naturelle vitale pour les humains et les animaux, mais elle joue également un rôle crucial dans les processus biologiques qui maintiennent la vie sur Terre.

### **I.6. La classification des eaux :**

#### **I.6.1.les eaux naturelles :**

Les paramètres spécifiques pour l'eau naturelle dépendent de la source d'eau naturelle et de l'utilisation prévue de l'eau. Cependant, voici les paramètres généralement considérés comme importants pour une bonne qualité de l'eau naturelle :

1. **PH** : Le pH est un indicateur important de l'acidité ou de l'alcalinité de l'eau et il peut affecter la qualité de l'eau naturelle. Pour la plupart des utilisations, l'eau naturelle avec un pH compris entre 6,5 et 8,5 est considérée comme acceptable.

2. **Turbidité** : La turbidité mesure la quantité de matières en suspension dans l'eau et peut affecter la qualité de l'eau naturelle et son utilisation pour les loisirs. Pour l'eau de boisson, une turbidité inférieure à 1 NTU (unité de turbidité néphélométrique) est considérée comme acceptable.

3. **Dureté** : La dureté de l'eau naturelle est causée par la présence de sels de calcium et de magnésium dans l'eau. Des niveaux élevés de dureté peuvent causer des dépôts de minéraux dans les équipements domestiques. Pour l'eau de boisson, une dureté inférieure à 100 mg/L (milligrammes par litre) est considérée comme acceptable.

4. **Niveaux de minéraux** : Les niveaux de minéraux dans l'eau naturelle, tels que le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium et le chlorure, peuvent affecter le goût de l'eau et sa santé. Pour l'eau de boisson, les niveaux de minéraux doivent être maintenus dans des limites acceptables.

5. **Absence de contaminants** : Il est important de vérifier que l'eau naturelle ne contient pas de contaminants tels que les métaux lourds, les pesticides ou les produits chimiques organiques, qui peuvent affecter la qualité de l'eau naturelle et sa sécurité pour la consommation humaine.

#### **I.6.2. Classification des eaux naturelles :**

Les eaux naturelles peuvent être classées en fonction de leur composition et de leur environnement :

**I.6.2.1. Eaux douces** : L'eau douce est une ressource naturelle constituée d'eau liquide avec une faible teneur en sels dissous. Selon les normes de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'eau douce doit contenir moins de 500 milligrammes de sels dissous par litre d'eau pour être considérée comme potable. Cette faible teneur en sels dissous est obtenue grâce à un processus de filtration naturelle qui se produit dans les rivières, les lacs, les étangs, les glaciers et les nappes phréatiques.

L'eau douce est différente de l'eau salée des océans et des mers, qui contient une concentration élevée de sels dissous. Les sources d'eau douce sont limitées sur Terre, car elle représente seulement environ 2,5 % de l'eau totale disponible, le reste étant de l'eau salée.

L'eau douce est une ressource vitale pour la vie sur Terre, car elle est utilisée pour la consommation humaine, l'agriculture, l'irrigation et d'autres activités économiques et industrielles. Cependant, la qualité de l'eau douce peut être affectée par divers facteurs tels que la pollution, les changements climatiques et les activités humaines, ce qui peut avoir des impacts significatifs sur l'environnement et la santé humaine.

**I.6.2.2. Eaux salées** : L'eau salée est une eau qui contient une concentration élevée de sels dissous, principalement du chlorure de sodium, ce qui la rend impropre à la consommation humaine sans traitement préalable. L'eau salée est principalement trouvée dans les océans et les mers, où elle représente environ 97,5 % de l'eau totale de la Terre.

**I.6.2.3. Eaux de surface** : L'eau de surface est de l'eau qui se trouve à la surface de la terre, telle que les lacs, les rivières, les ruisseaux et les océans. Cette eau est différente de l'eau souterraine qui se trouve sous la surface du sol. L'eau de surface est généralement exposée à l'atmosphère et peut être affectée par des facteurs tels que les précipitations, l'évaporation, les températures ambiantes, le vent et les activités humaines. Ces eaux nécessitent généralement un traitement avant d'être utilisées pour la consommation humaine. Le traitement peut inclure des processus tels que la filtration, la désinfection et l'ajout de produits chimiques pour éliminer les polluants et rendre l'eau potable.

L'eau de surface est souvent utilisée pour diverses activités humaines telles que l'agriculture, l'industrie, la consommation domestique, la production d'énergie et la navigation. Cependant, en raison de la pollution et de la surexploitation, l'eau de surface peut devenir contaminée et donc inappropriée pour une utilisation humaine.

Pour cette raison, il est important de protéger les sources d'eau de surface en limitant les activités qui peuvent les polluer et en mettant en place des mesures de protection environnementale pour préserver ces ressources vitales pour la vie sur terre.

**I.6.2.4. Eaux glaciales :** ce sont des eaux qui proviennent des glaciers et des neiges éternelles

**I.6.2.5. Eaux minérales :** Les eaux minérales sont des eaux souterraines naturelles qui ont une composition chimique stable et qui contiennent des minéraux et des oligo-éléments en quantités importantes. Ces eaux sont généralement considérées comme étant plus saines que les eaux du robinet ou les eaux de source, car elles ont une teneur élevée en minéraux tels que le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium, qui sont importants pour la santé humaine. Les eaux minérales sont souvent commercialisées pour leurs propriétés thérapeutiques et leur capacité à améliorer la digestion, renforcer le système immunitaire et prévenir certaines maladies. Les eaux minérales doivent respecter des normes strictes en matière de composition chimique pour être considérées comme telles, et leur source doit être protégée contre toute contamination. Les eaux minérales peuvent être naturelles ou avoir subi un traitement pour en améliorer la qualité et la saveur.

**I.6.2.6. Eaux thermales :** ce sont des eaux qui sont naturellement chauffées par la géothermie.

**I.6.2.7. Eaux de pluie :** Les eaux de pluie sont des précipitations atmosphériques liquides formées lorsque la vapeur d'eau contenue dans l'air se condense en gouttelettes et tombe au sol. La composition chimique des eaux de pluie dépend de nombreux facteurs tels que la température, la pression, le taux d'humidité et la présence de polluants atmosphériques. En général, les eaux de pluie sont considérées comme relativement pures, mais elles peuvent contenir des polluants atmosphériques tels que les gaz d'échappement des véhicules, les métaux lourds, les pesticides et les produits chimiques industriels. Les eaux de pluie peuvent être collectées et utilisées à des fins domestiques ou agricoles, mais leur qualité doit être soigneusement contrôlée pour éviter tout risque pour la santé humaine ou environnementale.

**I.6.2.8. Eaux de source :** sont des eaux naturelles qui proviennent d'une source souterraine ou d'une fontaine, et qui sont captées directement à leur émergence naturelle ou par un forage. Contrairement à l'eau du robinet, qui est traitée pour répondre aux normes de potabilité, l'eau de source est naturellement pure et contient souvent des minéraux bénéfiques pour la santé.

Cependant, la qualité de l'eau de source peut être affectée par divers facteurs tels que la pollution, les changements climatiques et les activités humaines, ce qui peut avoir des impacts significatifs sur l'environnement et la santé humaine. Les normes de qualité de l'eau de source varient d'un pays à l'autre et sont souvent réglementées pour garantir la sécurité et la qualité de l'eau pour les consommateurs.

Ces différentes classifications des eaux naturelles peuvent être utilisées pour des besoins spécifiques tels que la consommation humaine, l'agriculture, l'industrie ou encore la protection de l'environnement.

### **I.6.2.9. Eaux souterraines :**

Les eaux souterraines sont des eaux qui se trouvent sous la surface de la terre dans les pores, les fissures des roches et des sols. Elles constituent une partie importante du cycle de l'eau naturel où elles alimentent les rivières et les lacs et fournissent de l'eau douce pour diverses utilisations telles que l'irrigation, la consommation et l'industrie. Les eaux souterraines sont également considérées comme une ressource importante pour les communautés locales, l'agriculture et l'industrie dans les régions où les eaux de surface sont insuffisantes. Cependant, leur utilisation doit être surveillée et elles doivent être protégées de la pollution et des effets négatifs de l'activité humaine afin de préserver cette ressource vitale pour les générations futures.

#### **I. 6.2.9.1 Qualité de l'eau souterraine :**

La qualité de l'eau souterraine est l'appréciation des concentrations des différentes substances chimiques qui la composent, vis-à-vis de concentrations de référence.

Cette évaluation se fait en fonction des usages de l'eau, et pour leur usage prépondérant vis-à-vis du respect de la santé humaine, ces eaux destinées à la consommation humaine sont rassemblées sous le vocable « alimentation en eau potable ». Les valeurs de concentrations de référence sont données par la réglementation européenne et/ou française. Elles varient donc suivant l'utilisation faite de l'eau souterraine mais également suivant sa nature : on distingue la qualité de l'eau brute prise directement dans le milieu naturel de celle de l'eau traitée prélevée et stockée avant usage.

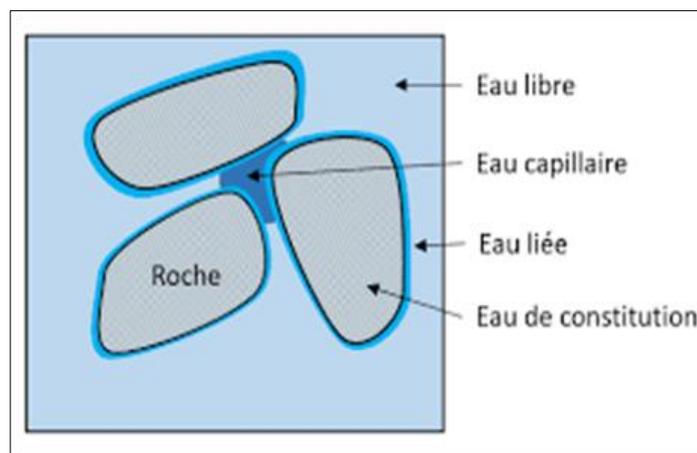
Par conséquent, il n'y a pas UNE qualité de l'eau souterraine mais DES qualités de l'eau souterraine. Les éléments chimiques constitutifs de l'eau souterraine peuvent être des minéraux, des molécules organiques, naturelles ou de synthèses issues de l'activité de l'homme (pression anthropique).

Les substances naturelles sont acquises par l'eau souterraine lors de son transport et de son stockage dans les roches aquifères. Cet enrichissement chimique de l'eau dépend donc directement de la géologie d'un secteur géographique. On parle alors de fond géochimique [4].

## I.6.2.9.2. Les différents types d'eaux souterraines :

### a. L'eau de constitution :

C'est l'eau qui rentre dans la structure cristalline des minéraux (exemple : gypse  $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ) [5].



**Figure.4** : L'eau de constitution

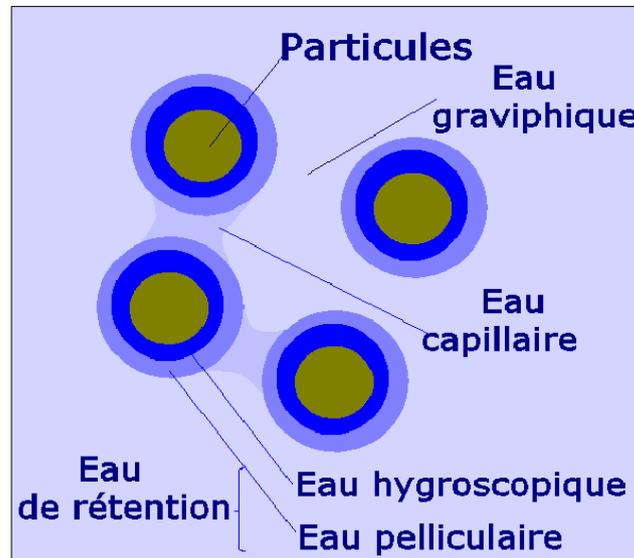
### b. L'eau de rétention :

L'eau de rétention désigne l'eau qui se trouve dans les pores des roches et des sols, retenue par les forces capillaires et gravitaires. Cette eau peut être utilisée pour l'irrigation des plantes et pour les besoins en eau potable, mais peut également être piégée et difficilement accessible. Elle joue un rôle important dans le génie de l'environnement en permettant de prévenir les inondations, de réguler les flux d'eau dans les cours d'eau et les rivières, et de contribuer à préserver l'environnement et la santé publique en piégeant les contaminants et en améliorant la qualité de l'eau. L'eau de rétention se compose de trois types d'eau : l'eau d'absorption, l'eau d'adhésion et l'eau capillaire.

\*L'eau d'absorption (liée). Les molécules d'eau dipolaires sont attirées par des effets de surface sur des ensembles ionisés (comme les argiles) en couche fine. L'eau d'adsorption n'est pas chassée par centrifugation.

\*L'eau d'adhésion (pelliculaire). L'eau est retenue à la surface des grains par une attraction électrique moins forte que l'adsorption, elle peut se déplacer.

\*L'eau capillaire (Frangée capillaire) : elle se trouve dans les pores, c'est l'eau d'absorption (l'eau recherchée par les racines) [6].



**Figure.5** : L'eau de rétention.

### c. L'eau libre :

Une eau libre précise qu'une eau peut se déplacer à travers une masse de sol sous l'influence de la gravité. L'eau n'est pas captive comme dans une nappe captive [7].

### I.6.2.10. Les différents types de nappes :

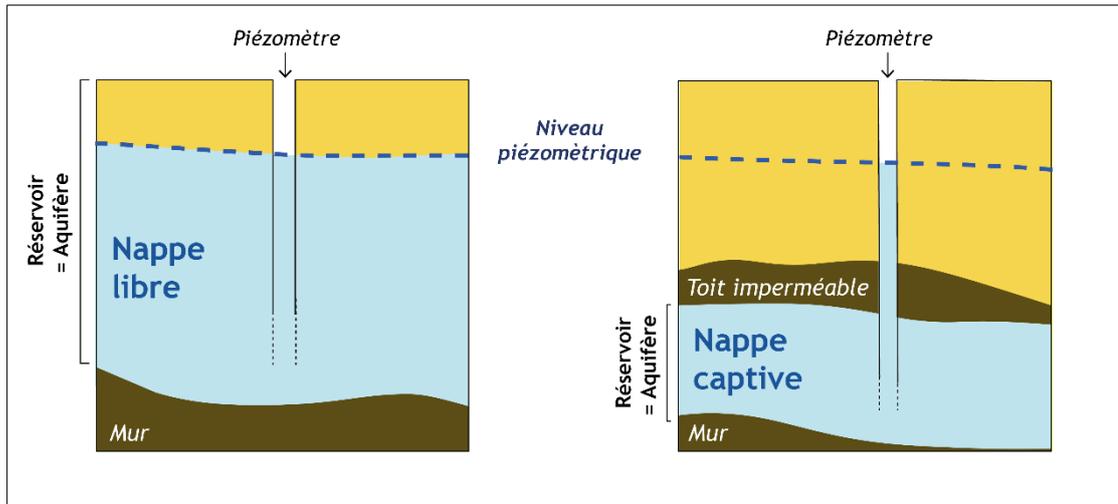
Il existe plusieurs types de nappes, chacune ayant des caractéristiques uniques. Voici quelques exemples :

- **Nappe libre :**

Il s'agit d'une nappe qui n'est pas piégée entre des couches de roches imperméables et est donc en contact direct avec l'atmosphère.

- **Nappe captive :**

La nappe captive est une couche d'eau souterraine piégée entre deux couches imperméables. Cette nappe ne comporte qu'une seule zone saturée en eau, avec un niveau piézométrique supérieur au toit de l'aquifère à couverture moins perméable qui la contient. La nappe captive est souvent sous pression et peut être exploitée pour l'eau potable, l'irrigation ou les ressources géothermiques



**Figure.6 :** Nappe libre et Nappe captive.

- **Nappe semi-captive :**

Une nappe semi-captive est une couche d'eau souterraine qui est partiellement piégée entre deux couches imperméables. Elle peut avoir plusieurs zones saturées en eau, mais avec un niveau piézométrique inférieur au toit de l'aquifère à couverture moins perméable qui la contient. Contrairement à une nappe captive, une nappe semi-captive ne maintient pas une pression élevée, ce qui signifie qu'elle est moins facilement exploitable pour les ressources en eau ou géothermiques.

### **I.6.3. Eaux de consommation :**

Les eaux de consommation désignent les eaux destinées à la consommation humaine, que ce soit pour boire, cuisiner, se laver, etc. Leur importance a augmenté avec le développement démographique et l'amélioration des conditions de vie des populations. La quantité d'eau consommée varie de quelques litres par jour dans les pays à faible confort ménager jusqu'à plusieurs centaines de litres dans les pays très développés. Les eaux de consommation doivent respecter des normes strictes en termes de qualité pour garantir la sécurité sanitaire des consommateurs. Elles peuvent être obtenues à partir de différentes sources telles que les nappes phréatiques, les rivières, les lacs ou les réservoirs, mais sont toujours distribuées après traitement pour éliminer les impuretés, les micro-organismes pathogènes et les produits chimiques nocifs pour la santé. Les trois facteurs déterminant le choix d'un traitement pour les eaux de consommation sont la quantité d'eau à traiter, la qualité de l'eau brute et les coûts économiques associés au traitement.

**1. La quantité :** cela concerne la quantité d'eau à traiter en fonction de la demande, de la population desservie et des besoins en eau potable.

**2. La qualité :** cela concerne la qualité initiale de l'eau brute, les contaminants présents et les normes de qualité à respecter pour la distribution d'eau potable conformément aux réglementations en vigueur.

**3. L'économie :** cela concerne les coûts associés aux différentes options de traitement et le budget disponible pour les opérations de traitement et de distribution. Il s'agit de trouver un équilibre entre la qualité de l'eau et les coûts associés à sa production et sa distribution.

## **I.6.4 .Eaux industrielles :**

La qualité et la quantité des eaux utilisées dans l'industrie dépendent du type d'entreprise, de son activité, de sa taille et de ses processus de production. Certaines industries ont besoin d'eaux très pures pour éviter toute contamination de leurs produits, telles que l'industrie pharmaceutique ou électronique. D'autres industries peuvent tolérer des niveaux de contaminants plus élevés, telles que l'industrie alimentaire ou chimique. De plus, la quantité d'eau utilisée varie également en fonction de la taille de l'entreprise et de la nature de son activité. Les industries qui nécessitent des processus de refroidissement, comme l'industrie métallurgique, consomment souvent des quantités d'eau importantes.

## **I.6.5 Eaux usées :**

Les eaux usées sont les eaux qui ont été utilisées dans les foyers, les industries, les commerces ou les institutions, et qui contiennent des contaminants tels que des matières organiques, des bactéries, des virus, des produits chimiques, des métaux lourds, etc. Ces eaux doivent être traitées avant d'être rejetées dans l'environnement afin de minimiser les risques pour la santé publique et l'environnement.

Les eaux usées se divisent en deux grandes catégories : les eaux résiduaires urbaines (ERU) et les eaux résiduaires industrielles (ERI) [8].

**a. Eaux résiduaires urbaines (ERU) :** Les eaux résiduaires urbaines, également appelées eaux usées urbaines, sont des eaux usées produites par les activités humaines dans les zones urbaines, telles que les ménages, les entreprises, les industries et les institutions. Les eaux résiduaires urbaines contiennent des matières organiques, des nutriments, des métaux, des produits chimiques et des micro-organismes, qui peuvent

causer des problèmes environnementaux et de santé publique s'ils ne sont pas traités correctement.

Les eaux résiduaires urbaines sont généralement collectées par un système d'égouts qui les achemine vers une station d'épuration pour un traitement avant d'être rejetées dans l'environnement. Le traitement des eaux résiduaires urbaines implique généralement plusieurs étapes, telles que la séparation des solides et des liquides, la dégradation des matières organiques par des micro-organismes, la filtration et la désinfection pour éliminer les bactéries et les virus.

Le traitement des eaux résiduaires urbaines est essentiel pour protéger la santé publique et l'environnement, réduire la pollution de l'eau, et préserver les ressources en eau douce. Les eaux résiduaires urbaines peuvent également être utilisées comme source d'eau pour l'irrigation agricole ou la production d'énergie.

**b. Les eaux usées industrielles (ERI) :** Les eaux usées industrielles présentent une grande variabilité de caractéristiques en termes de volume et de composition en polluants, qui dépendent de nombreux facteurs tels que le type d'industrie, le processus de production, le nettoyage des équipements, et l'état des installations. Cependant, il y a des caractéristiques communes entre les effluents d'une même industrie.

Les effluents industriels ont souvent une forte charge polluante, ce qui peut entraîner des problèmes de dysfonctionnement des systèmes de collecte et de traitement des eaux usées. Ces problèmes sont particulièrement graves lorsque les industries sont situées en amont du réseau de collecte des eaux usées.

Les principaux polluants présents dans les eaux usées industrielles sont les métaux toxiques, les toxines organiques, les matières colorées, les huiles et les graisses, les sels, et la pollution organique en général. Ces polluants peuvent avoir des effets néfastes sur l'environnement et la santé publique s'ils ne sont pas traités correctement avant leur rejet dans l'environnement. C'est pourquoi il est important que les entreprises industrielles respectent les normes environnementales en vigueur et mettent en place des pratiques de réduction des déchets pour minimiser leur impact sur l'environnement.

## Conclusion

Nous avons défini l'eau et ses différents types et leurs propriétés physico-chimiques et biologiques et mis l'accent sur les eaux souterraines

**Chapitre II :**  
**Cadre générale de la zone d'étude**

### Introduction :

Dans ce chapitre nous définissons La situation géographique de la zone d'étude car il est très important pour déterminer la qualité de l'eau, car il existe une relation entre la nature de sole et la qualité d'eau.

## II. Situation Géographique

### II .1 Situation Géographique d'Annaba :

Annaba est une ville située sur la côte nord-est de l'Algérie. Elle se trouve à environ 600 kilomètres à l'est de la capitale, Alger, et à environ 100 kilomètres à l'ouest de la frontière tunisienne, entre les latitudes  $36^{\circ} 53'$  et  $37^{\circ} 30'$  Nord et les longitudes  $7^{\circ} 30'$  et  $7^{\circ} 55'$  Est. La ville s'élève au fond d'une baie ouverte à l'est sur le golfe d'Annaba. Elle est dominée à l'ouest par la chaîne de montagne de l'Edough (1 008 m d'altitude) [9].



Figure 7 : Situation Géographique d'Annaba

### II .2 Situation Géographique Du Massif De L'edough :

Le massif de l'Edough est situé sur la côte méditerranéenne de l'Algérie, à l'ouest de la ville d'Annaba. Il s'étend sur environ 26 km de longueur et est bordé par le lac Fetzara et les plaines d'Annaba au nord et au nord-est, ainsi que par les massifs de Chétaïbi au nord-ouest. Sa hauteur culminante est le Kef Saba, qui atteint une altitude de 1 008 mètres. Le massif de l'Edough se trouve entre le Cap de Garde à l'est, qui ferme la baie d'Annaba, et le Cap de Fer à l'ouest, qui délimite le golfe de Skikda [10]

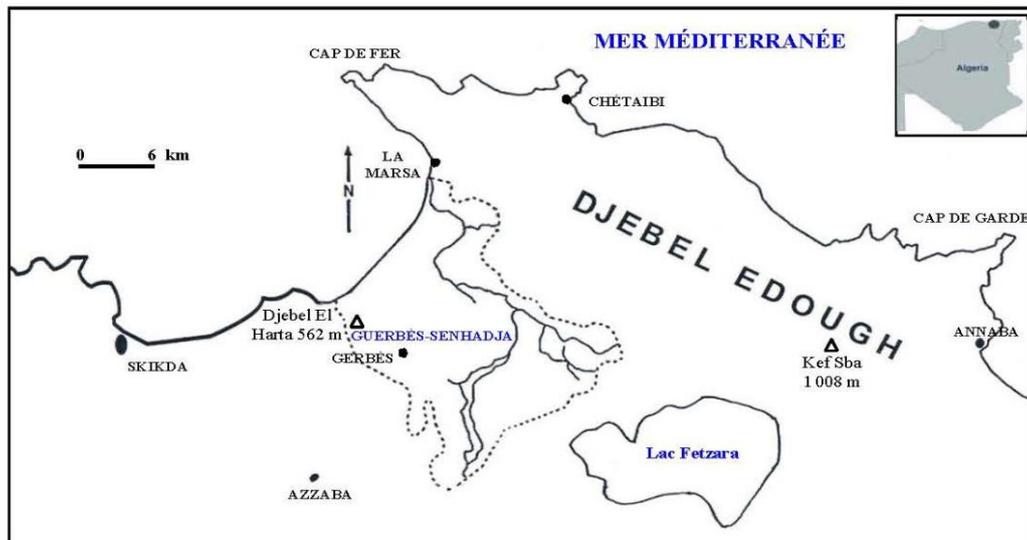


Figure 8 : Situation Géographique Du Massif De L'edough

### II .3 La ville de Séraïdi :

La région de Séraïdi se trouve dans le massif de l'Edough, situé au nord-ouest de la ville d'Annaba en Algérie. Le village de Séraïdi est situé à une altitude de 840 mètres et a une superficie de 136,65 km<sup>2</sup>, avec une population de 7472 habitants. La zone d'étude est bordée par la mer Méditerranée au nord, la vallée de l'oued El Kébir Ouest à l'ouest, la plaine d'Annaba au sud-est et la dépression du lac Fetzara au sud-ouest. Le massif de l'Edough mesure environ 25 km de long et 50 km de large et a plusieurs sommets d'altitudes élevées et variables. La géomorphologie de la région est caractérisée par des crêtes et des ravins, ce qui facilite le ruissellement des eaux de pluie



Figure 9 : Situation géographique de la zone d'étude (Séraïdi)

### II.4. La qualité du sol :

La qualité des sols à Sèraïdi Annaba peut être caractérisée de manière scientifique en analysant divers paramètres physiques, chimiques et biologiques du sol. Les paramètres couramment mesurés incluent :

**Infiltration et filtration** : Les sols agissent comme un filtre naturel pour l'eau en permettant son infiltration et en retenant les particules en suspension, les contaminants et les nutriments. Ainsi, des sols sains et bien structurés favorisent une filtration efficace et une réduction des polluants dans les eaux souterraines et les cours d'eau.

**Érosion des sols** : L'érosion des sols peut entraîner une détérioration de la qualité de l'eau en transportant les sédiments, les nutriments et les contaminants vers les cours d'eau. Une mauvaise gestion des sols, comme le labour excessif, la déforestation ou la construction non réglementée, peut aggraver l'érosion des sols et augmenter la charge de sédiments et de substances indésirables dans l'eau.

**Composition chimique des sols** : Les caractéristiques chimiques des sols, telles que leur pH, leur teneur en matière organique, en minéraux et en éléments nutritifs, peuvent influencer la qualité de l'eau. Par exemple, des sols acides peuvent libérer des métaux lourds dans l'eau, tandis que des sols riches en matière organique peuvent contribuer à la pollution des eaux par les nitrates et les phosphates.

**Utilisation des sols** : Les activités agricoles, industrielles et urbaines qui se déroulent sur les sols peuvent avoir un impact direct sur la qualité de l'eau. L'utilisation excessive de pesticides, d'engrais et de produits chimiques dans l'agriculture, ainsi que le rejet de substances toxiques provenant des industries et des zones urbaines, peuvent contaminer les eaux environnantes.

En résumé, la qualité des sols à Seraidi Annaba peut être évaluée à l'aide d'analyses physiques, chimiques et biologiques afin de déterminer les paramètres clés qui peuvent affecter la productivité des cultures, la santé des plantes et la qualité de l'eau.

Les sources naturelles d'eau sont souvent utilisées comme sources d'eau potable pour les communautés locales, et la qualité des sols peut affecter la qualité de l'eau produite. Les sols peuvent contenir des polluants tels que des métaux lourds ou des produits chimiques nocifs, qui peuvent contaminer l'eau stockée dans les nappes phréatiques. En outre, la qualité des sols peut également affecter la quantité d'eau stockée dans les nappes phréatiques. Les sols poreux et perméables peuvent permettre à l'eau de

s'infiltrer plus facilement, augmentant ainsi la quantité d'eau stockée dans les nappes phréatiques. Cependant, les sols non poreux peuvent limiter l'infiltration de l'eau, réduisant ainsi la quantité d'eau stockée dans les nappes phréatiques. En somme, la qualité des sols dans la zone des sources naturelles d'eau à Seraidi est cruciale pour la qualité de l'eau potable produite et pour la quantité d'eau stockée dans les nappes phréatiques. Il est donc important de surveiller régulièrement la qualité des sols dans cette zone afin de garantir une production d'eau potable sûre et suffisante pour les communautés locales.

### II.5. Les sources étudiées :

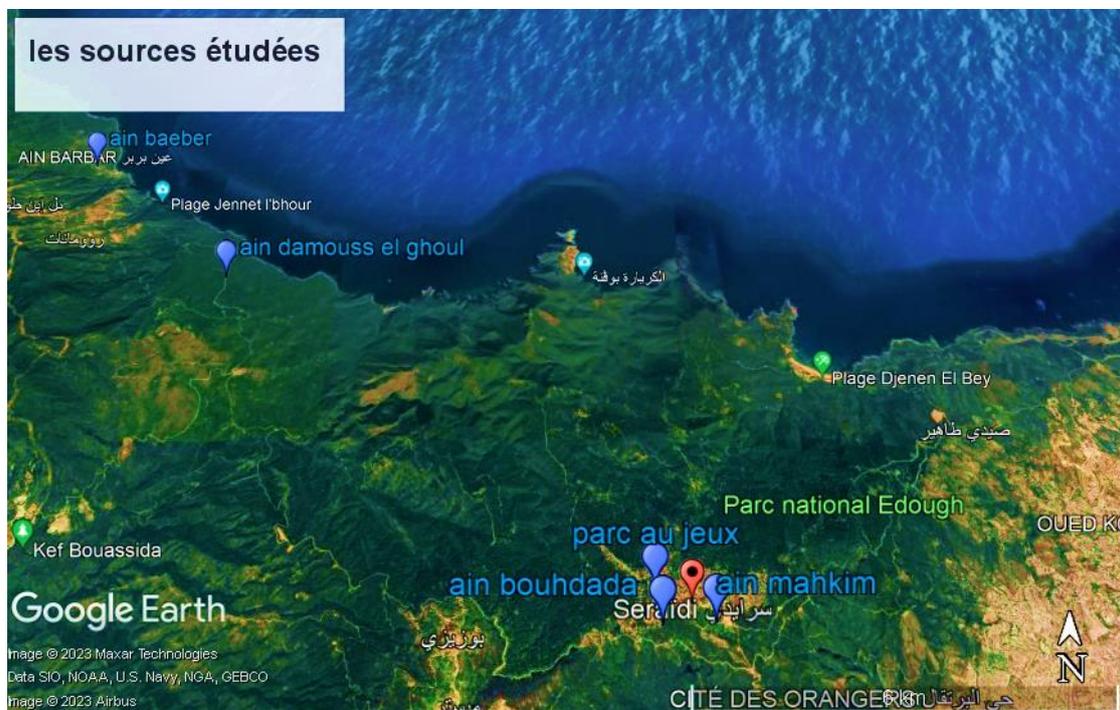


Figure 10 : Situation géographique des cinq sources étudiées.

### II.5.1. Source Ain mahkim

Ses coordonnées sont :

Altitude : 36°54'28.53"N

Longitude : 7°40'49.99"E



**Figure 11** : Situation géographique de la source ain mahkim.

### II.5.2. Source parc aux jeux

Ses coordonnées sont :

Altitude : 36°54'44.81"N

Longitude : 7°40'17.50"E



**Figure 12** : Situation géographique de la source parc aux jeux.

### II.5.3. Source ain barber

Ses coordonnées sont :

Altitude : 36°59'34.14"N

Longitude : 7°33'13.19"E



Figure 13 : Situation géographique de la source ain barber

### II.5.4. Source ain damouss el ghoul

Ses coordonnées sont :

Altitude : 36°57'53.35"N

Longitude : 7°35'21.26"E

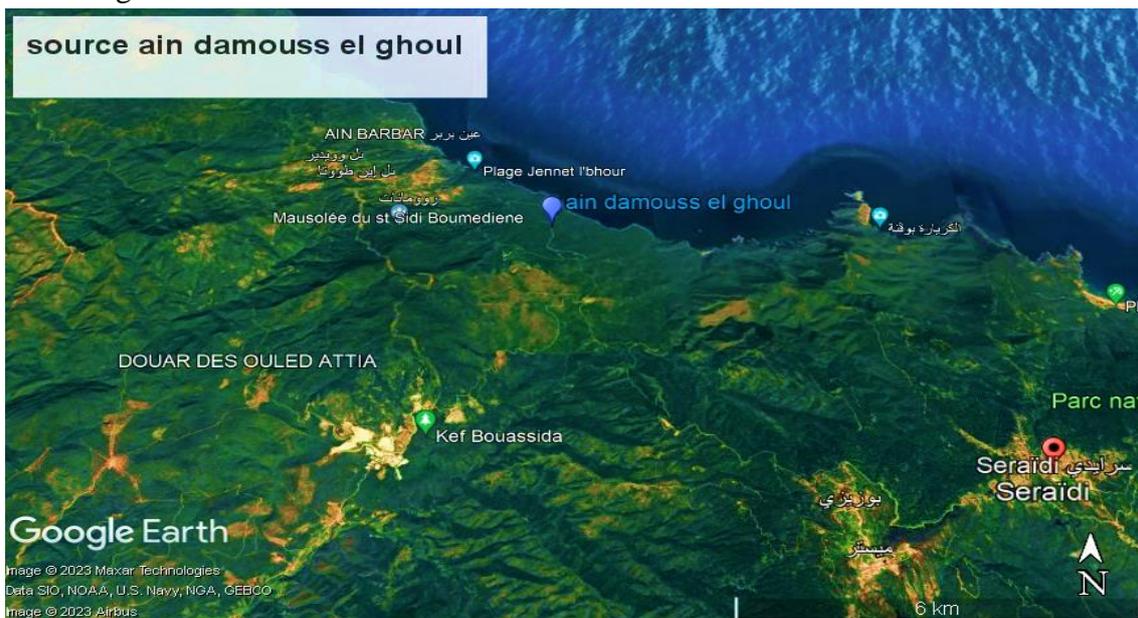


Figure 14 : Situation géographique de la source ain damouss el ghoul

### II.5.5. Source ain bouhdada

Ses coordonnées sont :

Altitude : 36°54'27.49"N

Longitude : 7°40'20.16"E



**Figure 15 :** Situation géographique de la source ain bouhdada

### Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la situation géographique de la zone étudiée et nous avons également constaté qu'il existe une relation entre la nature et la qualité des sols et la qualité des eaux souterraines.

Ensuite, nous avons clarifié la situation géographique des sources étudiées.

**Chapitre III :**  
**Matériel et méthode**

### III. MATÉRIEL ET MÉTHODE

#### Introduction

Les études expérimentales sont basées sur des analyses physicochimiques et bactériologiques ont été réalisées au laboratoire centrale ADE Annaba

Les techniques d'analyse utilisées pour étudier la qualité de l'eau des sources peuvent varier en fonction des paramètres spécifiques qui sont étudiés. Cependant, dans ce cas, les analyses physicochimiques et bactériologiques ont été réalisées en utilisant les méthodes décrites dans le livre "L'analyse de l'eau - Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer" d'A. Rodier, publié en 2009.

Une étude de la qualité de l'eau de source comprend trois phases :

- échantillonnage, échantillonnage
- Analyse
- interprétation

#### III.1 Échantillonnage et modes de prélèvements

##### III.1.1 PRINCIPE D'ECHANTILLONNAGE

Le principe de l'échantillonnage est de prélever des échantillons d'eau à partir d'un lieu ou d'une zone d'étude spatialement et temporellement définis et de désigner précisément les points d'échantillonnage. Ces échantillons doivent être dans des récipients en verre ou en plastique de volume défini et suffisamment représentatifs des points de prélèvement.

##### III.1.2 BUT D'ECHANTILLONNAGE

L'échantillonnage nous permet d'identifier les sources de pollution, de surveiller en permanence l'environnement et de quantifier la pollution.

##### III.1.3 CONSERVATION DES ECHATILLONS

###### III.1.3.1 CONSIDERATIONS GENERALES

Les facteurs pouvant entraîner des modifications des échantillons d'eau :

Réactions physiques, chimiques ou biologiques : Les réactions peuvent modifier les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau, ce qui peut entraîner des variations dans les concentrations de différents paramètres. Par exemple, la dégradation biologique des composés organiques peut entraîner une augmentation des niveaux de certains nutriments.

Température : La température peut affecter la solubilité des différents composants de l'eau, ce qui peut entraîner des variations dans les concentrations mesurées.

Exposition à la lumière : L'exposition à la lumière peut entraîner des réactions photochimiques qui modifient les caractéristiques de l'eau et peuvent entraîner des variations dans les concentrations de différents paramètres.

Type de récipient : Le type de récipient utilisé pour stocker l'échantillon peut affecter les caractéristiques de l'eau et entraîner des variations dans les concentrations de différents paramètres. Par exemple, certains composés peuvent être adsorbés par les parois du récipient, ce qui peut entraîner une diminution des concentrations mesurées.

Temps écoulé entre le prélèvement et l'analyse : Le temps écoulé entre le prélèvement et l'analyse peut affecter les caractéristiques de l'eau et entraîner des variations dans les concentrations de différents paramètres. Plus le temps écoulé est long, plus les chances de modifications sont élevées.

Conditions de transport : Les conditions de transport de l'échantillon peuvent affecter les caractéristiques de l'eau et entraîner des variations dans les concentrations de différents paramètres. Par exemple, une agitation excessive peut provoquer la libération de certains composés à partir des particules en suspension.

Il existe d'autres sources spécifiques de variation énumérées ci-dessous :

- La présence de bactéries, d'algues et d'autres organismes, qui peuvent consommer certains constituants des échantillons. Ces organismes peuvent aussi modifier la nature des constituants et donner ainsi naissance à de nouveaux constituants. Cette activité biologique affecte les teneurs en oxygène dissous, en dioxyde de carbone dissous et en différents composés dissous, ainsi qu'en azote, et en phosphore [11].

- Certains composés peuvent être oxydés par l'oxygène dissous présent dans les échantillons ou par l'oxygène de l'air, comme les composés organiques, le fer (II) et les sulfures.

Le pH et la conductivité peuvent être modifiés et la teneur en dioxyde de carbone dissous peut varier à cause de l'adsorption du dioxyde de carbone de l'air, ainsi que certaines substances peuvent s'échapper des échantillons par évaporation comme l'oxygène.

- Les métaux dissous ou à l'état colloïdal, ainsi que certains composés organiques peuvent être adsorbés de façon irréversible des récipients ou des matières solides contenues dans les échantillons

Il est donc important de prendre les précautions nécessaires pendant l'échantillonnage, le transport et le stockage des échantillons pour minimiser les variations possibles et garantir des résultats précis et fiables.

Alors dans notre cas Les échantillons sont prélevés dans des flacons en verre stérilisés de 250 ml pour une analyse bactériologique, et dans des flacons en polyéthylène (PET) bien nettoyés de 1,5 litre pour une analyse physico-chimique. La date, l'heure du prélèvement, la température de l'eau et de l'air, le pH et la conductivité on peut enregistrés sur place. Les sources sont acheminées à travers de grands tuyaux pour remplir directement les flacons et les bouteilles. Pour l'analyse bactériologique, l'eau est laissée couler pendant un certain temps à proximité d'une flamme avant de remplir les flacons.

Ce tableau ci-dessous résume toutes les techniques de la conservation des échantillons.

Tableau 1 : Techniques généralement appropriées pour la conservation des échantillons

<b>Paramètres Analyser</b>	<b>Nature du récipient</b>	<b>Volume MI</b>	<b>Condition de Conservation</b>	<b>Durée de conservati on avant l'analyse</b>	<b>Observation</b>
Chlore résiduel	Tube à essai en verre	10		5 min	Conserver les échantillons à l'abri de la lumière. Il convient d'effectuer l'analyse sur site, dans les 5 min qui suivent le prélèvement de l'échantillon.
Conductivité	P ou VB	100 Remplir complètement le récipient pour chasser l'air	Réfrigérer entre 1°C et 5°C	24h	Analyse réalisée de préférence sur site.

Oxygène	P ou V	300 Remplir complètement le récipient pour chasser l'air	Réfrigérer entre 1°C et 5°C	4 jours	Fixer l'oxygène sur site et conserver les échantillons à l'abri de la lumière. La méthode électrochimique peut également être utilisée et réaliser sur site.
Ph	P ou V	100 Remplir complètement le récipient pour chasser l'air	Réfrigérer entre 1°C et 5°C	6h	Il convient de réaliser l'essai dès que possible et de préférence sur site immédiatement après le prélèvement.
Turbidité	P ou V	100	Réfrigérer entre 1°C et 5°C Conserver les échantillons à l'abri de la lumière.	24 h	Détermination réalisée de préférence sur site.
Demande biochimique en oxygène (DBO)	P ou V	1000 Remplir complètement le récipient pour chasser l'air	Réfrigérer entre 1°C et 5°C	24h	Conserver les échantillons à l'abri de la lumière.
Fer total	P ou VB	120	Acidifier à un pH compris entre 1 et 2 avec H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> à 18mol/l	1 mois	
Fer (II)	P ou VB	120	Acidifier à un pH compris entre 1 et 2 avec H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> à 18mol/l	7 jours	
Nitrate	P ou V	100	Réfrigérer entre 1°C et 5°C.	24 h	

Paramètres à analyser	Nature du récipient	Volume MI	Condition de conservation	Durée de conservation avant l'analyse	Observation
Nitrate	P ou V	100	Acidifier à un pH compris entre 1 et 2 avec HCl	7 jours	
Nitrite	P ou V	100	Réfrigérer entre 1°C et 5°C	24 h	Il convient de réaliser l'analyse de préférence sur site.
Couleur	P ou V	500	Réfrigérer entre 1°C et 5°C	5 jours	Conserver les échantillons à l'abri de la lumière. Dans le cas d'eaux souterraines riches en fer(II), il convient d'effectuer l'analyse sur site, dans les 5min qui suivent le prélèvement de l'échantillon.
Phosphore	P ou V ou VB	100	Réfrigérer entre 1°C et 5°C	24 h	
Ammonium	P ou V	100	Réfrigérer entre 1°C et 5°C	24 h	
	P ou V	100	Acidifier à un pH compris entre 1 et 2 avec H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .	21 jours	
Calcium	P ou V	100	Réfrigérer entre 1°C et 5°C	24 h	
	P ou V	100	Acidifier à un pH compris entre 1 et 2 avec HNO <sub>3</sub>	1 mois	

CO <sub>2</sub>	P ou V	500 Remplir complètement le récipient pour chasser l'air	Réfrigérer entre 1°C et 5°C	24h	Détermination réalisée de préférence sur site.
Chlorure	P ou V	200	Réfrigérer entre 1°C et 5°C	1 mois	
Acidité et alcalinité	P ou V	200 Remplir complètement le récipient pour chasser l'air	Réfrigérer entre 1°C et 5°C	24h	Il convient d'analyser les échantillons de préférence sur site (en particulier lorsqu'ils sont riches en gaz dissous). La réduction et l'oxydation peuvent modifier l'échantillon.
Indice de permanganate	VB	100	Acidifier à un pH compris entre 1 et 2 avec H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> à 7.5mol/l	2 jours	Analyser dès que possible.
Matière en suspension	P ou V	500	Réfrigérer entre 1°C et 5°C	2 jours	
Sulfate	P ou V	200	Réfrigérer entre 1°C et 5°C	1 mois	
Résidu sec	P ou V	100	Réfrigérer entre 1°C et 5°C	24h	
Dureté totale	Voir Calcium				

P : Polyéthylène

V : Verre blanc

VB : Verre Brun

### III.2 Méthodes d'analyses organoleptiques

#### III.2.1 Test de la couleur

La couleur a été déterminée par observation visuelle de plusieurs bouteilles et flacons remplis eau puisée à une source.

#### III.2.2 Test de l'odeur et de la saveur

Pour évaluer l'odeur, une simple observation olfactive a été effectuée. En revanche, pour détecter la saveur, une méthode de dégustation a été utilisée. Cette méthode consiste à rincer la bouche avec de l'eau distillée avant chaque dégustation pour s'assurer que la saveur précédente ne perturbe pas la détection de la saveur actuelle.

### III.3 Méthodes d'analyses physico-chimiques

#### III.3.1 Méthodes électrochimiques

L'analyse des eaux souterraines se concentre principalement sur la caractérisation de leurs paramètres de base, notamment le pH, la température, la conductivité, la turbidité ainsi que la quantification des ions majeurs et des éventuels éléments traces. En effet, ces paramètres permettent de définir les propriétés fondamentales de l'eau souterraine, tels que sa salinité, son potentiel corrosif et sa capacité à conduire l'électricité. La conductivité, la température et le pH sont des paramètres particulièrement importants car ils donnent des informations sur les propriétés physiques et chimiques de l'eau souterraine.

##### III.3.1.1 Mesure de la turbidité

###### Généralité

$\Phi$  est l'angle entre la direction de la source de lumière et la direction de la réception de la lumière diffusée.

$\Omega_\theta$  représente la fraction de l'angle solide total qui est collectée par le récepteur.

En résumé, l'atténuation de la lumière dans un échantillon d'eau dépend de la présence de substances dissoutes et non dissoutes. Les substances dissoutes sont mesurées à l'aide du coefficient d'absorption spectrale, tandis que les substances non dissoutes sont mesurées à l'aide du coefficient de diffusion spectrale. La mesure de l'atténuation de la lumière transmise dépend de l'angle solide et de l'efficacité lumineuse arrivant sur le récepteur. La mesure de la lumière diffusée dépend de l'angle de mesure et de l'angle solide. La taille et la distribution des particules en suspension dans l'eau affectent également l'intensité de la lumière diffusée. La diffusion, de la radiation vers l'avant crée par les particules modifiées l'atténuation de façon telle que le coefficient de diffusion spectrale  $s(\lambda)$  et du coefficient d'absorption spectrale  $a(\lambda)$  :

$$\mu(\lambda) = s(\lambda) + a(\lambda) \quad \dots \text{équation(1)}$$

###### Principe

La turbidité correspond à la mesure de l'opacité d'un échantillon d'eau. Plus précisément, c'est une mesure de la quantité de matières en suspension dans l'eau qui

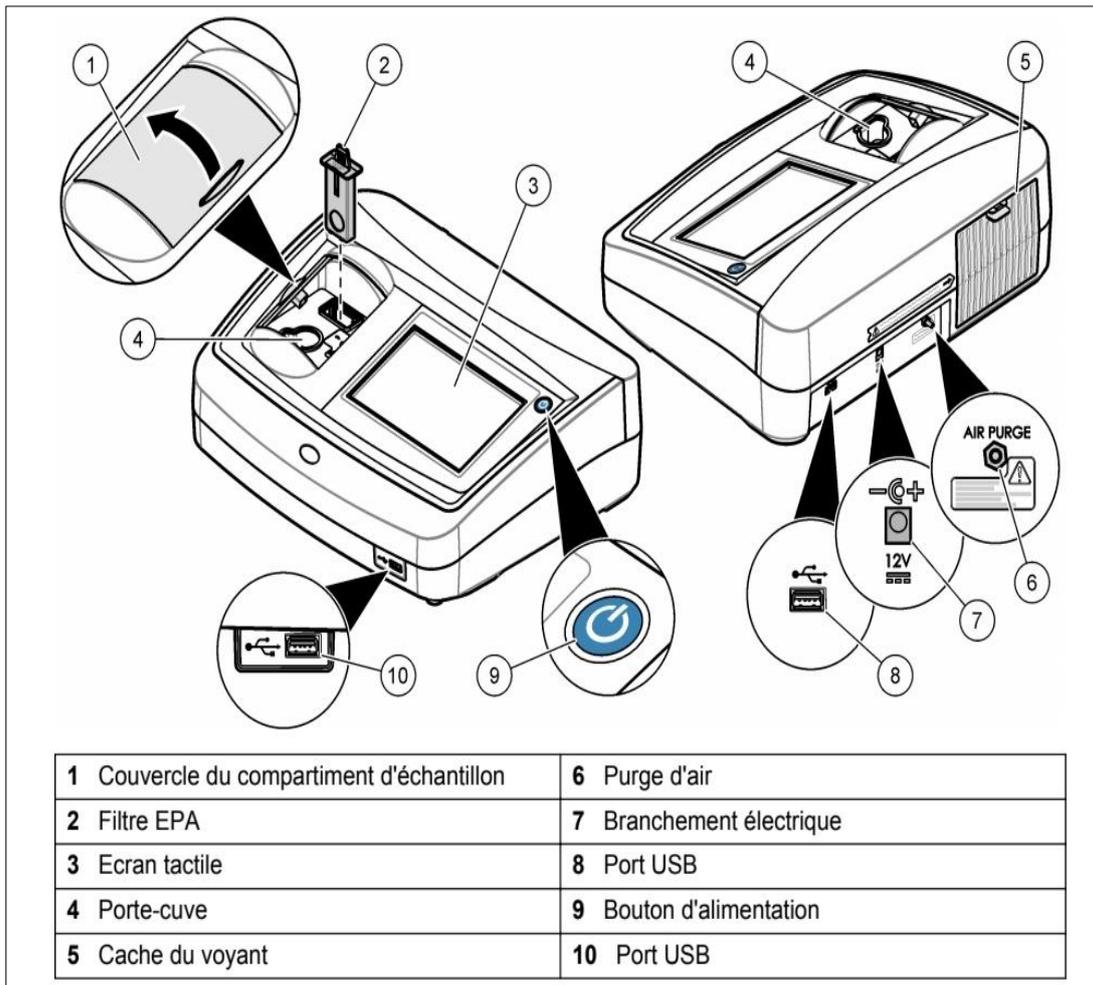
diffusent et absorbent la lumière, rendant l'eau moins transparente. La turbidité est souvent exprimée en unité de Néphélogétrie (NTU) ou de Formazine Néphélogétrie (FNU), et peut être mesurée à l'aide d'un turbidimètre.

### Matériels

- Turbidimètre (TL2300) (HACH)
- Cuves carrées de 25ml



**Figure 16** : Turbidimètre (TL2300) (HACH)



**Figure 17** : les composants du turbidimètre

## Mode opératoire

En utilisant des cuves en verre bien nettoyées et bien séchées, remplies avec de l'eau à analyser [12].

### III.3.1.2 Mesure de la température

La température de l'eau est mesurée avec un thermomètre précis ou avec un appareil multifonctions HACH SL1000 (température, pH, conductivité)



**Figure 18** : un appareil multifonctions HACH SL1000 (température, pH, conductivité)

### III.3.1.3 Mesure du Ph

#### Généralité

Le pH est une mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution aqueuse, qui est déterminée par la concentration des ions d'hydrogène présents dans cette solution. Plus la concentration en ions  $H^+$  est élevée, plus la solution est acide et plus le pH est bas. À l'inverse, plus la concentration en ions  $H^+$  est faible, plus la solution est basique (ou alcaline) et plus le pH est élevé.

Pour les grandes dilutions, l'activité molaire des ions  $H^+$  est approximativement égale à leur concentration molaire, ce qui permet de simplifier la formule est :

$$PH = -\log [H^+] \quad \dots\dots\text{équation}(2)$$

Dans l'eau potable et l'eau minérale, la présence d'ions  $H^+$  est souvent due à l'ionisation de l'acide carbonique ( $H_2CO_3$ ) et de ses sels, qui sont des composés couramment présents dans l'eau naturelle. D'autres facteurs peuvent également influencer la concentration en ions  $H^+$  dans l'eau, tels que la présence de minéraux et de métaux, ainsi que la pollution chimique. Le contrôle du pH de l'eau est important pour assurer sa potabilité et éviter les effets néfastes sur la santé et sur les équipements de distribution d'eau.

### Principe

Pour mesurer le pH d'une solution, on utilise un pH mètre électronique équipé d'une électrode en verre. Cette électrode contient une solution tampon à l'intérieur qui réagit avec les ions  $H^+$  de la solution à analyser. La réaction chimique qui se produit génère un signal électrique qui est détecté par le pH mètre.

Avant de procéder à la mesure, l'électrode doit être étalonnée en utilisant des solutions tampons de pH connu. Les valeurs couramment utilisées pour l'étalonnage sont pH 7 et pH 4. Lorsque l'électrode est plongée dans la solution tampon, elle produit un signal électrique correspondant au pH de la solution. Le pH mètre utilise ces signaux pour ajuster l'étalonnage de l'électrode.

### Matériels

- PH mètre du SL1000 (HACH).
- Bécher de 50ml.

### Mode opératoire

- Rincer l'électrode avec l'eau distillée puis plusieurs fois avec l'échantillon ;
- Prolonger l'électrode dans l'eau à analyser ;
- Laisser l'électrode se stabiliser pendant quelque seconde ; Noter la valeur affichée [13].



Figure 19 : méthode de la mesure de pH

### III.3.1.4 Mesure de la conductivité

#### Généralité

Conduction spécifique, Conductivité électrique  $\gamma$  :

L'inverse de la résistance mesurée dans des conditions spécifiées entre les faces opposées d'un cube unitaire (dimension spécifiée) de solution aqueuse. Lors de l'étude de la qualité de l'eau, cela est souvent appelé "conductivité électrique" et peut être utilisé comme mesure de la concentration de solutés ioniques dans un échantillon. Exprimé en  $S/m = 10^4 \mu c/cm = 10^3 ms/m$ .

- Constante de la cellule de mesure K :

Grandeur est exprimée en mètres à la puissance moins un, donnée par l'équation :

$$K = l/A \quad \dots \text{équation(3)}$$

$l$  : est la longueur, en mètres d'un conducteur électrique donné

$A$  : est l'aire, en  $m^2$  de la section transversale de ce conducteur électrique

La constante de la cellule de mesure résulte de la géométrie de la cellule, elle peut être déterminée empiriquement

- Coefficient de la température de conductivité électrique  $a$  :

Est donnée comme suite :

$$a_{\phi} = 1/\gamma_{25} ((\gamma_{\phi} - \gamma_{25}) / (\phi - 25)) \times 100 \quad \dots \text{équation(4)}$$

Où 25 et  $\phi$   $^{\circ}C$  sont les températures auxquelles ont été respectivement mesurées les conductivités électriques  $\gamma_{25}$  et  $\gamma_{\phi}$

- Facteurs correction de température  $f$  :

Facteurs utilisés pour corriger la conductivité électrique en fonction de la température.

Les conversions en conductivité électrique à  $25^{\circ}C$ ,  $\gamma_{25}$  sont faites selon l'équation

$$\gamma_{25} = (1 / \gamma + (a/100)(\phi - 25)) \quad \dots \text{équation(5)}$$

$a$  : est le coefficient de température de conductivité électrique

$\gamma_{\phi}$  : est la conductivité électrique à la température de mesure

$\phi$  : est la température de mesure en  $^{\circ}C$  de l'échantillon.

### Principe

La conductivité électrique est mesurée à l'aide d'un conductivimètre équipé d'une électrode constituée de deux lames carrées en platine de 1cm de côté. Pour mesurer la conductivité électrique de l'eau à analyser, l'électrode est immergée complètement dans la solution. Le conductivimètre applique alors une faible tension électrique entre les deux lames de l'électrode, ce qui génère un courant électrique à travers la solution. Le conductivimètre mesure ensuite la conductivité de la solution en fonction de l'intensité du courant électrique.

### Matériels

- Multiparamètre (conductimètre) du SL1000 (HACH).
- Bécher de 50ml.

### Mode opératoire

- Rincer l'électrode avec l'eau distillée puis plusieurs fois avec l'échantillon
- Prolonger l'électrode dans l'eau à analyser
- Laisser l'électrode se stabiliser pendant quelque seconde
- Noter la valeur affichée [14].

### III.3.1.5 Mesure de la minéralisation

À partir de la conductivité :

Tableau 2 : Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité

Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Minéralisation (mg/L)
Conductivité < 50	$1,365079 \times \text{conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm})$ à 20 °C
50 < Conductivité < 166	$0,947658 \times \text{conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm})$ à 20 °C
166 < Conductivité < 333	$0,769574 \times \text{conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm})$ à 20 °C
333 < Conductivité < 833	$0,715920 \times \text{conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm})$ à 20 °C
833 < Conductivité < 1000	$0,758544 \times \text{conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm})$ à 20 °C
Conductivité > 1000	$0,850432 \times \text{conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm})$ à 20 °C

### III.3.2 Méthodes volumétriques

Les méthodes volumétriques sont des techniques d'analyse chimique qui permettent de déterminer la concentration d'une substance dans une solution en mesurant le volume d'une autre substance réactive nécessaire pour réagir complètement avec la substance cible. Ces méthodes sont largement utilisées en chimie analytique pour quantifier des composés chimiques.

#### III.3.2.1 Dosage de l'alcalimétrie (TA)

##### Principe

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Le but est de mesurer la teneur en hydroxyde libre et en carbonate CO<sub>2</sub>

##### Matériels

- Éprouvette de 100 ml
- Erlenmeyer de 250ml
- Burette de 25 ml.

##### Réactifs

- Indicateur de phénolphtaléine
- Acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.02N).

##### Mode opératoire

- Introduire à l'aide d'une éprouvette, 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 250 ml
- Ajouter 02 gouttes de la solution d'indicateur de phénolphtaléine
- Si aucune coloration rose n'est obtenue, on considère l'alcalinité comme nulle
- Si une couleur rose est obtenue, on titre avec Acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.02N) jusqu'à décoloration complète de la solution.

##### Expression des résultats

$$\boxed{\text{TA en } ^\circ\text{F} = V_e} \dots \text{équation(6)}$$

V<sub>e</sub> : Est le volume en ml du H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,02N) utilisé pour l'échantillon [15].

### III.3.2.2 Dosage Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

#### Principe

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Le but est de déterminer la teneur en hydrogénocarbonates dans l'eau.

#### Matériels

- Éprouvette de 100ml
- Erlenmeyer de 250 ml
- Bourrette de 25 ml.

#### Réactifs

- Vert de bromocrésol
- Acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.02N).

#### Mode opératoire

- Introduire à l'aide d'une éprouvette, 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 250 ml
- Ajouter 02 gouttes de la solution d'indicateur de Vert de bromocrésol
- Une coloration bleue doit être développée
- Titrer avec le H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.02N) jusqu'au virage vert jaune [16].

#### Expression des résultats

$$\text{TAC en } F^{\circ} = (V_e - V_b) \times \text{titre} \quad \text{.....équation(7)}$$

$V_e$  : Est le volume du H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.02N) utilisé pour l'échantillon

$V_b$  : Est le volume du H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.02N) utilisé pour le blanc

Titre : Lecture réel du titre (10ml) divisé par le volume du H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.02N) utilisé pour le titre.

$$\text{TAC en mg/l de CaCO}_3 = \text{TAC } F^{\circ} \times 10 \quad \text{..... équation(8)}$$

### III.3.2.3 Dosage de la dureté totale (titre hydrométrique TH)

#### Principe

Titration par complexométrie du calcium et du magnésium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un PH de 10.

Le Noir d'Eriochrom T (N.E.T), qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur.

Lors du titrage, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions calcium et magnésium libre en solution, puis au point d'équivalence avec les ions calcium et magnésium combinés avec l'indicateur ce qui libère l'indicateur et provoque un changement de couleur de bordeaux ou violet à bleu. Les résultats sont exprimés en unité de concentration de quantité de matière. Si le calcium a été dosé séparément, la concentration en masse du magnésium peut être déterminée par calcul.

Le but est de la détermination de la somme des concentrations en calcium et en magnésium dans des eaux souterraines, les eaux de surface et les eaux de boisson.

#### Matériels

- Erlenmeyers de 250 ml
- Pipettes de 5 ml
- Pipette jaugée de 50 ml.

#### Réactifs

- Solution d'EDTA (Sel de sodique d'acide éthylène diaminetetracétique à 0.02N)
- Solution tampon (pH= 10)
- Indicateur coloré Noir d'Eriochrom T (N.E.T).

#### Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de 250 ml, on prélève 50 ml d'eau à analyser, on chauffe au bain Marie à une température d'environ 60°C puis on ajoute 4 ml de la solution tampon (pH= 10) Et 3 gouttes d'indicateur coloré (N.E.T), ensuite on titre avec l'EDTA jusqu'au virage du rouge foncé ou violette [17].

#### Expression des résultats

La teneur global en calcium et magnésium exprimé en mmol/l et donnée par l'équation suivante :

$$\boxed{(C1.V3)/V0 \text{ en mmol/l} \times 100} \dots\dots \text{équation(9)}$$

C1 : Concentration exprimée en mmol/l de la solution d'EDTA

V0 : Est le volume en ml de l'échantillon

V3 : Volume en ml de la solution d'EDTA utilisé pour le titrage

La teneur global en calcium et magnésium exprimé en mg/l de CaCO<sub>3</sub> et donnée par l'équation suivante :

$$\boxed{C (\text{Ca} + \text{Mg}) = (C1.V3)/V0} \dots\dots \text{équation(10)}$$

### III.3.2.4 Dosage des ions calcium.

#### Principe

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un PH compris entre 12 et 13. Le HSN qui forme un complexe rouge avec le calcium, est utilisé comme indicateur. Le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas lors du dosage. Lors du titrage, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions calcium libre, puis avec les ions calcium combinés avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur bleu clair.

#### Matériels

- Erlenmeyers de 250 ml
- Pipettes de 2 ml
- Pipette jaugée de 50 ml.

#### Réactifs

- Solution d'EDTA (Sel di sodique d'acide éthylène diamine tetracétique (0.02N)
- Solution NaOH (0.1 N)
- HSN, indicateur.

#### Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de 250ml, on prélève 50ml d'eau à analyser, on ajoute 2ml de solution NaOH et une pincée de HSN, puis on titre par la solution d'EDTA jusqu'au virage bleu [18].

### Expression des résultats

La concentration en calcium, Cca exprimée en mmol/l est donnée par l'équation :

$$Cca = (C1.V3)/V0 \quad \dots\dots\dots \text{équation(11)}$$

C1 : est la Concentration en mmol/l de la solution d'EDTA

V0 : est le volume en ml, de la prise d'essai

V3 : est le Volume en ml, de la solution d'EDTA, utilisé pour le dosage

Si l'on désire exprimer la teneur en calcium, Ca celui-ci est donné, en mg/l, par l'équation :

$$Cca=(C1.V3)/V0 \times A \quad \dots\dots\dots \text{équation(12)}$$

Ou A est la masse atomique relative de calcium (40.08)

### III.3.2.5 Dosage des ions magnésium

Connaissant la dureté totale d'une part et la dureté calcique d'autre part, il est facile par différence de calculer la dureté magnésienne.

$$TMg^{2+} = TH - TCa^{2+} \quad \dots\dots\dots \text{équation(13)}$$

TH : Dureté totale

TCa<sup>2+</sup> : Dureté calcique

TMg<sup>2+</sup> : Dureté magnésienne.

### III.3.2.6 Dosage d'ion chlorure

#### Principe

Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ion d'argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromate qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage, et durant le titrage le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation.

#### Matériels

- Éprouvette de 100ml
- Erlenmeyer de 250 ml
- Burette de 25 ml.

### Réactifs

- Nitrate d'argent, AgNO<sub>3</sub> (0,02mol/l)
- Chromate de potassium K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> (10‰).

### Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de 250ml, prélève 10ml d'eau à analyser, puis on ajoute 3 gouttes de Chromate de potassium à 10 % puis on titre avec le nitrate d'argent (AgNO<sub>3</sub> 0.02N) jusqu'au virage au rouge brique [19].

### Expression des résultats

$$\text{Concentration de chlorure en mg/l} = (V_s - V_b) / V \times C \times F \quad \text{.....équation(14)}$$

Ou

[Cl<sup>-</sup>] : est la concentration en mg/l de chlorure.

V<sub>s</sub> : est le volume en ml de la solution de nitrate d'argent utilisée pour le titrage de l'échantillon.

V<sub>b</sub> : est le volume en ml de la solution de nitrate d'argent utilisée pour le titrage du blanc.

C : est la concentration réelle en mol/l de la solution de nitrate d'argent.

F : est le facteur de conversion. :  $f=35453 \text{ mg/l}$ .

### III.3.2.7 Dosage des bicarbonates

#### Réactifs

- Vert de bromocrésol ;
- Acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.02N).

#### Mode opératoire

- Introduire à l'aide d'une éprouvette, 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 250 ml
- Ajouter 02 gouttes de la solution d'indicateur de Vert de bromocrésol
- Une coloration bleue doit être développée
- Titrer avec le H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.02N) jusqu'au virage vert jaune

#### Expression des résultats

$$\text{HCO}_3 \text{ en mg/l} = \text{TAC } F^\circ \times 12.2 \quad \text{..... équation(15)}$$

### III.3.3 Méthodes Spectrophotométriques

La spectrophotométrie est une méthode couramment utilisée dans le traitement des eaux pour mesurer la qualité de l'eau et détecter les contaminants. Elle permet de mesurer la quantité de lumière absorbée par les composants de l'eau à différentes longueurs d'onde, ce qui permet de déterminer leur concentration et leur type.

La spectrophotométrie peut être utilisée pour mesurer la concentration de nombreux contaminants dans l'eau, tels que les nitrates, les phosphates, les sulfates, les métaux lourds, les pesticides et les herbicides. En mesurant leur concentration, il est possible de déterminer l'efficacité des processus de traitement de l'eau pour éliminer ces contaminants.

La spectrophotométrie peut également être utilisée pour mesurer la turbidité de l'eau, c'est-à-dire la quantité de matières en suspension dans l'eau. Une eau très turbide peut être difficile à traiter et peut contenir des bactéries et des virus.

En somme, la spectrophotométrie est une méthode essentielle dans le traitement des eaux pour surveiller la qualité de l'eau et détecter les contaminants. Elle permet de garantir que l'eau est propre et sûre pour la consommation humaine et pour d'autres utilisations.



Figure 20 : Le spectrophotomètre UV-VIS DR6000.

### III.3.3.1 Dosage des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

#### Principe

Réaction des nitrates avec le diméthyle-2.6 phénol en présence des acides sulfurique et ortho phosphorique, avec production du nitro-4 diméthyle-2.6 phénol.

#### Matériels

- Béchers de 250 ml.
- Fioles de 50 ml,
- Pipettes graduées de 1ml, 2 ml, 5 ml, 10 ml.
- Éprouvette de 25 ml
- Spectrophotomètre DR6000.

#### Réactifs

- Diméthyle-2.6 phénol

#### Mode opératoire

Dans une fiole jaugée de 50ml, introduire 02ml d'échantillon, ajouter 14ml de mélange acide, 02ml de diméthyle 2.6pyenol. Laisser reposer pendant 10 à 60 min, puis mesurer la concentration en mg/l à une longueur d'onde de 324 nm [20].

### III.3.3.2 Dosage Des Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

#### Principe

Réaction des ions nitrites présents dans une prise d'essai à un PH 1.9, avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide en présence d'acide ortho phosphorique pour former un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose avec le di chlorhydrate amoni-4 benzène sulfonamide.

#### Matériels

- Béchers de 250 ml.
- Fioles de 50 ml,
- Pipettes graduées de 1ml, 2 ml, 5 ml, 10 ml.
- Éprouvette de 25 ml
- Spectrophotomètre DR6000

#### Réactifs

- amino-4 benzène sulfonamide

### Mode opératoire

Dans une fiole jaugée de 50ml, introduire 40ml d'échantillon, ajouter 1ml de réactif coloré et compléter au volume avec de l'eau distillée. Laisser un temps de repos de 20 min, puis mesure la concentration en mg/l à 540 nm [21].

#### III.3.3.3 Dosage des sulfates

##### Principe

Les ions sulfate de l'échantillon réagissent avec le baryum du sulfaVer 4 pour former un précipité de sulfate de baryum. L'intensité de la turbidité est proportionnelle à la concentration en sulfate. La lecture est obtenue à 450nm.

##### Matériels

- Cuves carrées de 25ml
- Bécher de 50ml
- Pipete de 10ml
- Spectrophotomètre DR6000

##### Réactifs

- SulfaVer 4.

##### Mode opératoire

Après avoir allumé le spectrophotomètre, sélectionner le programme (longueur d'onde spécifique qui est de 450nm

- Remplir une cuvette avec 25ml de l'échantillon ;
- Ajouter le contenu d'une gélule de réactif SulfaVER 4 à la cuvette ;
- Agiter pour bien mélanger, une période de réaction de 5minutes commence.

Entre temps remplir une autre cuvette avec 10ml de l'échantillon(le blanc) ;

- Quand le minuteur alerte par une simple sonnerie, lancer le blanc dans le puits de mesure et presser sur la touche 0 ;
- Ensuite placer l'échantillon préparé contenant le réactif et le résultat s'affiche [22].

#### III.3.3.4 Dosage de fer

##### Principe

Pour le dosage du fer total et du fer total dissous, le chlorhydrate d'hydroxylamine est ajouté pour réduire le fer III en fer II. Si du fer non dissous, des oxydes de fer ou

des complexes de fer sont présents, un prétraitement est nécessaire pour mettre ces composés en solution. Le complexe fer II-phénanthroline est stable à un PH entre 2.5 à 9 et l'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de fer II présent.

### Matériels

- Bêchers de 250 ml.
- Fioles de 50 ml,
- Pipettes graduées de 1ml, 2 ml, 5 ml, 10 ml.
- Éprouvette de 25 ml
- Spectrophotomètre DR6000

### Réactifs

#### 1.10 Phénanthroline

#### Mode opératoire

Dans une fiole jaugée de 100ml, introduire 50ml d'échantillon, et diluer si nécessaire ajouter 01ml de chlorhydrate hydroxylamine, 02ml de tampon acétate, et 02ml de 1.10 phénanthroline. Agiter vigoureusement la fiole et laisser à l'obscurité pendant 15min. Mesurer la concentration en mg/l à une longueur d'onde de 510 nm [23].

### III.3.3.5 Dosage de L'ammonium

#### Principe

Mesure spectrophotométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hydro chlorite en présence de nitropentacyanoferrate(III) de sodium. La réaction de la chloramine avec le salicylate de sodium se situe à PH 12.6 en présence de nitro-prussique de sodium. Les chloramines présentes dans l'échantillon sont en conséquence déterminées quantitativement. Le citrate de sodium est incorporé aux réactifs pour masquer l'interférence, notamment le calcium et le magnésium.

#### Matériels

- Bêchers de 250 ml.
- Fioles de 50 ml,
- Pipettes graduées de 1ml, 2 ml, 5 ml, 10 ml.
- Éprouvette de 25 ml
- Spectrophotomètre DR6000

### Réactifs

- Dichloroisocyanure de sodium
- Réactif coloré

### Mode opératoire

Dans une fiole jaugée de 50ml, introduire 40ml d'échantillon, et diluer si nécessaire ajouter 04ml de réactif coloré, et 04ml de dichloroisocyanure de sodium, compléter à 50ml avec de l'eau distillée (4.1). Agiter vigoureusement la fiole et la maintenir à 25°C pendant un temps de repos de 60min. Mesurer la concentration en mg/l à une longueur d'onde de 655 nm.

Effectuer parallèlement au dosage, une prise d'essai à blanc avec une eau distillée, en suivant le même mode opératoire et en utilisant les mêmes quantités de réactif que dans le dosage [24].

### III.3.3.6 Dosage De Potassium

#### Principe

L'ion potassium se combine au tétraphénylborate de sodium pour former un précipité blanc de tétraphénylborate de potassium. La concentration du potassium est proportionnelle à la turbidité produite

#### Matériels

- Cuves carrées de 25ml
- Éprouvette de 25ml
- Bécher de 50ml
- Pipette de 10 ml
- Spectrophotomètre DR6000

#### Réactifs

- Le réactif de potassium 1
- Le réactif de potassium 2
- Le réactif de potassium 3

#### Mode opératoire

Après avoir allumé le spectrophotomètre, sélectionner le programme (longueur d'onde spécifique qui est de 650nm) ;

- Remplir une éprouvette avec 25ml de l'échantillon ;
- Ajouter le contenu d'une gélule de réactif Potassium 1 à l'éprouvette ;
- Ajouter le contenu d'une gélule de réactif Potassium 2a l'éprouvette, retourner plusieurs fois pour mélanger ;
- Ajouter le contenu d'une gélule de réactif Potassium 3a l'éprouvette ;
- Agiter pour bien mélanger pendant 30secondes, une période de réaction de 3minutes commence ;
- Verser la solution de l'éprouvette dans une cuvette de 25ml ;
- Entre temps remplir une autre cuvette avec 10ml de l'échantillon(le blanc) ;
- Quand le minuteur alerte par une simple sonnerie, lancer le blanc dans le puits de mesure et presser sur la touche0 ;
- Ensuite placer l'échantillon préparé contenant le réactif et le résultat s'affiche [25].

### III.3.3.7 Dosage De Phosphore

#### Principe

Réaction des ions ortho phosphates avec une solution acide contenant des ions de molybdate et d'antimoine pour former un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate. Réduction du complexe par l'acide ascorbique pour former un complexe de molybdène fortement coloré en bleu. Les poly phosphates et certains composés organophosphorés sont dosés après transformation, par hydrolyse par l'acide sulfurique, en ortho phosphates réagissant au molybdate.

#### Matériels

- Bêchers de 250 ml.
- Fioles de 50 ml,
- Pipettes graduées de 1ml, 2 ml, 5 ml, 10 ml
- Éprouvette de 25 ml
- Spectrophotomètre DR6000

#### Réactifs

- Acide ascorbique( $C_6H_8O_6$ )
- Molybdate Acide

### Mode opératoire

Introduire 40ml d'échantillon, ajouter 1ml d'acide ascorbique et 2ml de molybdate d'acide I dans une fiole jaugée de 50ml. Compléter au volume avec de l'eau distillée. Effectuer parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités de réactif mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai [26].

### III.4 Méthodes d'analyses bactériologiques

La présence de bactéries témoins de la contamination fécale dans l'eau peut indiquer un risque pour la santé humaine et révéler un manque de fiabilité des équipements ou des installations de traitement de l'eau. Cependant, il est important de noter que la présence de ces bactéries ne garantit pas la présence de pathogènes spécifiques ou la présence de niveaux dangereux de ces pathogènes dans l'eau. Par conséquent, il est important d'utiliser des méthodes supplémentaires pour évaluer la qualité microbiologique de l'eau, telles que des tests de dépistage de pathogènes spécifiques, des tests de toxicité ou des analyses physico-chimiques de l'eau.

Alors, les analyses bactériologiques qui ont été effectuées au niveau du laboratoire de L'A.D. E de Annaba par filtration, consistent à rechercher :

- Les Coliformes fécaux ;
- Les Coliformes totaux ;
- Les Streptocoques fécaux ;

#### Principe et méthode

La méthode de colimétrie par filtration est rapide, simple et normalisée. Cependant, elle requiert l'utilisation d'une rampe de filtration pour être réalisée.

#### Matériels

- Appareil de filtration sur membranes
- Membranes filtrantes 0,45  $\mu$ m
- Pinces à bouts arrondis, pour la manipulation des membranes
- Boîtes pétris de matière plastique
- Bec Bunsen
- Étuve capable de maintenir une température de 37°C, 44°C.

Avant de commencer la filtration, il est nécessaire de :

- Stériliser un entonnoir à l'aide d'un bec Bunsen.

- Une fois stérilisé, l'entonnoir doit être refroidi en utilisant soit de l'eau distillée stérile, soit de l'eau à analyser.
- Ensuite, une membrane de 0,45  $\mu$  doit être placée de manière aseptique entre la membrane poreuse et l'entonnoir en utilisant une pince stérile.
- Enfin, l'entonnoir doit être fixé à l'aide de la pince correspondante.

### III.4.1. Recherche de coliformes fécaux

- Après avoir préparé l'entonnoir, le remplir de manière aseptique avec 100 ml d'eau à analyser.
- Ensuite, actionner la pompe à vide pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane.
- Une fois la filtration terminée, retirer la membrane à l'aide d'une pince stérile et la placer dans une boîte de Pétri de 45 mm de diamètre contenant de la gélose TTC.
- La membrane sera incubée à une température de 44°C pendant 24 heures. Cette période d'incubation permettra de détecter la présence éventuelle de coliformes fécaux dans l'eau analysée.

### III.4.2. Recherche de coliformes totaux

- Remplir par la suite l'entonnoir avec 100 ml d'eau à analyser.
- Actionner de la même façon la pompe à vide pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane.
- Retirer ensuite la membrane à l'aide d'une pince stérile et la placer dans une boîte de Pétri de 45 mm de diamètre contenant de la gélose TTC.
- Cette deuxième membrane sera incubée à 37°C, pendant 24 heures et servira à la recherche des coliformes totaux.

### Lecture et interprétation

- Une fois la période d'incubation de 24 heures écoulée, les colonies de coliformes totaux et fécaux apparaissent sous forme de petites colonies jaunes ou orangées, lisses et légèrement bombées.
- La gélose TTC étant sélective, seules les colonies de coliformes devraient normalement se développer sur la membrane.
- Ne dénombrer que les boîtes refermant entre 15 et 300 colonies.

- Le nombre de colonies trouvées sera exprimé dans 100 ml d'eau à analyser

Après une incubation de 24 heures à une température de 37°C pour la recherche des coliformes totaux et à une température de 44°C pour la recherche des coliformes fécaux, il faut procéder au dénombrement de toutes les colonies caractéristiques. Ensuite, le nombre total de colonies doit être rapporté à une quantité de 100 ml d'eau à analyser, pour obtenir le nombre de colonies par 100 ml d'eau. Cette étape est essentielle pour évaluer la qualité microbiologique de l'eau et déterminer si elle est conforme aux normes sanitaires en vigueur.

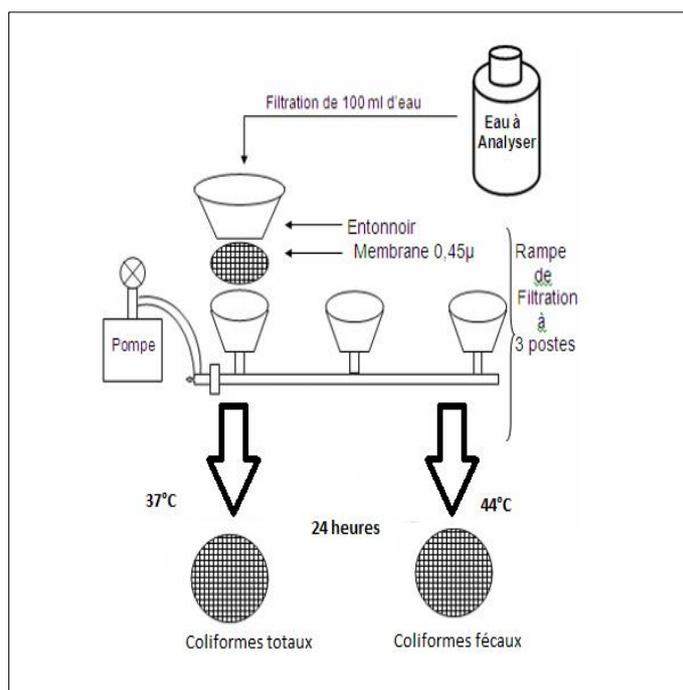


Figure 21 : La méthode de colimétrie par filtration

Après l'incubation de 24 heures à 37°C pour les coliformes totaux et à 44°C pour les coliformes fécaux, compter toutes les colonies caractéristiques (jaunes ou orangées, lisses et légèrement bombées).

Diviser le nombre de colonies obtenues par le volume d'eau analysé (100 ml) pour obtenir le nombre de coliformes par 100 ml d'eau.

Après 24h on a les coliformes totaux à 37°C pendant autre 24H puis on fait des troubles+Gaz et le nombre de C. T= 3germes /100ml

Pour les coliformes fécaux, ils sont à 44 °c pendant 24H +Kovacs, Trouble +Gaz+Anneau Rouge, le nombre de CF= 2germes/100ml. [27]

### III.4.3. Recherche et dénombrement des Streptocoques par filtration

- Avant tout, il est nécessaire de stériliser un entonnoir à l'aide d'un bec Bunsen, puis de le refroidir avec de l'eau distillée stérile ou de l'eau à analyser.
- Ensuite, une membrane de 0,45  $\mu$  doit être placée de façon aseptique entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile, puis fixée avec la pince correspondante.
- L'entonnoir doit ensuite être rempli de façon aseptique avec 100 ml d'eau à analyser, puis la pompe à vide doit être activée pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane.
- Après cela, la membrane doit être retirée à l'aide d'une pince stérile et placée dans une boîte de Pétri de 45 mm de diamètre contenant de la gélose SLANETZ et BARTLEY.
- Enfin, la membrane doit être incubée à 37°C pendant 24 heures.

#### Lecture et interprétation :

- Après 24 heures d'incubation à 37°C, les colonies de streptocoques fécaux se manifestent sous forme de petites colonies rouges, marron ou roses, lisses et légèrement bombées sur la gélose SLANETZ.
- Il est important de noter que seuls les streptocoques fécaux devraient se développer sur ce milieu de culture sélectif.
- Le dénombrement des colonies se fait uniquement pour les boîtes contenant entre 15 et 300 colonies.
- Le nombre de colonies obtenues est rapporté à 100 ml d'eau analysée.

#### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons parlé des différentes méthodes et le matériel utilisés au niveau du laboratoire central d'ADE

Tout d'abord, il y a l'étape de l'échantillonnage et modes de prélèvements, puis les échantillons passent par deux méthodes

D'abord la méthode d'analyses physico-chimiques comporte quatre méthodes :

- Méthodes électrochimiques
- Méthodes volumétriques
- Méthodes Spectrophotométrique

Et ensuite les méthodes d'analyses bactériologiques.

**Chapitre IV :**  
**Résultats et discussion**

### **Introduction :**

Il existe de nombreux paramètres qui déterminent la qualité de l'eau, c'est pourquoi nous l'avons représenté les résultats sous forme des histogrammes et des diagrammes de piper et scheoller à l'aide du logiciel aquachem

### **IV. Résultats et discussion :**

#### **IV.1. Evolution spatiotemporelle des paramètres physico-chimiques :**

##### **IV.1.1. TURBIDITE (TURB)**

La turbidité d'une eau est provoquée par la présence de particules en suspension, y compris des particules colloïdales telles que des argiles, des limons, des grains de silice et des matières organiques. La quantité de ces particules est utilisée pour mesurer le niveau de turbidité de l'eau, qui sera plus faible si le traitement de l'eau a été plus efficace. En d'autres termes, l'appréciation de l'abondance de ces particules permet de mesurer le degré de turbidité de l'eau.

A l'aide d'un appareil appelé turbidimètre, on mesure la quantité de lumière bloquée par l'eau, ce qui permet de déterminer sa turbidité. La turbidité est mesurée selon la méthode normalisée NTU (Nephelometric Turbidity Unit) par spectrométrie, c'est-à-dire en mesurant l'absorption de la lumière par l'eau. En fonction de la valeur obtenue, la turbidité de l'eau peut être évaluée comme suit :

- NTU < 5 => eau claire
- NTU < 30 => eau légèrement trouble
- NTU > 50 => Eau trouble

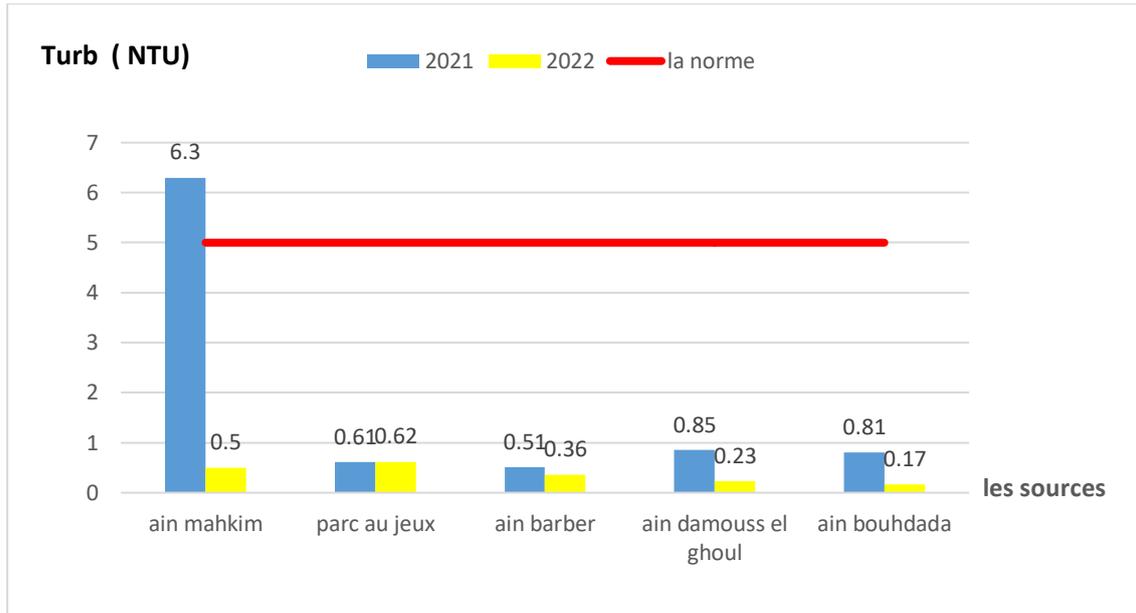


Figure 22 : Évolution spatial du Turbidité année 2021/2022

Les valeurs enregistrées pour le paramètre de turbidité indiquent une valeur inférieure à 5 (NTA), ce qui permet de conclure que l'eau des sources étudiées est claire. En d'autres termes, la valeur mesurée de la turbidité de l'eau est faible, ce qui indique une bonne qualité de l'eau.

Sauf la source ain mahkim (2021) la valeur est 6,3 donc elle est supérieure à 5 (NTA), alors la qualité de l'eau a diminué

### IV.1.2. TEMPÉRATURE :

La température de l'eau est un facteur qui influence de nombreux autres paramètres. En particulier, elle a une influence directe sur la quantité d'oxygène dissous dans l'eau, un élément essentiel à la vie aquatique. Plus la température de l'eau est élevée, moins la quantité d'oxygène dissous est importante. Lorsque la température de l'eau d'une rivière est trop élevée, cela peut entraîner des situations dramatiques de manque d'oxygène dissous, pouvant provoquer la disparition de certaines espèces aquatiques, la réduction de l'auto-épuration, l'accumulation de dépôts nauséabonds, des odeurs désagréables et une croissance excessive des végétaux, y compris les algues.

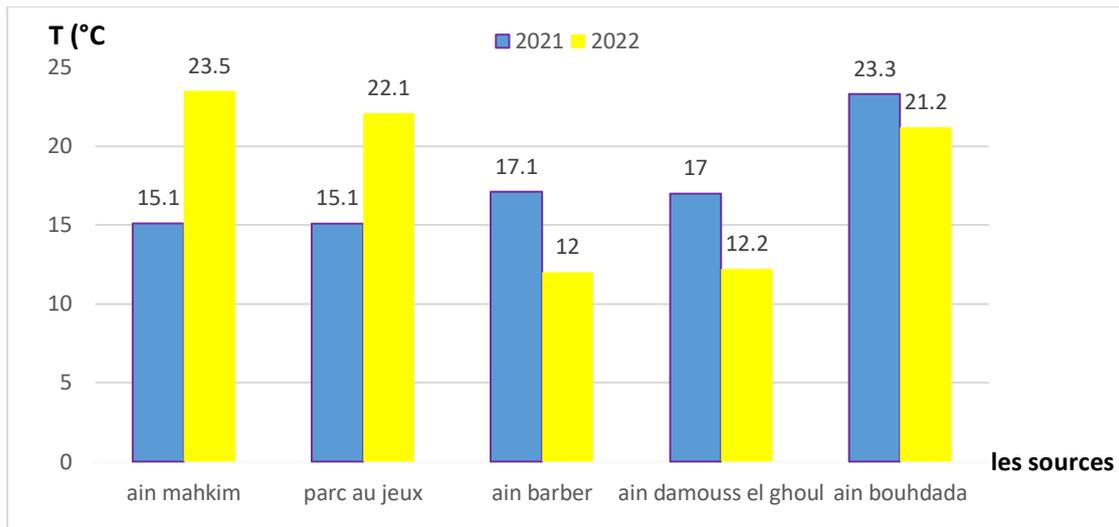


Figure 23 : Évolution spatiotemporelle du Température année (2021 /2022)

Les relevés de température (T) des eaux des sources étudiées (ain mahkim, Parc au Jeux, Ain barber, Ain damouss el ghoul, Ain bouhdada ,) indiquent des valeurs comprises entre 12 et 23,5 degrés Celsius. Ces résultats suggèrent que la température des sources est principalement influencée par les conditions climatiques et les effets d'altitude.

### IV.1.3. CONDUCTIVITÉ :

La conductivité électrique de l'eau est une mesure de sa capacité à conduire l'électricité. Elle est déterminée par la présence de sels minéraux dissous dans l'eau, tels que les ions sodium, potassium, calcium, magnésium, et d'autres ions. Ces sels dissous dans l'eau forment des ions chargés qui permettent le passage du courant électrique.

La conductivité est généralement exprimée en microsiemens par centimètre ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ou en millisiemens par centimètre ( $\text{mS}/\text{cm}$ ) et peut varier considérablement en fonction de la quantité et de la nature des sels présents. Les eaux avec une conductivité élevée ont une plus grande capacité à conduire l'électricité, tandis que les eaux avec une conductivité faible ont une moins grande capacité à le faire.

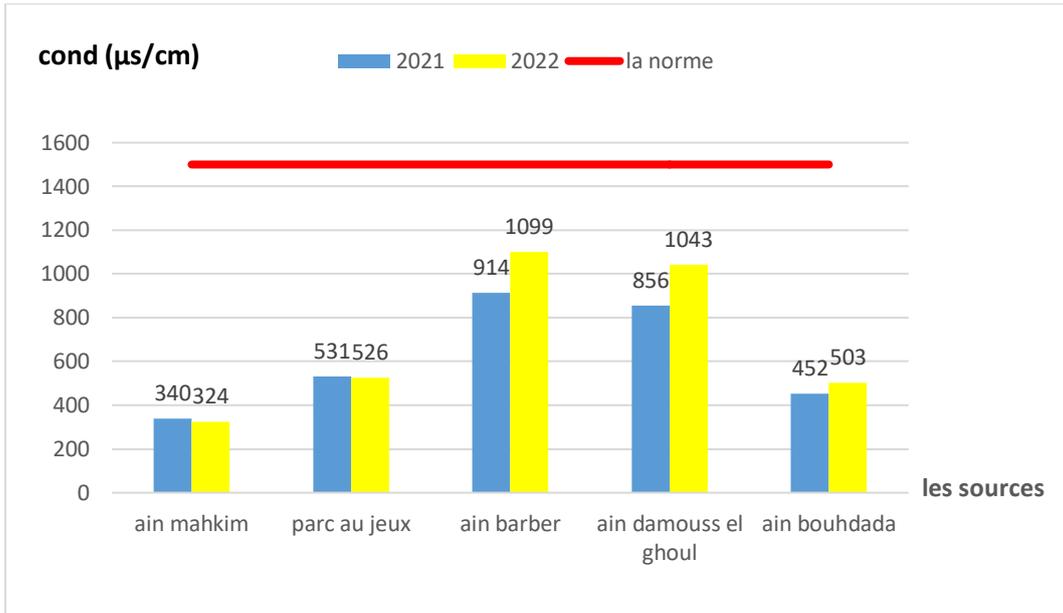


Figure 24 : L'Évolution spatiotemporelle de la conductivité année (2021 /2022)

La figure présente des teneurs en conductivité observées lors des analyses des eaux des sources, les mesures de conductivité des sources ain mahkim, parc au jeux, ain barber, ain damouss el ghoul et ain bouhdada, en particulier à la source ain mahkim en 2022 (324  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et à la source ain barber en 2022 (1099  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), indiquent des valeurs légèrement élevées à élevées. Ces valeurs plus élevées peuvent être attribuées à une minéralisation plus élevée des eaux, probablement due à une altération plus importante des gneiss et à une plus longue durée d'exposition de l'eau aux roches. En revanche, des valeurs de conductivité plus faibles sont généralement associées à une faible minéralisation des eaux, ce qui suggère une altération réduite des gneiss et une durée d'exposition plus courte de l'eau aux roches.

En résumé, les mesures de conductivité fournissent des informations sur la minéralisation des sources d'eau. Des valeurs élevées indiquent une plus grande présence de minéraux dissous, tandis que des valeurs faibles indiquent une faible minéralisation. Ces observations peuvent être liées à l'altération géologique et à la durée d'exposition de l'eau aux roches.

Selon les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), les normes de conductivité pour l'eau potable peuvent varier en fonction de la source et de l'utilisation de l'eau. Cependant, en général, l'OMS recommande une conductivité maximale de **1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$**  (microsiemens par centimètre) pour l'eau potable.

### IV.1.4. Potentiel d'hydrogène :

La mesure du pH d'une eau, réalisée à l'aide de bandelettes de test ou d'un pH-mètre, permet de déterminer son degré d'acidité ou d'alcalinité. Le pH (potentiel hydrogène) reflète la concentration en ions H<sup>+</sup> dans l'eau, et peut être calculé à l'aide de la formule  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ .

Le pH de l'eau est un indicateur important de son acidité ou de son alcalinité. Les valeurs de pH varient en fonction de la géologie du bassin versant, avec des régions calcaires ayant des eaux basiques et des régions à sous-sol primaire ayant des eaux acides. Il est essentiel de maintenir un pH compris entre 6 et 8 pour assurer la santé et la biodiversité des écosystèmes aquatiques.

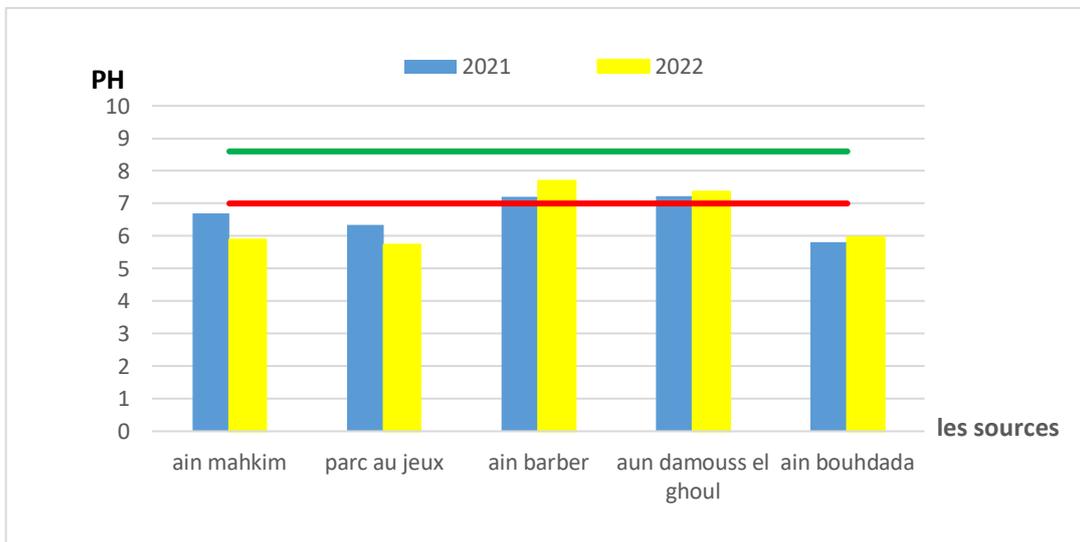


Figure 25 : L'Évolution spatiotemporelle du Ph année (2021 /2022).

La figure présente des teneurs en pH observées lors des analyses des eaux des sources, ont révélé des valeurs comprises entre 5,73 à la source parc au jeux (2022) et 7,7 à ain barber (2022).

Il est intéressant de noter que ces valeurs sauf les sources ain bouhdada et parc aux jeux (2022) se rapprochent des normes fixées par l'OMS, qui recommande un pH compris entre 7 et 8,6 pour les eaux de consommation.

### IV.1.5 DURETÉ(TH) :

La dureté de l'eau est déterminée par le Titre Hydrotimétrique, qui est la somme des concentrations de calcium et de magnésium

. Une eau dure a un TH supérieur à 15 °f, tandis qu'une eau douce a un TH inférieur à 15 °f.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Il est important de maintenir un équilibre adéquat pour éviter les problèmes d'entartrage ou de corrosion dans les systèmes de canalisations.

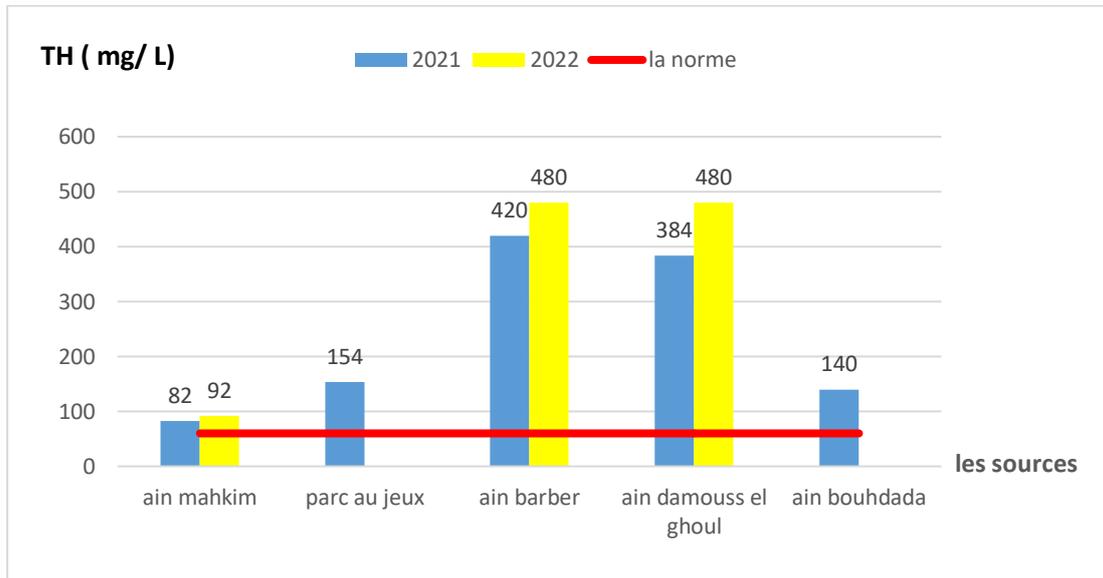


Figure 26 : L'Évolution spatiotemporelle du TH année (2021 /2022).

La figure présente des teneurs en TH observées lors des analyses des eaux des sources, les valeurs enregistrées dans les différentes sources étudiées varient entre 82 mg/L à sources ain mahkim (2021) et 480 mg/L à sources ain barber et ain damouss el ghoul (2022)

Une concentration de 82 mg/L équivaut à environ 20,5 degrés français (°f). Cette valeur indique une dureté modérée de l'eau. Une eau avec un TH de 20,5 °f est considérée comme dure pour la consommation humaine et douce pour usage industriel ou agricole

Et une concentration de 480 mg/L équivaut à 120 degrés français (°f). Cette valeur représente un niveau élevé de dureté de l'eau. Une eau avec un TH de 120 °f est considérée comme très dure

Selon le livre "Analyse de l'eau" d'A. Rodier, les normes de Titre Hydrotimétrique (TH) pour les eaux de sources varient en fonction de l'utilisation prévue de l'eau :

Eau destinée à la consommation humaine :

TH inférieur à 15 °f : eau douce

TH supérieur à 15 °f : eau dure

Eau pour usage industriel ou agricole :

TH inférieur à 10 °f : eau très douce

TH entre 10 °f et 25 °f : eau douce

TH entre 25 °f et 40 °f : eau moyennement dure

TH supérieur à 40 °f : eau dure

Et il convient de noter que l'OMS recommande une dureté de l'eau inférieure à 60 mg/L de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) ou 3,4 °f (degrés français) pour des raisons de goût et de consommation. Ces valeurs ne sont pas des limites strictes, mais plutôt des recommandations pour le confort et la préférence des consommateurs.

### IV.1.6. Titre alcalimétrique complet (TAC) :

Le TAC (Titre Alcalimétrique Complet) est une mesure de la concentration d'hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates dans une eau. Il est exprimé en mg/L CaCO<sub>3</sub> ou degrés français (°f ou °fH). Le TAC est déterminé en réalisant une titration de l'eau avec un acide. Lors de cette titration, on atteint un premier point d'équivalence appelé TA (Titre Alcalimétrique) qui correspond à un pH de 8,2. À ce stade, tous les hydroxydes et carbonates ont été neutralisés. Le TAC mesure donc la quantité d'acide nécessaire pour atteindre ce point d'équivalence.

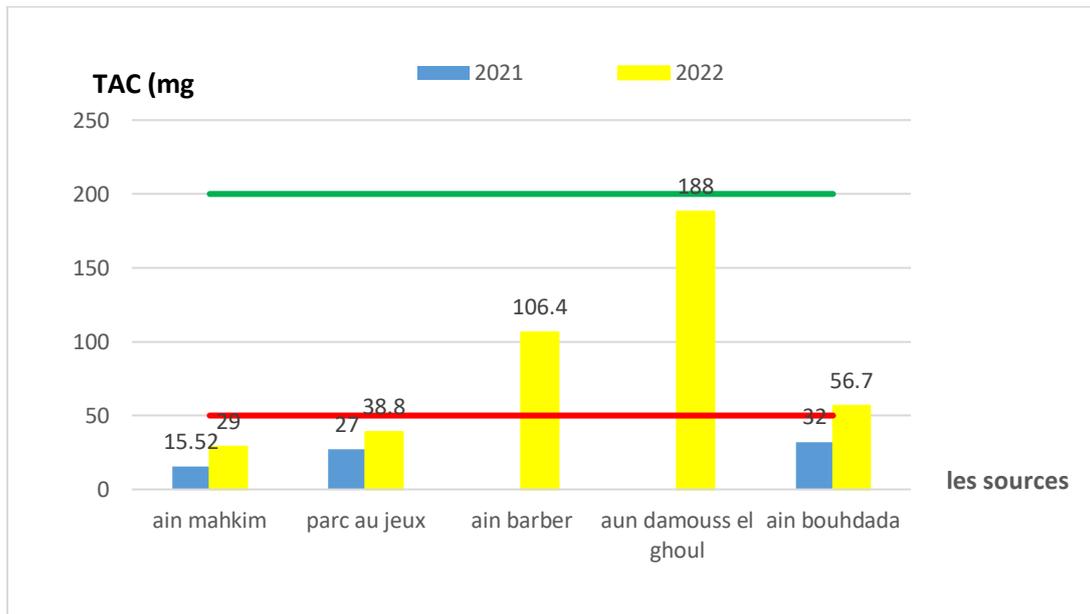


Figure 27 : L'Évolution spatiotemporelle du TH année (2021 /2022).

La figure présente des teneurs en TAC observées lors des analyses des eaux des sources, les valeurs enregistrées dans les différentes sources étudiées varient entre 15,52 mg/L à sources ain mhkim et 188mg/L à sources ain damouss el ghoul

Un TAC compris entre 15,52 et 188 mg/L CaCO<sub>3</sub> est généralement considéré comme acceptable

Pour convertir une valeur de TAC exprimée en mg/L en degrés français (°f), on utilise la formule suivante :

$$\text{TAC (°f)} = \text{TAC (mg/L)} / 10$$

En appliquant cette formule à la valeur de TAC donnée (15,52 mg/L), on obtient :

$$\text{TAC (°f)} = 15,52 / 10 = 1,55 \text{ °f}$$

Donc, la valeur de TAC est de 1,55 °f.

$$\text{Et TAC (°f)} = 188 / 10 = 18,8 \text{ °f.}$$

Selon Rodier, les normes de TAC (Titre Alcalimétrique Complet) pour les eaux de consommation peuvent varier en fonction de l'usage et des recommandations locales. Cependant, certaines orientations générales peuvent être prises en compte.

Pour les eaux destinées à la consommation humaine, un TAC compris entre 5 et 20 °f est généralement considéré acceptable.

### **IV.1.7. CHLORURES (CL<sup>-</sup>) :**

Les chlorures présents dans l'eau ne sont pas considérés comme nocifs pour la santé, mais des concentrations élevées peuvent avoir un impact sur la qualité de l'eau, le goût et la corrosivité, ils sont souvent utilisés comme indicateur de la présence de pollution. Les stations d'épuration ne sont généralement pas capables d'éliminer efficacement les chlorures de l'eau. Dans la nature, leur présence élevée peut indiquer la présence d'effluents urbains.

La concentration de chlorures dans l'eau est mesurée en milligrammes par litre (mg/L) ou en parties par million (ppm).

Il est important de noter que les normes de qualité de l'eau potable fixent une limite maximale de 250 mg/l pour les chlorures. Cependant, la concentration naturelle en chlorures dans l'eau est généralement inférieure à 50 mg/l et dépend de la nature des sols

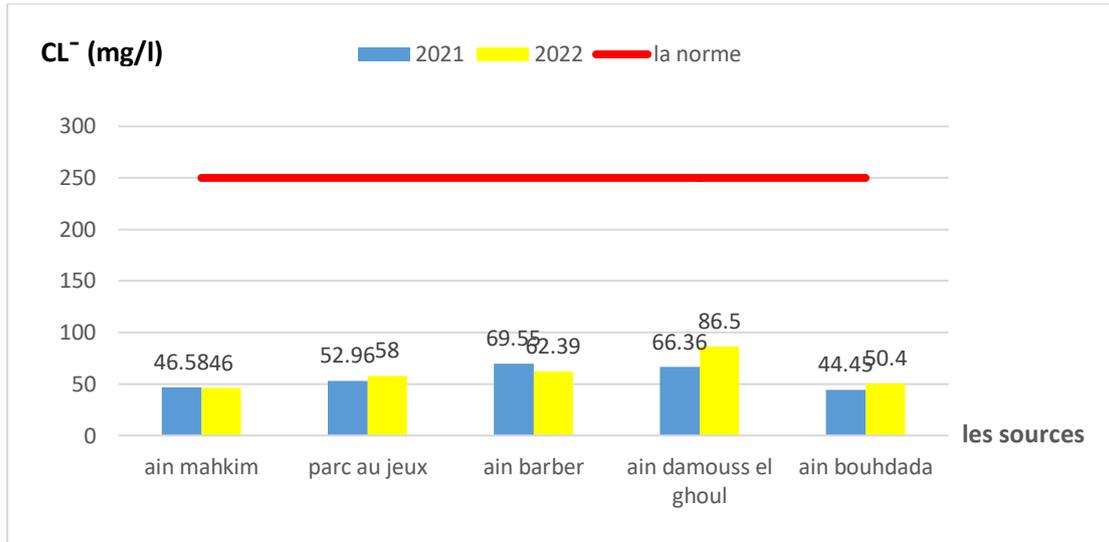


Figure 28 : L'Évolution spatiotemporelle du chlorures ( $CL^-$ ) année (2021 /2022).

La figure présente des teneurs en  $CL^-$  observées lors des analyses des eaux des sources, les valeurs enregistrées dans les différentes sources étudiées varient entre 44,45 (mg/L) à la source ain bouhdada(2021) et 86,5 (mg/L) au niveau de la source ain damouss el ghol (2022) , on a des bon valeurs car pour l'eau destinée à la consommation humaine : la limite maximale recommandée est de 250 mg/L de chlorures.

Les niveaux de chlorures dans les eaux sont influencés par plusieurs facteurs, tels que la composition géochimique du sol, les conditions climatiques et la proximité de la mer. La présence de certaines roches dans le socle géologique peut libérer des chlorures dans l'eau lors des processus d'érosion et d'infiltration De plus, les précipitations et les variations saisonnières peuvent également affecter les concentrations de chlorures dans les eaux de surface et les eaux souterraines.

Enfin, les zones côtières sont souvent caractérisées par des niveaux plus élevés de chlorures en raison de l'influence de l'eau de mer. Il est donc important de prendre en compte ces facteurs lors de l'analyse des concentrations de chlorures dans les eaux afin d'évaluer leur origine et leur impact sur la qualité de l'eau.

### IV.1.8. NITRITES ( $\text{NO}_2^-$ ) :

les nitrites sont des sels de l'acide nitreux ( $\text{HNO}_2$ ) qui résultent de la réduction des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) sous l'action de bactéries spécifiques en milieu aqueux. Les nitrites peuvent être présents dans les eaux de surface et souterraines, ainsi que dans les eaux de distribution. Ils sont considérés comme des polluants organiques qui peuvent avoir des effets néfastes sur la santé humaine, notamment s'ils sont présents à des concentrations élevées. Les normes de potabilité de l'eau fixées par les autorités sanitaires limitent la concentration de nitrites à 0,1 mg/L.

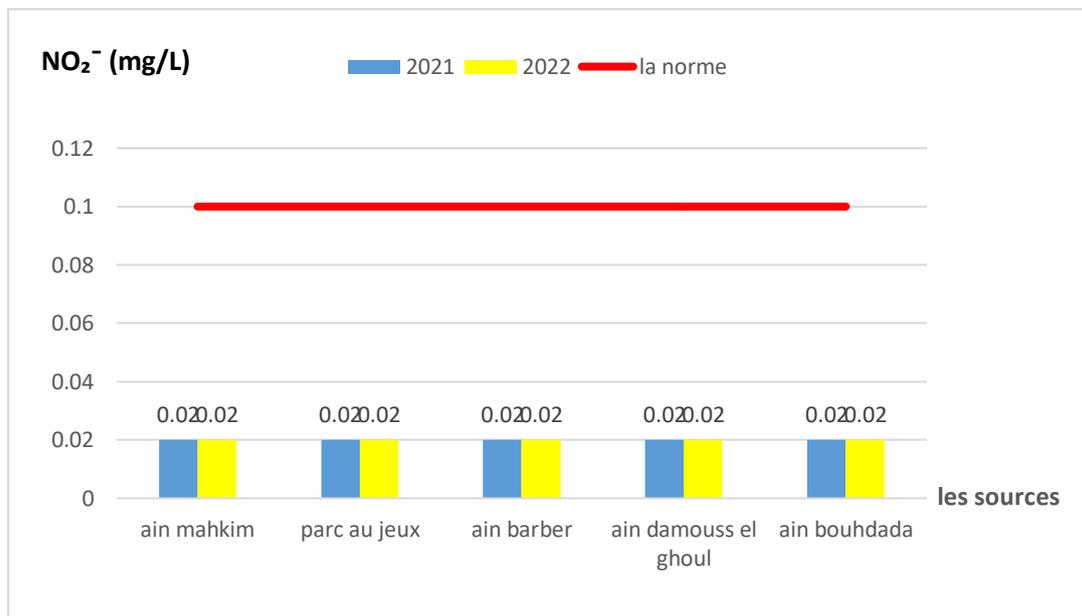


Figure 29 : L'Évolution spatiotemporelle des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) année (2021 /2022).

La figure présente des teneurs en  $\text{NO}_2^-$  observées lors des analyses des eaux des sources, les valeurs enregistrées dans les différentes sources étudiées sont inférieures à 0,02 (mg/L)

Les valeurs sont bonnes car les concentrations en nitrites ne doivent pas dépasser 0,1 mg/L (ou 100  $\mu\text{g/L}$ ) pour l'eau potable

La présence de nitrites dans l'eau est principalement due aux activités humaines. L'utilisation d'engrais synthétiques et de fumiers dans l'agriculture intensive, ainsi que les pratiques de culture intensives, peuvent favoriser la présence de nitrites dans l'eau. De plus, les systèmes septiques défectueux et la décomposition des matières organiques d'origine végétale et animale peuvent également contribuer à la contamination par les nitrites.

La vulnérabilité du sol, notamment dans les zones avec un sol perméable comme le sable, combinée à une nappe phréatique peu profonde, peut augmenter le risque de contamination par les nitrites.

### IV.1.9. Magnésium ( $Mg^{2+}$ ) :

Le magnésium est un élément métallique qui est présent en abondance dans le sous-sol terrestre. Il est souvent associé au calcium dans les formations géologiques. Le magnésium contribue effectivement à la dureté de l'eau, mais cela dépend de la quantité de magnésium présent dans l'eau. En quantités élevées, il peut également rendre l'eau amère au goût et avoir des effets laxatifs.

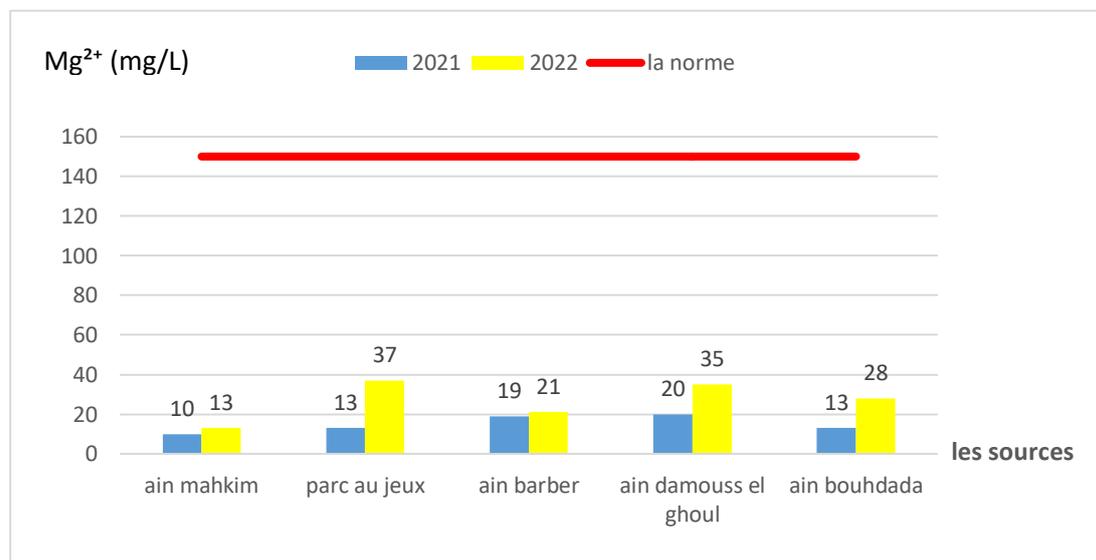


Figure 30 : L'Évolution spatiotemporelle de Magnésium ( $Mg^{2+}$ ) année (2021 /2022).

La figure présente des teneurs en Magnésium observées lors des analyses des eaux des sources, elles varient entre 10 et 37 (mg /l), La valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de la source parc aux jeux (37mg/l) en 2022, et la plus faible au niveau de la source Ain mahkim (10 mg/l) en 2021.

Les concentrations du magnésium mesurées sont conformes à la valeur admissible (Norme de potabilité OMS 150 mg/L).

### IV.1.10. Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) :

Le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) est un métal alcalino-terreux, de couleur blanc argenté, mou, et très répandu dans la nature où il existe combiné avec d'autres éléments, notamment sous forme de carbonate.

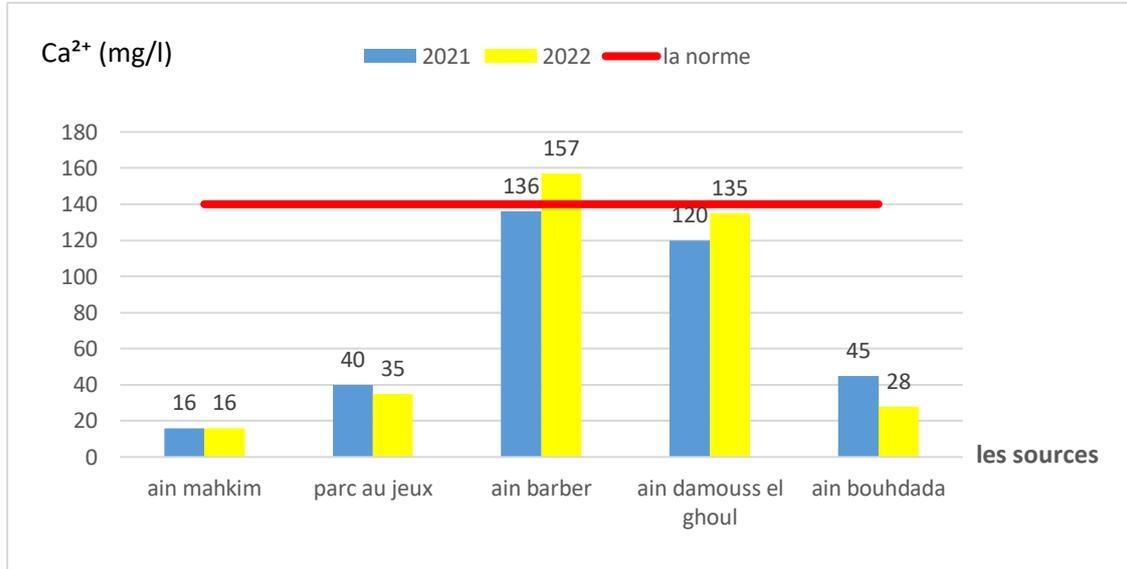


Figure 31 : L'Évolution spatiotemporelle de Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) année (2021 /2022).

La figure présente des teneurs en Calcium observées lors des analyses des eaux des sources, elles varient entre 16 et 157 (mg /l), La valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de la source ain barber (157mg/l) en 2022, et la plus faible au niveau de la source Ain mahkim (16 mg/l).

Les totalités des mesures faites sur les eaux des sources sont conformes à la valeur objective De (140mg/L), indiqué dans la norme OMS sauf la source de ain barber en 2022.

### IV.1.11. Bicarbonate ( $\text{HCO}^{3-}$ ) :

Le bicarbonate est un sel qui se forme lorsque l'acide carbonique réagit avec une base pour produire un anion bicarbonate ( $\text{HCO}^{3-}$ ). Cette réaction conduit à la formation d'un sel qui contient deux fois plus d'acide carbonique que ce qui est présent dans un carbonate neutre.

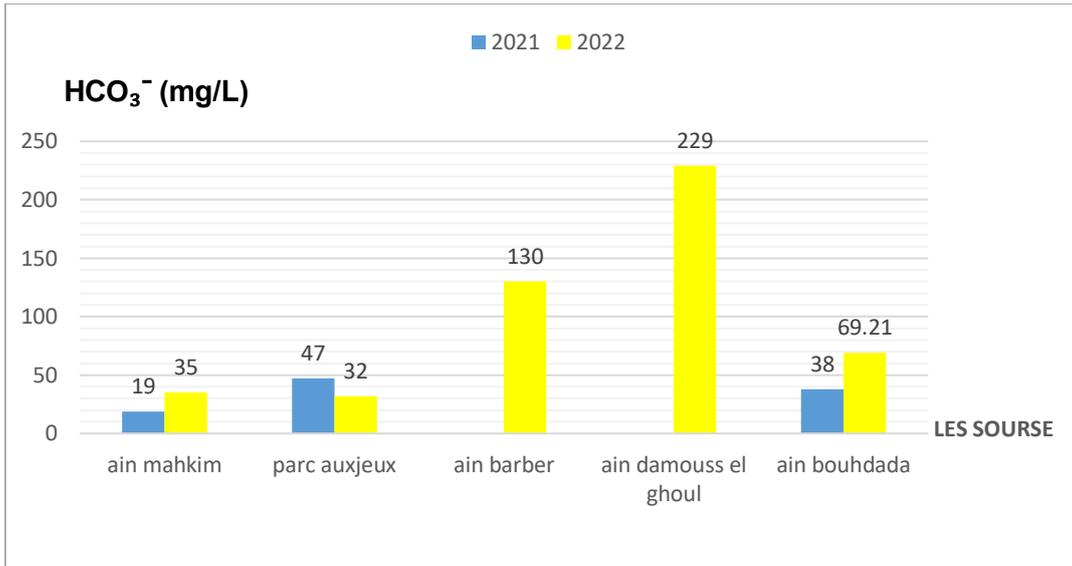


Figure 32 : L'Évolution spatiotemporelle de Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) année (2021 /2022).

La figure présente des teneurs en Bicarbonate observées lors des analyses des eaux des sources, elles varient entre 19 et 229 (mg /l), La valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de la source ain damouss el ghoul (229mg/l) en 2022, et la plus faible au niveau de la source Ain mahkim (19mg/l) en 2021.

Le bicarbonate n'est soumis à aucune norme légale, Car le bicarbonate est généralement considéré comme un composant naturel de l'eau et ne présente pas de risques pour la santé humaine à des niveaux normaux.

#### **IV.1.12. Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) :**

Les sulfates sont des composés chimiques qui contiennent l'anion sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Ils peuvent être trouvés naturellement dans l'environnement, sous forme minérale ou organique. Il existe plus de 200 espèces minérales de sulfates dans la nature, mais seulement une vingtaine d'entre elles ont une importance économique et géologique significative.

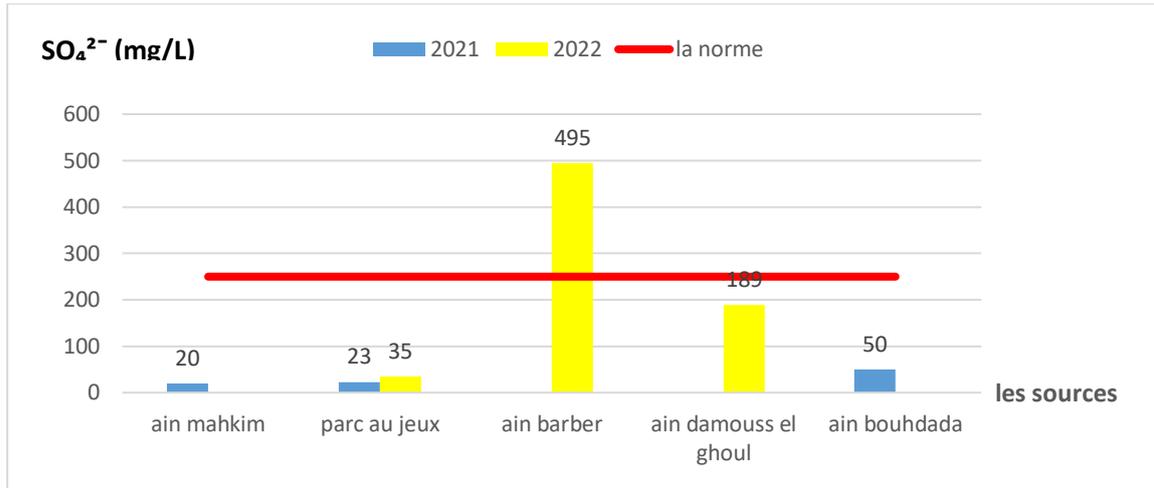


Figure 33 : L'Évolution spatiotemporelle de Sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) année (2021 /2022).

La figure présente des teneurs en Sulfate observées lors des analyses des eaux des sources, elles varient entre 20 et 495 (mg /l), La valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de la source ain barber (495mg/l) en 2022, et la plus faible au niveau de la source Ain mahkim (20mg/l).

Les totalités des mesures faites sur les eaux des sources sont conformes à la valeur objective De (250mg/L), indiqué dans la norme OMS sauf la source de ain barber en 2022.

### IV.1.13. Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) :

L'ion ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) est un ion positif composé de plusieurs atomes, appelé ion polyatomique. Sa formule brute est NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Sa structure moléculaire est tétraédrique, ce qui signifie que l'atome d'azote (N) est situé au centre et que les quatre atomes d'hydrogène (H) occupent les sommets équivalents d'un tétraèdre régulier.

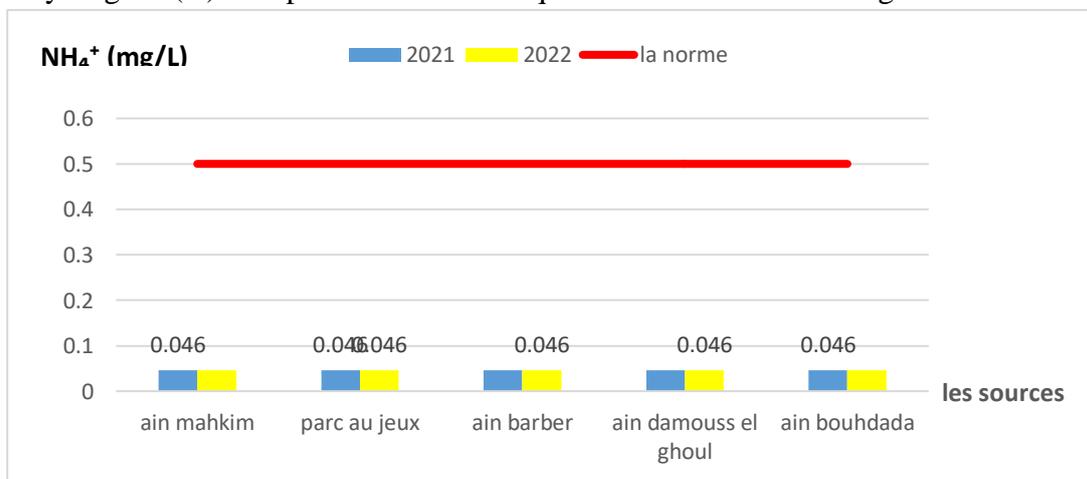


Figure 34 : L'Évolution spatiotemporelle d'Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) année (2021 /2022).

La figure présente des teneurs en Ammonium observées lors des analyses des eaux des sources, on a la même valeur dans tous les sources (<0,064mg /l).

Les concentrations du Ammonium mesurées sont conformes à la valeur admissible (Norme de potabilité OMS 0,5 mg/L).

### IV.1.14. PHOSPHATES ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) :

Les phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) sont des composés chimiques qui contiennent l'ion phosphate. Ils sont naturellement présents dans l'environnement, notamment dans les roches, les sols et les minéraux. Les phosphates sont également utilisés dans de nombreux produits, tels que les engrais, les détergents et les produits chimiques industriels.

Lorsque les phosphates se retrouvent dans les eaux de source en quantités excessives, ils peuvent causer des problèmes environnementaux. L'un des principaux problèmes est l'eutrophisation, qui se produit lorsque les phosphates stimulent la croissance excessive des algues et des plantes aquatiques dans les plans d'eau. Cette prolifération d'organismes végétaux peut entraîner une diminution de l'oxygène dissous dans l'eau, ce qui nuit aux autres formes de vie aquatique. L'eutrophisation peut également conduire à la formation de zones mortes, où il y a une absence d'oxygène et une dégradation de l'écosystème.

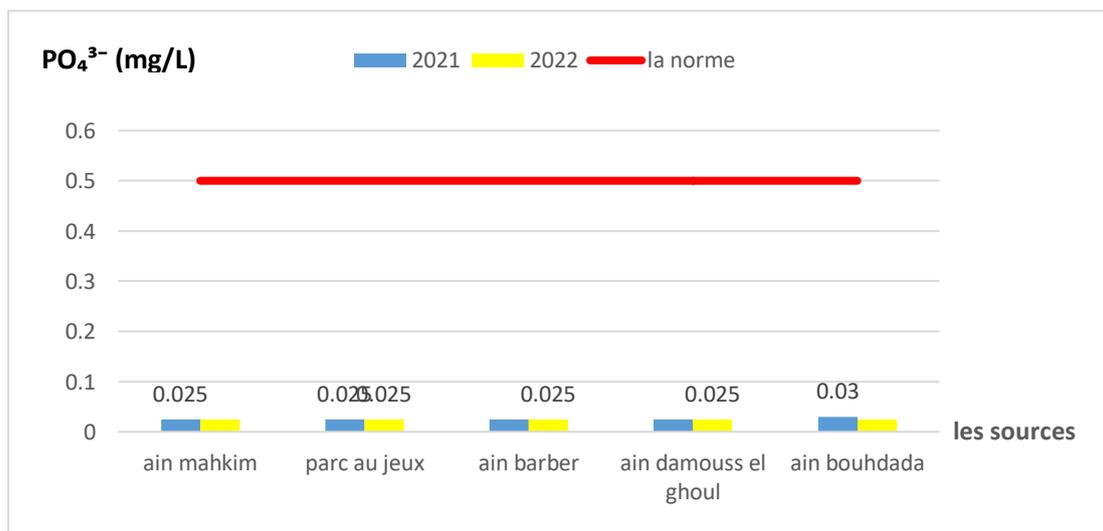


Figure 35 : L'Évolution spatiotemporelle de PHOSPHATES ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) année (2021 /2022).

Le graphique montre les niveaux de PHOSPHATES observés lors de l'analyse des sources d'eau, qui varient de 0,025 à 0,3 milligrammes par litre. La valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de la source Ain bouhdada (0,3 mg/L), et la même valeur a été observée dans les autres sources (<0,025 mg/L).

Les concentrations du PHOSPHATES mesurées sont conformes à la valeur admissible (Norme de potabilité OMS 0,5 mg/L).

### IV.1.15. POTASSIUM (K<sup>+</sup>) :

Le potassium (K) peut être présent dans les eaux de sources naturelles en tant qu'ion K<sup>+</sup> dissous, avec une concentration qui varie en fonction de la géologie de la région. Sa présence peut être due à l'érosion des roches ou à l'activité humaine, comme l'utilisation d'engrais. En général, des niveaux modérés de potassium dans l'eau de source peuvent être bénéfiques sur le plan nutritionnel, mais des concentrations élevées peuvent être problématiques pour certaines personnes.

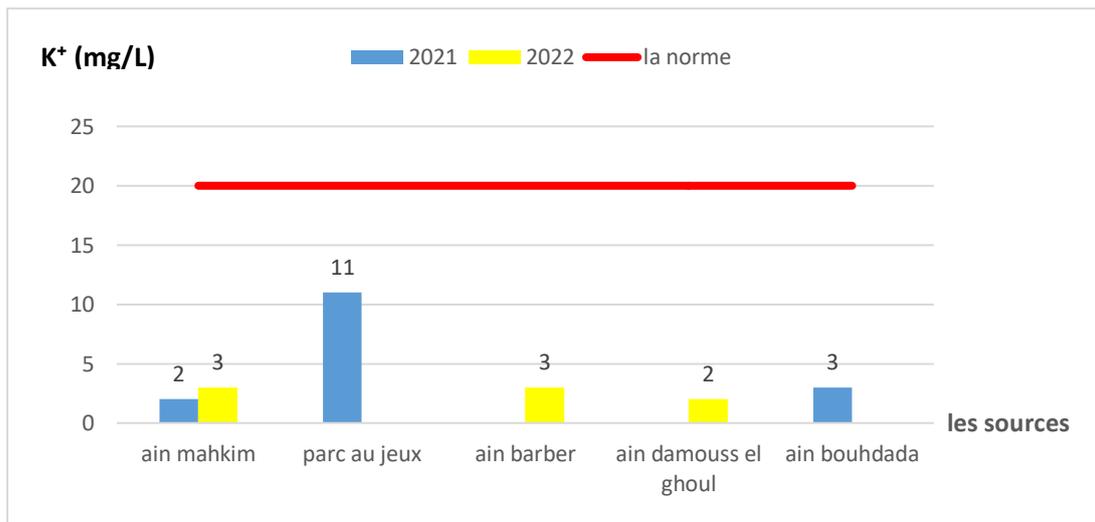


Figure 36 L'Évolution spatiotemporelle de POTASSIUM (K<sup>+</sup>) année (2021 /2022).

La figure présente des teneurs en POTASSIUM observées lors des analyses des eaux des sources, elles varient entre 2 et 11 (mg /l), La valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de la source parc aux jeux (11mg/l) en 2021, et la plus faible au niveau de la source ain mahkim en 2021 et ain damouss el ghoul en 2022 (2mg/l).

Les concentrations du POTASSIUM mesurées sont conformes à la valeur admissible (Norme de potabilité 20 mg/L).

### IV.1.16. La matière organique (MO) :

La décomposition de la matière organique dans les eaux souterraines par les micro-organismes peut libérer différents composés tels que les nitrites, les nitrates, l'ammonium, le méthane et l'hydrogène sulfuré. Ces composés peuvent être dangereux pour la santé humaine s'ils se retrouvent en concentration élevée dans l'eau.

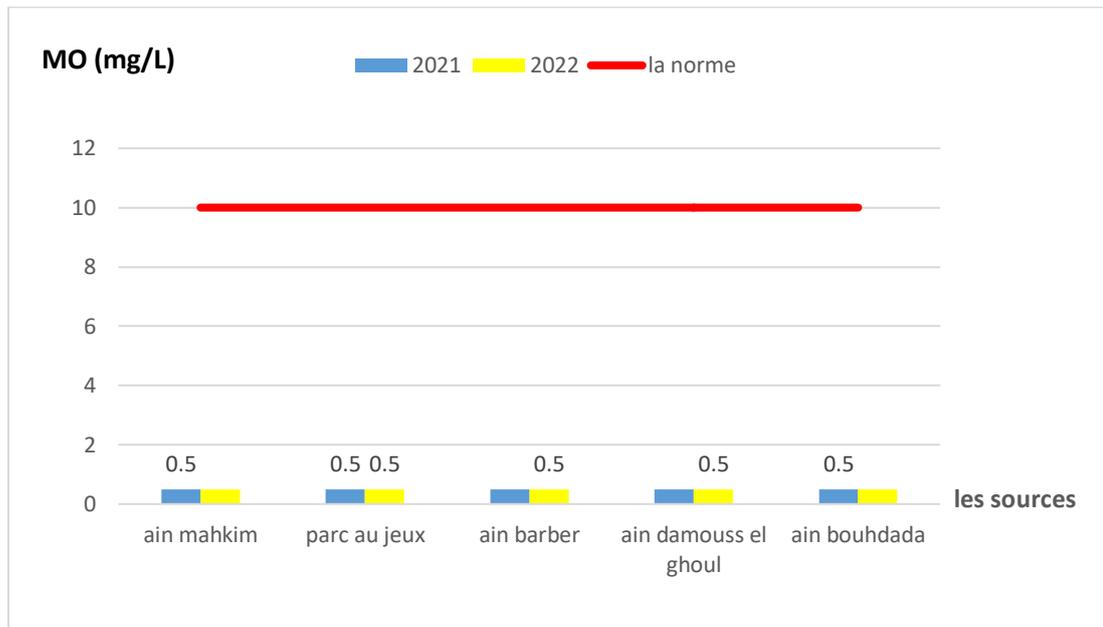


Figure 37 : L'Évolution spatiotemporelle de La matière organique(MO) année (2021 /2022).

La figure présente des teneurs en La matière organique observées lors des analyses des eaux des sources, elles varient entre 0,5 et 1,3 (mg /l), La valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de la source ain bouhdada (1,3mg/l) en 2022, et la même valeur a été observée dans les autres sources (0,5 mg/L).

Les concentrations du La matière organique mesurées sont conformes à la valeur admissible (Norme de potabilité OMS 10 mg/L).

La matière organique (MO) est un paramètre important à considérer lors de l'évaluation et du traitement des eaux. La matière organique se compose de composés carbonés provenant de matières végétales et animales en décomposition, de déchets organiques et de microorganismes.

La présence de matière organique dans les eaux peut avoir un impact sur la qualité de l'eau et les processus de traitement. Les niveaux élevés de matière organique peuvent entraîner des problèmes tels que la turbidité, la consommation accrue de désinfectants,

la formation de sous-produits indésirables lors du traitement de l'eau et la croissance de microorganismes indésirables.

Dans le génie de l'environnement, la matière organique est souvent mesurée à l'aide de paramètres tels que la demande biochimique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO). Ces mesures permettent d'évaluer la quantité de matière organique biodégradable et non biodégradable présente dans l'eau.

Il est important de contrôler et de réduire la matière organique dans les eaux afin de préserver la qualité de l'environnement, de protéger la santé publique et de garantir l'efficacité des systèmes de traitement de l'eau.

### **IV.2. Détermination du faciès chimique des eaux des sources étudiées**

Pour déterminer le faciès chimique des eaux, il est courant de représenter les résultats des analyses chimiques à l'aide de logiciels spécialisés tels qu'AquaChem (Roland Simler). Ces logiciels permettent de traiter et de reformuler les données chimiques obtenues à partir des analyses de l'eau.

#### **IV.2.1. Représentation de piper :**

Le diagramme de Piper est un outil couramment utilisé pour représenter la composition chimique des eaux souterraines. Il permet d'analyser la concentration des principaux ions présents dans l'eau et d'identifier les types d'eau présents.

Le diagramme de Piper est constitué de deux triangles équilatéraux superposés. Chaque coin du triangle représente un ion spécifique, et la position d'un point sur le diagramme représente la concentration relative des ions présents dans l'eau.

Les ions les plus couramment représentés sur le diagramme de Piper sont le bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ), le sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), le chlorure ( $\text{Cl}^-$ ), le sodium ( $\text{Na}^+$ ), le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ), et le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ). Les concentrations de ces ions sont souvent exprimées en milligrammes par litre (mg/L) ou en milliéquivalents par litre (meq/L).



Le diagramme de Schoeller utilise un graphique à double axe pour représenter les concentrations relatives de ces ions majeurs. Les concentrations de chaque ion sont généralement exprimées en milligrammes par litre (mg/L) ou en milliéquivalents par litre (meq/L). En plaçant les concentrations de chaque ion sur les axes respectifs, il est possible de tracer un point sur le diagramme de Schoeller qui représente la composition chimique de l'eau.

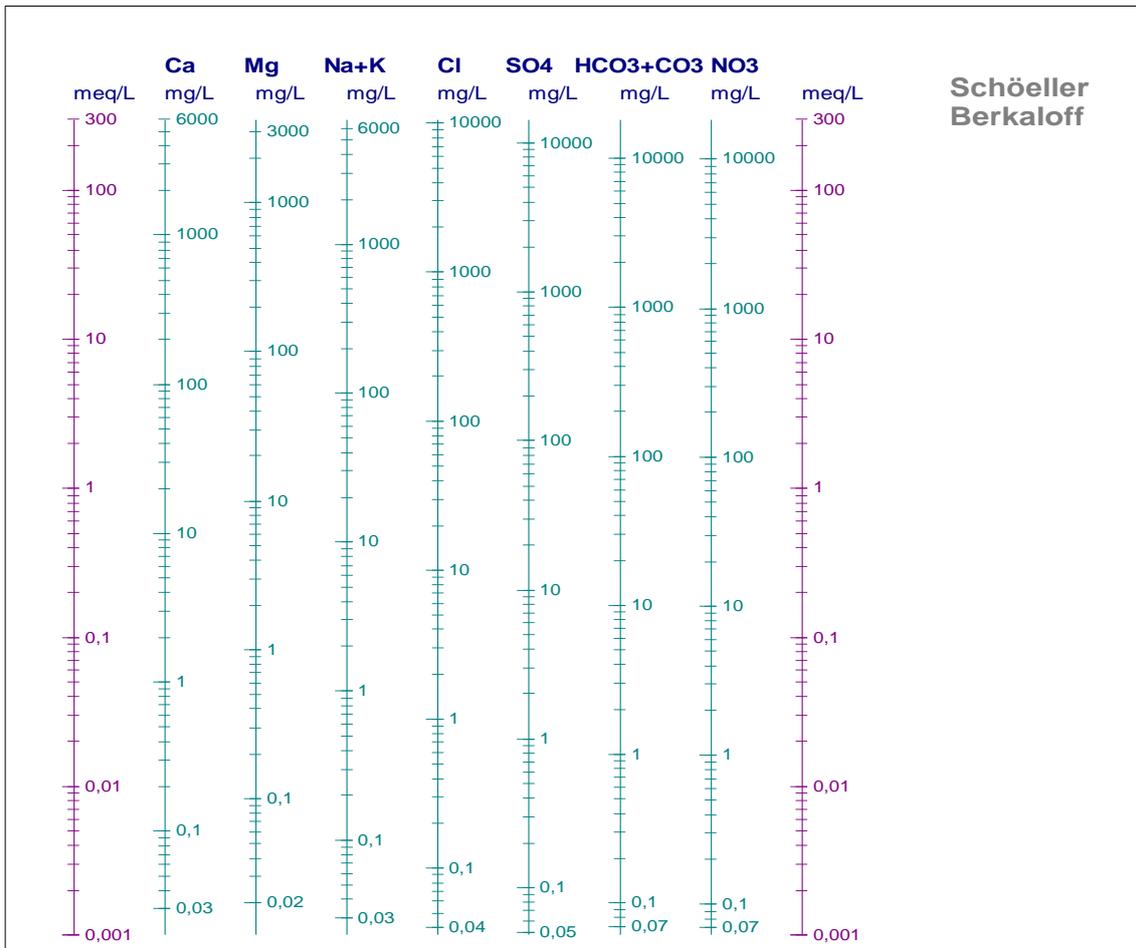
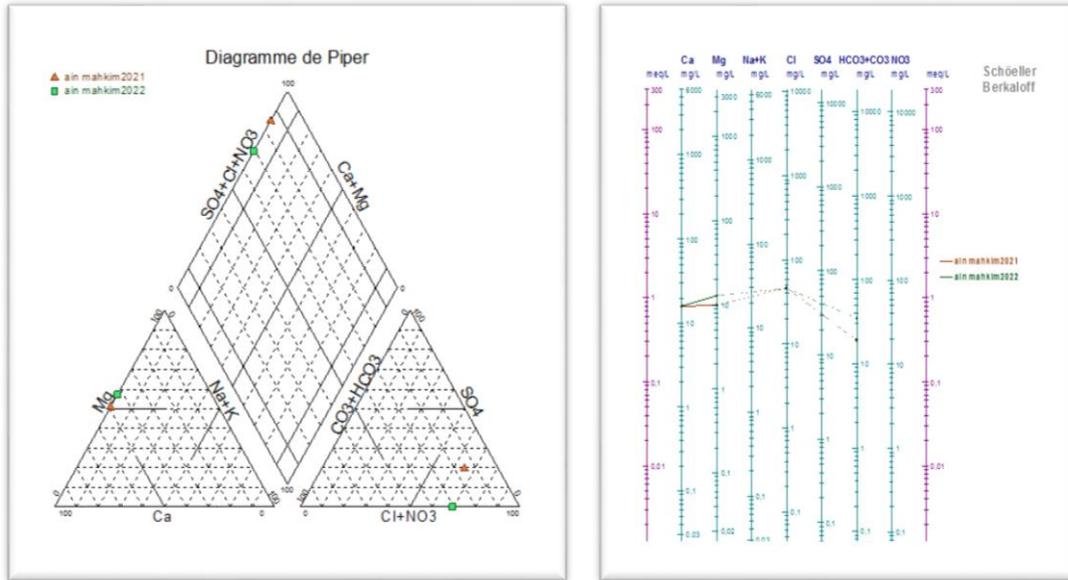


Figure 39 : Le diagramme de shoeller berkalofo

### IV.2.3. Évolution du Faciès chimique de différentes sources étudiées :

#### a. Les Faciès chimique d'eau de Source ain mahkim :

Selon la classification de Piper et Schoeller de la source ain mahkim les faciès chimiques dominant en 2021 et 2022 sont chlorurée calcique



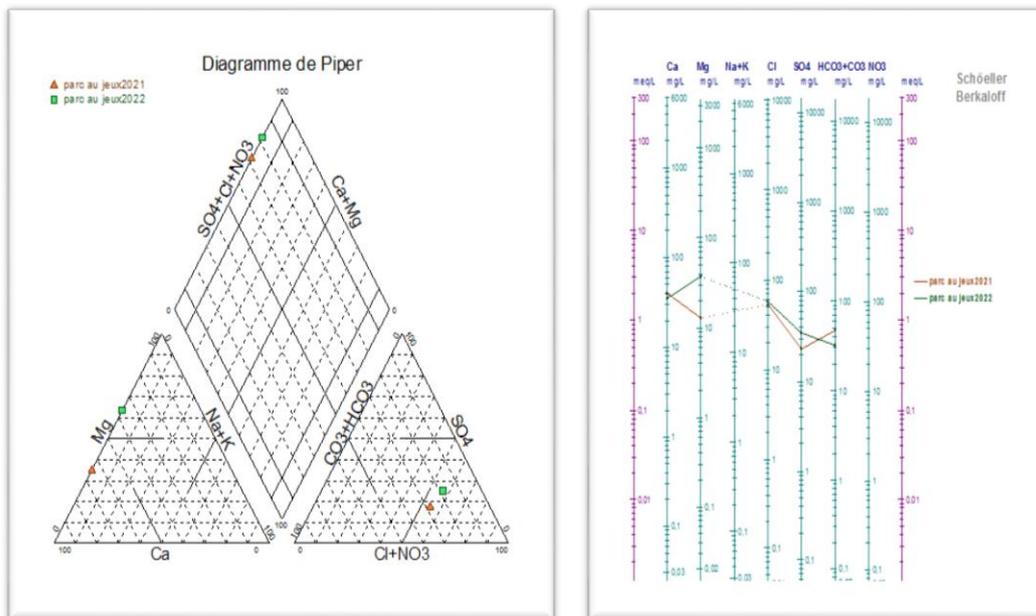
(a)

(b)

Figure 40 : (a) ; (b) Évolution spatiotemporelle de faciès chimique de la source ain mahkim

## b. Les Faciès chimique d'eau de Source parc aux jeux :

Selon la classification de Piper et Schoeller de la source parc aux jeux les faciès chimiques dominant en 2021 et 2022 sont chlorurée calcique



(a)

(b)

Figure 41 : (a) ; (b) Évolution spatiotemporelle de faciès chimique de la source parc aux jeux

## c. Les Faciès chimique d'eau de Source ain barber :

Selon la classification de Piper et Schoeller de la source ain barber les faciès chimiques dominant en 2021 et 2022 sont chlorurée calcique

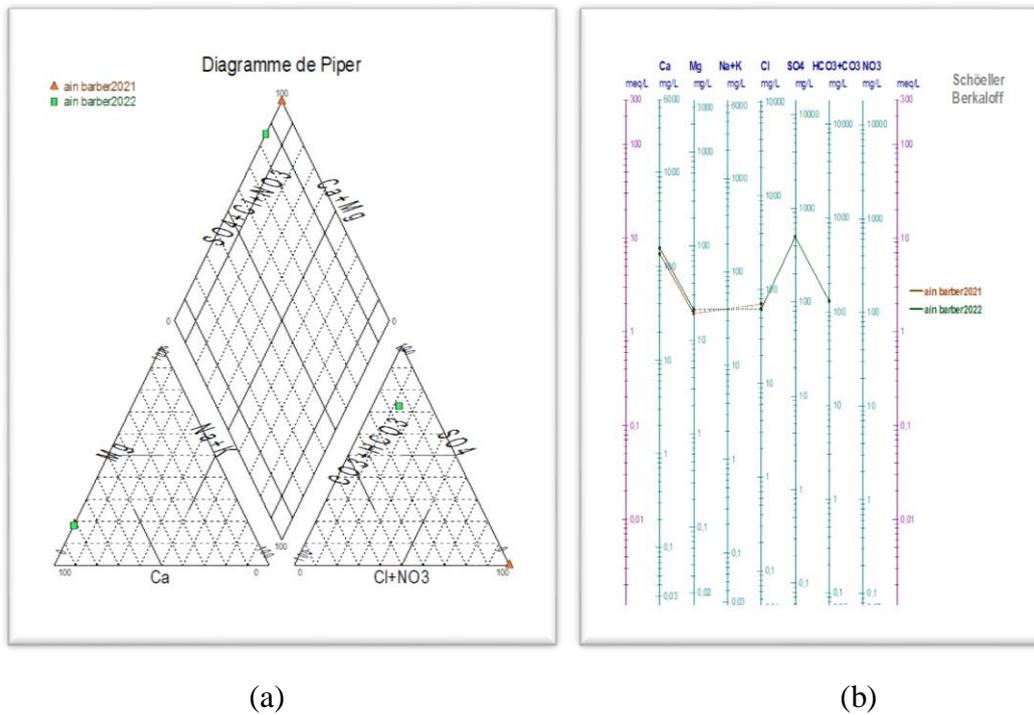
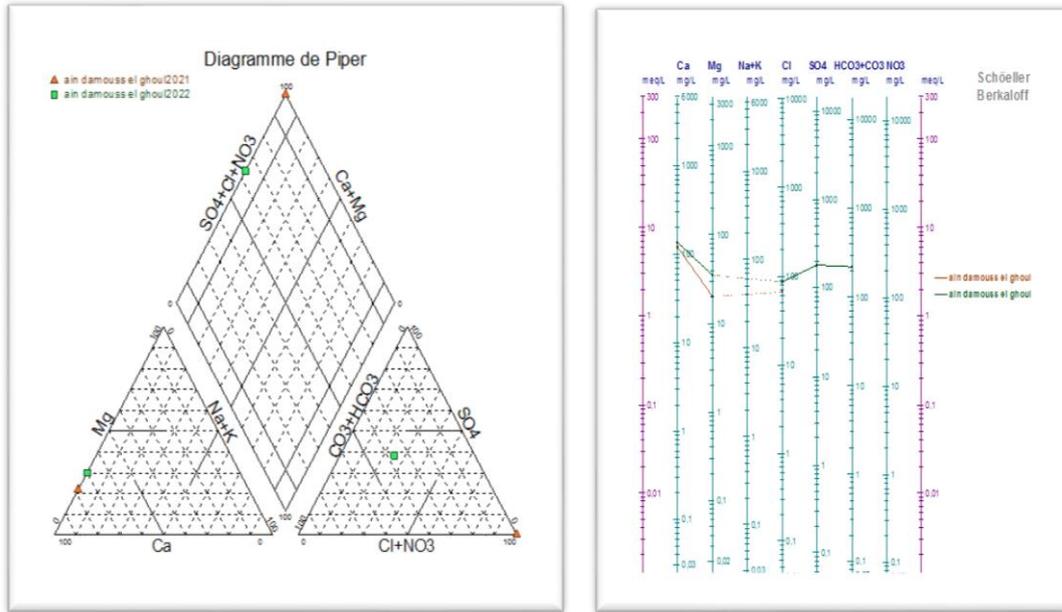


Figure 42 : (a) ; (b) Évolution spatiotemporelle de faciès chimique de la source ain barber

## d. Les Faciès chimique d'eau de Source ain damouss el ghoul :

Selon la classification de Piper et Schoeller de la source ain damouss el ghoul les faciès chimique dominant en 2021 et 2022 sont chlorurée calcique



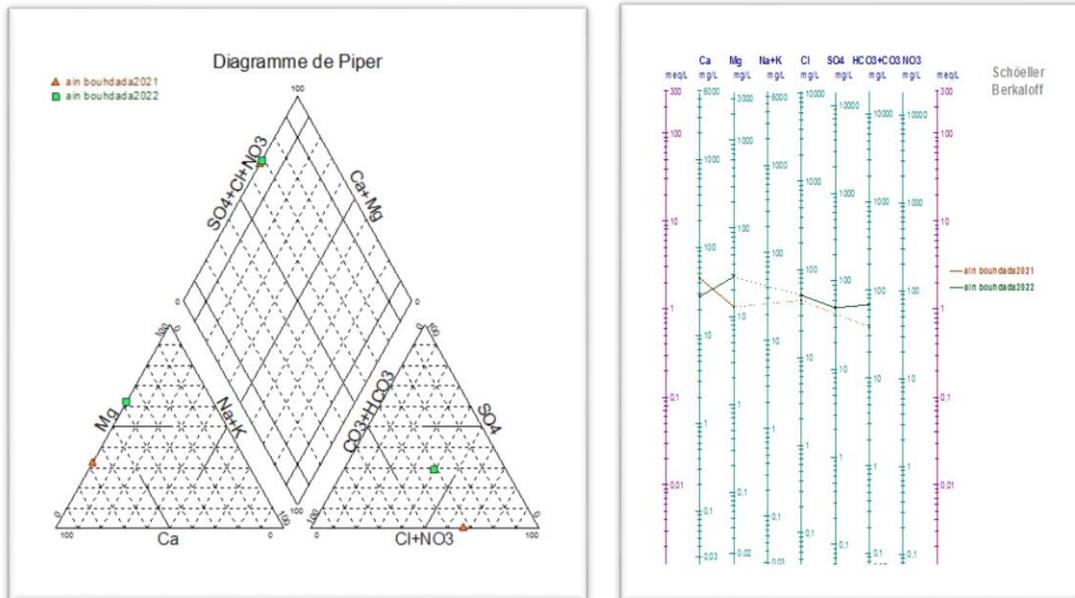
(a)

(b)

Figure 43 : (a) ; (b) Évolution spatiotemporelle de faciès chimique de la source ain damouss el ghoul

### e. Les Faciès chimique d'eau de Source ain bouhdada :

Selon la classification de Piper et Schoeller de la source ain bouhdada les faciès chimiques dominant en 2021 et 2022 sont chlorurée calcique



(a)

(b)

Figure 44 : (a) ; (b) Évolution spatiotemporelle de faciès chimique de la source ain bouhdada

## f. Les faciès chimiques des sources étudiées :

Selon la classification de Piper et Schoeller des tous les sources étudiées, Nous avons pu observer que toutes les sources pendant les années 2021 et 2022 présentaient un faciès chimique dominant de type chloruré calcique, il est également important de noter que l'évolution observée sur les deux triangles des cations et des anions montre un regroupement des éléments à la fois dans le triangle des cations et dans celui des anions. Cette observation suggère une stabilité des éléments, qu'ils soient des cations ou des anions, au fil du temps.

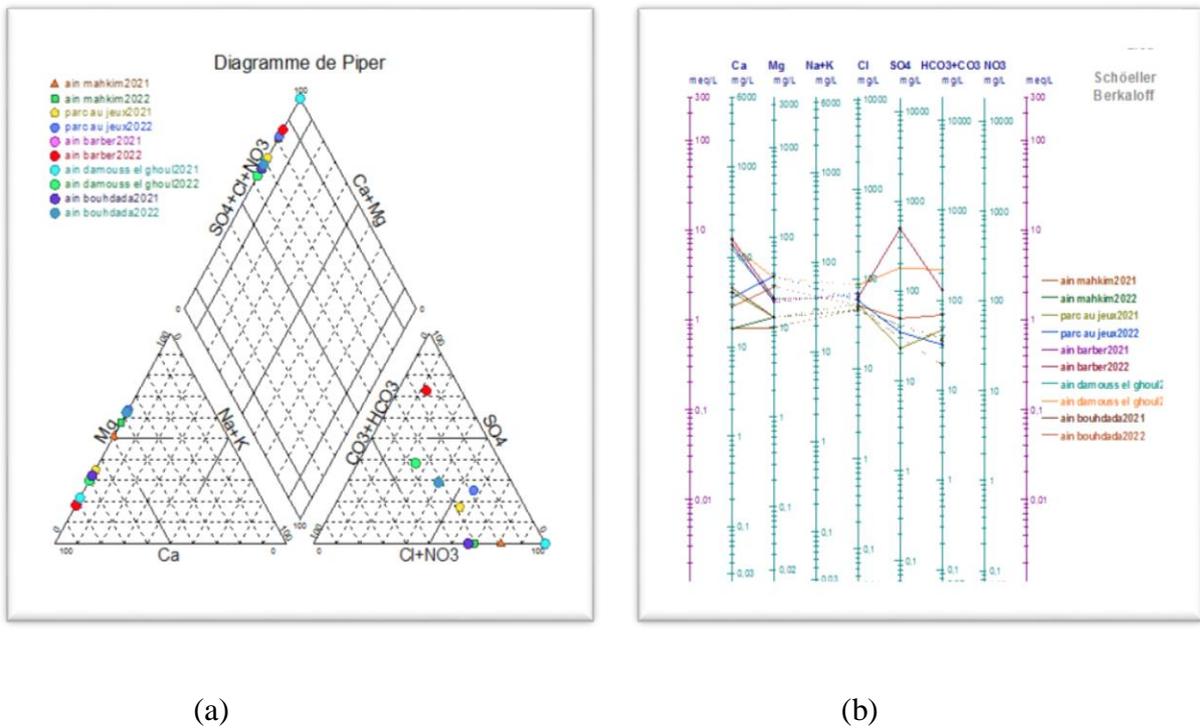


Figure 45 : (a) ; (b) Évolution spatiotemporelle de faciès chimique des toutes les sources

### IV.3. Potabilité des eaux du secteur d'étude- Séraïdi

Tableau 3 : Potabilité des eaux des sources étudiées

Eléments chimique	Les normes	Ain mahkim	Parc aux jeux	Ain barber	Ain damouss el ghoul	Ain bouhdada
Ca <sup>++</sup> mg /L	140	16	35-40	136-157	120-135	28-45
Mg <sup>++</sup> mg /L	150	10-13	13-37	19-21	20-35	13-28
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	*	19-35	32-47	130	229	38-69,21
CL <sup>-</sup> mg /L	250	46-46,58	52,96-58	62,39-69,55	66,36-86,5	44,45-50,4
PH	7-8,6	5,9-6,7	5,73-6,34	7,2-7,7	7,23-7,37	5,82-5,96
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> mg /L	250	<20	23-35	495	189	50
K <sup>+</sup>	20	2-3	11	3	2	3
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg /L	0,1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Turb (NTU)	5	0,5-6,3	0,61-0,62	0,36-0,51	0,23-0,85	0,17-0,81
cond (µs/cm)	1500	324-340	526-531	914-1099	856-1043	452-503
TH (mg/ L)	15 °f 60 mg/L	82-92	154	420-480	384-480	140
TAC (mg /L)	Entre 5 et 20 °f 50-200 mg/L	15,52-29	27- 38,8	106,4	188	32-56,7
PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	0,5	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,03
NH <sub>4</sub>	0,5	<0,064	0,06	0,06	<0,064	<0,064
MO	10	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5 -1,3
Potabilité eaux		Potable	Potable	Potable	Potable	Potable

### IV.4. Des nouvelles méthodes innovantes proposé pour analyser et traiter l'eau des sources :

#### IV.4. 1. Capteur intelligent :

**Définition :** Un capteur intelligent pour le traitement des eaux de source est un dispositif qui est capable de mesurer les différents paramètres de qualité de l'eau en temps réel, tels que le pH, la turbidité, la conductivité, le chlore et les métaux lourds. Les données collectées par ces capteurs sont transmises à un système de surveillance centralisé qui permet aux opérateurs de surveiller et de contrôler le processus de traitement de l'eau en temps réel. Les capteurs intelligents peuvent également utiliser des algorithmes d'apprentissage automatique pour analyser les données collectées et fournir des prévisions sur les tendances et les modèles de qualité de l'eau. En détectant les anomalies et en fournissant des informations en temps réel, les capteurs intelligents peuvent aider à améliorer l'efficacité et la sécurité du traitement de l'eau de source.

**Le but** d'un capteur intelligent pour le traitement des eaux de source est de garantir que l'eau de source est traitée de manière efficace et en toute sécurité pour la consommation humaine

Les capteurs intelligents pour le traitement des eaux de source présentent plusieurs avantages et inconvénients :

#### **Avantage :**

- Surveillent et contrôlent en temps réel les paramètres de qualité de l'eau, ce qui permet de détecter rapidement les anomalies et de prendre des mesures pour améliorer la qualité de l'eau.
- Réduisent les coûts de main-d'œuvre et de maintenance en éliminant la nécessité d'effectuer des tests manuels fréquents.
- Améliorent l'efficacité des processus de traitement de l'eau, ce qui peut réduire les coûts d'exploitation et les impacts environnementaux.
- Aident à garantir la sécurité et la qualité de l'eau de source pour la consommation humaine.

#### **Inconvénients :**

- Les capteurs intelligents peuvent être coûteux à installer et à entretenir.
- Ils peuvent nécessiter une expertise technique pour leur installation et leur utilisation, ce qui peut être un obstacle pour les petites communautés ou les régions isolées.

- Les capteurs intelligents ne peuvent pas remplacer complètement les tests de laboratoire, qui sont nécessaires pour confirmer la qualité de l'eau et garantir la sécurité pour la consommation humaine.

- Les capteurs intelligents peuvent être vulnérables aux pannes ou aux interférences, ce qui peut affecter leur fiabilité et leur précision.

### **IV.4. 2. Les biofiltres :**

Un biofiltre est un système de traitement de l'eau qui utilise des micro-organismes pour éliminer les polluants et les impuretés de l'eau. Les biofiltres peuvent être utilisés pour traiter les eaux de source en éliminant les contaminants tels que les bactéries, les virus, les matières organiques, les métaux lourds et les produits chimiques.

Le biofiltre fonctionne en faisant passer l'eau à travers un milieu filtrant, tel que du sable ou de la tourbe, qui est colonisé par des bactéries et des micro-organismes bénéfiques. Ces micro-organismes dégradent les contaminants présents dans l'eau en les transformant en composés inoffensifs.

Les avantages du biofiltre pour le traitement des eaux de source comprennent :

#### **Les avantages :**

- Efficacité élevée : Les biofiltres peuvent éliminer efficacement les contaminants de l'eau, y compris les bactéries, les virus et les produits chimiques.

- Coût abordable : Les biofiltres peuvent être construits à un coût abordable et peuvent être utilisés dans les communautés qui n'ont pas accès à des technologies de traitement de l'eau plus coûteuses.

- Faible entretien : Les biofiltres nécessitent peu d'entretien par rapport à d'autres systèmes de traitement de l'eau.

Cependant, il y a aussi des inconvénients potentiels à l'utilisation de biofiltres pour le traitement des eaux de source, notamment :

#### **Inconvénients :**

- Besoin d'espace : Les biofiltres nécessitent de l'espace pour être installés, ce qui peut être un défi dans les zones urbaines ou densément peuplées.

- Risque de colmatage : Si le milieu filtrant devient trop colmaté, il peut devenir moins efficace pour éliminer les contaminants de l'eau.

- Sensibilité aux conditions environnementales : Les biofiltres peuvent être sensibles aux conditions environnementales telles que la température et l'humidité, ce qui peut affecter leur efficacité.

### IV.4. 3.Détection des contaminants par l'intelligence artificielle :

Utiliser des techniques d'intelligence artificielle pour développer des modèles et des algorithmes capables de détecter automatiquement les contaminants dans les eaux souterraines. Cela permettrait une surveillance continue et rapide de la qualité de l'eau, en identifiant les sources potentielles de contamination plus rapidement.

Méthode de fonctionnement :

Collecte des données : Des échantillons d'eau souterraine sont collectés à partir de divers points de prélèvement. Ces échantillons sont analysés pour mesurer les concentrations de différents contaminants, tels que les métaux lourds, les produits chimiques organiques, les nitrates, les pesticides, etc.

Construction d'une base de données : Les données obtenues à partir des analyses des échantillons sont utilisées pour construire une base de données contenant des informations sur les concentrations de contaminants et les caractéristiques des échantillons d'eau associés.

Prétraitement des données : Les données sont nettoyées, normalisées et préparées pour l'analyse ultérieure. Cela peut inclure des étapes telles que l'élimination des valeurs aberrantes, la normalisation des données pour les mettre à la même échelle, et la sélection des caractéristiques les plus pertinentes pour la détection des contaminants.

Modélisation par l'intelligence artificielle : Différents modèles d'intelligence artificielle, tels que les réseaux de neurones, les arbres de décision, les machines à vecteurs de support, etc., sont entraînés à l'aide de la base de données construite. Le modèle est alimenté avec des entrées, c'est-à-dire les caractéristiques des échantillons d'eau, et il est optimisé pour prédire les concentrations de contaminants associées.

Validation et évaluation : Une fois que le modèle est entraîné, il est validé en utilisant des données supplémentaires qui n'ont pas été utilisées lors de l'entraînement. Les performances du modèle sont évaluées en comparant les prédictions du modèle avec les valeurs réelles des concentrations de contaminants.

Détection des contaminants : Une fois que le modèle est validé, il peut être utilisé pour détecter automatiquement les contaminants dans de nouveaux échantillons d'eau souterraine. Les caractéristiques de ces échantillons sont entrées dans le modèle, qui prédit les concentrations de contaminants correspondantes.

### Les avantages :

- **Rapidité et efficacité** : L'utilisation de l'intelligence artificielle permet une détection rapide des contaminants dans les échantillons d'eau souterraine. Les modèles entraînés peuvent effectuer des analyses en quelques instants, ce qui permet d'obtenir des résultats plus rapidement par rapport aux méthodes traditionnelles de laboratoire qui peuvent prendre beaucoup plus de temps.
- **Précision et fiabilité** : Les modèles d'intelligence artificielle peuvent être optimisés pour fournir des prédictions précises sur les concentrations de contaminants. En utilisant des algorithmes sophistiqués, l'intelligence artificielle peut identifier des relations complexes entre les caractéristiques des échantillons d'eau et les concentrations de contaminants, améliorant ainsi la fiabilité des résultats.
- **Détection précoce des contaminations** : Grâce à la surveillance continue et automatisée, la détection des contaminants peut être effectuée de manière proactive. Cela permet d'identifier les sources de contamination dès qu'elles se manifestent, facilitant une réponse rapide et l'application de mesures correctives pour éviter une propagation ou une détérioration de la qualité de l'eau.
- **Réduction des coûts** : L'utilisation de l'intelligence artificielle pour la détection des contaminants peut réduire les coûts liés aux analyses de laboratoire traditionnelles. Une fois le modèle développé, il peut être utilisé pour analyser un grand nombre d'échantillons sans nécessiter autant de ressources en termes de temps et de main-d'œuvre.
- **Adaptabilité et évolutivité** : Les modèles d'intelligence artificielle peuvent être adaptés et améliorés en fonction de nouvelles données. À mesure que de nouvelles informations sur les contaminants et les caractéristiques de l'eau souterraine deviennent disponibles, le modèle peut être mis à jour pour refléter ces connaissances, améliorant ainsi sa précision et sa capacité de détection.
- **Surveillance continue** : L'intelligence artificielle permet une surveillance continue de la qualité de l'eau souterraine. Les capteurs peuvent être intégrés dans des systèmes de surveillance en temps réel, permettant une détection continue des contaminants et une alerte rapide en cas de dépassement des seuils critiques.

### Inconvénients :

- **Dépendance aux données :** Pour entraîner les modèles d'intelligence artificielle, il est nécessaire de disposer de données de qualité, représentatives et diversifiées. Si les données utilisées pour l'entraînement sont insuffisantes ou biaisées, cela peut affecter la précision et la fiabilité des prédictions du modèle.
- **Complexité et nécessité d'expertise :** La mise en place d'un système de détection des contaminants par l'intelligence artificielle nécessite des connaissances et des compétences spécialisées en apprentissage automatique et en traitement des données. Il peut être complexe de développer, valider et maintenir les modèles, ce qui demande une expertise technique.
- **Limitations des modèles prédictifs :** Les modèles d'intelligence artificielle sont basés sur des algorithmes et des données historiques. Ils peuvent être moins précis lorsque des situations inhabituelles ou des événements imprévus se produisent, car ils peuvent ne pas avoir été entraînés spécifiquement pour ces cas.
- **Besoin de données de surveillance continue :** Pour maintenir la performance des modèles d'intelligence artificielle, il est essentiel de disposer de données régulières et mises à jour. Cela peut nécessiter des dispositifs de surveillance continus et des capteurs installés sur le terrain, ce qui peut représenter des coûts supplémentaires et des efforts logistiques.
- **Interprétabilité des résultats :** Les modèles d'intelligence artificielle peuvent fournir des prédictions précises, mais il peut être difficile d'interpréter comment et pourquoi ces prédictions ont été faites. Cela peut limiter la compréhension des facteurs sous-jacents contribuant à la détection des contaminants.
- **Coûts initiaux :** La mise en place d'un système d'intelligence artificielle pour la détection des contaminants peut nécessiter des investissements importants en termes de développement du modèle, d'acquisition de capteurs et de mise en place d'infrastructures de surveillance. Ces coûts initiaux peuvent représenter une barrière pour certaines organisations ou régions.

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons montré les résultats des analyses sous la forme des histogrammes, puis nous avons discuté et constaté que la majorité des paramètres sont sous la norme, puis à l'aide du diagramme du piper et le diagramme de Schoeler nous découvrons que le faciès chimique de la source est chlorurée calcique, ensuite nous avons proposé quelques solutions innovantes pour éviter les risques de contamination des eaux des sources

### Conclusion générale :

L'eau est une ressource précieuse et un élément essentiel pour le développement économique et social du pays, et elle requiert une attention particulière, en particulier en ce qui concerne sa qualité.

Donc, l'objectif principal de cette étude était de caractériser et d'évaluer la qualité physico-chimique de l'eau provenant des sources suivantes : ain mahkim, parc aux jeux, ain barber, ain damouss el ghoul, ain bouhdada, situées dans le Nord-est de l'Algérie (wilaya d'Annaba, communie de seraidi).

Les massifs de l'Edough (seraidi) renferment un potentiel hydrique significatif dans leurs sous-sols. Ces sources sont principalement utilisées pour l'alimentation en eau potable.

L'étude a porté sur la valorisation de ces ressources en évaluant leur qualité physico-chimique et le traitement des données par les diagrammes (diagrammes d'évolution temporelle) et les logiciels d'hydrochimie (Aquachem) qui montre un faciès chimique dominant (chloruré calcique).

Les résultats de notre étude démontrent que la qualité de l'eau des sources étudiées est conforme aux normes établies par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). En d'autres termes, la composition chimique et les caractéristiques physiques de l'eau respectent les critères de qualité fixés par l'OMS, ce qui garantit sa sécurité et son aptitude à la consommation humaine.

## Référence bibliographique :

- [1] EAU = H<sub>2</sub>O une molécule si précieuse à la vie. <https://www.activeau.fr/eau-h2o.htm>
- [2] Le cycle de l'eau—The water cycle, French | U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/le-cycle-de-leau-water-cycle-french>
- [3] Évaluation de la qualité de l'eau du bassin supérieur de la rivière du Litani, Liban : Approche hydrogéochimique. <https://docplayer.fr/157339804-Evaluation-de-la-qualite-de-l-eau-du-bassin-superieur-de-la-riviere-du-litani-liban-approche-hydrogeochimique.html>
- [4] Qu'est-ce que la qualité de l'eau souterraine ? - SIGES Seine-Normandie. <https://sigessn.brgm.fr/spip.php?article60>
- [5] L'eau dans les aliments. <https://forums.futura-sciences.com/chimie/220752-leau-aliments.html>
- [6] Prospection des ressources en eau souterraines. <https://www.clicours.com/prospection-des-ressources-en-eau-souterraines/>
- [7] Eau libre : Définition et explications. <https://www.aquaportail.com/definition-7159-eau-libre.html>
- [8] Chimie Des Eaux. <https://pdfcoffee.com/chimie-des-eaux-pdf-free.html>
- [9] Debieche, T.H., 2002. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle application à la basse plaine de la Seybouse (Nord-Est Algérien). Thèse d'Etat, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Franche-Comté.
- [10] E.B., « Edough », Encyclopédie berbère [En ligne], 17 | 1996, document E05, mis en ligne le 01 juin 2011, consulté le 24 septembre 2020.
- [11] NORME INTERNATIONALE. Iteh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai). <https://docplayer.fr/231647610-Norme-internationale-iteh-standard-preview-standards-iteh-ai.html>
- [12] ISO 7027 – 1990(Environnement Qualité de l'eau, Tome 2 Méthodes Chimiques)
- [13] Jean Rodier, (1997). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8eme édition P92
- [14] ISO 7888 – 1985(Environnement Qualité de l'eau, Tome 2 Méthodes Chimiques)
- [15] Jean Rodier, (1997). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8eme édition P107
- [16] Jean Rodier, (1997).L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8eme édition P108

- [17] Jean Rodier, (1997).L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8eme édition P119-121
- [18] Jean Rodier, (1997). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8eme édition P244
- [19] Jean Rodier, (1997).L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8eme édition P259
- [20] Jean Rodier, (1997).L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8eme édition P326
- [21] Jean Rodier, (1997). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8eme édition P333
- [22] ISO 9280 : 1990 (Qualité de l'eau, Tome2, Méthodes Chimiques)
- [23] ISO 6332 : 1988 (Environnement Qualité de l'eau, Tome 2 Méthodes Chimiques)
- [24]ISO 7150/1 – 1984 (Environnement Qualité de l'eau, Tome 2 Méthodes Chimiques)
- [25] Jean Rodier, (1997). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8eme édition P345
- [26] ISO 6878/1 – 1986 (Environnement Qualité de l'eau, Tome 2 Méthodes Chimiques)
- [27] Cours d'hydrologie : Analyse Microbiologique Des Eaux De Consommation  
(5 ème année pharmacie) (2022)

## الملخص

نناقش في هذه مذكرة جودة مياه الينابيع ل سنة 2021/ 2022 لخمسة مصادر (عين محكيم، بارك او جو، عين بربر، عين داموس الغول، عين بوحادة) التي تقع في بلدية سرايدي على الرغم من الصعوبات التي وجدها في نتائج تحليل عينات الماء وقلة البيانات التي تم جمعها خلال الدراسة.

أظهرت المذكرة استعراضاً للمعايير والمؤشرات المستخدمة لتقييم جودة مياه الينابيع، مثل المؤشرات الكيميائية والفيزيائية (درجة الحموضة، درجة الحرارة، التوصيل، الملوحة، مستوى الأملاح، الكالسيوم، المغنيسيوم، التعتك) التي تم إجراؤها في مختبر المياه المركزي التابع للشركة للجزائرية للمياه حيث أظهرت نتائج تحليل المياه من المصادر المدروسة أن هذه المياه لا تزال ذات جودة فيزيائية كيميائية جيدة، للاستهلاك البشري.

كما تستعرض الطرق الجديدة والحديثة من أجل معالجة وتحليل المياه واكتشاف أي عناصر ضارة مع اختلاف تراكمها التي من شأنها ان تشكل خطراً على الانسان بصفة خاصة والبيئة بصفة عامة نستنتج في هذه المذكرة بأن استخدام هذه الطرق في تحليل ومعالجة مياه الينابيع يمكن أن يسهم في تحسين دقة وفعالية عمليات تقييم جودة المياه يشمل ذلك تقنيات مثل الطيف الكهرومغناطيسي، وأجهزة استشعار ذكية وعامل التصفية الحيوي.

## Résumé :

L'objectif de cette étude est de connaître la qualité de l'eau des sources donc, nous avons étudié la qualité de l'eau pour l'année 2021/2022 dans cinq sources (Aïn Mahkam, Parc au jeux, Aïn Barber, Aïn Damouss El Ghoul, Aïn Bouhdada) situées dans la municipalité de Sraïdi, Malgré les difficultés rencontrées dans les résultats des analyses des échantillons d'eau et la faible quantité de données collectées au cours de l'étude.

Le mémoire présente un aperçu des normes et des paramètres utilisés pour évaluer la qualité de l'eau des sources, tels que les paramètres chimiques et physiques (pH, température, conductivité, salinité, niveau de sel, calcium, magnésium, turbidité) qui ont été analysés au laboratoire central des eaux. On a étudié l'évolution spatiale et temporelle des paramètres Analysés (...) durant l'année 2021 et 2022, et pour on a utilisé le diagramme de piper et de shoeller berkaloof à l'aide du logiciel Aquachem.

Les résultats des analyses de l'eau provenant des sources étudiées ont montré que ces eaux conservent une bonne qualité physique et chimique pour la consommation humaine

Aussi présente les nouvelles méthodes innovantes de traitement et d'analyse de l'eau, ainsi que la détection des éléments présents avec des concentrations variables pouvant représenter un danger pour la santé humaine en particulier, et pour l'environnement en général.

## Abstract:

The objective of this study is to know the water quality of the sources so, we studied the water quality for the year 2021/2022 in five sources (Aïn Mahkam, Parc au jeux, Aïn Barber, Aïn Damouss El Ghoul, Aïn Bouhdada) located in the municipality of Sraïdi, Despite the difficulties encountered in the analysis results of the water samples and the small amount of data collected during the study.

The brief provides an overview of the standards and parameters used to assess the water quality of sources, such as chemical and physical parameters (pH, temperature, conductivity, salinity, salt level, calcium, magnesium, turbidity) which were analysed at the central water laboratory. We studied the spatial and temporal evolution of the parameters Analyzed (...) during 2021 and 2022, and used the piper and shoeller berkaloof diagram using the Aquachem software.

The results of water analyses from the sources studied have shown that these waters retain good physical and chemical quality for human consumption

Also presents the new innovative methods of water treatment and analysis, as well as the detection of elements present with varying concentrations that may pose a danger to human health in particular, and to the environment in general.