

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**

**Université Mouloud MAMMERY Tizi-Ouzou**  
**Faculté des sciences Biologiques et des sciences Agronomiques**  
**Département Écologie et Environnement**



# Mémoire

**En vue d'obtention du Diplôme de Master en Ecologie et Environnement**

*Spécialité : Écologie Animale*

## Thème

Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de forages  
de Souk-El-Tenine Maâtkas Tizi-Ouzou

**Présenté par :** Melle Bouarif Celia  
Melle Becheur Rabab

Soutenu le 27 /06/2024 devant le jury composé de :

<b>Mr Nait Mouloud M</b>	MCB	<b>Président</b>	UMMTO
<b>Mme Benmansour N</b>	MCA	<b>Rapporteur</b>	UMMTO
<b>Mr Ramdini R</b>	MAB	<b>Examineur</b>	UMMTO

**Année Universitaire 2023/2024**

# Remerciements

Tout d'abord, nous voulons exprimer notre gratitude envers **Allah**, le tout-puissant, de nous avoir accordé la santé, la volonté et la patience nécessaires pour achever ce mémoire.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers notre promotrice, **Mme Benmansour N**, Sa constante attention, son soutien sans faille, son aide précieuse et sa gentillesse inébranlable ont été des atouts précieux pour la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons également à remercier le président du jury, **M<sup>R</sup> Nait Mouloud Med**, d'avoir pris en charge la réalisation statistique de ce travail et de nous avoir fait l'honneur de présider ce jury.

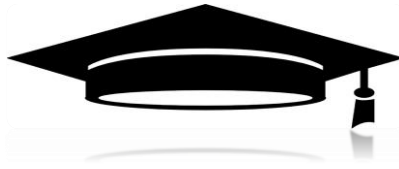
Nous voulons exprimer notre gratitude à **M<sup>R</sup> Ramdini R**, l'examineur du jury, pour avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce travail avec enthousiasme.

Un grand merci à la directrice du laboratoire central "Algérienne Des Eaux", **Mme Ladjel S**, ainsi que toute l'équipe pédagogique, pour avoir assuré la partie pratique dans les meilleures conditions.

Sans Oublier tous les enseignants du département écologie et environnement. Nous exprimons notre profonde gratitude envers tous ceux qui ont participé, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.



Merci



## **Dédicace**

*Du fond du mon cœur je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me sont chers,*

*À mes chers parents*

*Qui n'ont jamais cessé de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes  
objectifs*

*Je vous dis merci de m'avoir poussé à donner le meilleur de moi-même et d'avoir fait de  
moi celle que je suis aujourd'hui.*

*Puisse Dieu vous accorde longue vie et une très bonne santé*

*À mon cher frère Rayane et mes adorables sœurs Amel et Lina*

*Que Dieu vous protège et vous accorde la réussite*

*À tous les membres de ma famille et mes proches*

*À mes chères cousines et mes amies fidèles,*

*Merci pour tous vos encouragements et votre soutien moral*

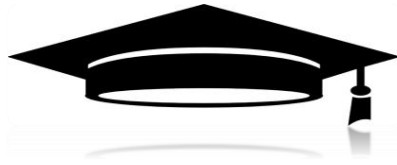
*À ma chère binôme Rabab,*

*Pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de cette période  
du travail*

*Merci à vous tous, d'être toujours là pour moi*

*Merci pour tout l'amour que vous m'apportez*

**Celia**



## **Dédicace**

*Ce travail est dédié à toutes les personnes qui sont chères et spéciales.*

*À ma chère mère*

*Pour son amour, encouragements et sacrifices*

*À mon cher père*

*Pour son soutien, son affection et la confiance qu'il m'a accordée*

*Puisse Dieu vous accorder une longue vie et une très bonne santé*

*À mes frères **Abderahman** et **Abdelhak** et ma petite adorable sœur **Cerine***

*Vous êtes ma fierté, puisse Dieu vous protéger*

*À toute ma famille qui m'ont soutenu de près ou de loin*

*À mes chères cousines et copines*

*Qui m'ont soutenu tout au long de cette année*

*Sans oublier ma chère binôme **Celia***

*Merci pour ton grand cœur, pour ta compréhension, et pour ta gentillesse tout au long de cette période*

**Rabab**

## ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو إجراء تحليل متعمق للخصائص الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية للمياه الخام من بئر سوق الإثنين. سيركز المشروع بشكل خاص على فترة الشتاء 2024. تم فحص العينات بدقة في المختبر الإقليمي الجزائري للمياه في بوخالفة بولاية تيزي وزو.

أُجريت التحاليل على الخصائص الفيزيائية الكيميائية الأساسية التي تغطي الرقم الهيدروجيني، والتوصيل الكهربائي والتعكر، والمخلفات الجافة، والمقاييس القلوية والكاملة والمقاييس الهيدروتيومترية، والكبريتات والبيكربونات، والكالسيوم والصوديوم والحديد والمنغنيزيوم، والفوسفات والنترت، والنترات، والمواد العضوية، والأمونيوم، باستخدام منهجية (Rodier et al., 2009). في نفس الوقت تم إجراء التحاليل البكتريولوجية للكشف عن وجود القولونيات والإشريكية القولونية والمكورات العقدية البرازية. أُجريت هذه الاختبارات باستخدام طريقة الترشيح الغشائي (ISO9308-1:2014)، وهي تقنية دقيقة وموثوقة.

تم تحليل البيانات من شتاء 2024 بعناية ثم مقارنتها مع بيانات المواسم السابقة (2021-2022) و2023. تمت مقارنة نتائج هذه التحليلات، التي تغطي الفترة من 2021 إلى 2024، مع المعايير الصارمة لصلاحية الشرب المنصوص عليها في الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية (JORA 2014). أظهر هذا التحليل المقارن بوضوح الغياب التام لمؤشرات التلوث، مما يبرز جودة هذه المياه التي لا تشوبها شائبة وصلاحيتها المثالية للاستهلاك الأدمي.

**الكلمات المفتاحية:** مياه الآبار، سوق الإثنين معاتقة، معايير الصلاحية للشرب والمعايير الفيزيائية والكيميائية، والمعايير البكتريولوجية.

## Résumé

Surveiller de près la qualité des eaux de forages est essentiel pour préserver la santé des populations. En effet, la présence de bactéries dans l'eau peut engendrer des maladies graves. De plus, la qualité physico-chimique de l'eau joue un rôle crucial pour la santé et la durabilité des infrastructures hydrauliques.

Cette étude vise à analyser de manière approfondie les propriétés physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes issues du forage de Souk-El-Tenine à Maâtkas. Ce projet se concentrera particulièrement sur la période hivernale 2024. Les échantillons ont été minutieusement examinés au laboratoire régional de l'Algérienne des eaux (ADE) situé à Boukhalfa, dans la wilaya de Tizi-Ouzou.

Les analyses ont porté sur les paramètres physico-chimiques essentiels, couvrant le pH, la conductivité électrique, la turbidité, les résidus secs, le titre alcalimétrique complet, le titre hydrotimétrique, les sulfates, les bicarbonates, le calcium, le sodium, le fer, le manganèse, les phosphates, les nitrites, les nitrates, la matière organique et l'ammonium, selon la méthodologie de **Rodier et al., (2009)**. En parallèle, des analyses bactériologiques ont été réalisées simultanément pour détecter la présence de coliformes, *Escherichia coli* et de streptocoques fécaux. Ces tests ont été effectués par la méthode de filtration sur membrane (**ISO 9308-1 :2014**), une technique précise et fiable.

Les données de l'hiver 2024 ont été soigneusement analysées, puis comparées à celles des saisons antérieures (2021-2022 et 2023) à l'aide de tests statistiques rigoureux (test de la variance ANOVA). Les résultats de ces analyses, portant sur la période de 2021 à 2024, ont été confrontés aux normes strictes de potabilité énoncées dans le Journal Officiel de la République Algérienne (**JORA 2014**). Cette analyse comparative a clairement démontré l'absence totale d'indicateurs de contamination, mettant en évidence la qualité impeccable de ces eaux et leur parfaite aptitude à la consommation humaine.

**Mots clés :** eaux de forages, Souk-El-Tenine Maâtkas, normes de potabilité, paramètres physico-chimiques, paramètres bactériologiques.

## Summary

Keeping a close eye on the quality of borehole water is essential to safeguarding people's health. The presence of bacteria in water can lead to serious illness. Moreover, the physico-chemical quality of water plays a crucial role in the health and sustainability of water infrastructures.

The aim of this study is to thoroughly analyze the physico-chemical and bacteriological properties of raw water from the Souk-El-Tenine borehole in Maâtkas. The project will focus on the winter 2024. The samples were meticulously examined at the Algérienne des Eaux (ADE) regional laboratory in Boukhalfa, in the wilaya of Tizi-Ouzou.

Analyses were carried out on the essential physico-chemical parameters, covering pH, electrical conductivity, turbidity, dry residues, full alkalimetric titre, hydrotimetric titre, sulfates, bicarbonates, calcium, sodium, iron, manganese, phosphates, nitrites, nitrates, organic matter and ammonium, following the methodology of **Rodier et al. (2009)**. At the same time bacteriological analyses were carried out simultaneously to detect the presence of coliforms, *Escherichia coli* and fecal streptococci. These tests were carried out using the membrane filtration method (**ISO 9308-1:2014**), an accurate and reliable technique. Data from winter 2024 were carefully analyzed, then compared with those from previous seasons (2021-2022 and 2023). The results of these analyses, covering the period from 2021 to 2024, were compared with the strict potability standards set out in the official journal of the Algerian republic. This comparative analysis clearly demonstrated the total absence of contamination indicators, highlighting the impeccable quality of these waters and their perfect suitability for human consumption.

**Key words:** borehole water, Souk-El-Tenine Maâtkas, potability standards, physico-chemical parameters, bacteriological parameters.

**ADE** : Algérienne Des Eaux

**ANRH** : Agence nationale des ressources hydrauliques

**BEA** : Bile Esculine Azoture

**CCA** : Chromogenec Coliforme Agar

**CIE** : Centre d'Information sur L'eau

**EDTA** : Ethylene Diamin Tetraacetic Acid

**JORA** : Journal Officiel de la République Algérienne

**MDDELCC** : Ministère du Développement Durable de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

**NTU** : Nephelometric Turbidity Unit

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**TA** : Titre alcalimétrique simple

**TAC** : Titre alcalimétrique complet

**TH**: Titre hydrotimétrique

**UNICEF**: United Nation Children's Fund

**µs/cm**: Microséisme par centimètre

**µfc/ml**: Unité formant colonie par millilitre

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau 1</b> : Principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines .....	6
<b>Tableau 2</b> : Classification des eaux en fonction de leur dureté .....	2
<b>Tableau 3</b> : Normes des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau potable	18
<b>Tableau 4</b> : Méthodes et appareillages des mesures de paramètres physico-chimiques « ADE » .....	22
<b>Tableau 5</b> : Résultats des analyses organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques..	35

<b>Figure 1</b> : Molécule de l'eau .....	3
<b>Figure 2</b> : Cycle de l'eau dans la nature .....	5
<b>Figure 3</b> : Différents types de forages .....	9
<b>Figure 4</b> : Localisation géographique de Souk-El-Tenine Maâtkas Tizi-Ouzou.....	20
<b>Figure 5</b> : Variation du pH des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024....	37
<b>Figure 6</b> : Variation de la température des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024.....	38
<b>Figure 7</b> : Variation de la conductivité des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024.....	38
<b>Figure 8</b> : Variation de la turbidité des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024.....	39
<b>Figure 9</b> : Variation des résidus secs des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024.....	40
<b>Figure 10</b> : Variation de la dureté des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024 .....	40
<b>Figure 11</b> : Variation du calcium et du magnésium des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024 .....	41
<b>Figure 12</b> : Variation potassium et sodium des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024 .....	42
<b>Figure 13</b> : Variation des chlorures des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024.....	42
<b>Figure 14</b> : Variation des bicarbonates des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024.....	43
<b>Figure 15</b> : Variation des sulfates des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024 .....	44
<b>Figure 16</b> : Variation de l'alcalinité des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024.....	44
<b>Figure 17</b> : Variation du fer des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024 ..	45
<b>Figure 18</b> : Variation du manganèse des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024.....	45

<b>Figure 19</b> : Variation des nitrates des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024 .....	46
<b>Figure 20</b> : Variation de la matière organique des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024 .....	47
<b>Figure 21</b> : Variation des bactéries coliformes des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024 .....	48

Remerciements

Dédicaces

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

ملخص

Résumé

Abstract

Introduction générale ..... 1

### Partie bibliographique

#### Chapitre I : Généralités sur l'eau

1. Définition de l'eau.....	3
2. Propriétés de l'eau .....	3
3. Cycle de l'eau .....	3
4. Sources naturelles de l'eau .....	5
4.1 Eau brute.....	5
4.2 Eau potable .....	10
4.3 Eau traitée.....	10
5. Techniques du traitement des eaux de forages.....	10
6. Paramètres de détermination de la qualité d'une eau .....	12
6.1 Paramètres organoleptiques.....	12
6.2 Paramètres physico-chimiques .....	12
6.2.1 Éléments physiques .....	13
6.2.2 Éléments chimiques.....	14
6.2.3 Éléments indésirables .....	16
6.2.4 Paramètres de pollution organique .....	16
6.3 Paramètres bactériologiques .....	17
7. Normes de la qualité des eaux de forages .....	18

## **Partie expérimentale**

### **Chapitre II : Matériel et méthodes**

1. Présentation de la zone d'étude .....	20
2. Présentation du laboratoire de l'ADE .....	20
3. Échantillonnage et prélèvement .....	21
4. Identification, transport et conservation des échantillons .....	21
5. Matériels et méthodes utilisés au laboratoire .....	22
6. Mesure des paramètres Physiques .....	23
7. Mesure des paramètres chimiques.....	25
8. Mesure des paramètres indésirables .....	29
9. Mesure des paramètres de pollution organique .....	30
10. Méthodes d'analyse des paramètres bactériologiques.....	33

### **Chapitre III : Résultats et discussion**

1. Résultats des analyses organoleptiques.....	36
2. Résultats des analyses physico-chimique.....	36
3. Résultats des analyses bactériologiques .....	47
4. Conclusion.....	48

<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>49</b>
--	-----------

### **Références bibliographiques**

### **Annexes**

# Introduction

L'analyse de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de forages revêt une importance primordiale pour garantir la salubrité de l'eau potable. En effet, les eaux de forages peuvent être exposées à divers contaminants naturels et anthropiques tels que les nitrates, les métaux lourds, les pesticides, ou encore les bactéries pathogènes.

Il est essentiel de réaliser régulièrement des analyses approfondies pour s'assurer de la conformité de l'eau aux normes sanitaires en vigueur. Cette démarche permet de prévenir les risques pour la santé des populations qui en sont tributaires, notamment en termes de maladies d'origine hydrique.

Des études ont démontré que la consommation d'eau non conforme aux normes de qualité peut avoir des conséquences graves sur la santé des individus, allant de troubles digestifs à des maladies plus sévères telles que des infections bactériennes ou des troubles neurologiques. Ainsi, investir dans l'analyse et la surveillance de la qualité des eaux de forages est un investissement nécessaire pour la préservation de la santé publique (**OMS, 2015., Rwema, 2023**).

Les analyses approfondies des eaux de forages mettent en lumière une multitude de caractéristiques physico-chimiques essentielles, telles que la température, la turbidité, le pH, la conductivité électrique, ainsi que la présence de minéraux tels que le calcium, le magnésium, le potassium, les sulfates, les chlorures et le sodium. De plus, ces études mettent en évidence la présence d'éléments indésirables tels que les phosphates, l'ammonium, les nitrites, les nitrates et les métaux lourds, comme le fer, pouvant affecter la qualité de l'eau de manière significative.

En parallèle, les analyses bactériologiques révèlent la présence de germes pathogènes dans certaines eaux de forages, tels que les bactéries coliformes, *Escherichia coli* et streptocoques fécaux, résultant souvent d'une contamination d'origine animale ou humaine.

Ces études approfondies ont pour objectif de garantir la conformité des eaux de forages avec les normes de potabilité en vigueur, assurant ainsi la sécurité sanitaire des populations qui dépendent de ces sources pour leur approvisionnement en eau potable fiable et de qualité (**Rodier et al., 2016**).

Dans cette optique, notre étude vise à analyser de manière précise les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes du forage de Souk-El-Tenine à Maâtkas,

situé dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Nous cherchons à répondre précisément aux interrogations suivantes :

- Quelles sont les substances polluantes physico-chimiques présentes dans l'eau et d'où proviennent-elles ?

-Est-ce que l'eau de forage répond aux normes établies en matière de qualité ?

-Y a-t-il eu des changements significatifs dans les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau provenant des forages entre 2021 et 2024 ?

Afin de mener à bien notre étude, on a structuré notre mémoire de la manière suivante:

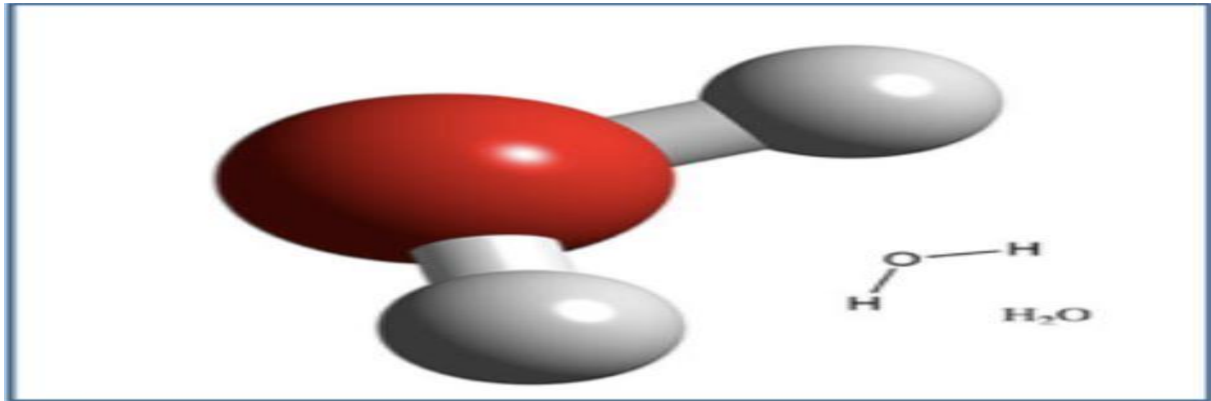
- ✓ Dans un premier chapitre, nous avons dressé une synthèse bibliographique qui expose les principes fondamentaux sur l'eau, les paramètres cruciaux pour déterminer la qualité d'une eau, les normes rigoureuses à respecter et les techniques utilisées pour évaluer la qualité des eaux de forage.
- ✓ Le deuxième chapitre décrit le matériel et les méthodes employées pour la réalisation de ce travail : analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de forages de la commune de Souk-El-Tenine, région de Maâtkas.
- ✓ Le troisième chapitre aborde les résultats obtenus et leurs discussions.
- ✓ Une conclusion générale clôturera la présente recherche.

# Partie bibliographique

# Chapitre I : Généralités sur l'eau

## 1. Définition de l'eau

L'eau appelée aussi Oxyde de dihydrogène, elle est partout présente dans la nature. C'est un composé liquide incolore, inodore, sans saveur, mais avec des propriétés complexes à cause de sa polarisation et sa composition de différents sels minéraux, de pH neutre et c'est un excellent solvant entrant dans la composition de la majorité des organismes vivants (**Bernard, 2007**).



**Figure 1** : Molécule de l'eau

([http://sesp.esep.pro/fr/pages\\_exobiologie/html\\_images/envimage18.html](http://sesp.esep.pro/fr/pages_exobiologie/html_images/envimage18.html))

## 2. Propriétés de l'eau

L'eau présente des caractéristiques physico-chimiques plutôt particulières par rapport aux autres liquides. En tant que solvant efficace, elle produit une solubilisation de nombreux corps minéraux et organiques, ionise les électrolytes et disperse les colloïdes électro chargés. Certains sels se combinent avec l'eau pour créer des hydrates et des acides avec des oxydes de métaux (**Michard, 2002**). L'eau joue le rôle de catalyseur dans de nombreuses réactions chimiques cruciales (**Johanet et Meschaert ,2023**).

## 3. Cycle de l'eau

Comprendre l'origine de l'eau, son cycle, sa dynamique dans la nature, ainsi que sa répartition dans l'espace et dans le temps, représente une connaissance essentielle. L'eau participe à un cycle naturel continu, circulant constamment entre la terre et l'atmosphère (**Ayad, 2016**). À travers ses divers états physiques (gaz, liquide, solide), l'eau suit un cycle étendu dans la nature (**fig 2**).

### ➤ Evaporation

Le réchauffement de la couche superficielle des océans par le rayonnement solaire provoque la libération de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Cette vapeur se déplace ensuite à

travers les mouvements des masses d'air, principalement par convection et advection (**Anctil et al., 2005**).

➤ **Evapotranspiration**

L'évapotranspiration se réfère à l'évaporation de l'eau au niveau des stomates des feuilles, provenant de la sève brute puisée dans le sol par les racines.

➤ **Condensation**

La condensation, à l'origine de la formation des nuages et des précipitations, entraîne la libération de chaleur sensible dans l'atmosphère sous forme de chaleur latente (**Ambroise, 1999**).

➤ **Précipitation**

Les précipitations surviennent lorsque la vapeur d'eau se condense pour former des nuages, donnant lieu à des chutes sous forme de pluie, neige ou grêle (**Anctil et al., 2005**). Ces précipitations, qui sont à l'origine de la majeure partie de nos réserves en eau douce, varient d'une région à l'autre en fonction du climat et du relief, ces derniers étant des facteurs déterminants (**Chibani, 2009**).

➤ **Ruissellement**

Le ruissellement désigne la quantité d'eau transportée par les rivières, bien qu'elle soit moindre que celle transportée par l'atmosphère et les océans, son importance ne doit pas être sous-estimée. Le ruissellement vers les océans joue un rôle crucial dans le maintien de l'équilibre de l'eau douce et de la salinité des océans (**Oki et al., 2004**).

➤ **Infiltration**

L'infiltration joue un rôle fondamental dans les écosystèmes terrestres en permettant la réhydratation des sols. Elle est également cruciale pour l'alimentation des nappes phréatiques et des cours d'eau souterrains (**Chibani, 2009**).



### ➤ Eaux de mer

Les eaux de mer sont une ressource en eau brute généralement exploitée en ultime recours lorsque l'approvisionnement en eau douce est impossible. Leur caractéristique principale est leur concentration en sels dissous, connue sous le nom de salinité, qui se situe généralement entre 33 et 37 g/l (Desjardins, 1997).

### ➤ Eaux de surface

Les eaux de surface ont généralement deux origines principales : les nappes souterraines qui jaillissent pour former des sources, et les eaux de ruissellement. Elles peuvent être stockées naturellement, dans des lacs ou des étangs, ou artificiellement, dans des retenues de barrage (Dégremont, 2004). En raison des déchets rejetés et de leur exposition étendue à l'environnement extérieur, ces eaux sont souvent propices au développement de la vie microbienne. C'est pourquoi un traitement est généralement nécessaire avant de les considérer comme potables (Salghi, 2001).

### ➤ Eaux souterraines

Les eaux souterraines, étant la principale source d'eau potable, circulent à travers les espaces interstitiels du sous-sol et peuvent éventuellement jaillir naturellement à la surface sous forme de sources. Dans d'autres cas, elles sont extraites du sous-sol par pompage pour être utilisées. Ces eaux se distinguent par leur faible turbidité, leur température et leur composition chimique constantes, leur absence presque totale d'oxygène, ainsi que leur pureté bactériologique (UNICEF, 1999) (tableau 1).

### ✚ Différence entre les eaux de surface et les eaux souterraines

**Tableau 1** : Principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines (Dégremont, 2004).

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
<b>Températures</b>	Variable suivant la saison	Relativement constante
<b>Turbidité</b>	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
<b>Couleur</b>	Liée surtout à la matière en suspension (argiles, algues ...) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques) ou due à une précipitation (Fe-Mn)

<b>Minéralisation globale</b>	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets etc.)	Sensiblement constante ; en général, notamment plus élevé que dans les eaux de surface de la même région
<b>Fe et Mn divalents (à l'état dissous)</b>	Généralement absents	Généralement présent
<b>CO<sub>2</sub> agressif</b>	Généralement absent	Présent, parfois en grande quantité
<b>O<sub>2</sub> dissous</b>	Le plus souvent au voisinage de la saturation : absent dans le cas d'eaux très polluées	Teneur faible ou nulle
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Généralement absent	Parfois présent
<b>NH<sub>4</sub></b>	Présent seulement dans les eaux polluées	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
<b>Nitrates</b>	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
<b>Silice</b>	Teneur en général modérée	Teneur souvent élevée si roche siliceuse
<b>Micropolluants minéraux et organiques</b>	Selon les rejets industriels (dont les activités minières), agricoles ou des habitations, pollution permanente ou périodique (dont accidentelle)	Présent en fonction des épandages agricoles ou rejets industriels en surface d'une pollution accidentelle subsiste plus longtemps
<b>Solvants chlorés</b>	Rarement présents	Peuvent être présents (pollution de la nappe)
<b>Caractère eutrophe</b>	Possible : accentué par les températures élevées	Non

### Modes de captage d'eau souterraine

Les eaux souterraines peuvent être exploitées de deux manières principales : de manière ponctuelle, en captant les sources à leur émergence, ou à travers des puits et des forages répartis sur la surface du territoire où se trouve l'aquifère choisi.

➤ **Nappes**

**a) Nappe libre (Nappe phréatique)**

La nappe libre, se trouve sous la surface du sol à des profondeurs généralement inférieures à 30 mètres. Elle peut fluctuer librement à l'intérieur de la formation géologique perméable, ce qui lui vaut également le nom d'aquifère.

**b) Nappe captive**

Les eaux souterraines sont emprisonnées dans la formation hydrogéologique perméable entre deux formations imperméables fixes. Ces nappes se trouvent à des profondeurs supérieures à 30 mètres.

**c) Nappe semi-captive**

Les nappes semi-captives sont généralement formées par des strates hydrogéologiques semi-perméables. Sous certaines conditions hydrodynamiques favorables, des variations de charge peuvent favoriser des échanges d'eau (**Touahria, 2013**).

➤ **Sources**

Une eau de source est une eau souterraine naturellement microbiologiquement pure et préservée des risques de contamination. Ces eaux jaillissent naturellement à la surface du sol et sont souvent utilisées comme source d'eau traditionnelle, notamment dans les communautés vivant dans des régions montagneuses (**UNICEF, 1999**).

➤ **Puits**

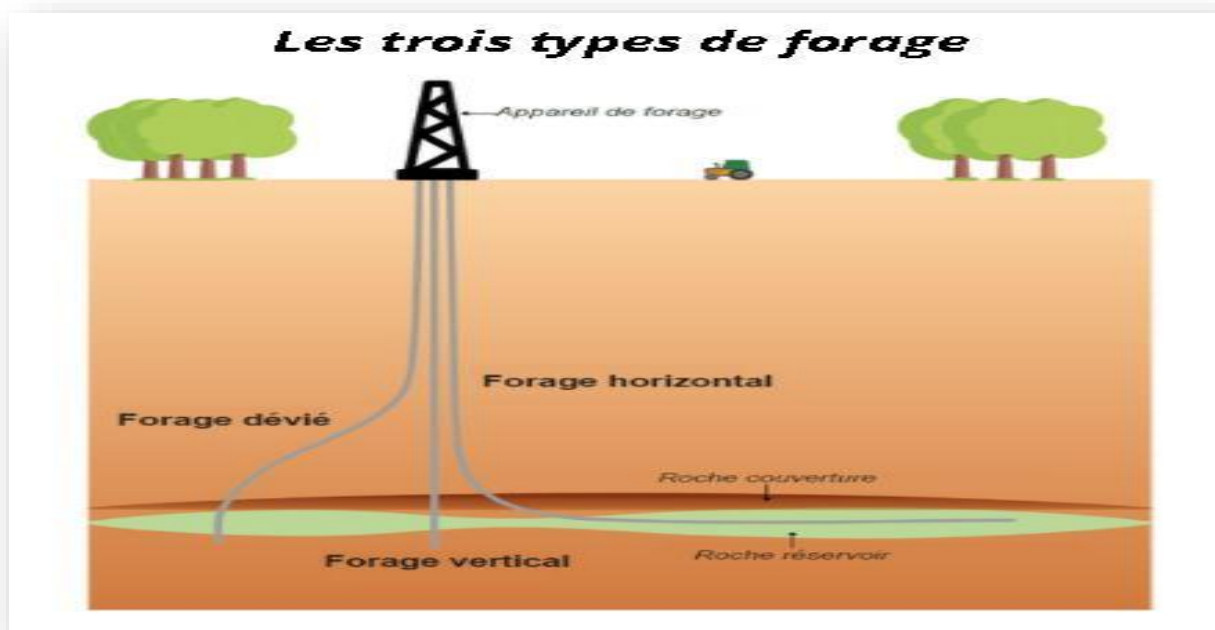
Un puits d'eau peut être défini comme une structure construite sous la surface du sol dans le but d'extraire les eaux qui y sont présentes ou qui y circulent. Pour fournir de l'eau, un puits doit rencontrer une nappe aquifère, dont la qualité, le débit et la profondeur varient considérablement. En général, les puits ont une profondeur moyenne ou faible (inférieure à 100 m) et un diamètre supérieur à 1,20 m (**Collin, 2004**).

➤ **Forages**

Le forage est la méthode moderne la plus courante pour exploiter les eaux souterraines, englobant toutes les opérations visant à creuser des trous généralement de manière verticale. Les forages peuvent être peu profonds ou dépasser les 1000 mètres. Leur diamètre est généralement plus petit que celui des puits, et leur paroi est protégée par un revêtement en métal ou en matière plastique, avec une cimentation entre le terrain et le tubage dans les premiers mètres. Ces grandes profondeurs permettent de réduire au maximum les risques de pollution et d'obtenir des débits suffisants (**fig 3**).

### ✚ Différents types de forages

- **Forage vertical** : Le forage vertical consiste à creuser un puits de manière verticale dans la zone du gisement où l'eau est potentiellement présente dans le sous-sol.
- **Forage dévié** : Le forage dévié permet de percer plusieurs cibles à partir d'un seul site de forage, réduisant ainsi le nombre de sites en surface et exploitant les installations déjà en place.
- **Forage horizontal** : Le forage horizontal permet d'atteindre plusieurs cibles dans le sous-sol à partir d'un seul site, ce qui maximise la surface d'échange avec le réservoir et réduit le nombre de forages nécessaires (Touahria, 2013).



**Figure 3** : Les différents types de forages

(<https://www.vermilionenergy.com/fr/nos-activites/la-recherche-du-petrole-les-activites/les-differents-types-de-forage-en-france/>).

### ✚ Avantages de forages

Les forages, lorsqu'ils sont bien planifiés et entretenus, offrent plusieurs avantages :

- Ils sont moins sensibles aux sécheresses ou aux fluctuations du niveau de l'eau, surtout lorsqu'ils atteignent des formations aquifères profondes.
- Ils présentent moins de risques d'effondrement.
- Ils sont moins susceptibles d'être contaminés.
- En fonction de leur emplacement optimal, ils peuvent produire d'importantes quantités d'eau, permettant ainsi l'utilisation de pompes mécaniques ou électriques.

- Ils peuvent être utilisés pour surveiller le niveau des eaux souterraines à des fins diverses, telles que des études environnementales ou la gestion des déchets (**Mardini, 2012**).

#### 4.2 Eau potable

Une eau potable est une eau estimée propre à la consommation. Elle ne doit contenir aucun micro-organisme nocif, aucune substance toxique et aucun élément chimique indésirable. C'est donc une eau qui ne doit pas porter atteinte à la santé humaine (**Montginoul, 2006**).

#### 4.3 Eau traitée

C'est une eau provenant d'une source non protégée ou bien d'un réseau de distribution d'eau, qui a subi un traitement destiné à la rendre bactériologiquement et chimiquement propre à la consommation. L'eau traitée est obtenue par divers procédés : distillation, microfiltration, déionisation, ozonation, osmose inverse, etc. Généralement, la teneur en sels minéraux de l'eau traitée varie de 10 à 500 mg/L. L'eau traitée peut ensuite être reminéralisée pour lui donner la teneur désirée en minéraux (**Badjadj, 2017**).

### 5. Techniques de traitement des eaux de forages

#### ➤ Captage

On collecte l'eau en la captant dans un forage. L'un des moyens de garantir la qualité sanitaire de l'eau distribuée est de mettre en place un périmètre de protection autour du point de captage. Son objectif est de garantir la conservation et la qualité de l'eau, tout en prévenant et réduisant le risque de pollution de la ressource. Par la suite, l'eau est dirigée vers une unité de production d'eau potable.

#### ➤ Dégrillage

À son entrée, l'eau traverse des grillages (dont les espaces mesurent environ 5 cm) qui la débarrassent des déchets les plus volumineux (cailloux, plastiques, branches, feuilles etc.).

#### ➤ Tamisage

Ensuite, l'eau est filtrée à travers un tamis équipé de grilles étroitement serrées, ce qui permet de retenir les petits déchets tels que des cailloux, des mégots de cigarettes, des brindilles.

#### ➤ Flocculation-coagulation (ou décantation)

Les matières en suspension (sable, limons, plancton, débris organiques, argiles fines, bactéries, sels etc.) sont regroupées en grappes à l'aide d'un coagulant afin qu'elles coulent au fond du bassin de décantation.

#### ➤ Filtration sur sable

La filtration par sable est l'une des techniques les plus anciennes de traitement de l'eau. Un filtre à sable est composé d'un sable à travers lequel l'eau passe à une vitesse assez faible.

Cela facilite l'absorption des dernières particules visibles à l'œil nu et la fixation des substances à la surface du sable. Les virus et les bactéries peuvent traverser les filtres, c'est pourquoi il sera nécessaire de procéder à l'étape finale de désinfection.

➤ **Ozonation**

Avec ses propriétés de désinfection et d'oxydation, l'ozone est employé dans le traitement de l'eau potable. Elle offre la possibilité d'éliminer la matière organique et inorganique, les micropolluants tels que les pesticides, la désinfection avec diminution des résidus de désinfection et l'élimination des goûts et des odeurs.

➤ **Filtration**

L'eau peut également traverser un filtre constitué de particules de charbon actif. La filtration sur charbon actif implique la dégradation et l'oxydation des matières organiques et de l'ammoniac, ainsi que l'élimination ou l'absorption de certains micropolluants afin d'améliorer le goût, l'odeur et la couleur de l'eau. Les bactéries sont retenues par le filtre constitué de grains de charbon actif. De plus, ce dernier est actuellement considéré comme le composé le plus adsorbant actuellement connu, qui permet de décomposer les matières organiques et les micropolluants (pesticides) par voie microbiologique.

➤ **Chloration**

Le chlore est employé à une dose extrêmement faible afin de prévenir la prolifération de bactéries dans les réseaux de distribution. La chloration peut être temporairement augmentée si les objectifs de protection microbiologique l'exigent. Les experts en eau qui instaurent des méthodes efficaces pour capter les matières organiques réduisent ainsi la production de sous-produits de chlore. Au cours du transport de l'eau jusqu'aux points de distribution, le chlore injecté en usine diminue.

➤ **Contrôle qualité et le contrôle sanitaire**

L'eau est soumise à une surveillance sanitaire constante. Les producteurs d'eau assurent une surveillance régulière afin de vérifier les mesures prises pour préserver la ressource utilisée et le bon fonctionnement des installations, ainsi que de réaliser des analyses en différents points. Les Agences régionales de santé exercent leur contrôle sanitaire de manière autonome par rapport aux producteurs d'eau. Les collectes sont effectuées dans divers endroits des usines de production et de distribution d'eau potable. Elles sont régulées en termes de fréquence et de typologie et sont influencées par la vulnérabilité de la ressource, les quantités prélevées et l'importance de la population desservie (CIE, 2013).

## 6. Paramètres de détermination de la qualité d'une eau

### 6.1 Paramètres organoleptiques

Ces paramètres concernent les qualités sensibles de l'eau : la couleur, la saveur et l'odeur, ils n'ont pas de valeur sanitaire directe. Une eau de consommation doit être agréable à boire, claire et sans odeur (CIE, 2013).

#### ➤ Couleur

Paramètre traduit une nuisance d'ordre esthétique, la coloration des eaux peut avoir une origine naturelle, industrielle chimique, ou biologique. Cet élément va être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire, même une fois traitée n'est jamais rigoureusement incolore (si on la compare, par exemple à une eau distillée). Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UC (Unité de couleur) à partir duquel le consommateur peut percevoir la coloration de l'eau dans un verre d'eau. (Dahel, 2009).

#### ➤ Odeur

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore et toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition (Rodier et al., 2009). Elles sont dues, notamment au plancton et aux algues mortes (Dupont, 1995).

#### ➤ Goût et saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçues lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche et aussi la saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation, par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (Rodier et al., 2009).

### 6.2 Paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques englobent une série de mesures qui définissent à la fois la qualité physique et chimique de l'eau. Cela inclut des facteurs tels que la température, le pH, les concentrations de chlorures, de sulfates, de calcium et de magnésium etc.

#### 6.2.1 Éléments physiques

##### ➤ Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH d'une eau indique son niveau d'acidité ou d'alcalinité, et il est considéré comme le paramètre le plus crucial pour évaluer sa qualité. Il est essentiel de surveiller attentivement le pH lors de tout processus de traitement de l'eau. Les législations Algériennes et européennes précisent pour l'eau destinée à la consommation humaine un pH moyennement neutre comme niveau guide  $6,5 < \text{pH} < 9$  (JORA, 2014).

➤ **Température (T°)**

La température de l'eau joue un rôle très important dans l'écosystème aquatique car elle influence toutes les réactions physiques, chimiques et biologiques qui s'y déroulent. Pour une eau d'alimentation, une température optimale se situe généralement entre 9 et 12 °C (**Dupont, 1995**). Les eaux souterraines, circulant à des profondeurs moyennes, maintiennent généralement des températures relativement constantes, entre 10 et 12 °C (**Nouayti et al., 2016**).

➤ **Turbidité**

La turbidité d'une eau se réfère à la quantité de particules en suspension qui la rendent trouble. La présence de matières en suspension, particulièrement de particules colloïdales, est responsable de la réduction de la transparence de l'eau. La mesure du degré de turbidité d'une eau se fait en évaluant l'abondance de ces particules (**Rodier et al., 2009**).

➤ **Conductivité électrique**

La conductivité électrique est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. La mesure de la conductivité permet d'apprécier rapidement la minéralisation de l'eau et d'en suivre l'évolution (**Samake, 2002**).

➤ **Résidus secs**

Le résidu sec donne une information sur la teneur en substances dissoutes et en suspension non volatiles (le taux des éléments minéraux), obtenues après une évaporation d'eau (**Berné et al., 1991**).

➤ **Salinité**

La salinité désigne la quantité de sels (composés ioniques) dissous dans 1L d'eau, exprimée en (mg/l). Un composé ionique, ou solide ionique cristallin, est constitué de cations (ions chargés positivement) et d'anions (ions chargés négativement) disposés de manière régulière dans l'espace. Dans l'ensemble, un cristal ionique est électriquement neutre. Chaque solide ionique cristallin possède une formule statistique qui décrit la nature et la proportion des ions présents, sans spécifier leur arrangement précis (**Gaujous, 1995**).

### 6.2.2 Éléments chimiques

➤ **Dureté totale d'une eau ou Titre hydrotimétrique (TH)**

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception des métaux alcalins et de l'ion hydrogène, présents dans l'eau (**Rodier, 2005**), elle s'exprime en milliéquivalent par litre ou en degré français (°f) (**Rodier et al., 2009**).

**Tableau 2** : Classification des eaux en fonction de leurs dureté (Benmoussa, 2018).

°f	Qualité de l'eau
0 à 5	Eau très douce
5 à 12	Eau douce
12 à 25	Eau Moyennement dure
25 à 32	Eau dure
> 32	Eau très dure

➤ **Calcium (Ca<sup>2+</sup>)**

Le calcium, un élément alcalinoterreux, est présent dans les eaux thermo-minérales qui circulent dans des environnements calcaires, ainsi que dans les roches calcaires sous forme de carbonate. Il peut également provenir de formations gypsifères facilement solubles. En matière de potabilité, le calcium ne présente aucun problème mais une dureté élevée peut causer des dépôts de tartre. Cependant, les eaux douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations (Ouanes, 2020).

➤ **Magnésium (Mg<sup>2+</sup>)**

Le magnésium est présent dans de nombreux minéraux et roches, notamment la dolomie qui est un carbonate double de calcium et de magnésium. Il peut également provenir de la dissolution d'autres roches dans les eaux continentales. Ce minéral joue un rôle fondamental dans le fonctionnement global de la biosphère (Ramade, 2002).

➤ **Sulfates (So<sub>4</sub><sup>2-</sup>)**

Les sulfates se trouvent naturellement dans l'eau, souvent associés aux principaux cations tels que le calcium, le magnésium et le sodium. Le sulfate de calcium est la forme la plus courante dans les eaux souterraines, avec des concentrations élevées généralement d'origine naturelle. Ces sulfates présents dans les eaux souterraines proviennent de la dissolution du gypse (Al-qawati et al., 2015).

➤ **Alcalinité TA et TAC**

L'alcalinité ou le titre alcalimétrique complet (TAC) d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions d'hydrogènes (H<sup>+</sup>). Ces ions sont dus à la présence des ions d'hydrogénocarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), carbonates (CO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et Hydroxydes (OH<sup>-</sup>). Par contre, l'alcalinité entraînée que par les ions (OH) et la moitié des ions (CO<sub>3</sub>) présents dans l'échantillon est appelé le titre alcalimétrique simple (TA). Ce dernier est nul pour un pH d'une eau inférieure à 8.3 (Rejsek, 2002).

➤ **Sodium (Na<sup>+</sup>)**

Cet élément est le plus important de tous les métaux alcalins, il représente 2,27% de la masse de la croûte terrestre, Se présente fréquemment sous forme ionisée. Les sels de sodium sont trouvés dans l'eau de mer, les lacs salés, les lacs alcalines et dans l'eau de source minérale (Mizéhoun, 2015).

➤ **Chlorure (Cl<sup>-</sup>)**

Ce sont des anions inorganiques importants contenues en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sel de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution, et ont un effet sur la faune et la flore aquatique (Makhouk et al., 2011).

➤ **Hydrogénocarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

L'hydrogénocarbonate, également appelé bicarbonate, est un composé chimique polyvalent. Il est constitué d'un ion hydrogène (H), d'un ion carbonate (CO<sub>3</sub>) et d'un ion métallique, généralement le sodium (Na) ou le potassium (K). Ces sels minéraux sont solubles dans l'eau et se décomposent en libérant du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) lorsqu'ils sont chauffés ou mélangés à des acides. Ils présentent des propriétés tampon, permettant de réguler le pH d'une solution <https://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition/hydrogenocarbonate>

➤ **Potassium (K<sup>+</sup>)**

Le potassium se trouve sous forme de cation monovalent (K<sup>+</sup>) en milieu naturel, il ne représente aucun inconvénient particulier sur la santé des populations, bien qu'il soit une des sources possibles de radioactivité de l'eau et aussi un métal essentiel pour l'organisme, notamment par son rôle dans la régulation du potentiel membranaire. La teneur du potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à 15 mg/l, ces valeurs, ne présentent pas d'inconvénients pour la santé des individus (Rodier, 2005).

### 6.2.3 Éléments indésirables

➤ **Fer (Fe<sup>2+</sup>)**

Le fer se classe en 4<sup>ème</sup> rang des éléments de la croûte terrestre. Les eaux minérales et principalement les eaux thermo minérales peuvent en contenir plus de 10 mg/L. Ce métal à l'état ferreux est assez soluble dans l'eau.

➤ **Aluminium (Al<sup>3+</sup>)**

Très répandu sur la terre, l'aluminium vient par ordre d'importance après l'oxygène et le silicium. Lorsqu'il est en solution et en milieu acide, il existe sous forme d'Al<sup>3+</sup>. Il ne représente

aucun inconvénient pour l'organisme humain à des concentrations inférieures à 0,2 (**Rodier et al., 2009**).

➤ **Manganèse ( $Mn^{2+}$ )**

Le manganèse est un oligo-élément indispensable à notre organisme, cet élément ne présente donc aucun danger pour la santé publique. Suivant son degré d'oxydation, le manganèse se présente sous les formes suivantes :

+2 : Mn II : L'ion manganoux  $Mn^{+2}$  sous forme dissoute.

+3 : Mn III :  $Mn_2O_3$  sesquioxyde de manganèse qui n'existe que sous forme de précipité.

+4 : Mn IV : L'ion manganique  $Mn^{+4}$  sous forme dissoute et le précipité de dioxyde de manganèse  $MnO_2$  (**Cardot, 2010**).

#### 6.2.4 Paramètres de pollution organique

➤ **Phosphates ( $PO_4^{2-}$ )**

Les phosphates sont généralement responsables de l'accélération du phénomène d'eutrophisation dans les lacs ou les rivières. S'ils dépassent les normes, ceux-ci sont considérés comme indice de contamination fécale entraînant une prolifération des germes, goût et coloration (**Rodier, 2005**).

➤ **Nitrates ( $NO_3^-$ )**

Les nitrates sont le produit final de l'oxydation de l'azote organique, et leur présence dans l'eau contaminée indique que le processus d'autoépuration a déjà commencé. L'activité humaine aggrave l'enrichissement en nitrates dans les sols sujets à l'érosion, favorisant ainsi l'infiltration des eaux usées, notamment par les déchets des industries minières et les fertilisants azotés (**Nouayti et al., 2016**).

➤ **Nitrites ( $NO_2^-$ )**

Les nitrites se forment lorsque les conditions sont réductrices. Ils présentent une certaine toxicité pour les êtres vivants, y compris certaines bactéries anaérobies. Leur présence dans l'eau de boisson et certains aliments soulève de sérieux problèmes d'hygiène publique (**Ramade, 2002**).

➤ **Matière organique**

La matière organique dissoute est constituée d'un mélange hétérogène de macromolécules organiques dont les composants principaux sont les substances humiques. Elle joue un rôle prépondérant dans le cycle du carbone et intervient dans de nombreuses réactions physiques, chimiques ou biologiques ainsi que dans le transport et la transformation des contaminants (**Pépin et al., 2010**).

➤ **Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)**

L'ammonium constitue le produit de la réduction finale des substances organiques azotées et de la matière inorganique dans les eaux et les sols. Il provient également de l'excrétion des organismes vivants et de la réduction et la biodégradation des déchets, sans négliger les apports d'origine domestique, industrielle et agricole (**Derwich et al., 2010**).

### **6.3 Paramètres bactériologiques**

L'eau destinée à l'alimentation humaine contient une multitude de microorganismes pathogènes Ce sont des bactéries, des virus voire des champignons et des algues (**Haslay et Leclerc, 1993**). L'eau ne doit contenir aucune bactérie et aucun virus pathogène. Tous les germes ne peuvent être analysés, et le choix a donc été fait d'en détecter certains (*Escherichia coli*, Entérocoques...) qui constituent des germes tests et des indicateurs de pollution.

➤ **Coliformes totaux**

Les coliformes totaux sont largement utilisés comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau car leur présence peut être indirectement liée à une contamination d'origine fécale. Ce sont des bactéries en forme de bacilles gram-négatifs, aérobies ou anaérobies facultatifs, non sporulées, oxydase-négatives, et possédant l'enzyme β-galactosidase qui leur permet de fermenter le lactose à 35/37 °C en produisant du gaz en 48 heures. De plus, ils sont sensibles au chlore.

➤ **Coliformes fécaux**

Les coliformes fécaux, aussi connus sous le nom de coliformes thermo-tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44°C en 24heures. Leur présence peut signaler la présence de micro-organismes entéro-pathogènes comme les salmonelles. *Escherichia coli* est l'espèce la plus couramment associée à ce groupe bactérien et constitue une indication claire de contamination d'origine fécale animale ou humaine.

➤ **Streptocoques fécaux**

Ce sont des bactéries Gram positif. Les streptocoques du groupe sérologique D de Lancefield similaires aux coliformes fécaux, ils sont de bons indicateurs de pollution. En revanche, ils sont rarement employés comme indicateurs d'efficacité de traitement, car ils sont simplement plus résistants aux désinfectants que les coliformes et les autres entérobactéries pathogènes tels que les Salmonelles ou Shigella (**Benmerine, 2017**).

## 7. Normes de qualité des eaux de forages

Tableau 3 : Normes des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau potable (JORA, 2014)

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Normes JORA (2014) Valeurs maximales
<b>Paramètres Organoleptiques</b>	Couleur	mg/l Platine	15
	Odeur 12°C	Taux dilution	4
	Saveur 25°C	Taux dilution	4
<b>Paramètres Physiques</b>	Température	°C	25
	pH	Unité pH	6,5 – 9
	Conductivité	µS/cm à 20°C	2800
	Turbidité	NTU	5
	Résidus secs à 105°C	mg /l	1500
<b>Paramètres Chimiques</b>	Dureté	mg /l en CaCO <sub>3</sub>	500
	Calcium	mg /l en CaCO <sub>3</sub>	200
	Sulfates	mg/l	400
	Alcalinité	mg /l en CaCO <sub>3</sub>	500
	Magnésium	mg/l	150
	Bicarbonates	mg/l	/
	Sodium	mg/l	200
	Chlorure	mg/l	500
	Potassium	mg/l	12
<b>Paramètres Indésirables</b>	Fer	mg/l	0, 3
	Manganèse	µg/l	50
	Matière organique	mg/l	5

<b>Paramètres de pollution organique</b>	Phosphate	mg/l	0,5
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
<b>Paramètres bactériologiques</b>	Coliformes	n/100 ml	0
	<i>Escherichia coli</i>	n/100 ml	0
	Streptocoques fécaux	n/100 ml	0

# Partie expérimentale

## Chapitre II : Matériel et méthodes

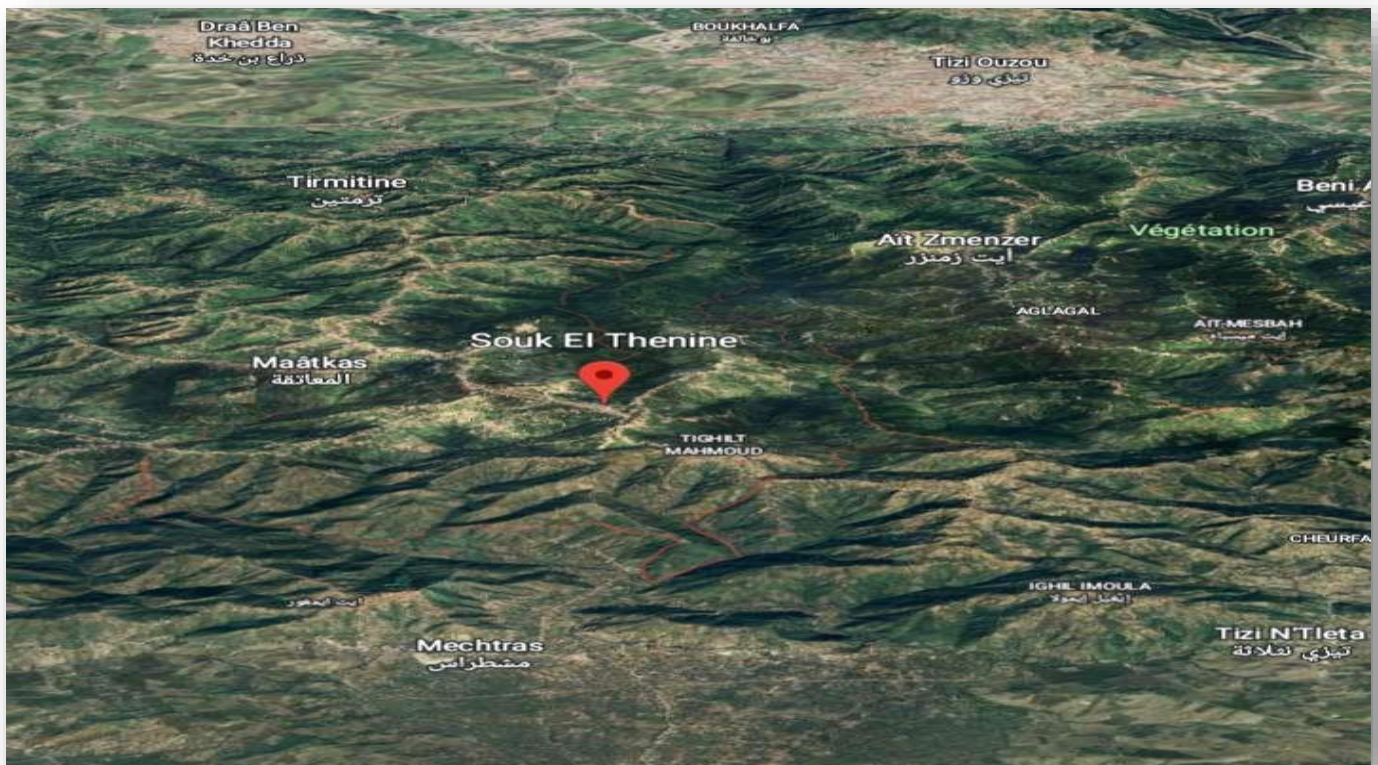
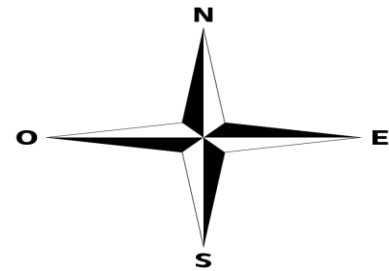
Cette étude vise à traiter les eaux de forages situées dans la commune de Souk-El-Tenine, dans la région de Maâtkas Tizi-Ouzou.

Une série d'analyses a été réalisée sur les paramètres physico-chimiques et bactériologiques au laboratoire central d'analyses des eaux de Boukhalfa, qui est affilié à "l'Algérienne des eaux".

### 1. Présentation de la zone d'étude

Souk-El-Tenine est une commune de la wilaya de Tizi-Ouzou. Elle est située dans la région de Maâtkas, à environ 14 km au sud de Tizi-Ouzou. Elle s'étend à une superficie de 20,86 km<sup>2</sup>. Cette commune est caractérisée par un climat méditerranéen avec des étés chauds. Elle est limitée comme suit :

- Au Nord par : Tizi-Ouzou et Béni-Zmenzer
- Au Sud par : Mechtras
- À l'Est par : Tizi N'Tleta
- À l'Ouest par : Maâtkas



**Figure 4** : Localisation géographique de Souk-El-Tenine Maâtkas Tizi-Ouzou (Google earth, 2024)

## 2. Présentation du laboratoire de l'ADE « Algérienne des eaux »

Le laboratoire central de l'ADE est situé à Boukhalfa Tizi-Ouzou. Il s'occupe du traitement, de l'autocontrôle, et de la surveillance pour assurer la qualité de l'eau de distribution et analyse les eaux naturelles conformément aux normes de potabilité. Ce laboratoire couvre toute la wilaya de Tizi-Ouzou.

## 3. Échantillonnage et prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractères physico-chimiques et bactériologiques de l'eau. Deux prélèvements ont été effectués pour chaque forage, l'un destiné à l'analyse physico-chimique et l'autre pour l'étude bactériologique.

### a) Mode de prélèvement pour l'analyse physico-chimique

- Choisir des flacons en verre ou en polyéthylène d'un volume de 1 L ;
- Les flacons doivent être rincés deux à trois fois avec de l'eau de forage à analyser, puis remplis complètement et fermés pour empêcher l'air de pénétrer.

### b) Mode de prélèvement pour l'analyse bactériologique

Afin d'éviter toute contamination externe, il est essentiel de respecter les conditions d'asepsie :

- Au laboratoire, on utilise des flacons en verre qui ont été préalablement nettoyés et stérilisés ;
- Une zone stérile a été créée en flambant les alentours du site d'échantillonnage avec une flamme (coton imbibé d'alcool maintenu avec les ciseaux) ;
- Le goulot du flacon et le bouchon ont été rapidement brûlés avant et après le remplissage ;
- Afin de préserver la vie des bactéries aérobies et de maintenir leur agitation avant l'analyse, les flacons ont été remplis aux 3/4 du volume.

## 4. Identification, transport et conservation des échantillons

Tous les échantillons prélevés ont été identifiés, chaque flacon doit porter une étiquette en mentionnant le code, la date et l'heure de prélèvement. Les échantillons transportés vers le laboratoire d'analyse doivent être réfrigérés à une température de 4°C et à 6° et à l'obscurité dans des emballages isothermes (glacières) pour empêcher la prolifération des germes et pour assurer une conservation satisfaisante de l'échantillon et une protection contre les rayonnements solaires (Rodier *et al.*, 2016).

## 5. Matériel et méthodes utilisés au laboratoire

**Tableau 4 :** Méthodes et appareillages des mesures des paramètres physico-chimiques  
« ADE »

<b>Paramètres mesurés</b>	<b>Méthodes</b>	<b>Appareillages</b>
<b>pH</b>	Potentiométrique	pH- mètre WTW pH 450GLP Multical
<b>Turbidité</b>	/	Turbidimètre HACH 2100N
<b>Conductivité</b>	/	Conductimètre
<b>Sulfates</b>	Spectrométrie d'absorption	Spectromètre (HACH)
<b>Phosphate</b>	Spectrométrie d'absorption	Spectromètre (HACH)
<b>Potassium</b>	Spectrométrie d'émission à flamme	Spectromètre d'émission à flamme (Sherwood flamme Photomètre 410)
<b>Sodium</b>	Spectrométrie d'émission à flamme	Spectromètre d'émission à flamme (Sherwood flamme photomètre 410)
<b>Ammonium</b>	Spectrométrie d'absorption	Spectromètre (HACH)
<b>Nitrates</b>	Spectrométrie d'absorption	Spectromètre (HACH)

<b>Nitrites</b>	Spectrométrie d'absorption	Spectromètre (HACH)
<b>Aluminium</b>	Spectrométrie d'absorption	Spectromètre (HACH)
<b>Matière organique</b>	Méthode à chaud en milieu acide	Spectromètre (HACH)
<b>Alcalinité</b>	Volumétrie	/
<b>Dureté</b>	Titrimétrie	/
<b>Calcium</b>	Titrimétrie à l'EDTA	/
<b>Magnésium</b>	Titrimétrie à l'EDTA	/
<b>Chlorures</b>	Mohr	/

## 6. Mesures des paramètres physiques

### ✚ Détermination du pH

#### a) Principe

La détermination électro métrique du pH s'effectue par mesure de la différence de potentiel entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution (voir figure 1, annexe 1).

#### b) Mode opératoire

- Etalonner le pH mètre avec une solution tampon (pH=7) ;
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée ;
- Immerger l'électrode dans l'échantillon ;
- Procéder à une agitation ;
- Faire la lecture après stabilisation du pH à une température de 25°C.

#### c) Expression des résultats

Les mesures sont exprimées en unités de pH, à la température de 25°C.

### ✚ Détermination de la température et la conductivité

Tous ces paramètres sont mesurés au laboratoire à l'aide d'un seul appareil, le conductimètre.

#### ➤ Mode opératoire

- Allumer l'appareil conductimètre (**voir figure 2, annexe 1**) ;
- Après avoir bien rincé l'électrode avec l'échantillon à analyser, il faut la plonger complètement dans la bouteille (qui contient de l'eau à analyser) ;
- Appuyer sur le bouton spécifiant le paramètre à mesurer ;
- L'appareil affichera le résultat en quelques secondes.

### ✚ Détermination des résidus secs

#### a) Principe

Evaporation au bain d'eau bouillante d'un volume d'eau choisi en fonction des quantités de matières fixes présentes, dessiccation à l'étuve à température donnée et pesée du résidu.

#### b) Mode opératoire

- Tarer une capsule préalablement lavée ;
- Rincer avec de l'eau distillée et dessécher ;
- Prélever 200 ml de l'eau à analyser dans une fiole jaugée ;
- Porter à l'étuve à 105°C pendant 4 heures et laisser refroidir pendant 15min au dessiccateur ;
- Peser immédiatement et rapidement.

#### c) Expression des résultats

Le résidu sec à 105°C, exprimé en mg/l, est donné par l'expression :

$$(M_1 - M_0) \times 1000/V$$

**V** : Le volume, en millilitres, de la prise d'essai.

**M<sub>0</sub>** : La masse, en milligrammes de la capsule vide.

**M<sub>1</sub>** : La masse, en milligrammes, de la capsule et de son contenu après étuvage à 105°C.

### ✚ Détermination de la turbidité

#### ➤ Mode opératoire

- L'appareil utilisé est le turbidimètre (**voir figure 3, annexe 1**) ;
- Assurez-vous de remplir la cuvette de mesure avec l'échantillon à analyser. (La cuvette doit être préalablement rincée avec de l'eau distillée, puis avec l'échantillon) ;
- Vérifier qu'aucune bulle d'air ne soit présente dans la cuvette ;
- Refermer la cuvette puis la nettoyer soigneusement ;
- Placer la cuvette dans le logement prévu à cet effet ;

- Au bout de quelques secondes, l'instrument affichera la mesure de la turbidité.

## 7. Mesures des paramètres chimiques

### + Dosage des chlorures :

#### a) 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'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage.

#### b) Mode opératoire :

- Introduire 100 ml de l'échantillon dans une capsule en porcelaine blanche ou dans une fiole ou dans un bêcher conique, placé sur un fond blanc ;
- Ajouter 1 ml d'indicateur de chromate de potassium ;
- Titrer la solution par addition goutte à goutte de solution de nitrate d'Argent jusqu'à ce que la solution prenne une couleur rougeâtre ;
- En ajoutant une goutte de solution de chlorure de sodium, la coloration doit disparaître.

#### c) Expression des résultats

La concentration en chlorure, exprimée en mg/l est donnée par l'équation ;

$$P_{Cl} = \frac{V_s - V_b}{V_a} \times C \times f$$

$P_{Cl}$  : est la concentration en milligramme par litre de chlorure ;

$V_a$  : est le volume, en millilitres de l'échantillon pour essai (maximum 100 ml ; les dilutions doivent être prises en compte) ;

$V_b$  : est le volume en millilitres de solution de nitrates d'argent utilisée pour le titrage du blanc ;

$V_s$  : est le volume, en millilitres de solution de nitrates d'argent utilisée pour le titrage de l'échantillon ;

$C$  : est la concentration réelle exprimée en moles d'AgNO<sub>3</sub> par litre, de la solution de nitrate d'argent ;

$f$ : est le facteur de conversion  $f=35453$  mg/mol.

### + Détermination de l'alcalinité :

#### a) Principe :

Au fur et à mesure du titrage, le pH diminue légèrement. Lorsque l'échantillon contient des carbonates, un premier point d'équivalence peut être observé aux alentours de pH=8,3. Ce point correspond à la transformation des ions carbonate en bicarbonate. Cependant, l'alcalinité

est mesurée au deuxième point d'équivalence, soit celui correspondant à la transformation du bicarbonate en acide carbonique. Ce point d'équivalence se trouve aux environs de  $\text{pH}=4,31$ .

**b) Mode opératoire :**

- Amener 100 ml d'eau à analyser au  $\text{pH}$  4.3 ; Soit  $V_2$  le volume total d'acide employé ;
- Si le  $\text{pH} > 8,3$ , verser lentement l'acide chlorhydrique pour obtenir cette valeur ;
- Noter le volume  $V_1$  lu au Dosimat ;
- Suivre les instructions de l'utilisation du  $\text{pH}$  mètre.

**c) Expression des résultats**

$$\text{TA} = (V_1 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des carbonates} / V$$

$$\Rightarrow \text{Masse molaire des carbonates} = 60\text{mg.}$$

$$\text{TAC} = (V_2 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des bicarbonates} / V$$

$$\Rightarrow \text{Masse molaire des bicarbonates} = 61\text{mg.}$$

Si l'eau contient des bicarbonates seulement donc :

$$\text{TA} = 0 \text{ et } \text{TAC} = (\text{HCO}_3^-) \text{ mg/l} = V_1 * 61.$$

Si l'eau contient des carbonates et des bicarbonates donc :

$$\text{TA} = (\text{CO}_3^{2-}) \text{ mg/l} / 2 \text{ et } \text{TAC} = (\text{HCO}_3^-) \text{ mg/l} + 2\text{TA.}$$

**V** : le volume en millilitres, de la prise d'essai (100) ml.

**V<sub>1</sub>** : le volume de la solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 0,01 N versé de la burette.

**V<sub>2</sub>** : le volume d'acide chlorhydrique en millilitres.

**N** : la normalité de la solution d'acide chlorhydrique = 0.01N.

**✚ Dosage du calcium :**

**a) Principe :**

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA (acide et d'éthylène diamine tétra acétique) à un  $\text{pH}$  compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est le murexide, qui forme un complexe rose avec le calcium. Lors du titrage, l'EDTA réagit avec les ions calcium, l'indicateur vire alors de la couleur rose à la couleur violet.

**b) Mode opératoire :**

- Prélever une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon ;
- Ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde 2 N et une pincée d'indicateur (Murexide) ;
- Bien mélanger le tout ;
- Titrer avec la solution d'EDTA, en versant lentement ;
- Le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement violette ;

- La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA ;
- Le teneur en calcium, exprimée en mg/l.

#### ✚ Détermination de la dureté totale (TH) à L'EDTA :

##### a) Principe :

Titration par complexométrie de calcium et de magnésium avec une solution aqueuse d'EDTA à pH de 10. Le mordant noir 11, qui donne une couleur violette en présence des ions de calcium et de magnésium, est utilisé comme indicateur. Le changement de couleur du violet au bleu est observé lors du titrage avec l'EDTA.

##### b) Mode opératoire :

- Prélever une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon ;
- Ajouter 4 ml de la solution tampon et 3 gouttes d'indicateur mordant noir 11, la solution doit se colorer en rose ;
- Titrer immédiatement avec la solution d'EDTA à l'aide d'une burette goutte à goutte dès que la couleur de la solution commence à virer du violet au bleu.

##### c) Expression des résultats

La teneur globale en calcium et en magnésium,  $C_{Ca+mg}$ , exprimée en millimoles par litres, est donnée par l'équation :

$$C_{Ca+mg} = \frac{C_1 V_1}{V_0}$$

$C_1$  : la concentration, exprimée en millimoles par litre de la solution d'EDTA.

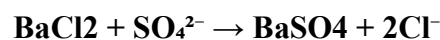
$V_0$  : le volume, en millilitres, de l'échantillon utilisé.

$V_1$  : le volume, en millilitres, de la solution d'EDTA, utilisé pour le titrage.

#### ✚ Détermination des sulfates

##### a) Principe

Ce protocole a pour but de déterminer le sulfate par spectrophotomètre d'absorption moléculaire (voir figure 4, annexe 1). Les ions sulfates sont précipités et dosés à l'état de sulfate de baryum suivant la réaction :



##### b) Mode opératoire

- Prendre 20 ml de l'eau à analyser, puis ajouter l'eau distillée jusqu'à 100 ml ;
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante ;
- Agiter énergiquement pendant 1 mn ;
- Ajouter 2 ml de la Solution  $BaCl_2$  ;

- Agiter énergiquement pendant 1 minute une seconde fois ;
- Lecture et enregistrement de la gamme dans le spectrophotomètre (HACH DL6000) à 420 nm ;
- Les résultats sont exprimés en mg/l.

#### ✚ Détermination du sodium et du potassium

##### ➤ Mode opératoire

- Pour le sodium, pesez 2,54 g de NaCl ;
- Pour le potassium, pesez 1,907g de KCl ;

Les étapes suivantes s'appliquent aux deux paramètres :

- Dissoudre chacun dans 1l d'eau distillée ;
- La solution à une concentration de 1000 mg/l de sodium et de potassium est conservée ;
- Par dilution, préparer quotidiennement une solution de 10 mg/l ;
- Faire passer au photomètre à flamme (**voir figure 5, annexe 1**) la solution d' étalonnage de 10 mg/l trois fois ;
- Faire passer ensuite l'échantillon ;
- Si la concentration en sodium et en potassium dépasse 10 mg/l, procéder à la dilution de l'échantillon.

#### ✚ Dosage du magnésium (Mg<sup>2+</sup>)

##### a) Principe

Le titrage molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'EDTA à pH 10. En présence d'ions calcium et magnésium, le noir ériochrome T donne une couleur rouge foncé ou violette, ce qui en fait un indicateur.

##### b) Mode opératoire

- Introduire 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer au col large ;
- Ajouter 2 ml de la solution de NH<sub>4</sub>OH ;
- Une pincée de noir ériochrome T ;
- Verser de l'EDTA jusqu'au virage de la couleur bleu V2.

##### c) Expression des résultats

La détermination de Magnésium (mg/l) est donnée par la formule suivante :

$$\text{Mg}^{2+} = \frac{V_2 - V_1 \times C \times F \times M(\text{Mg}^{2+})}{P.E}$$

V<sub>2</sub> : Volume titré du calcium et du magnésium.

V<sub>1</sub> : Volume titré de calcium.

**C** : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

**M(Mg<sup>2+</sup>)** : Masse molaire du magnésium en g.

**P.E** : volume de l'échantillon.

**F** : Facteur de dilution (**ISO 6058 (F), 1984**).

## 8. Mesure des paramètres indésirables

### + Dosage du fer par spectrométrie à La phénanthroline-1,10

#### a) Principe :

Addition d'une solution de phénanthroline-1,10 à une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe rouge- orange à une longueur d'onde de 510 nm.

#### b) Mode opératoire :

- Prendre 50 ml d'échantillon ;
- Transvaser la solution dans une fiole de 100 ml, ajouter 1 ml de la solution chlorhydrate hydroxylamine et mélanger soigneusement ;
- Ajouter 2 ml de tampon acétate pour obtenir un pH entre 3.5 et 5.5 de préférence 4.5 ;
- Ajouter 2 ml de la solution phénanthroline et conserver pendant 15 min à l'obscurité ;
- Mesurer l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre UV VIS à 510 nm en utilisant une cuve de 10 mm<sup>2</sup> ;
- Établir une courbe d'étalonnage en portant la concentration en fer en mg/l, en abscisse et l'absorbance mesurée correspondante, en ordonnée.
- Enregistrer la courbe établit sur le spectrophotomètre dans le cas où le coefficient R est supérieur ou égale à 0.995 avec le maximum de points retenus ;
- Procéder de la même façon pour l'analyse de l'échantillon.

### + Dosage du manganèse

#### ➤ Mode opératoire :

- Prendre 85 ml de l'échantillon et 5ml du réactif, ajouter 1g de persulfate d'ammonium et porter à ébullition pendant 1minute ; refroidir rapidement ;
- Amener le volume à 100ml avec de l'eau distillée ;
- Le blanc est traité de la même manière que l'échantillon.

## 9. Mesures des paramètres de pollution organique

### + Dosage des nitrates par spectrométrie d'absorption moléculaire :

#### a) Principe :

En présence de salicylate de sodium, les nitrates réagissent avec un acide chromo-tropique en milieu fortement acide, donnent du paranitro-salicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

#### b) Mode opératoire (voir figure 6, annexe 2)

- Introduire 10ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 3 gouttes de la solution d'hydroxyde de Sodium à 30% ;
- Ajouter 1 ml de solution de Salicylate de sodium à 0.5 ;
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve à 75 - 88°C ;
- Prendre le résidu avec 2 ml d'acide sulfurique concentré ;
- Laisser reposer 10 minutes ;
- Ajouter 15 ml d'eau distillée ;
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium ;
- Faire la lecture au spectromètre UV-Visible à la longueur d'onde de 415 nm.

### + Dosage des nitrites par spectrométrie d'absorption moléculaire :

#### a) Principe

Réaction des ions nitrites présents dans une prise d'essai, à pH 1,9 avec le réactif amino-4 benzène sulfamide en présence d'acide ortho phosphorique pour former un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose avec le dichlore-hydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane.

#### b) Mode opératoire

- Dans une série de fioles jaugées de 50 ml ;
- Introduire à l'aide d'une pipette, les volumes de la solution étalon fille de nitrites 1 mg/l ;
- Ajouter de l'eau distillée au contenu de chaque fiole ;
- Ajouter ensuite 1 ml du réactif mixte et attendre au moins 20 mn ;
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des  $\text{NO}_2^-$  ;
- Enfin, mesurer l'absorbance de chaque étalon à la longueur d'onde (environ 540 nm).

### + Dosage du phosphate ( $\text{Po}_4^{2-}$ ) à l'aide de molybdate d'ammonium

#### a) Principe

C'est une réaction des ions ortho-phosphates avec une solution acide contenant des ions molybdate et d'antimoine pour former un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate.

**b) Mode opératoire (voir figure 7, annexe 2)**

- Introduire 40 ml d'échantillon ;
- Ajouter 1 ml d'acide ascorbique à 100 g /l ;
- Ajouter ensuite 2ml du réactif mélangé dans une fiole jaugé de 50 ml ;
- Après 10 à 30 minutes, l'apparition de la coloration bleue indique la présence des phosphates ;
- L'absorbance est mesurée à  $\lambda = 880$  nm (valeur maximale la plus importante) ;
- Enfin, la valeur indiquée est multipliée par 3,06 et les résultats sont exprimés en mg/l

**+ Dosage de l'Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) à l'aide de salicylates de sodium****a) Principe**

Mesure spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium.

**b) Mode opératoire (voir figure 8, annexe 2)**

- Prélever 40 ml d'échantillon d'eau à analyser, dans une fiole de 50ml ;
- Ajouter dans l'ordre :
  - 4 ml du réactif coloré ;
  - 4 ml du réactif de dichloroisocyanurate de sodium, et homogénéiser ;
- Compléter la fiole jusqu'au trait du jauge ;
- Attendre au moins 60 mn pour le développement de la couleur ;
- Apparition de la couleur verte indique la présence d'ions ammonium ;
- Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 655 nm ;
- Le résultat est directement donné par mg/l (**ISO 7150/1**).

**+ Détermination de la matière organique****a) Mode opératoire (voir figure 9, annexe 2)**

- Introduire 25 ml d'échantillons dans un bécher de 100 ml ;
- Ajouter 5 ml d'acide sulfurique et mélanger en agitant doucement ;
- Placer le bécher sur une plaque chauffante et porter à ébullition ;
- Ajouter 5 ml de la solution étalon de 2 millimoles/l de permanganate de potassium, démarrer le chronomètre et maintenir à l'ébullition pendant 10 minutes.
- Après 10 min, ajouter à l'aide d'une pipette 5 ml de la solution étalon d'oxalate de sodium 5 millimoles/l et attendre que la solution se décolore ;

- Retirer alors le bécher de la plaque et le poser sur l'agitateur après avoir au préalable placé une feuille blanche sur ce dernier (pour une meilleure vision de la coloration rose pâle à venir) ;
- Titrer, pendant que la solution est encore chaude, avec la solution titrante de permanganate de potassium à 2 millimoles par litre jusqu'à une coloration pâle persistante ;
- Noter le volume  $V_1$  de permanganate consommé ;
- Effectuer parallèlement à la détermination, un essai à blanc en utilisant le même mode opératoire, mais en remplaçant la prise d'essai par 25 ml d'eau distillée ;
- Noter le volume  $V_0$  de solution de permanganate consommé ;
- Au blanc titré, ajouter 5 ml de la solution d'oxalate de sodium 5 millimoles/l ;
- Réchauffer la solution 1 à 2 minutes et titré avec le permanganate 2 millimoles/l jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pâle persistante après 30 secondes ;
- Noter le volume  $V_2$  de solution de permanganate consommé.

#### b) Expression des résultats

Indice de permanganate, **I Mn**, exprimé en milligrammes d'oxygène par litre, est calculé selon la formule :

$$\mathbf{I Mn} = \frac{V_1 - V_0}{V_2} \times f$$

$V_0$  : Volume, en millimètres, de la solution de permanganate consommé dans le dosage du blanc.

$V_1$  : Volume, en millimètres, de la solution de permanganate consommé dans le dosage de la prise d'essai.

$V_2$  : Volume, en millimètres, de la solution de permanganate consommé lors de la vérification de la solution titrante.

$f$  : facteur correctif utilisé, compte tenu des unités, pour exprimer le résultat en milligrammes d'oxygène par litre (**Rodier et al ., 2009**).

### 10. Méthodes d'analyse des paramètres bactériologiques

L'analyse permet de déterminer si l'eau est de qualité et potable, sans aucune contamination bactériologique.

#### ✚ Recherche et dénombrement des bactéries coliformes et *Escherichia coli*

##### ➤ Méthode par filtration sur membrane (voir figure 10, annexe 3)

Avant de débiter l'expérience, il est nécessaire de :

- Préparer la rampe de filtration sur membrane ;

- Stériliser les entonnoirs en acier inoxydable et la plaque poreuse à l'aide d'un bec-bunsen ;
- Par la suite, refroidir les entonnoirs avec de l'eau distillée ou l'eau à analyser ;
- Extraire ensuite une membrane de son emballage à l'aide d'une pince stérile et la déposer face quadrillée sur la plaque de la rampe de filtration ;
- Après avoir soigneusement agité le flacon à analyser, la rampe de filtration est prête ;
- 100 ml d'eau à analyser sont versés dans la zone stérile, le robinet de la rampe est ouvert pour permettre l'écoulement de cette eau ;
- Après avoir filtré l'eau, prélever la membrane avec une pince stérile par son bord et la déposer sur le milieu chromogène (CCA) en veillant à ne pas capturer des bulles d'air ;
- Finalement, incuber les boîtes de pétri à une température de  $36 \pm 2$  °C pendant  $21 \pm 3$  heures, en portant le couvercle vers le bas (**voir figure 11, annexe 3**).

#### a) Dénombrement

Une fois l'incubation est terminée, les colonies de couleur rose à rouge sont considérées comme des bactéries coliformes non *E. coli* (**voir figure 12, annexe 3**), tandis que les colonies de couleur bleu foncé à violet sont considérées comme des *E. coli*.

#### b) Test de confirmation

Une confirmation par disque d'oxydase est effectuée afin de confirmer la présence de bactéries coliformes qui ne sont pas des *E. coli*. On remplit un disque d'oxydase d'une goutte d'eau distillée stérile, puis on dépose la colonie avec une pipette stérile. On considère que la réaction est positive si une couleur bleu foncé apparaît dans les 30 secondes qui suivent. Les colonies qui réagissent négativement à l'oxydase sont toutes des bactéries coliformes.

#### c) Interprétation du test de confirmation

L'expression des résultats se fait par l'équation suivante :

$$a = \frac{b}{A} C$$

**b** : Nombre de colonies répondant positivement aux critères du teste de confirmation.

**A** : Nombre de colonies repiquées.

**C** : Nombre totale des colonies caractéristiques (rose à rouge) trouvées dans la boîte.

#### Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

##### ➤ Méthode par filtration membrane

La filtration sur membrane est utilisée pour l'identification des streptocoques fécaux du groupe D dans les milieux de culture Slanetz et Bartley.

Avant de d'entamer l'expérience, il est nécessaire de préparer la rampe de filtration en suivant les étapes mentionnées précédemment dans la méthode de dénombrement des coliformes et *E. coli*. Une fois que la membrane a été prélevée avec une pince stérile par son bord, elle est déposée sur le milieu Slanetz et Bartley, en veillant à ne pas capturer des bulles d'air. Finalement, les boîtes de pétri sont placées à une température de 37 °C pendant 48 heures, avec le couvercle vers le bas.

#### a) Dénombrement

Une fois l'incubation est terminée les streptocoques fécaux apparaissent sous forme de petites colonies lisses légèrement bombées à contours régulier et pigmentées en rose.

#### b) Test de confirmation

La vérification est effectuée sur la gélose BEA (Bile Esculine Azoture) (**voir figure 13, annexe 3**). De manière aseptique, la membrane est transférée du milieu Slanetz et Bartley vers le milieu BEA préchauffé à une température de 44 °C. Enfin, elles sont incubées à 44 °C pendant 2 heures.

#### c) Lecture

- Les colonies caractéristiques prennent une coloration noire traduisant ainsi l'hydrolyse de l'esculine présente dans le milieu.
- Le nombre de colonies est compté et rapporté dans 100 ml d'eau analysé.

# Chapitre III : Résultats et discussion

Les résultats des tests des caractéristiques des eaux de forages de Souk-El-Tenine Tizi-Ouzou pendant la saison hivernale 2024 ont été analysés en détail. Les évaluations organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques ont été méticuleusement comparées à celles des hivers précédents en 2020, 2021 et 2023 (**tableau 5**). Ces données ont été confrontées aux normes strictes établies par JORA (2014).

**Tableau 5** : Résultats des analyses des paramètres organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques

Paramètres		Année	2021	2022	2023	2024	Normes JORA 2014
							Valeurs maximales
Paramètres organoleptiques	Couleur		0	0	0	0	15
	Température		16,5	15,2	14,8	19,7	25
Paramètres physiques	pH		7,40	7,71	7,27	7,29	6,5-9
	Conductivité		830	934	766	761	2800
	Turbidité		0,28	0,55	0,22	0,22	5
	Résidus secs à 105°C		619	543	438	446	1500
	Dureté totale		416	365	350	354	500
Paramètres chimiques	Calcium		109	99	87	105	200
	Sulfates		140	110	50	50	400
	Alcalinité		222	232	290	288	500
	Magnésium		35	29	33	27	150

	<b>Bicarbonates</b>	271	283	354	351	/
	<b>Sodium</b>	60	60	30	25	200
	<b>Potassium</b>	3	3	2	1	12
	<b>Chlorures</b>	129	92	48	51	500
<b>Paramètres indésirables</b>	<b>Fer</b>	0,02	0,07	0,02	0,05	0,3
	<b>Manganèse</b>	0	0,023	0	0	50
<b>Paramètres de pollution organique</b>	<b>Matière organique</b>	0,66	0,48	0,04	1,05	5
	<b>Phosphates</b>	0	0	0	0	0,5
	<b>Ammonium</b>	0	0	0	0	0,5
	<b>Nitrates</b>	7,43	8,58	11,4	15,49	50
	<b>Nitrites</b>	0	0	0	0	0,2
<b>Paramètres bactériologiques</b>	<b>Coliformes</b>	0	3	19	06	0
	<i>Escherichia coli</i>	0	0	0	0	0
	<b>Streptocoques fécaux</b>	0	0	0	0	0

### III.1 Résultats des analyses organoleptiques

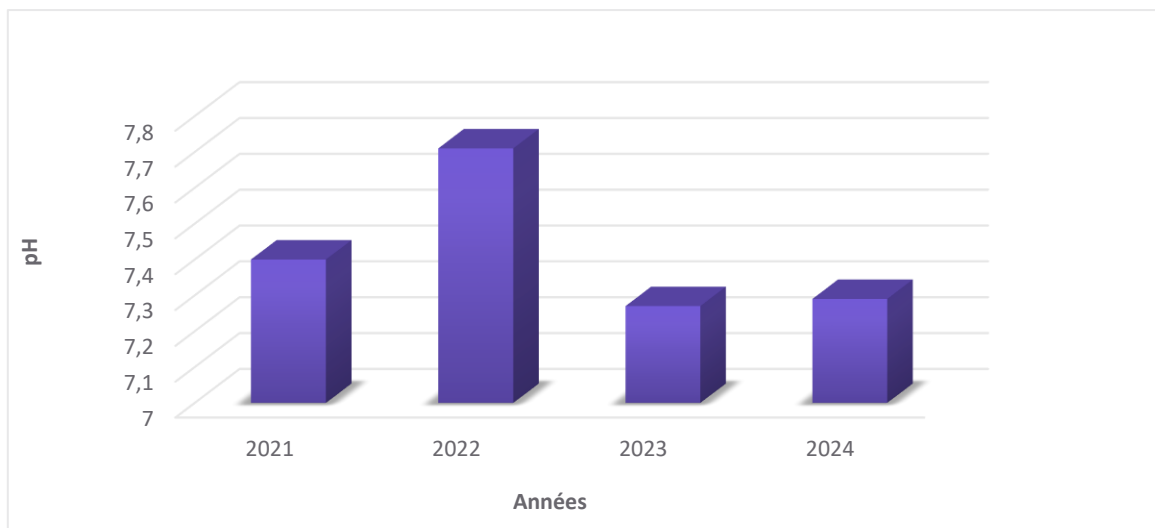
- **Odeur** : L'eau étudiée est inodore, ce qui indique l'absence de produits chimiques, de matières organiques en décomposition et de protozoaires.
- **Couleur** : L'eau étudiée est limpide, ceci indique l'absence des ions métalliques à savoir le fer ferreux ( $Fe^{2+}$ ) et fer ferrique ( $Fe^{3+}$ ), qui sont les facteurs principaux du changement de la couleur d'une eau ainsi que la présence de divers colloïdes.

### III.2 Résultats des analyses physico-chimiques

#### ➤ pH

Au cours de l'étude, le pH des eaux brutes des forages a fluctué entre 7,27 et 7,71 (**figure 5**). Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. D'après (**Gouaidia (2012)**), la variation du pH peut être expliquée par la présence de minéraux spécifiques dans le sol, comme le calcaire, capable de neutraliser l'acidité de l'eau.

- ❖ En comparant nos résultats à la norme nationale de JORA (6,5 - 9), nous avons constaté que les eaux de forage de Souk-El-Tenine à Maâtkas sont légèrement alcalines. Cela confirme leur excellente qualité physico-chimique, les rendant parfaitement adaptées à la consommation humaine. Cette conclusion est en accord avec l'étude menée par **Rodier et al., 2009**.



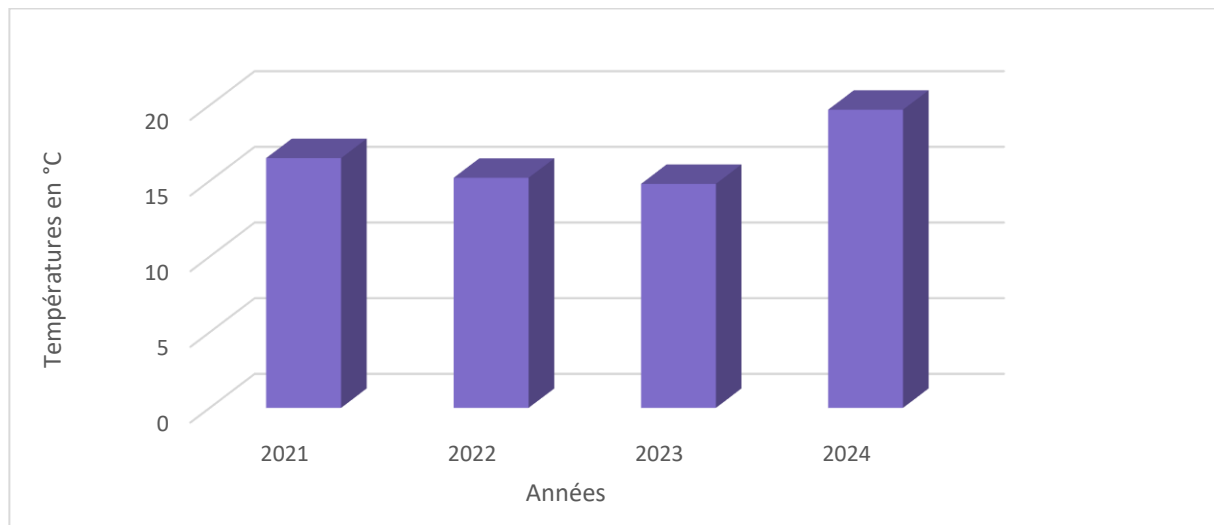
**Figure 5** : Variation du pH des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

#### ➤ Température

La température de l'eau est un paramètre très important pour les milieux aqueux, elle joue un rôle dans l'augmentation des activités chimiques, bactériennes lors de l'évaporation de l'eau.

- ❖ Les températures enregistrées se situent dans l'intervalle de 14,8°C à 19,7°C (**figure 6**), respectant ainsi scrupuleusement la norme de qualité de l'eau établie par JORA qui est de 25°C.
- ❖ La hausse de la température en 2024 par rapport aux années précédentes indique que les eaux sont plus chaudes que la normale. Cette augmentation peut être attribuée à divers facteurs, tels que l'activité géothermique. En effet, les eaux souterraines sont susceptibles d'être impactées par des sources naturelles telles que des roches chaudes ou des courants de convection, ce qui provoque une augmentation de leur température (**Lucas M.M, 2023**).

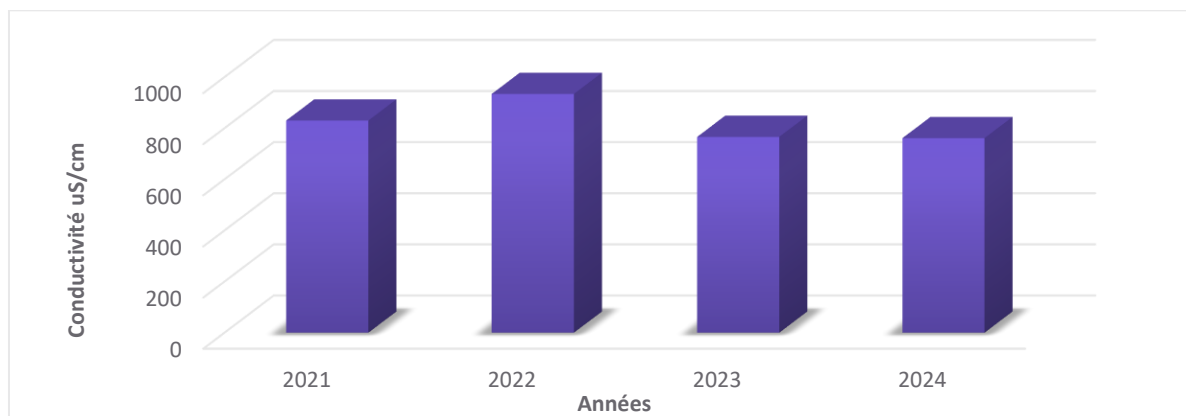
- ❖ En effet la croissance accélérée des micro-organismes est favorisée par une température supérieure à 25°C, ce qui entraîne des goûts et des odeurs désagréables (**Tardat, 1992**).



**Figure 6 :** Variation des températures des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

#### ➤ Conductivité à 20°C

La mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau, donc elle renseigne sur le degré de sa minéralisation (**Rodier et al., 2009**). Les valeurs enregistrées varient de 761  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 934  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (**figure 7**). Elles restent conformes à la norme algérienne (2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 20°C).

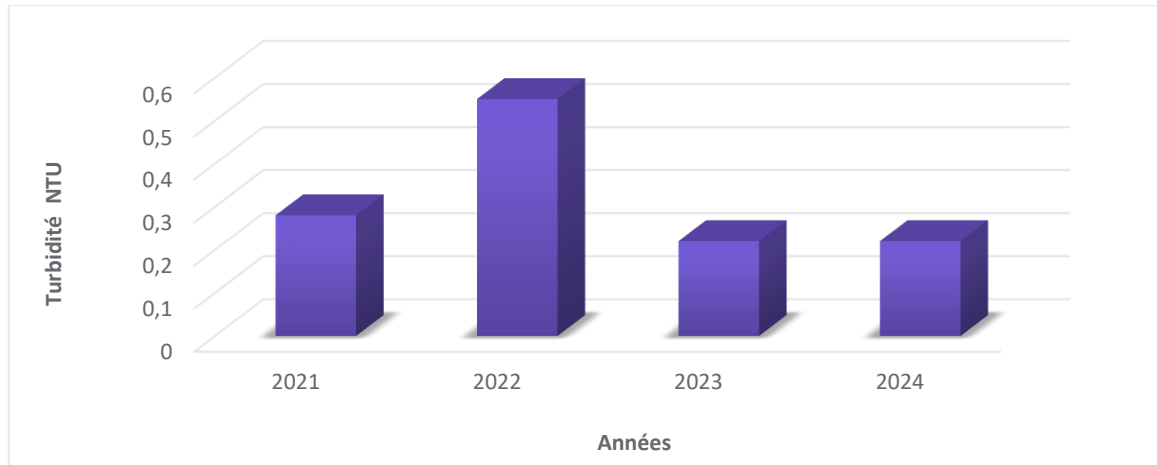


**Figure 7 :** Variation de la conductivité des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

#### ➤ Turbidité

La mesure de la turbidité permet de donner les informations visuelles sur l'eau. Elle traduit donc la présence des particules en suspension dans l'eau (débris d'organismes microscopiques etc.).

- ❖ Les valeurs enregistrées durant la période d'étude varient entre 0,22 et 0,55 (**figure 8**), inférieures à la norme de potabilité exigée par JORA 2024 (<5 NTU).
- ❖ Ces faibles concentrations seraient dû à la filtration de l'eau dans le sol, cela signifie que ces eaux contiennent des quantités très basses de particules en suspension, ce qui rend ces eaux claires et transparentes (**Ramade, 2000**).

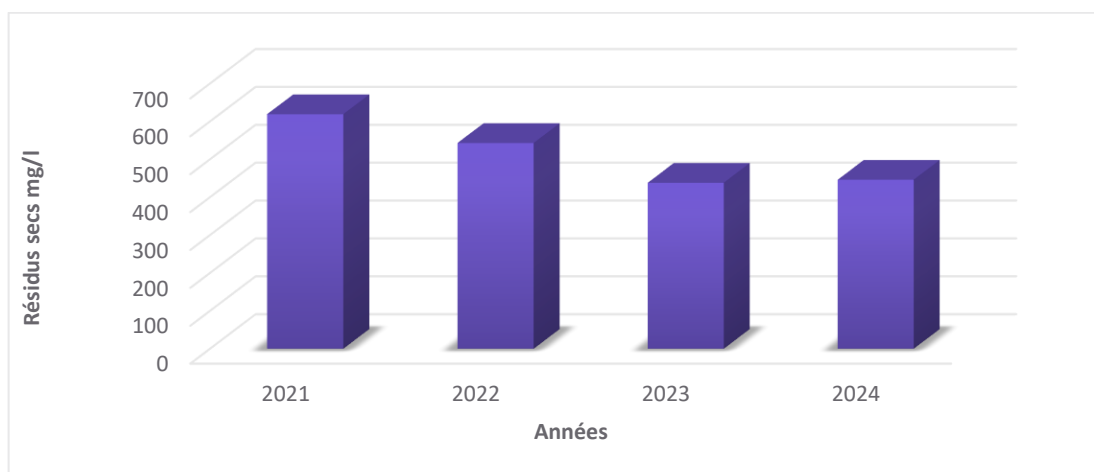


**Figure 8** : Variation de la turbidité des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

#### ➤ Résidus secs à 105°C

La teneur en résidus secs inclut à la fois les matières en suspension et les sels dissous.

- ❖ Les résultats enregistrés sont compris entre 446 et 619 mg/l (**figure 9**), démontrant ainsi leur conformité avec la norme établie à <1500 mg/l. Cela signifie que ces eaux sont considérées comme potables, propres et sans contaminants dangereux pour la santé humaine.

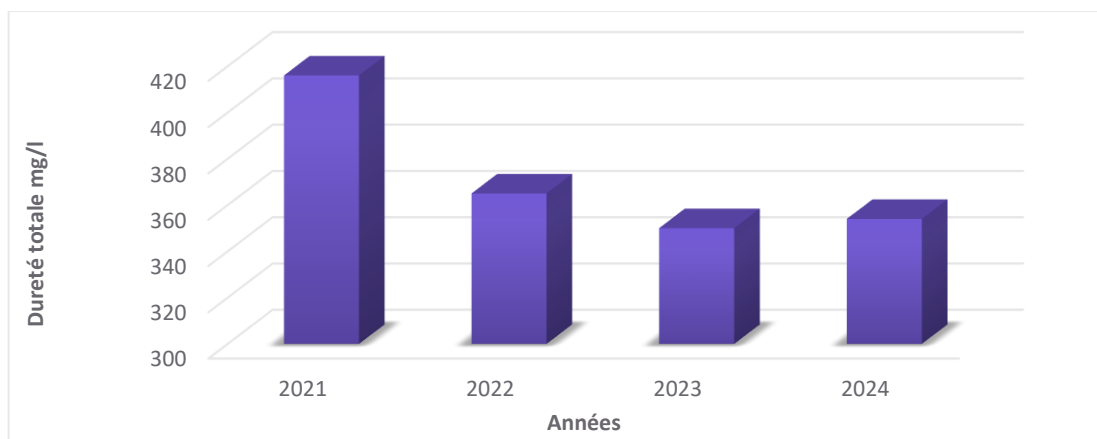


**Figure 9** : Variation des résidus secs des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

### ➤ Dureté totale ou titre hydrotimétrique

La dureté totale correspond à la somme des concentrations calcium et magnésium. Les résultats trouvés varient entre 350 et 416 mg/l (**figure 10**), ce qui ne répond à la norme de potabilité exigée par le JORA 2014 (<500 mg/l).

- ❖ La dureté des eaux provenant des terrains calcaires et en particulier des terrains gypseux peut atteindre 1g/l de CaCO<sub>3</sub>, tandis que les eaux provenant des terrains cristallins, métamorphiques ou schisteux auront une dureté très faible (**Rodier et al., 2009**).
- ❖ La dureté d'une eau n'a généralement pas d'impact direct sur la qualité de l'eau potable, mais elle peut en affecter le goût.



**Figure 10** : Variation de la dureté totale des eaux analysées durant la période hivernale de 2021 à 2024

### ➤ Calcium et magnésium

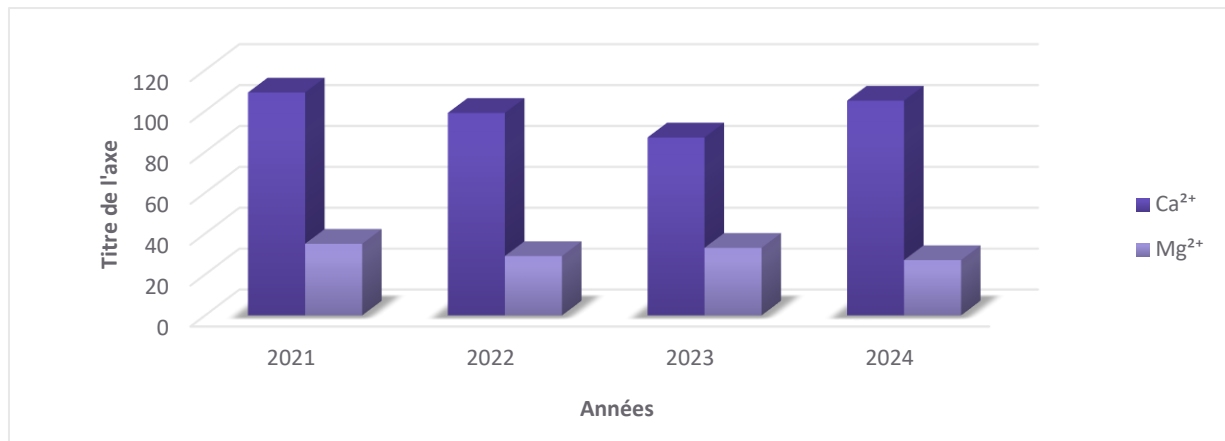
La figure 11 représente les teneurs de calcium entre 87 et 109 mg/l et de magnésium entre 27 et 37 mg/l durant les quatre périodes d'étude.

#### ❖ Calcium

Les teneurs en Ca<sup>2+</sup> montrent que les eaux de forages présentent une grande stabilité de la concentration en calcium durant cette période, ce qui répond à la norme <200 mg/l (**J.O.R.A, 2014**).

#### ❖ Magnésium

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. Les valeurs enregistrées sont inférieures aux concentrations admissibles <150 en raison probablement de l'écoulement rapide des eaux de surface et la nature calcaire du terrain traversé (**Rodier, 2005**).



**Figure 11 :** Variation du calcium et du magnésium des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

➤ **Sodium et potassium (figure 12)**

✚ **Sodium**

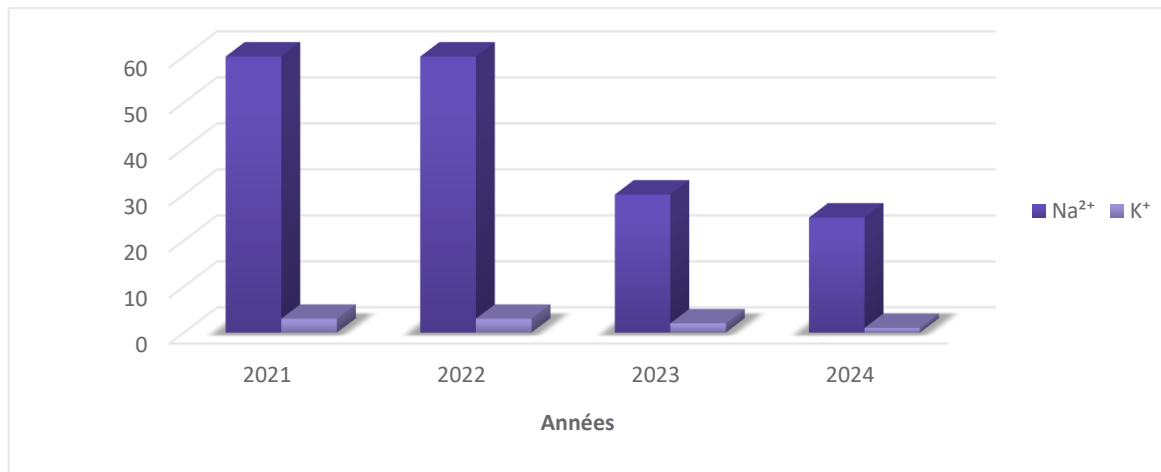
Nous avons enregistré durant ces quatre périodes des valeurs comprises entre 25 et 60 mg/l, ce qui est largement recommandé pour les eaux de ces forages selon la norme de JORA 2014 (<200 mg/l).

- ❖ Ces valeurs ont diminué significativement entre 2021 et 2024. Probablement en raison de divers facteurs tels que des modifications dans les schémas hydrologiques, des révisions stratégiques dans la gestion des ressources en eau ou des avancées technologiques dans le domaine du traitement de l'eau (ANRH, 2023).

✚ **Potassium**

Les teneurs en potassium enregistrées pour les eaux de ces forages varient entre 1 et 3 mg/l. Ces concentrations sont au-dessous des concentrations minérales admissibles recommandées par le JORA 2014 (<12 mg/l).

- ❖ Selon le **JORA**, la faible dose de potassium ne représente pas de danger majeur pour la santé publique et les besoins de l'organisme sont facilement comblés par l'alimentation. Ces faibles concentrations indiquent également que ces eaux de forages ne sont pas contaminées par l'utilisation d'engrais phosphatés provenant du lessivage des sols agricoles.

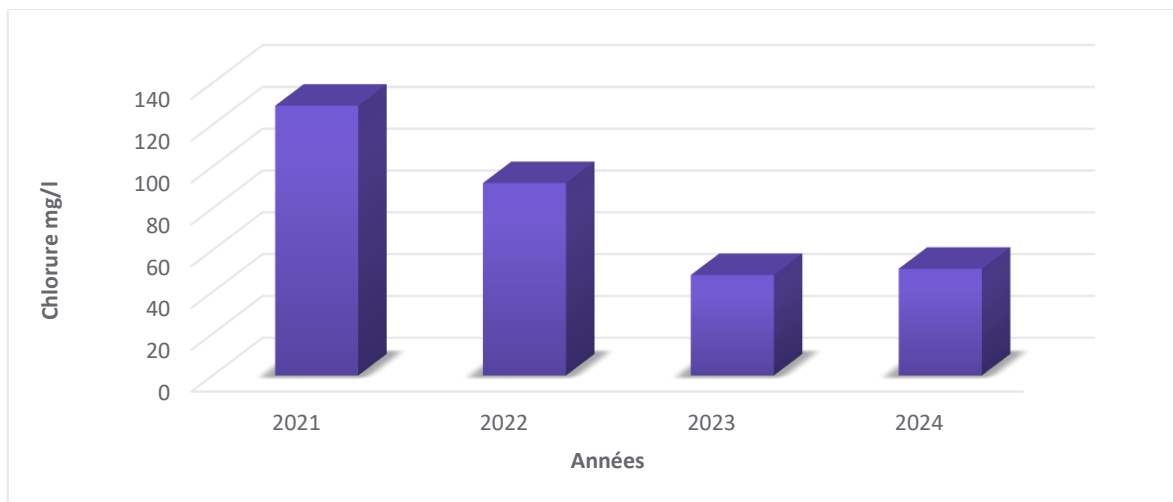


**Figure 12** : Variation du sodium et du potassium des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

### ➤ Chlorures

Les résultats du chlorure obtenus sont compris entre 48 et 129 mg/l (**figure 13**), ce qui répond à la norme de potabilité exigée par JORA 2014 (<500 mg/l).

- ❖ Ces teneurs en chlorures sont en relation avec la nature du terrain traversé de l'eau infiltrée et le court temps de contact avec les roches (**Rejesk, 2002**).



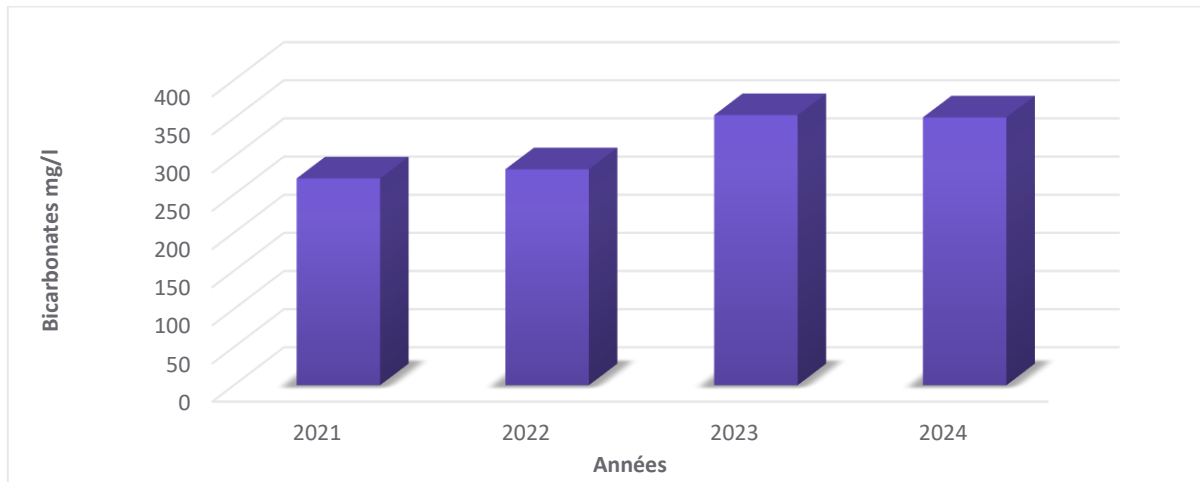
**Figure 13** : Variation des chlorures des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

### ➤ Bicarbonates

Les teneurs en bicarbonates sont comprises entre 271 et 354 mg/l (**figure 14**).

- ❖ Plusieurs facteurs influent sur la quantité de bicarbonates présentes dans l'eau, tels que le pH, la température, la présence de CO<sub>2</sub> dans l'eau et la nature des terrains traversés par l'eau. Aucune valeur n'est établie pour ce paramètre dans les mesures algériennes, car peu importe

les concentrations en bicarbonates dans les eaux de consommation, la potabilité n'est pas affectée.

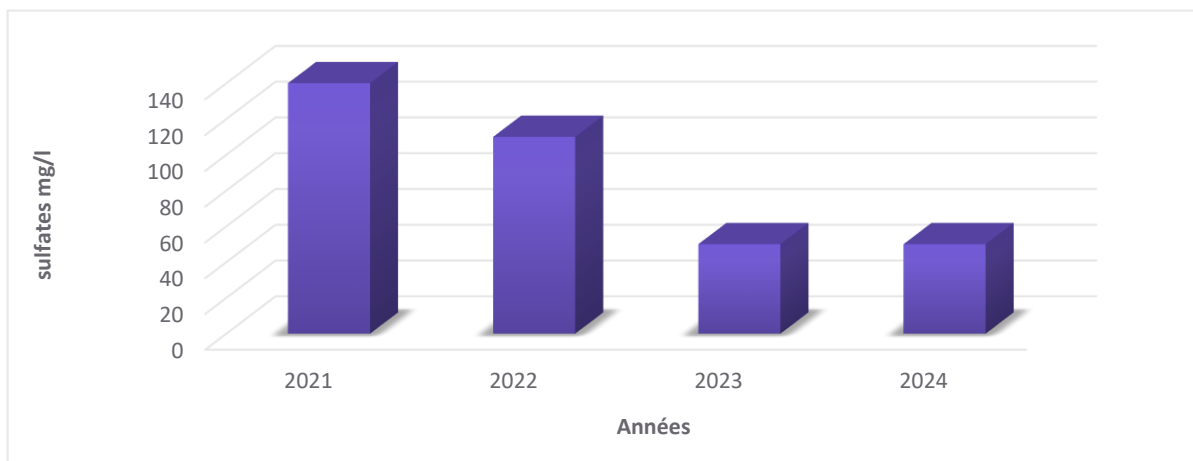


**Figure 14 :** Variation des bicarbonates des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

#### ➤ Sulfates

Les valeurs de sulfates trouvées au niveau de forages étudiés sont comprises entre 50 et 140 mg/l (**figure 15**).

- ❖ Ces résultats obtenus restent inférieurs à la norme 400 mg/l. On remarque que les eaux analysées en 2021 et 2022 sont riches en sulfates par rapport à la période de 2023 et 2024.
- ❖ Les eaux de forages de 2021 et 2022 sont riches en sulfates principalement en raison de la dissolution du gypse, un sulfate de calcium hydraté, dans l'eau souterraine. Le gypse est faiblement soluble et peut contribuer à des teneurs élevées en sulfates dans les eaux souterraines.

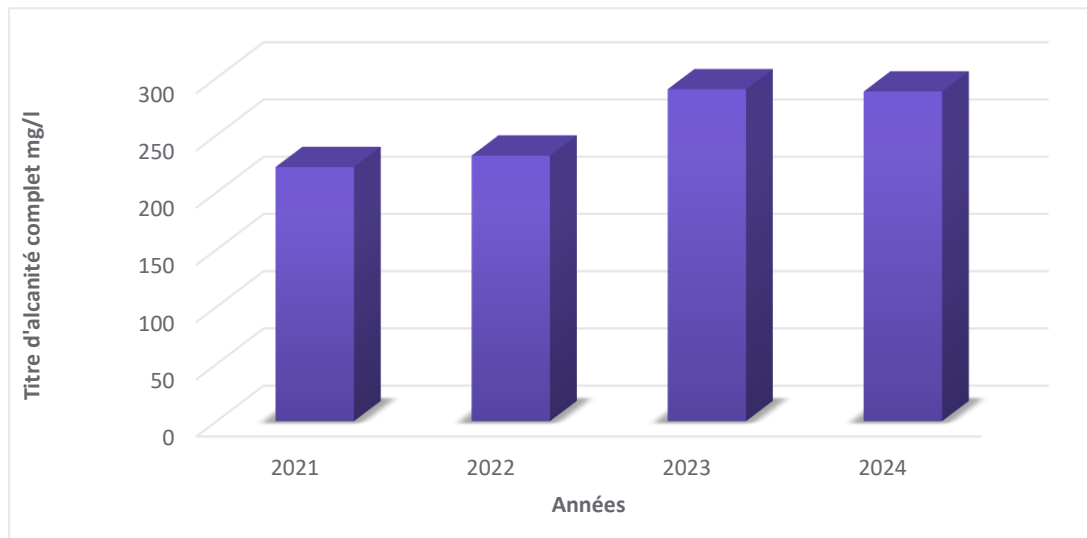


**Figure 15 :** Variation des sulfates des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

➤ **Titre d'alcalinité complet**

Les résultats du titre alcalimétrique varient entre 222 et 290 mg/l (**figure 16**).

- ❖ Ces eaux analysées sont donc douces, conformes à la norme qui est <500 mg/l.
- ❖ L'alcalinité de l'eau est la mesure de sa capacité à neutraliser les acides, ce qui est important pour maintenir un pH stable.
- ❖ Une alcalinité trop faible (inférieure à 500 mg/L) indique que l'eau a une faible capacité tampon, ce qui la rend plus susceptible aux variations de pH (**ISO 9963-1 :1994**).

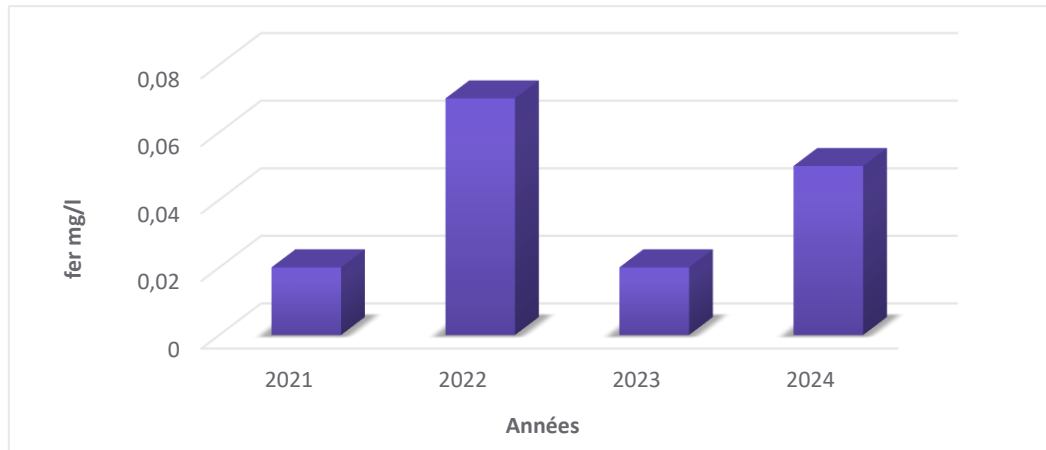


**Figure 16 :** Variation du TAC des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

➤ **Fer**

Le fer est l'un des éléments les plus abondants dans le sol (**Desjardins, 1997**).

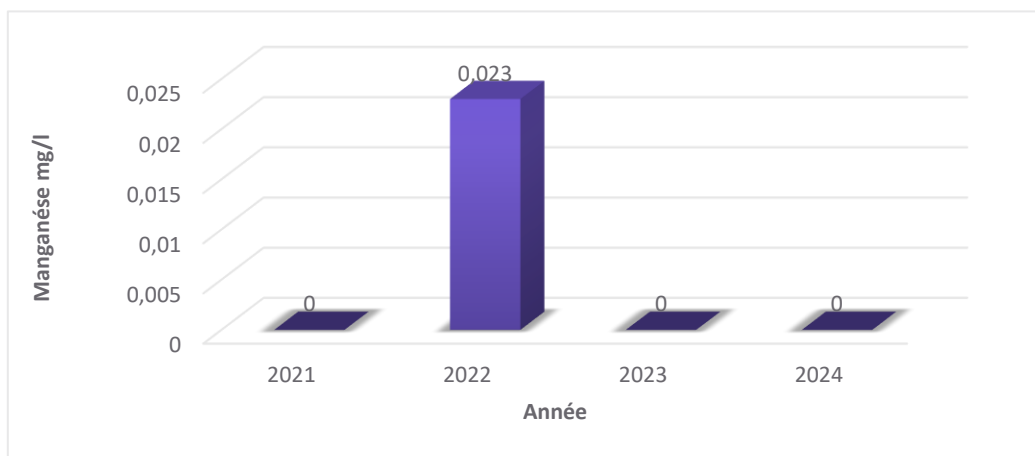
- ❖ Les résultats obtenus pour les eaux de forages étudiées montrent des teneurs en fer comprises entre 0,02 et 0,07 mg/l (**figure 17**). Ce sont donc des teneurs très faibles ce qui prescrit largement les eaux de ces forages dans la norme de potabilité algérienne qui est de l'ordre de 0,3 mg/l.



**Figure 17 :** Variation du fer des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

➤ **Manganèse**

❖ Les données recueillies entre 2021 et 2024 indiquent des taux du manganèse inférieurs à 0,023 (voir **figure 18**), respectant largement la norme de qualité de l'eau (<50 mg/l) selon JORA 2014. Ces résultats confirment que ces eaux sont propres et salubres pour la consommation humaine.



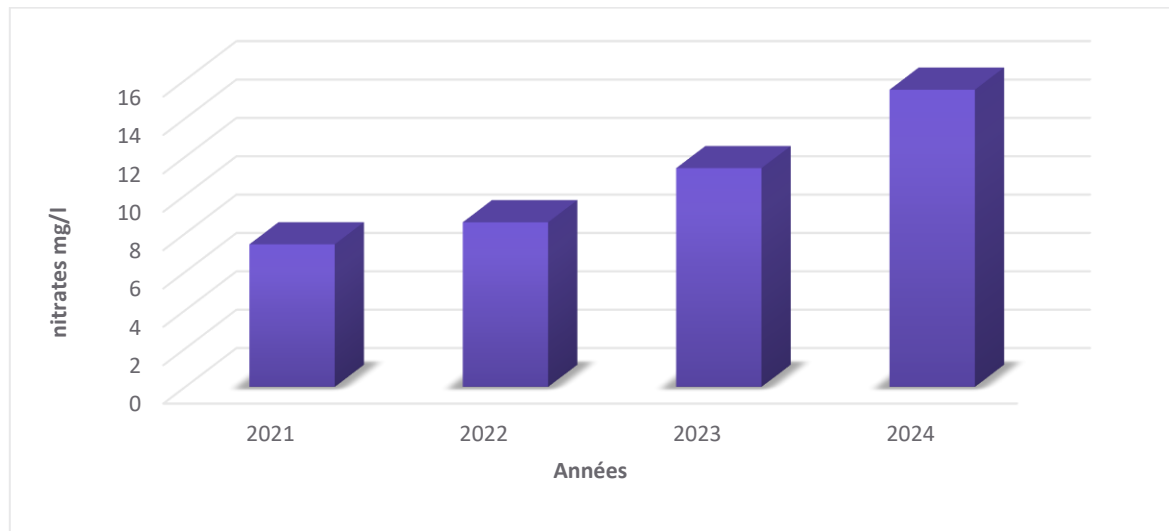
**Figure 18 :** Variation du manganèse des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

➤ **Nitrates**

Les teneurs en nitrates au niveau de forages de Souk-El-Tenine sont comprises entre 7,43 et 15,49 mg/l (**figure 19**).

❖ Ces concentrations sont inférieures à la norme qui est 50mg/l, ce qui confirme donc que notre eau n'est pas sujette à un risque de pollution par les nitrates.

- ❖ La faible teneur en nitrates est en réalité une réaction normale qui se produit en présence de conditions réductrices (**Ramade, 2000**). En effet, les nitrates ne peuvent se maintenir que dans des milieux peu oxygénés (**Arrignon, 1998**).

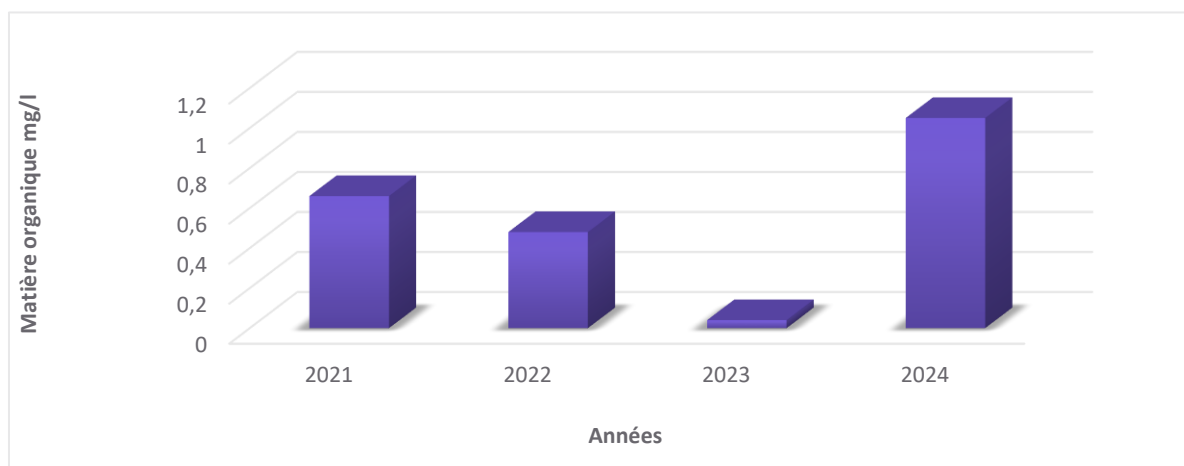


**Figure 19** : Variation des nitrates des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

#### ➤ Matière organique

Les analyses ont révélé des teneurs de matières organiques inférieures à la norme de potabilité exigée par JORA 2014 (< 5 mg/l) avec des valeurs comprises entre 0,04 et 1,05 mg/l (**figure 20**).

- ❖ Les faibles concentrations de la matière organique dans les eaux de forages signifient que ces eaux contiennent des quantités limitées de substances organiques, telles que les déjections animales ou humaines, les engrais, et les apports d'amendement organique. Ces substances sont solubles dans l'eau et se trouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines (**Furry, 1997**).



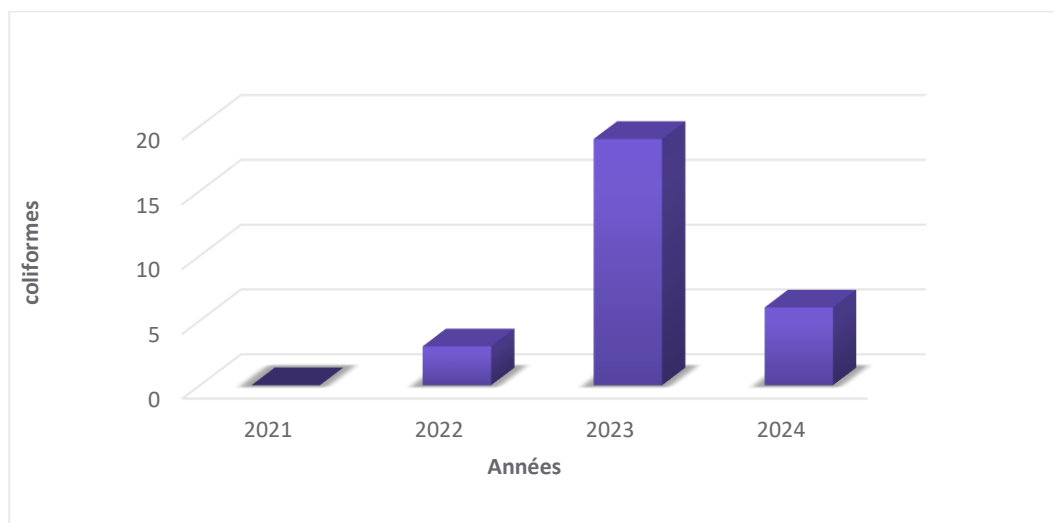
**Figure 20** : Variation de la matière organique des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

### III. 3 Résultats des analyses bactériologiques

#### ➤ Bactéries coliformes

Les résultats enregistrés sont compris entre 0 et 19 uFc/ml (**figure 20**).

- ❖ Les bactéries coliformes sont des indicateurs cruciaux pour déterminer la qualité d'une source d'eau souterraine et détecter une éventuelle contamination par des eaux de surface. Un résultat montrant plus de 10 coliformes indique un risque significatif de contamination microbiologique. Il est primordial de surveiller de près ces paramètres pour garantir la salubrité de l'eau que nous consommons (**MDDELCC, 2015**).
- ❖ Il est probable que l'augmentation du nombre de bactéries coliformes jusqu'à 19 uFc/ml en 2023 soit causée par divers facteurs tels que la pollution, les changements climatiques, etc.
- ❖ En 2024, moins de bactéries ont été trouvées dans l'eau, montrant le succès des mesures prises pour la traiter et la rendre plus sûre pour la santé publique.
- ❖ Cependant, même avec cette baisse, il est important de continuer à surveiller et à maintenir la qualité de l'eau pour éviter tout risque pour la santé publique.



**Figure 21** : Variation des bactéries coliformes des eaux analysées durant la saison hivernale de 2021 à 2024

### Conclusion

Après avoir effectué l'analyse physico-chimique, nous avons observé que les conditions climatiques, telles que les précipitations, peuvent avoir un double impact sur les niveaux de certains éléments. Dans certains cas, elles peuvent agir comme un diluant en réduisant la teneur de certains paramètres tels que les résidus secs. Cependant, dans la plupart des cas, elles ont plutôt un effet de concentration car le ruissellement et l'infiltration des eaux des pluies

provoquent le lessivage des terrains qu'elles traversent et s'enrichissent ainsi en divers sels minéraux.

L'absence de pollution organique est confirmée par les faibles concentrations des paramètres de pollution (matière organique, nitrates etc.) et l'absence de certains éléments (ammonium, nitrites, phosphates) dans toutes les eaux analysées.

Les résultats des analyses bactériologiques réalisées sur les eaux brutes de ces forages sont conformes aux normes de JORA 2014, cela suggère que ces eaux sont propres et sans contamination fécale le fait qu'il n'y ait pas de bactéries streptocoques fécaux et *Escherichia coli*, ce qui est essentiel pour la santé publique.

## Conclusion et perspectives

L'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de forages révèle des résultats essentiels pour garantir la sécurité sanitaire et la salubrité des ressources hydriques souterraines. L'analyse des paramètres tels que le pH, la turbidité, la conductivité, les métaux lourds, les nitrates, ainsi que la présence de coliformes fécaux, fournit une vision précise de la potabilité de l'eau.

La combinaison de ces données permet de déterminer si l'eau des forages est propre à la consommation humaine ou nécessite un traitement spécifique pour répondre aux normes de qualité en vigueur. Cette évaluation exhaustive est cruciale pour protéger la santé publique et préserver l'environnement, en assurant un accès à une ressource vitale exempte de contaminants nocifs.

C'est ainsi que notre étude s'est penchée sur l'analyse des propriétés physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes extraites du forage de Souk-El-Tenine à Maâtkas. L'objectif principal étant d'apporter des données précises afin d'améliorer la qualité des eaux potables disponibles pour la consommation.

Pour mener à bien ce projet, nous avons opté pour une approche analytique associée à la technique expérimentale. Nous avons procédé à la collecte d'échantillons d'eau en vue des analyses. Après la collecte et l'analyse des données, nous avons pu tirer les conclusions suivantes :

- La confrontation des niveaux de substances détectées dans les eaux analysées avec les normes établies par **JORA (2014)** révèle que la plupart de ces composés ne dépassent pas les seuils autorisés pour l'eau potable.

- Toutes les eaux étaient jugées potables en fonction des critères physiques et bactériologiques examinés. Les résultats ont montré que les niveaux de pH, de turbidité, de chlore et de bactéries étaient tous conformes aux normes de qualité de l'eau. En d'autres termes, il n'y avait aucun agent pathogène ou contaminant dans l'eau qui aurait pu la rendre dangereuse pour la consommation humaine.

Bien que l'analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de forages soit cruciale pour assurer la potabilité de l'eau de forages à Souk-El-Tenine Maatkas, il est primordial de reconnaître ses limites et d'enrichir ce processus avec des méthodes plus sophistiquées telles que la spectrométrie de masse ou la PCR en temps réel. Ces technologies avancées permettent

de mettre en place des stratégies de préservation adaptées et d'assurer l'accès à une eau de haute qualité pour les générations actuelles et futures.

La sensibilisation des acteurs locaux à l'importance de la surveillance de la qualité de l'eau des forages est cruciale pour garantir la santé et le bien-être des communautés. En effet, la qualité de l'eau peut avoir un impact direct sur la santé des populations, notamment en ce qui concerne la prévention des maladies d'origine hydrique.

De plus, la surveillance régulière de la qualité de l'eau des forages permet de détecter rapidement toute contamination potentielle et de prendre les mesures nécessaires pour prévenir une éventuelle crise sanitaire. Cette démarche proactive contribue à protéger la santé des habitants, mais également à préserver les ressources en eau pour les générations futures (Rwema, 2023).

Selon l'Organisation mondiale de la santé, l'accès à une eau de qualité est un droit fondamental pour tous et est essentiel pour atteindre les objectifs de développement durable liés à l'eau et à l'assainissement. Il est donc primordial d'impliquer les acteurs locaux dans la surveillance de la qualité de l'eau des forages afin de garantir un accès durable et sûr à cette ressource vitale.

En sensibilisant les acteurs locaux à cette problématique, on favorise une prise de conscience collective et une mobilisation pour assurer la gestion durable des ressources en eau. Cela permet également de renforcer la coopération entre les différents acteurs impliqués dans la gestion de l'eau, en favorisant une approche collaborative et participative pour relever les défis liés à la qualité de l'eau des forages.

En cas de dépassement des seuils réglementaires concernant les eaux de forage, il est essentiel d'avoir un plan d'action en place pour protéger la santé publique et l'environnement. Dans de telles situations, il est recommandé de prendre des mesures immédiates pour limiter l'exposition des populations à des contaminants potentiellement dangereux.

Parmi les actions à envisager, on peut citer la mise en place d'une surveillance renforcée des sources d'eau, la réalisation d'analyses complémentaires pour identifier la source de

contamination, et la mise en place de mesures correctives pour réduire les niveaux de contaminants à des niveaux acceptables.

Il est également essentiel d'informer rapidement le public des risques potentiels et des mesures prises pour y remédier. La transparence et la communication proactive sont essentielles pour maintenir la confiance des citoyens dans la qualité de leur eau potable.

Comme le souligne l'Organisation mondiale de la Santé, "l'accès à une eau potable de qualité est essentiel pour préserver la santé humaine". Il est donc primordial de mettre en œuvre des stratégies efficaces pour garantir la sécurité et la qualité des eaux de forage, et d'agir rapidement en cas de dépassement des seuils réglementaires (**O M S, 2023**).

# Références bibliographiques

**Al-quawati M., Idrissi Y.A., Alemad A., Belhaili I., Marc I., Baichouti F., Kharrim K., Belghyti D., 2015.** Physico-chemical analysis and quality control of groundwater from the region SIDI Allal Tazi-Gharb-MOROCCO. International Journal of Innovation and Applied Studies, vol 13(2) pp: 420-429.

**ANRH., 2023.** Agence nationale des ressources hydrauliques  
<https://news.radioalgerie.dz/fr/node/38388>

**Belghyti D., 2015.** Physico-chemical analysis and quality control of groundwater from the region Sidi Allal Tazi-Gharb-MOROCCO. International Journal of Innovation and Applied Studies, vol 13(2), pp: 420-429.

**Ambroise B., 1999.** La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant : processus, facteurs, modèles. Bucarest. Éditions HGA, 200 p.

**Anctil F., Rousselle J., Lauzon N., 2005.** Hydrologie : cheminements de l'eau. Presses inter Polytechnique, France, 317 p.

**Arrignon J., 1998.** Aménagement piscicole des eaux douces. Ed. Tec et Doc. 5ème édition. Paris. 135 p.

**Ayad W., 2016.** Thèse doctorat Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'el-Harrouch (wilaya de Skikda) université Badji Mokhtar, Annaba, 156 p.

**Badjadj N., 2017.** Analyse du système de production d'eau potable ainsi que sa gestion et son exploitation au niveau de la wilaya de Bejaia. Mémoire de fin d'études. Faculté de Technologie Département d'hydraulique, Université Abderrahmane MIRA, Bejaia, 130p.

**Benmerine B., 2017.** Contribution et L'évaluation de La Qualité Physico-chimique et Bactériologique Des Eaux De Consommation De La Région D'oued Es-saoura. Cas De Béniabbes, Ougarta Et Zeghamra. Thèse de Doctorat, Université Ahmed Ben Bella - Oran 1, 122p.

**Benmoussa H., 2018.** Polycopié, Chimie des eaux. Cours destiné aux étudiants de Master 1 Génie des Procédés de l'Environnement., Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Faculté de Chimie, Département de Génie Chimique 121p.

**Bernard C., 2007** Introduction à l'étude de la médecine expérimentale. Paris : BiblioBazaar (18 juin 2007), 276p.

**Berné F., Cordonnier J., 1991.** Traitement des eaux : Épuration des eaux résiduaires de raffinage, conditionnement des eaux de réfrigération.: Edition Technip, Paris 306p.

- Cardot C., 2010.** Les traitements de l'eau pour l'ingénieur - Procédés physico-chimiques et biologiques - Cours et problèmes résolus - Génie de l'environnement - Niveau B, 2ème édition Collection Technosup, Éditeur(s) Ellipses, 320p.
- Chibani S., 2009.** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de surface et souterraine de la région de Ain Makhlouf (Wilaya de Guelma). Mémoire de Magister. Université 8 Mai 1945, Guelma, 104p.
- CIE (Centre d'information sur l'eau), 2013.** LE CYCLE DE L'EAU : LE VOYAGE DE L'EAU À TRAVERS LA TERRE. (<https://www.cieau.com/espace-enseignants-et-jeunes/les-enfants-et-si-on-en-apprenait-plus-sur-leau-du-robinet/cycle-de-leau/>) (Consulté le 10/06/2024 à 12 :48).
- Collin P., 2004.** Caractérisation géochimique et hydrogéochimique de la matière en suspension de la rivière Saint-Charles, Québec, Canada, Mémoire du grade de Maître des sciences (M.Sc.) en Sciences de la Terre, Université du Québec INRS-Eau, Terre & Environnement, **132 p.**
- Dahel Z., 2009.** Analyse De La Qualité Bactériologique Des Eaux Du Littoral Nord-est Algérien À Travers Un Bio Indicateur La Moule Perna Perna. Mémoire de Magistère en Sciences de la Mer Université Badji Mokhtar, Annaba, 117p.
- Degrémont SA., 2004.** Memento technique de l'eau. Tome 1 et 2, 10ème édition, éditeur Dégremont. Paris, 1718 p.
- Derwich E, Benaabidate L, Zian A, Sadki O, Belghity D; 2010.** Caractérisation Physico-Chimique des eaux de la nappe alluviale du haut sebou en aval de sa confluence avec Oued Fes, LARHYSS Journal Volume 8, (1), pp : 101-112.
- Desjardins R., 1997.** Le traitement des eaux. Éditeur Presses inter Polytechnique, 304p.
- Haslay C., Leclerc H., 1993.** Microbiologie des eaux d'alimentation. Edition Lavoisier, S.A.S, 496p.
- Dupont A, 1995.** HYDRAULIQUE URBAINE 1, HYDROLOGIE. Éditeur(s) Eyrolles. 246p.
- Furry V., 1997.** Les eaux souterraines en Picardie. Mémoire. D.E.S.S. Environnement, univ. Picardie Jules Verne, France, 30 p.
- Gaujous D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire, 2ème édition. Éditeur Tec & Doc Lavoisier, 220p.
- Gouaidia L., Guefaïfia O., Boudoukha A., LaidHemilaM. ET Martin C., 2012.** Évaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : exemple de la plaine de Meskiana (Nord-Est Algérien). Vol 6. Revue/physio-geo. Pp : 141-160.

**Haslay C., Leclerc H., 1993.** Microbiologie des eaux d'alimentation. Edition Lavoisier, S.A.S, 496p.

**ISO 9308-1 :2014 :** Qualité de l'eau — Dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries coliformes. Partie 1 : Méthode par filtration sur membrane pour les eaux à faible teneur en bactéries. Edition 3, Comité technique : ISO/TC 147/SC 4 ICS : 07.100.20 ,10p.

**ISO 9963-1 :1994.** Qualité de l'eau – Détermination de l'alcalinité. Partie 1 : Détermination de l'alcalinité totale et composite. Comité technique ISO/TC 147/SC 2 : 13.060.50.

**Johanet B., Meschaert P., 2023.** Guide de l'eau. Editeur : JOHANET, 1133p.

**JORA., 2014.** Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire  
<https://www.joradp.dz/FTP/JO-FRANCAIS/2014/F2014013.pdf>

**Lucas Marc-Martin., 2023.** L'essentiel à savoir sur le forage géothermique  
<https://www.choisir.com/energie/articles/164824/lessentiel-a-savoir-sur-le-forage-geothermique>

**Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., Van.Clooster M., 2011.** Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental).

Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, pp. 149-169.

**Mardini R., 2012.** Revue technique réalisation et réhabilitation de forage dans les conditions du terrain. CICR (comité international Genève), 137 p.

**MDDELCC, 2024.** Guide de conception des installations de production d'eau potable. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

(<https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable/guide/index.htm>).

**Michard G., 2002.** Chimie des eaux naturelles. Principe de géochimie des eaux. Paris : Editions Publisud, 461p.

**Mizéhoun-Adissoda Carmelle G., 2015.** Apport alimentaire de sodium, potassium et iode relation avec l'état nutritionnel au Bénin. Grade de Docteur de l'université de LIMOGES et D'ABOMEY-CALAVI, France, 159p.

**Montginoul M., 2006.** Les eaux alternatives à l'eau du réseau d'eau potable pour les ménages : un état des lieux. Ingénieries, n°45, 62p.

**Nouayti N., Khattach D., Hilali M., Brahimi A., Baki S., 2016.** Assessment of metal contamination in Jurassic water tables of Ziz high basin (Central High Atlas, Morocco). Journal of Materials and Environmental Science, pp: 1495-1503.

- Oki T., Entekhabi D., Harrold T.I., 2004.** The global water cycle (<https://www.researchgate.net/publication/260072736>)
- OMS, 2015.** La santé dans le Programme de développement durable à l'horizon 2030 [https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/eb138/b138\\_14-fr.pdf](https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/eb138/b138_14-fr.pdf)
- OMS, 2023 :** Eau potable. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Ouanes M., 2020.** Effet de changements climatiques sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de F'kirina de la W. D'Oum El bouaghi. Thèse de doctorat en science, Université 8 Mai 1945 Guelma, 196p.
- Pépin Aina M., Daouda M., Yao B., Labanowski J., 2010.** Evaluation de la matière organique et de l'effet du traitement des eaux usées de papeterie par ultrafiltration et lagunage aéré, Colloque Eau, Déchets et Développement Durable, 28 – 31 mars 2010, Alexandrie, Egypte.
- Ramade F., 2002.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Dunod, 2ème édition, 1100 p.
- Ramade F., 2000.** Dictionnaire encyclopédique de la pollution. Ed. EDSCIENCE INTERNATINAL. Paris. 437 p.
- Rejsek, F., 2002.** Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. Scéen (CRDP AQUITAINE). Coll. Technique biologique. Sciences et techniques de l'environnement. 360p.
- Rodier J., Legube B., Merlet N., 2016.** L'analyse de l'eau : Contrôle et interprétation : 10ème ed. Paris [FRA] : Dunod, 867p.
- Rodier J., Legube B., Merlet N., Bruet R., 2009.** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 9<sup>ème</sup> édition, Collection Technique et Ingénierie Dunod, Paris, 1530p.
- Rodier J., 2005.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème édition Dunod, Paris, 1383p.
- Rwema B., 2023.** Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux. Du bassin versant de la rivière Mukukwe (ville de Bukavu – RDC). Editions universitaires européennes, 52p.
- Salghi R., 2001.** Cours sur différentes filières de traitement des eaux. Université IBN ZOHR, Ecole nationale des sciences appliquées d'Agadir, 22 p.
- Samake H., 2002.** “ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE AU L.N.S. DES EAUX DE CONSOMMATION DE LA VILLE DE BAMAKO DURANT LA PERIODE 2000 ET 2001 ”. Grade de Docteur en Pharmacie (Diplôme d'Etat) Université de Bamako Faculté de Médecine, de Pharmacie Et d'Odonto Stomatologie Bamako, 77p.

**Tardat-Henry M., 1992.** Chimie des eaux. Ed. Le griffon d'argile, 537 p.

**Touahria K., 2013.** Evaluation de la qualité des eaux de forage par comparaison de leurs caractéristiques physico-chimiques (Région de Tébessa). Magister Spécialité : Chimie analytique et physique, Université Mohamed Cherif Massaadia Souk-Ahras, 181p.

**UNICEF., 1999.** Manuel sur l'eau. Série de directives techniques sur l'eau, l'environnement et l'assainissement. Fonds des nations unies pour l'enfance, New York, 110 p.

### **Sites web :**

[http://sesp.esep.pro/fr/pages\\_exobiologie/html\\_images/envimage18.html](http://sesp.esep.pro/fr/pages_exobiologie/html_images/envimage18.html)

[https://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition/hydrogenocarbonate\).](https://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition/hydrogenocarbonate)

[https://www.vermilionenergy.com/fr/nos-activites/la-recherche-du-petrole-les-activites/les-differents-types-de-forage-en-france/\).](https://www.vermilionenergy.com/fr/nos-activites/la-recherche-du-petrole-les-activites/les-differents-types-de-forage-en-france/)

<https://www.cieau.com/espace-enseignants-et-jeunes/les-enfants-et-si-on-en-apprenait-plus-sur-leau-du-robinet/la-production-deau-potable/>

<https://fr-lu.topographic-map.com/map-kmv157/Souk-El-Tenine/>

# Annexes

Annexe 1

Appareils utilisés au laboratoire « ADE »

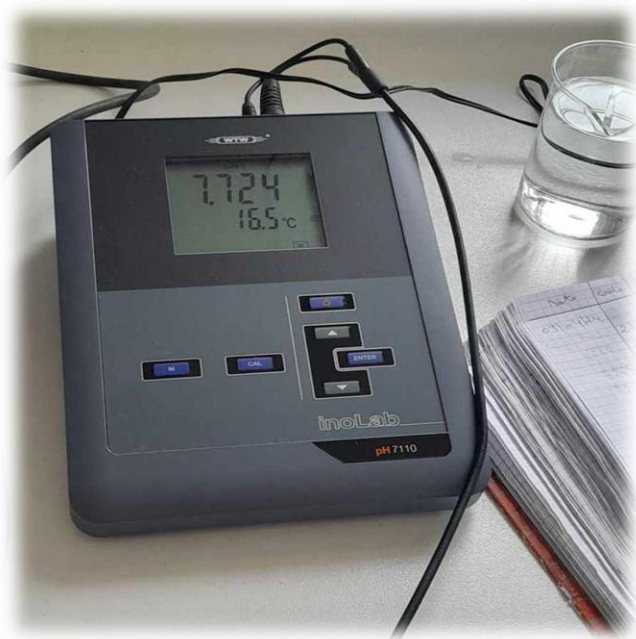


Figure 1 : pH-mètre



Figure 2 : Conductimètre



Figure 3 : Turbidimètre



Figure 4 : Spectro-Photomètre



**Figure 5** : Photomètre à flamme

Annexe 2

Dosage des paramètres physico-chimiques « ADE »



Figure 6 : Dosage des nitrates



Figure 7 : Dosage du phosphate



Figure 8 : Dosage d'ammonium



Figure 9 : Détermination de la matière organique

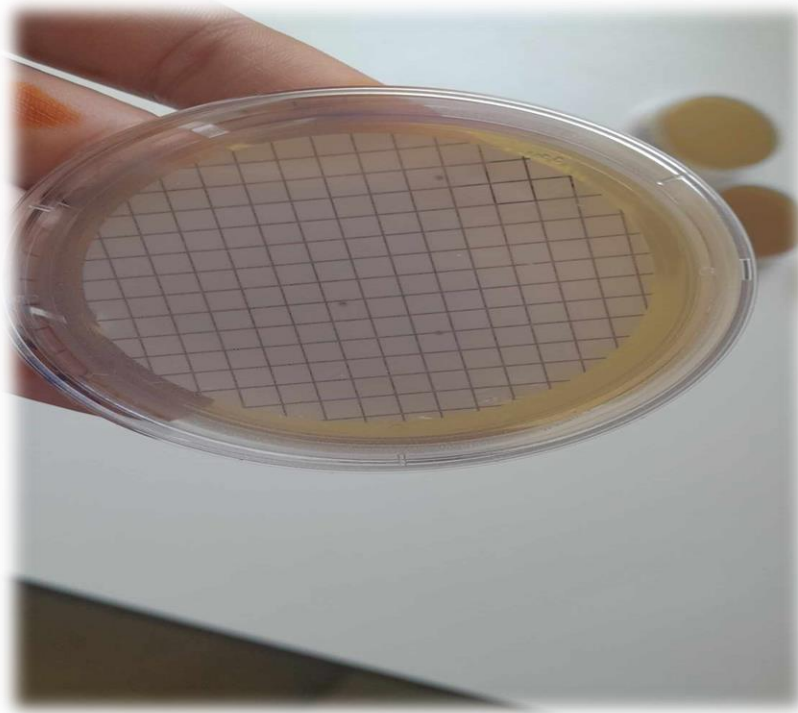
Annexe 3



**Figure 10** : Filtration sur membrane



**Figure 11** : Incubateur



**Figure 12 :** Résultat du dénombrement de bactéries coliformes



**Figure 13 :** Gélose BEA (Bile Esculine Azoture)