

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité/Option : Biodiversité et Environnement

Département : Ecologie et Génie de l'Environnement

Thème

Etude et suivi de la qualité physico-chimique de l'eau potable dans la région de Guelma

Présenté par :

Mederegnarou Ilias

Devant le jury composé de :

Président : **Mme. Sansri Soraya** (MCA) Université de Guelma

Encadreur : **Mme. Baaloudj Affef.** (Pr.) Université de Guelma

Examineur : **Mme. Bouaouina Amel** (MAA) Université de Guelma

Juin 2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

*Je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers **mes parents**, qui ont été le pilier de mon parcours académique grâce à leur soutien inconditionnel. Leur encouragement et leur soutien moral ont été une source inestimable d'inspiration et de motivation tout au long de mon cheminement vers cet accomplissement.*

*Mes sincères remerciements vont à toutes les personnes ayant contribué au succès de mon mémoire. En particulier, je remercie **Pr. Baaloudj Affef** pour sa confiance tout au long de ces années, ainsi que tous ce qui ont été impliqués dans ce travail de recherche.*

*Je suis également reconnaissant envers les membres du jury, **Dr. Sansri Soraya** et **Mme. Bouaouina Amel**, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce modeste travail.*

Je tiens particulièrement à exprimer ma gratitude envers tous les enseignants du département d'Écologie et Génie de l'Environnement de l'université 8 mai 1945, Guelma, ainsi que le personnel administratif.

*Un merci spécial à **Mme Wahiba, Chahra**, et à toute l'équipe du Hammam Debagh Station de Traitement d'Eau. Leur expertise, disponibilité et soutien ont enrichi l'expérience. Leurs conseils éclairés et contributions ont grandement amélioré la qualité de ce mémoire.*

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réussite de ce travail de recherche. Votre encouragement a été très apprécié.

Merci à chacun pour votre contribution à ce mémoire.

Remerciement	
Liste des figures	
Liste des photos	
Liste des tableaux	
Liste des Abréviations	
Résumés	
Abstract	
ملخص	
Introduction	1
Chapitre : 01 Généralités sur l'eau potable.....	4
I - Définition et Origine.....	4
I.1 Définition de l'eau potable.....	4
I.2 Origine de l'eau potable	4
I.2.1 Eaux brutes	4
I.2.1.1 L'eau de surface.....	4
I.2.1.2 Les eaux souterraines.....	5
I.2.2 Eau traitée	5
I.3 Critères et normes de potabilité de l'eau.....	5
I.3.1 Paramètres organoleptiques	5
I.3.2 Paramètres physico-chimiques.....	6
I.3.2.1 Paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle de l'eau	6
I.3.2.2 Paramètres concernant les substances indésirables	7
I.3.3 Normes physico-chimiques de qualité de l'eau	9
II – La pollution de l'eau	10
II.1 Origine et Sources de pollution de l'eau	11
II.1.1 Pollution domestique.....	11
II.1.2 Pollution agricole.....	11
II.1.3 Pollution industrielle.....	11
II.2 Principaux polluants	12

II.2.1 Polluants physiques.....	12
II.2.2 Polluants chimiques	12
II.2.3 Polluants biologiques	12
Chapitre : 02 Matériel et méthodes	15
I - Présentation de la région d'étude	15
I.1 Cadre géographique et administratif de la région d'étude	15
I.1.1 Localisation du barrage de Hammam Debagh (Bouhamdane)	16
I.1.2. Localisation de la station de traitement	17
I.2 Cadre géologique	18
I.3 Reliefs	19
I.4 Situation hydrique	21
I.5 Cadre climatologique	21
I.5.1 La température	22
I.5.2 La précipitation.....	22
I.5.3 Le diagramme ombrothermique de Gaussen	23
II- Méthode de travail.....	24
II.1 Échantillonnage.....	24
II.1.1 Choix des sites de prélèvement.....	25
II.1.2 Technique de prélèvement.....	25
II.1.3 Conservation et transport d'échantillon	26
II.2 Analyses physico-chimiques	26
II.2.1 L'électrochimie	26
II.2.1.1 Le pH.....	26
II.2.1.2 La Température	26
II.2.1.3 La Conductivité électrique, Salinité et TDS	27
II.2.1.4 La turbidité.....	28
II.2.2 Volumétrie.....	29
II.2.2.1 Détermination de la matière en suspension (MES).....	29
II.2.2.2 Détermination de la matière organique (MO).....	30

II.2.2.3 Détermination des chlorures (Cl^-)	31
II.2.2.4 Détermination du résidu sec	32
II.2.3 Spectrophotomètre moléculaire	32
II.2.3.1 Nitrates (NO_3^-).....	32
II.2.3.2 Le fer (Fe^{2+})	33
Chapitre 03 : Résultats et discussion	36
I - Paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle de l'eau	36
I.1 Le potentiel d'hydrogène (pH)	36
I.2 La température.....	37
I.3 La conductivité électrique	37
I.4 La salinité.....	38
I.5 La turbidité	39
II - Paramètres concernant les substances indésirable	40
II.1 La matière en suspension (MES).....	40
II.2 La résidu sec	41
II.3 La matière organique (MO)	42
II.4 Les chlorures (Cl^-).....	42
II.5 Les nitrates (NO_3^-)	43
II.6 Le fer (Fe^{2+}).....	44
II.7 Le TDS.....	45
Conclusion	48
Références bibliographiques	

Liste des figures

Figure 1: Carte de localisation géographique de wilaya de Guelma	15
Figure 2: Carte administrative de la wilaya de Guelma..	16
Figure 3: Photo satellitaire du barrage Hammam Debagh	17
Figure 4: Photo satellitaire de la station de traitement de Hammam Debagh	18
Figure 5: Carte géologique de La région d'étude.	20
Figure 6: Températures moyennes mensuelles de la région d'étude en 2022.....	22
Figure 7: Précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude en 2022.....	23
Figure 8: Diagramme Ombrothermique de Gaussen de la région d'étude.....	24
Figure 9: Évolution du pH dans les sites de prélèvements.	36
Figure 10: Évolution de la température dans les sites de prélèvements.	37
Figure 11: Évolution de la conductivité électrique dans les sites de prélèvements.	36
Figure 12: Évolution de la salinité dans les sites de prélèvements.	39
Figure 13: Évolution de la turbidité dans les sites de prélèvements.	40
Figure 14: Variation des Matières en Suspension (MES) entre les Sites Étudiés en Février. .	39
Figure 15: Variation de Résidu sec (RS) entre les Sites Étudiés en Février.....	39
Figure 16: Variation de la matière organique (MO) entre les Sites Étudiés en Février.	42
Figure 17: Variation des chlorures (Cl ⁻) entre les Sites Étudiés en Février.	43
Figure 18: Variation des nitrates (NO ₃ ⁻) entre les Sites Étudiés en Février.	44
Figure 19: Variation du fer (Fe ²⁺) entre les Sites Étudiés en Février.	45
Figure 20: Évolution du TDS (Total des Sels Dissous) dans les sites de prélèvements.	46

Liste des photos

Photo 1: Multi-paramètre Portable HACH SL1000.....	27
Photo 2: Conductimètre WTW LF197.....	28
Photo 3: Turbidimètre HACH TL2300.....	28
Photo 4: Un dispositif de filtration.....	28
Photo 5: Évaporation de l'échantillon à sec au bain-marie.....	31
Photo 6: Spectrophotomètre d'absorption moléculaire HACH DR6000.	34

Liste des tableaux

Tableau 1: Concentrations maximales admissibles dans l'eau destinée à la consommation humaine selon l'OMS (2017) et le journal algérien	10
Tableau 2: Récapitulatif des fréquences de prélèvements.	25

Liste des Abréviations

ADE : Algérienne des Eaux.

ANBT : L'agence nationale des barrages et transferts

C° : Degré Celsius.

CE : Conductivité électrique

Cl : Chlorures

Fig : Figure

H : Hammam

NTU : Néphélométrie Turbidity Unit.

µs/cm : Micro siemens sur centimètre.

TDS : Total Dissolve Solides

Mg/l : Milligramme par litre

NaCl : Chlorure de sodium.

H₂SO₄ : Acide sulfurique

Hm³ : Hectomètre cube

KCl : Chlorure de potassium

Km : Kilomètre

Km² : Kilomètres Carrée.

L : Litre

m : Mètre

m² : Mètres Carrée.

MES : Matières en suspension.

MO : Matières organique.

mg : Milligramme.

ml : Millilitre.

OMS : Organisation Mondial de Santé.

% : Pourcent.

mm: Millimètre

S1: Site 1

mm² : Millimètre carré

N/A : (Non Applicable / Non Disponible)

JORADP : Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire

NH₄⁺ : L'ion ammonium

nm : Nanomètre

NO₂⁻ : Nitrite

NO₃⁻ : Nitrate

P₁ : Poids des membranes avant filtration.

P₂ : Poids des membranes après filtration.

pH : Potentielle Hydrogène.

PP : Le poids plein de la capsule

PV : Le poids de la capsule vide

NaOH : Hydroxyde de sodium

RS : Résidus secs

S2 : Site 2

S3 : Site 3

T : Température

V : Volume

Résumé

Le but de notre travail est de contribuer à l'étude de la qualité de l'eau potable dans la wilaya de Guelma. Nous avons sélectionné trois sites de prélèvement représentatifs : le robinet d'eau traitée du barrage Bouhamdane, le robinet d'eau du forage Bouzitoune 2 et celui du forage Bouzitoune 4. Ces sites ont été choisis avec soin pour couvrir diverses sources d'approvisionnement en eau, essentielles à une analyse complète de la qualité de l'eau potable dans la région. Nous avons évalué un ensemble de paramètres physico-chimiques, notamment la température, le pH, la conductivité électrique, la salinité, la turbidité, les TDS, la matière organique, les MES, le résidu sec, les nitrates, les chlorures et le fer. Les résultats obtenus confirment que les eaux traitées du barrage ainsi que celles des forages, destinées à la consommation humaine, assurent un approvisionnement sûr en eau potable, respectant les normes nationales et internationales, notamment celles de l'OMS.

Mots clés : Eau potable, Qualité de l'eau, Paramètres physico-chimiques, Guelma.

Abstract

The purpose of our work is to contribute to the study of the quality of drinking water in the province of Guelma. We selected three representative sampling sites: the treated water taps from the Bouhamdane dam, the water taps from the Bouzitoune 2 borehole, and the Bouzitoune 4 borehole. These sites were carefully chosen to cover various water supply sources, essential for a comprehensive analysis of drinking water quality in the region. We evaluated a set of physicochemical parameters, including temperature, pH, electrical conductivity, salinity, turbidity, TDS, organic matter, suspended solids, dry residue, nitrates, chlorides, and iron. The results obtained confirm that both the treated dam waters and those from the borholes, intended for human consumption, provide a safe supply of drinking water, meeting national and international standards, including those of the World Health Organization (WHO).

Keywords: Drinking water, Water quality, Physicochemical parameters, Guelma.

ملخص

هدف عملنا هو المساهمة في دراسة جودة مياه الشرب في ولاية قالمة. قمنا باختيار ثلاثة مواقع تمثيلية لأخذ العينات: صنوبر المياه المعالجة من سد بوحمدان، وصنوبر مياه من بئر بوزيتون 2، وصنوبر من بئر بوزيتون 4. تم اختيار هذه المواقع بعناية لتغطية مصادر متنوعة لتوزيع المياه، وهي ضرورية لتحليل شامل لجودة مياه الشرب في المنطقة. قمنا بتقييم مجموعة من المعلمات الفيزيائية والكيميائية، بما في ذلك درجة الحرارة ومستوى الحموضة (pH) والتوصيلية الكهربائية والملوحة والعمارة والمواد الصلبة المذابة (TDS) والمواد العضوية والمواد العالقة (MES) والمخلفات الجافة والنترات والكلوريدات والحديد. أكدت النتائج المتحصل عليها أن المياه المعالجة من السد بالإضافة إلى تلك الخاصة بالآبار المخصصة لاستهلاك الإنسان توفر توزيعاً آمناً للمياه الصالحة للشرب، متوافقة مع المعايير الوطنية والدولية، بما في ذلك تلك التابعة لمنظمة الصحة العالمية.

الكلمات الرئيسية: مياه الشرب، جودة المياه، المعلمات الفيزيائية والكيميائية، قالمة.



Introduction

Introduction

Malgré de l'abondance d'eau sur notre planète, seule une infime partie est disponible sous forme d'eau douce, et une fraction encore plus minime est directement utilisable pour la consommation humaine sans traitement préalable (**Ministère de la Transition Écologique, 2022**).

L'eau potable revêt une importance cruciale, particulièrement dans des régions comme l'Algérie, où sa rareté est exacerbée par des facteurs tels que la sécheresse. La crise de l'eau dans le pays ces dernières années a mis en évidence l'urgence d'accorder une attention accrue à la gestion et à la préservation de cette ressource vitale (**Remini, 2010**).

Cette nécessité est d'autant plus significative lorsqu'on considère l'utilisation de l'eau dans divers secteurs comme l'agriculture, l'industrie, la santé et les loisirs. Cependant, la qualité de l'eau, en particulier celle destinée à la consommation humaine, est souvent compromise par la pollution, nécessitant ainsi des traitements coûteux pour garantir sa potabilité (**Festy *et al.*, 2003**).

L'accès à une eau potable propre et sûre est un droit fondamental pour tous les individus, comme le souligne l'Organisation mondiale de la santé (**OMS, 2017**). Néanmoins, les maladies résultant de la contamination de l'eau potable représentent un fardeau significatif pour la société, soulignant ainsi l'urgence d'intervenir efficacement pour assurer une qualité de l'eau de boisson et protéger la santé publique.

L'eau potable en Algérie provient soit de sources souterraines, soit d'eaux de surface où la majorité de la population dépend des réseaux publics de distribution pour son approvisionnement en eau potable. Ces réseaux doivent répondre à des normes de qualité rigoureuses établies par les autorités nationales (**Kahoul et Touhami, 2014**).

Le laboratoire d'analyse de Hammam Debagh joue un rôle essentiel dans le suivi de la station de traitement en confirmant la qualité potable de l'eau après traitement et en anticipant les mesures nécessaires grâce à des analyses pour atteindre les normes requises.

Introduction

Notre objectif est de réaliser une étude comparative au niveau de la station de traitement de l'eau sur la qualité physico-chimique de l'eau traitée provenant du barrage de Bouhamdane et de l'eau des forages de Bouzitoune 2 et 4, toutes destinées à la consommation humaine.

Ce mémoire comporte 3 chapitres :

Chapitre I : explore la définition et les origines de l'eau potable, ainsi que les normes de qualité qui la régissent. Il aborde également les sources de pollution et les principaux polluants.

Chapitre II : Ce chapitre offre une vue détaillée de la région d'étude, ainsi que des méthodes utilisées dans la recherche. Il aborde les paramètres physico-chimiques de l'eau et les étapes de la méthodologie employée.

Chapitre III : concentre sur la présentation des résultats obtenus, leurs discussions, suivi de la conclusion.

Chapitre 01
Généralités sur l'eau
potable

Chapitre : 01 Généralités sur l'eau potable

I - Définition et Origine

I.1 Définition de l'eau potable

L'eau potable est spécifiée pour la consommation humaine, écartant la présence d'agents pathogènes, de substances toxiques et d'éléments chimiques indésirables. Sa composition et ses caractéristiques font l'objet d'un contrôle rigoureux dans le but d'éviter tout effet néfaste sur la santé des consommateurs. **(Grosclaude, 1999).**

I.2 Origine de l'eau potable

I.2.1 Eaux brutes

L'eau brute, désigne l'eau prélevée pour alimenter un système de distribution d'eau potable sans subir de traitement de potabilisation initial. Ce terme englobe également l'eau captée ou recueillie qui alimente une station de traitement, avant de subir des traitements pour la rendre conforme aux normes de consommation humaine. Il est à noter que plusieurs réserves d'eau naturelles, telles que les eaux souterraines et de surface, peuvent servir à alimenter les unités de production d'eau potable. **(Direction de l'eau potable et des eaux souterraines, Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, [Québec], 2021 ; Hadda, 2022).**

I.2.1.1 L'eau de surface

L'eau de surface, qu'elle se trouve dans un ruisseau tranquille, un lac majestueux ou un océan vaste, est une ressource vitale et dynamique. La qualité et la disponibilité de cette eau dépendent de divers facteurs tels que le climat, la topographie, la végétation et les activités humaines dans la région. Bien que l'eau de surface soit souvent utilisée pour les systèmes d'approvisionnement en eau urbaine en raison de son abondance, elle nécessite des mesures de traitement et de gestion appropriées pour garantir sa sécurité et sa durabilité. **(Katsanou et Karapanagioti, 2019).**

I.2.1.2 Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont une ressource vitale pour les zones rurales, fournissant de l'eau potable fiable et soutenant les activités agricoles via des puits de forage. Bien qu'elles bénéficient d'une certaine protection naturelle grâce à leur profondeur et à la nature géologique des sols environnants, elles demeurent vulnérables à la contamination, qu'elle provienne de sources industrielles, agricoles ou domestiques. (Festy *et al.*, 2003).

I.2.2 Eau traitée

L'eau traitée désigne l'eau qui a subi un processus complet de purification afin de la rendre conforme aux normes de potabilité. Ce processus peut inclure plusieurs étapes, telles que la décantation accélérée, la filtration sur lit de sable ou sur des filtres en matériaux céramiques ou cellulosiques, ainsi que l'élimination des composés organiques ou minéraux indésirables par adsorption sur du charbon actif ou sur une résine échangeuse d'ions. De plus, la désinfection est essentielle pour éliminer les micro-organismes présents dans l'eau traitée, en utilisant des méthodes telles que l'ozone, le chlore, le bioxyde de chlore ou les dichloramines. Par ailleurs, une post-chloration est souvent réalisée avant l'envoi dans le réseau ou les réservoirs pour maintenir une teneur résiduelle en chlore libre actif. Le traitement de l'eau varie en fonction de la qualité de l'eau brute et peut être plus simple pour les eaux souterraines bien protégées, tandis qu'il peut nécessiter plusieurs étapes pour les eaux de surface contenant divers polluants chimiques et biologiques. (Festy *et al.*, 2003 ; Katsanou et Karapanagioti, 2017).

I.3 Critères et normes de potabilité de l'eau

I.3.1 Paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques de l'eau, tels que le goût, l'odeur, la turbidité et la couleur, revêtent une importance capitale pour les consommateurs en matière de qualité de l'eau. (Couillard *et al.*, 1992).

➤ **La couleur**

La couleur de l'eau est un indicateur crucial de sa qualité pour la consommation humaine. Une eau potable doit être incolore en petite quantité, mais peut présenter une légère teinte bleue sous une grande épaisseur. **(Coreil, 1896).**

➤ **L'odeur**

L'eau destinée à la consommation doit être exempte de toute odeur. La moindre présence d'odeur peut signaler une contamination potentielle ou la dégradation de matières organiques dans l'eau. **(Rodier *et al.*, 2016).**

➤ **La saveur**

Une eau potable doit être fraîche et agréable. Il est important de surveiller tout goût fade, amer ou salé, qui peut indiquer un problème de qualité. **(Coreil, 1896).**

Note : Les changements observés dans l'apparence, l'odeur ou le goût de l'eau potable peuvent être des signes révélateurs de modifications dans la qualité de la source d'eau brute ou des défaillances dans le processus de traitement **(OMS, 2017).**

I.3.2 Paramètres physico-chimiques

I.3.2.1 Paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle de l'eau

➤ **Le pH**

Le pH d'une eau est un élément clé dans l'étude de l'activité chimique des ions hydrogène en solution, et il est essentiel pour analyser et préserver la qualité de l'eau en identifiant avec précision son niveau d'acidité ou de basicité. **(Fondation Nationale de la Santé, 2013 ; Orelie, 2017).**

➤ **La température**

La température est un paramètre très important pour la qualité de l'eau potable parce qu'elle est à l'origine des réactions chimiques, biologiques et physiques. **(Couillard *et al.*, 1992).**

➤ **La conductivité électrique**

La conductivité électrique, reflétant la capacité d'une eau à conduire un courant électrique, est influencée par divers facteurs tels que la concentration en substances dissoutes, la charge ionique, l'aptitude à l'ionisation, la mobilité des particules, et la température. Cette caractéristique constitue un indicateur de l'abondance des ions présents dans l'eau, avec une contribution significative des acides, bases inorganiques et sels à cette mesure. Ainsi, l'évaluation de la conductivité permet une estimation fiable du degré de minéralisation d'un échantillon (Nouayti *et al.*, 2015 ; Painchaud, 1997).

➤ **La turbidité**

La turbidité est un critère important pour évaluer la qualité de l'eau. Elle est provoquée par la présence de particules en suspension dans l'eau, ce qui affecte l'efficacité des processus de traitement et de désinfection. Bien qu'elle ne soit pas directement liée à la santé, maintenir une faible turbidité est crucial pour que l'eau soit acceptable pour les consommateurs. La turbidité de l'eau résulte principalement de la présence de particules solides en suspension, ce qui réduit sa transparence. Elle peut également être causée par des algues, du plancton, de la matière organique, ainsi que diverses substances telles que le zinc, le fer, le manganèse et le sable, provenant de processus naturels d'érosion ou de rejets domestiques et industriels. En outre, la turbidité est utilisée comme indicateur de la qualité sanitaire et est une norme organoleptique pour l'eau destinée à la consommation humaine. (Orélien, 2017 ; Fondation Nationale de la Santé [Brésil], 2013).

I.3.2.2 Paramètres concernant les substances indésirables

➤ **Les Chlorures (Cl) :**

Les chlorures, sont des anions inorganiques importants présents en concentrations variables dans les eaux naturelles sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl), sont couramment employés comme indicateur de pollution. Présents dans toutes les eaux, leur présence varie considérablement et peut être d'origine naturelle. Des

niveaux élevés de chlorure peuvent altérer la qualité sensorielle de l'eau et des boissons en leur conférant un goût salé. (Nouayti *et al.*, 2015 ; OMS, 2017).

➤ **Les Nitrites (NO_2^-) :**

Les nitrites peuvent être présents dans les eaux, généralement à des concentrations faibles. Ils sont produits naturellement par l'oxydation de l'azote par les microorganismes. Cependant, l'activité humaine, notamment l'agriculture, le traitement des eaux usées, ainsi que les rejets industriels et automobiles, constitue la principale source de ces substances. Le nitrate et le nitrite peuvent également être générés par un processus de nitrification dans l'eau de source ou dans les réseaux de distribution. Une concentration élevée d'ammoniac libre dans le réseau de distribution peut favoriser la nitrification et entraîner une augmentation des niveaux de nitrite dans l'eau potable (El Ouedghiri *et al.*, 2014 ; Santé Canada, 2013).

Les nitrites (NO_2^-) sont toxiques pour les êtres vivants. Chez les nouveau-nés, ils peuvent provoquer la conversion de l'hémoglobine du sang en une substance proche, la méthémoglobine, qui ne remplit plus son rôle dans l'oxygénation des cellules et des tissus, lorsque les concentrations atteignent des valeurs élevées. (El Ouedghiri *et al.*, 2014).

➤ **Les Nitrates (NO_3^-) :**

Les nitrates (NO_3^-) sont des composés qui se forment naturellement sous l'influence oxydative des micro-organismes à partir de l'ion ammonium (NH_4^+). Cette transformation est un aspect essentiel du cycle de l'azote dans les écosystèmes aquatiques (Levallois et Phaneuf, 1992).

Les nitrates présentent une forte solubilité dans l'eau, ce qui explique leur présence fréquente dans l'eau du robinet à des niveaux proches des limites légales, en raison de l'usage accru d'engrais azotés depuis les années 1950. L'augmentation des concentrations en NO_3^- dans les sources d'eau, y compris les nappes souterraines, a un impact direct sur la qualité de l'eau brute utilisée pour la production d'eau potable (Banas et Lata, 2006).

➤ **L'ammonium NH_4^+ :**

L'azote ammoniacal, en tant que gaz soluble dans l'eau, constitue un élément clé du cycle complexe de l'azote dans son état primitif, comme souligné par Chapman et al. (1996, in N'Diaye et Salem, 2013). L'ammonium, produit de la réduction finale des substances organiques azotées et de la matière inorganique dans les eaux et les sols, est généralement indicatif d'un processus de dégradation incomplet de la matière organique dans l'eau. Cette dégradation résulte souvent de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates. Par conséquent, l'ammonium est largement reconnu comme un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des déchets organiques d'origine agricole, domestique ou industrielle, comme le soutient Achour, (2001) in Djadouni, (2017).

I.3.3 Normes physico-chimiques de qualité de l'eau

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) établit des normes internationales pour la qualité de l'eau potable, largement reconnues à travers le monde. Cependant, de nombreux pays, dont l'Algérie, ont élaboré leurs propres normes spécifiques afin de garantir un approvisionnement en eau répondant aux exigences locales et aux caractéristiques environnementales uniques. Le tableau 1 présente la concentration maximale admissible selon les normes de l'OMS et les normes algériennes.

Tableau 1: Concentrations maximales admissibles dans l'eau destinée à la consommation humaine selon l'OMS (2017) et le journal algérien (JORADP, 2014).

Paramètres	Unités	Journal Algérien	OMS
pH	Unité pH	6.5 - 9	6.5 - 8.5
Température	°C	25	N/A
Turbidité	NTU	5	5
Conductivité	µS/cm	2800	N/A
Nitrates	mg/l	50	50
Nitrites	mg/l	0,2	3
Chlorures	mg/l	500	250
Ammonium	mg/l	0,5	N/A

II – La pollution de l'eau

La pollution de l'eau représente une altération défavorable des caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques de cette ressource vitale, induite par le déversement de produits liquides, solides ou gazeux. Qu'il s'agisse des eaux superficielles comme les rivières et les lacs, des nappes souterraines ou même des océans, les causes de la pollution sont souvent similaires. Les rejets conscients, subreptices ou accidentels sont responsables de la contamination de cette précieuse ressource, mettant en péril la santé des écosystèmes aquatiques et la disponibilité d'eau potable pour les populations humaines. (Chartier, 1974).

II.1 Origine et Sources de pollution de l'eau

II.1.1 Pollution domestique

Elle englobe les rejets liquides, tels que les eaux usées domestiques et urbaines, ainsi que des déchets solides provenant des décharges publiques. Ces décharges, souvent incontrôlées, contiennent une variété de déchets organiques qui, lorsqu'ils entrent en contact avec les eaux de pluie, sont transportés vers les eaux de surface et peuvent infiltrer les nappes phréatiques. Les eaux usées, qu'elles soient d'origine urbaine, domestique ou industrielle, sont couramment déversées directement dans les cours d'eau sans traitement préalable, exacerbant ainsi les problèmes de pollution de l'eau. **(Touati, 2020).**

II.1.2 Pollution agricole

La pollution agricole est principalement diffuse, provenant de l'ensemble du territoire agricole plutôt que de points précis. Les polluants agricoles ne peuvent pas être traités dans une station d'épuration car ils atteignent les cours d'eau par le ruissellement de surface ou souterrain. L'intensification des cultures et l'utilisation excessive d'engrais et de pesticides ont entraîné une dégradation des sols et augmenté l'érosion, transportant ainsi divers contaminants vers les cours d'eau. **(Hébert et Légaré, 2000).**

II.1.3 Pollution industrielle

La plupart des industries sont une source majeure de pollution, émettant une variété de résidus de fabrication sous forme gazeuse, liquide ou solide. Ces résidus, souvent dispersés dans l'environnement, peuvent retourner au sol avec les précipitations, contaminant ainsi les eaux superficielles. Les déchets liquides sont généralement évacués par les égouts ou déversés directement dans les cours d'eau, tandis que les déchets solides peuvent être incinérés, déposés dans des décharges ou laissés exposés aux intempéries, libérant des substances polluantes qui se dissolvent ensuite dans les eaux météoriques, en particulier vers les eaux souterraines. **(Chartier, 1974).**

II.2 Principaux polluants

II.2.1 Polluants physiques

La pollution physique représente une préoccupation majeure en matière de santé environnementale. Elle peut inclure des déchets solides, des particules en suspension, des rejets thermiques ou des radiations, contribuant ainsi à la dégradation de la qualité de l'air, de l'eau ou du sol (**Chartier, 1974**).

II.2.2 Polluants chimiques

La pollution chimique de l'eau est très répandue, fortement ressentie et extrêmement variée. Elle implique une multitude de contaminants. D'une part, les polluants organiques, liés à diverses activités humaines, posent des problèmes différents en fonction de leur solubilité, de leur persistance et de leur impact sur les eaux, les sols et la chaîne alimentaire. Ces polluants incluent les détergents, les produits phytosanitaires, les solvants et les hydrocarbures, dont la quantité potentielle est incalculable. D'autre part, les polluants inorganiques tels que les chlorures, les nitrates et les phosphates, ainsi que des métaux lourds comme le plomb, le mercure et le cadmium, contribuent à des effets néfastes sur les écosystèmes aquatiques et présentent des risques pour la santé humaine. (**Festy *et al.*, 2003**).

II.2.3 Polluants biologiques

La pollution biologique, résultant d'un déséquilibre dans les milieux environnants, est souvent alimentée par un surdéveloppement de micro-organismes ou de végétaux, qu'ils soient microscopiques ou macroscopiques. Parmi ces polluants, on retrouve les redoutables micro-organismes pathogènes tels que les bactéries, les virus et les parasites. Leur présence dans l'eau présente des risques significatifs pour la santé humaine, étant donné leur capacité à contaminer et à provoquer diverses maladies chez les populations exposées. Parallèlement, les algues microscopiques, notamment les cyanobactéries, contribuent également à cette pollution en produisant des toxines potentiellement dangereuses. Leur prolifération excessive peut entraîner des

conséquences néfastes pour les écosystèmes aquatiques et pour les eaux potables. (Festy *et al.*, 2003 ; Touati, 2020).

Chapitre 02
Matériel et méthodes

Chapitre : 02 Matériel et méthodes

I - Présentation de la région d'étude

I.1 Cadre géographique et administratif de la région d'étude

La wilaya de Guelma, située au Nord-est de l'Algérie, est considérée comme un point de rencontre entre six wilayas (**Fig.01**) : au nord, la wilaya d'Annaba ; au nord-est, la wilaya de Skikda ; à l'est, la wilaya de Souk Ahras ; au sud, la wilaya d'Oum El-Bouaghi ; à l'ouest, la wilaya de Constantine ; et au nord-ouest, la wilaya d'El-Tarf. Cette région s'étend sur une superficie de 3 686,84 km² et a été créée en 1974. Elle comprend actuellement 10 daïras et 34 communes. (**Fig.02**). [1].

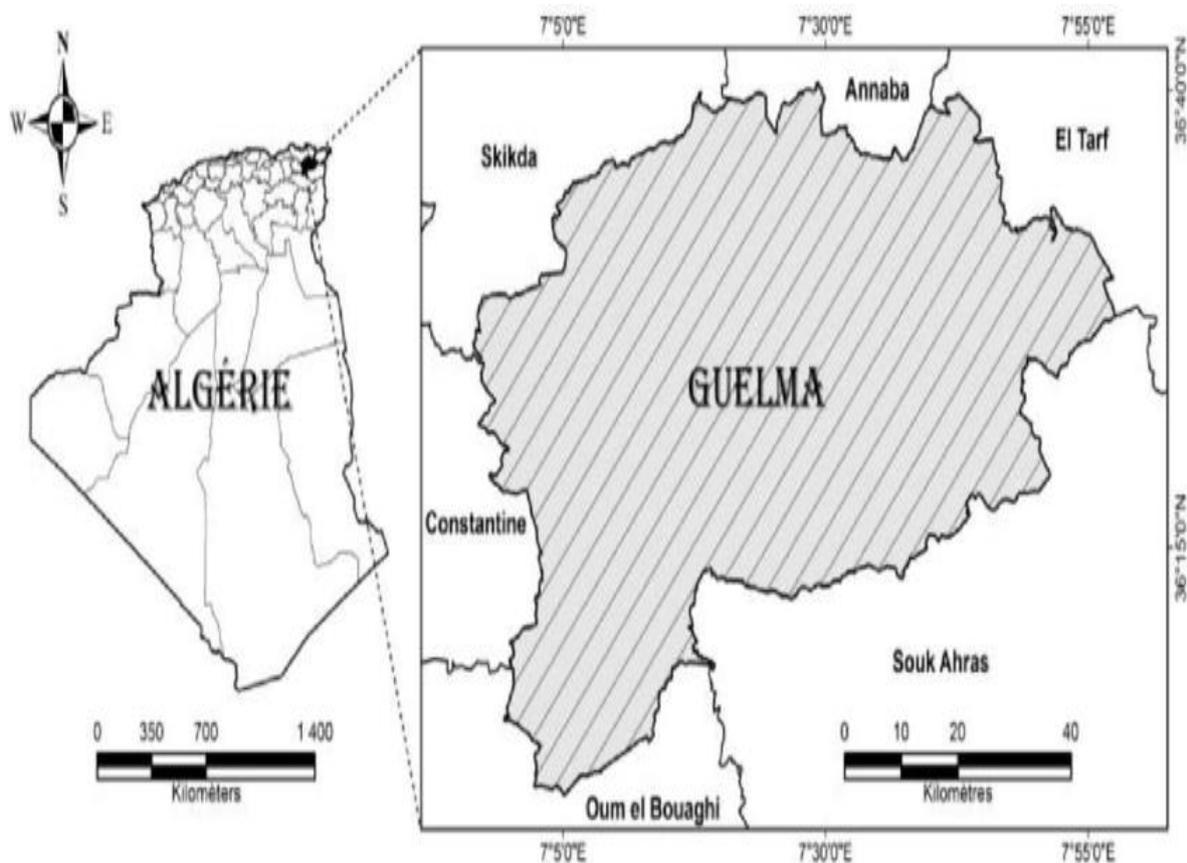


Figure 1: Carte de localisation géographique de wilaya de Guelma. (Soltani *et al.*, 2019)



Figure 2: Carte administrative de la wilaya de Guelma. (ANIREF, 2023).

I.1.1 Localisation du barrage de Hammam Debagh (Bouhamdane) :

Le barrage de Hammam Debagh (Fig.03), situé à environ 25 kilomètres à l'ouest du chef-lieu de la wilaya de Guelma, est un ouvrage hydraulique crucial en Algérie. Relevant de l'Agence nationale des barrages et transferts (ANBT), il est conçu pour deux principales fonctions : l'alimentation en eau potable et l'irrigation des terres agricoles. Avec une capacité impressionnante de 220 millions de mètres cubes, il se classe parmi les plus grands barrages du pays.[4] et [2].

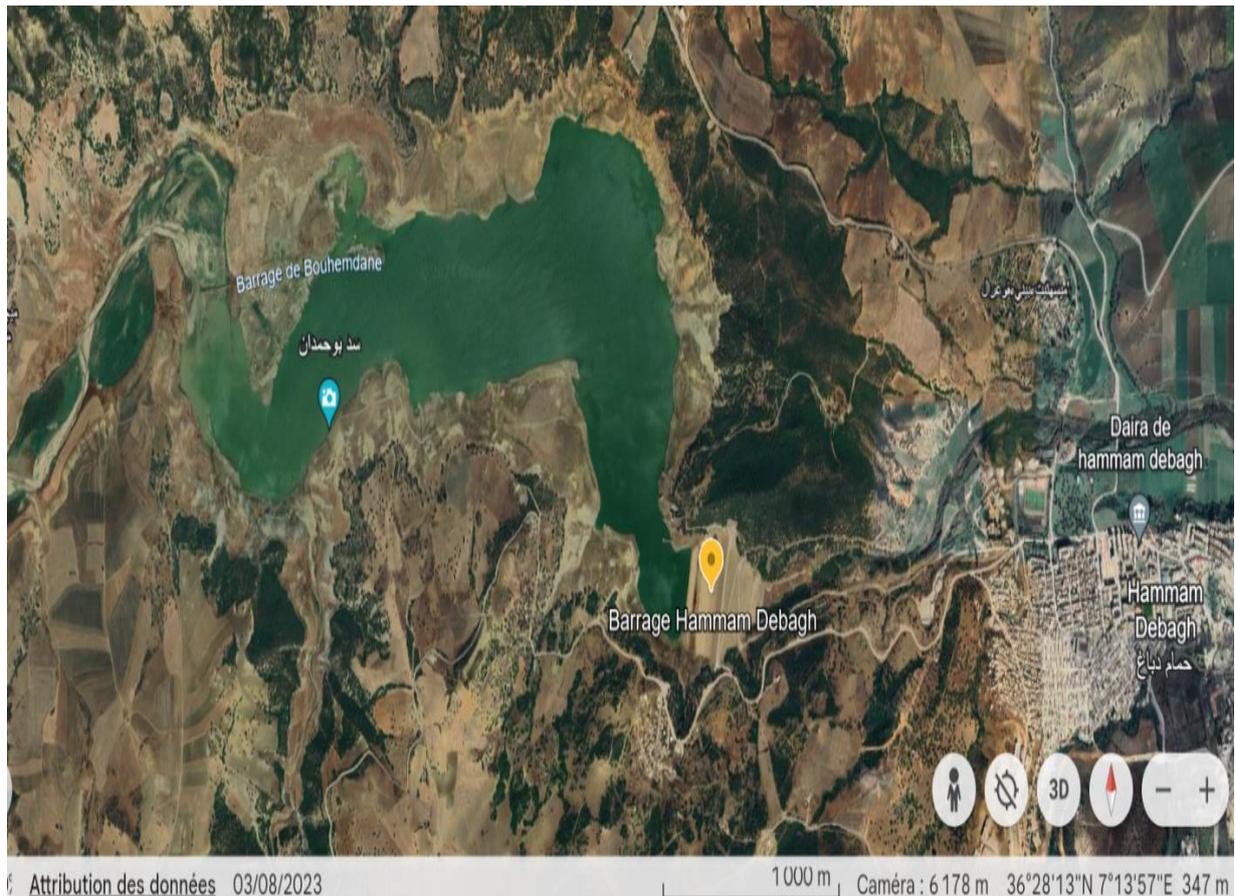


Figure 3: Photo satellitaire du barrage Hammam Debagh (Google Earth, 2023).

I.1.2. Localisation de la station de traitement :

La station de traitement Hammam Debagh se situe dans la commune de Hammam Debagh, Province de Guelma (**Fig.04**). Elle effectue le traitement de l'eau et le pompage, avec une capacité de production de 500 litres par seconde. Elle est alimentée par le barrage Hammam Debagh. Les communes desservies incluent Hammam Debagh, Houari Boumediene, Majaz Ammar, Guelma Ville et Ben Jarrah. La superficie totale est de 3,5 hectares, avec une superficie bâtie de 4345 m². Il comprend une chaîne de transformation, un laboratoire de contrôle qualité et un entrepôt de produits chimiques. Récemment, la capacité de production et la surface bâtie ont été doublées pour atteindre 1000 litres par seconde. (ADE Guelma, 2024).

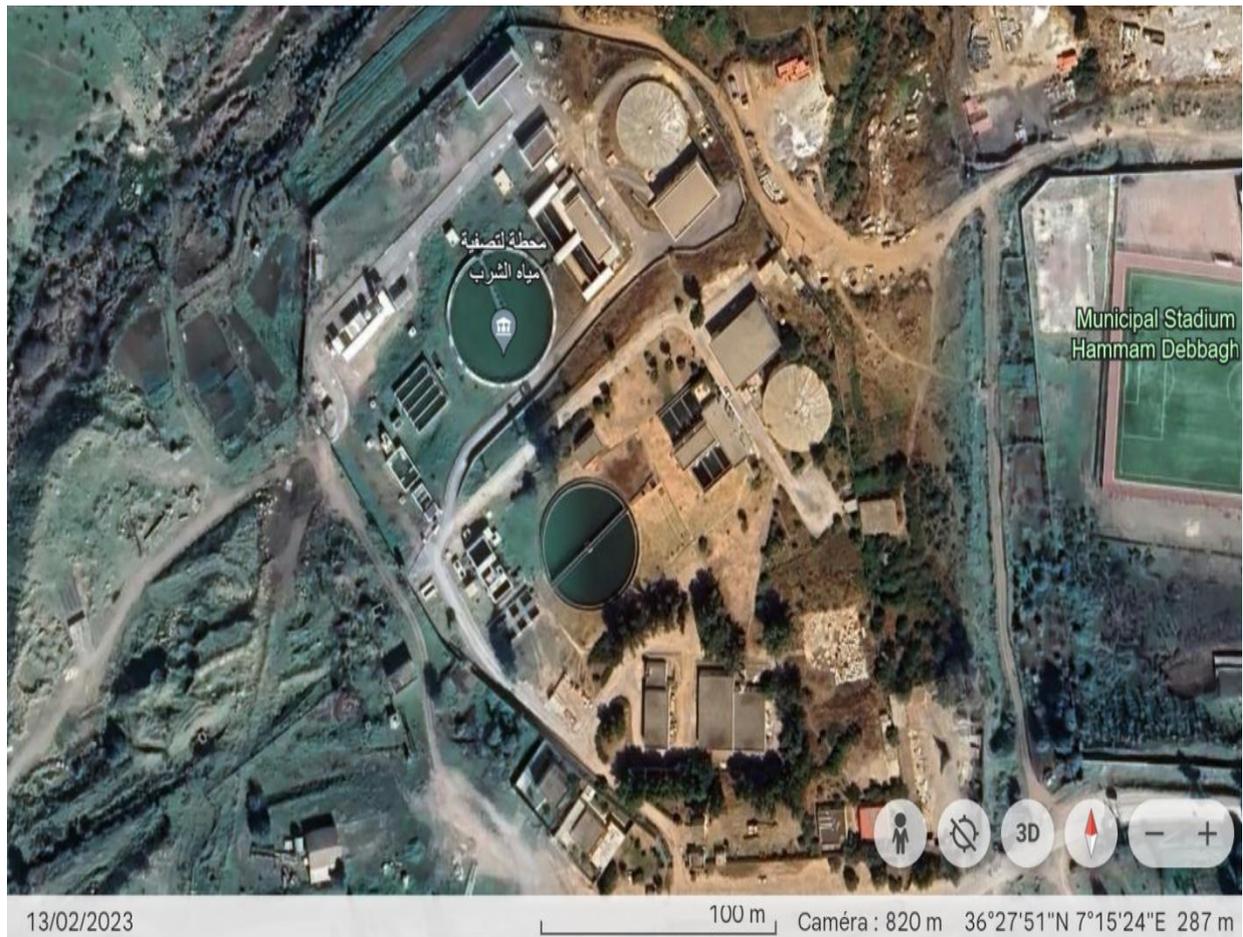


Figure 4: Photo satellitaire de la station de traitement de Hammam Debagh (**Google Earth, 2023**).

I.2 Cadre géologique :

La région d'étude appartient à l'ensemble géologique du Tell externe (**Fig.05**). De haut en bas, on distingue :

Les formation Quaternaire est situé le long de la vallée de la Seybouse et est représenté par des terrasses telles que la terrasse inférieure (Solatnien), la terrasse moyenne (Tensiftien) et la terrasse supérieure (Salétien).

Les formations du Mio-Pliocène sont principalement constituées d'argiles grises avec des intercalations de marno-calcaire et de gypse en couches minces, surmontant des argiles et des conglomérats rouges.

Le domaine numide se caractérise par un faciès argilo-gréseux situé au sommet des reliefs, composé d'argiles d'âge Oligocène moyen à supérieur surmontées d'une épaisse série gréseuse d'âge aquitain.

Les formations du flysch comprennent le Sénonien, caractérisé par une série conglomératique et argileuse représentant le faciès méridional des flysch, et le Cénomaniens-Turonien, représenté par des niveaux clairs bréchifiés classés en bandes blanches silicifiées.

Le Crétacé inférieur est une série d'intercalations argilo-schistes grises ou brunâtres, avec quelques dépôts calcaires à la base.

Le domaine tellien est une série épaisse à dominante marneuse du sillon tellien, tandis que le domaine ultra-tellien désigne une série superposée anormalement au Crétacé néritique constantinien dans la région de Guelma, caractérisée par la dominance des faciès clairs tout au long du Crétacé.

Les écailles du Sellaoua sont constituées de formations paléogènes, comprenant des unités telliennes à Globigerins et une unité tellienne aux Nummulites.

Les formations néritiques constantiniennes représentent l'extrémité orientale du domaine néritique, isolées et de tailles variables. (**Agaguena et al., 2023**).

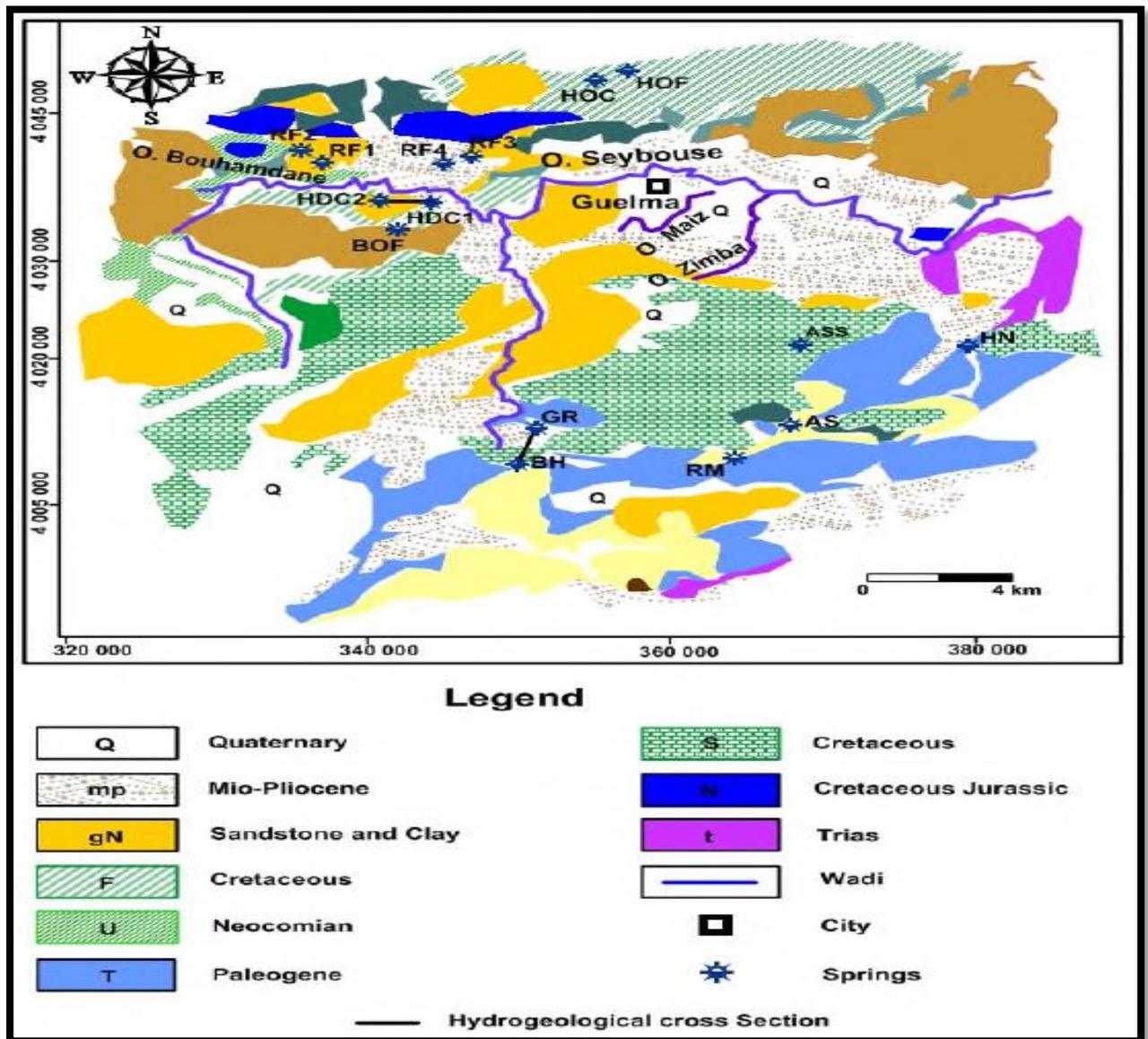


Figure 5: Carte géologique de La région d'étude. (Agaguena *et al.*, 2023).

I.3 Reliefs

Le relief de la wilaya de Guelma présente une diversité de formes, répartie proportionnellement comme suit :

Montagnes : Elles représentent la plus grande part du relief, couvrant près de 37,82% de la superficie totale. Parmi les montagnes les plus notables figurent :

- Mahouna (Ben Djerrah) : 1 411 m d'altitude
- Houara (Ain Ben Beidha) : 1 292 m d'altitude
- Taya (Bouhamdane) : 1 208 m d'altitude
- D'bagh (Hammam Debagh) : 1 060 m d'altitude

Plaines et plateaux : Ils occupent environ 27,22% de la région, fournissant des terres fertiles pour l'agriculture et des zones propices à l'urbanisation.

Les collines et piémonts : couvrant près de 26,29% de la superficie, représentent une part significative du relief de la région.

Autres : Cette catégorie, bien que représentant une part plus modeste de 8,67%, contribue également à la variété du relief de la région. (ANIREF, 2023).

I.4 Situation hydrique :

La région dispose de nombreuses ressources hydrauliques, notamment les barrages de Bouhamdane à Hammam Debagh avec un volume de 184,3 Hm³, Medjez El Begar à Ain Makhoulouf avec 2,86 Hm³, et Hajar guefata à Nechmaya avec 0,44 Hm³, ainsi que 15 retenues collinaires. En ce qui concerne les eaux souterraines, cinq nappes différentes sont identifiées, couvrant diverses zones telles qu'une nappe alluviale couvrant Guelma, Belkheir et Boumahra Ahmed, la nappe calcaire du crétacé supérieur dans la plaine de Tamelouka, une autre à Hammam Bradaa entre Héliopolis et Guelaat Bou Sbaa, la nappe d'oued Halia, et la nappe de la plaine de Bouchegouf. En outre, environ 1040 sources naturelles ont été répertoriées (ANIREF, 2023). La région est également drainée par plusieurs oueds, y compris Oued Bouhamdane prenant son origine à l'Ouest, Oued Mellah venant du Sud-est, Oued Charef prenant sa source au Sud de la Wilaya, et Oued Seybouse, le principal cours d'eau prenant sa source à Medjez Amar et traversant la plaine Guelma-Bouchegouf sur une distance de plus de 45 km. Par ailleurs, Guelma est renommée pour ses sources thermales réputées telles que Hammam Debagh, H. N'Bails, H. Ouled Ali, H. Berda, H. Guerfa. (Zouak *et al.*, 2014).

I.5 Cadre climatologique :

La région d'étude présente un climat méditerranéen, avec des hivers doux et pluvieux ainsi que des étés chauds. Cependant, cette classification générale masque une diversité de conditions climatiques à l'intérieur de la région. Au centre et au nord, le climat est subhumide, caractérisé par des précipitations plus abondantes. En revanche, au sud, le climat devient semi-aride, avec des précipitations moins importantes et des conditions plus sèches. (ANDI, 2013 *in* Agaguena *et al.*, 2023).

I.5.1 La température

Selon le cours "Analyse des paramètres du climat" de l'Université Frères Mentouri - Constantine 1 (2023), La température joue un rôle crucial dans les processus hydrologiques, influençant directement les paramètres du bilan hydrologique. L'analyse des températures moyennes mensuelles et annuelles est essentielle car elle nous permet d'évaluer les déficits d'écoulement des bassins.

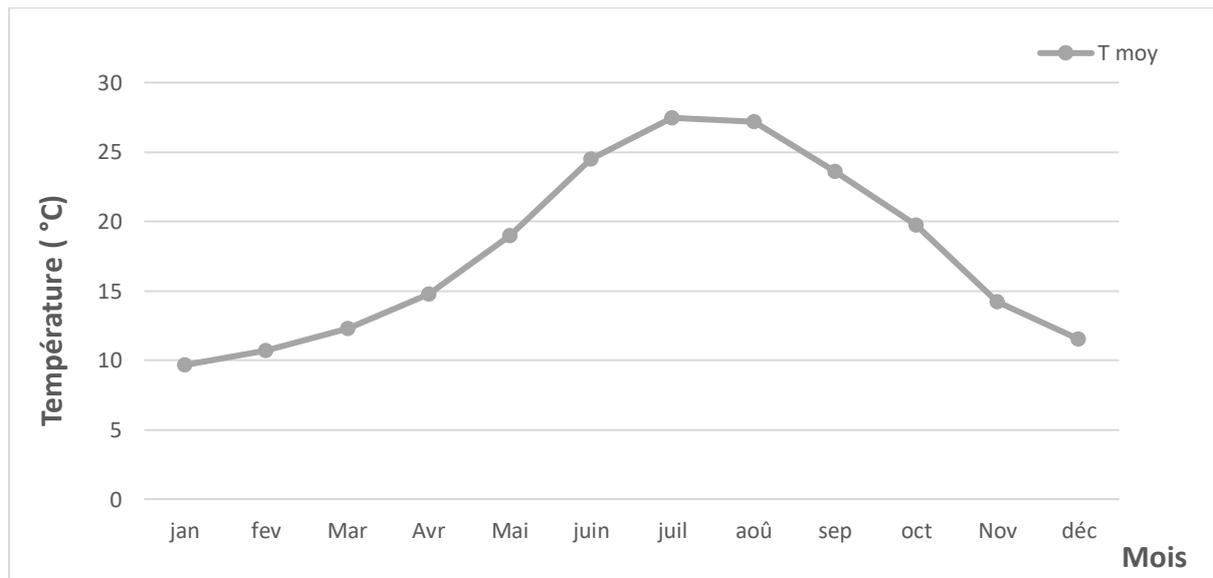


Figure 6: Températures moyennes mensuelles de la région d'étude en 2022. (Bacil *et al.*, 2023).

D'après la figure 06 janvier est le mois le plus froid, avec une moyenne de 9,66 °C, tandis que juillet est le mois le plus chaud, avec une moyenne de 27,46 °C.

I.5.2 La précipitation

Les précipitations sont la principale source d'eau pour les grands systèmes hydrologiques terrestres, tels que les bassins versants. Elles regroupent toutes les formes d'eau météorique qui tombent sur la surface de la terre, qu'il s'agisse de pluie, de neige, de grésil, de grêle, de rosée, ou de givre. Ces précipitations sont déclenchées par des variations de température ou de pression atmosphérique. [3].

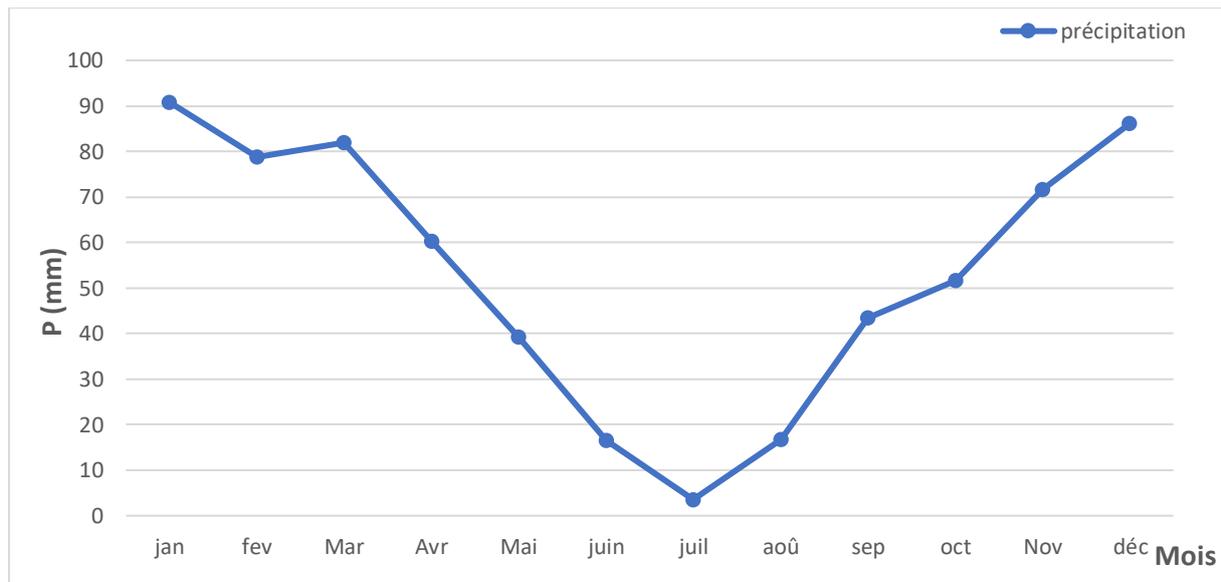


Figure 7: Précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude en 2022. (Bacil *et al.*, 2023)

D'après la figure 07, les précipitations les plus abondantes sont enregistrées pendant le mois de janvier, avec une moyenne de 90,79 mm, tandis que les plus faibles sont enregistrées pendant le mois de juillet, avec seulement 3,56 mm.

1.5.3 Le diagramme ombrothermique de Gausson

Le diagramme ombrothermique de Gausson est un modèle graphique utilisé pour représenter et comparer les climats. Il combine les données de précipitations et de températures mensuelles moyennes pour chaque mois de l'année. En utilisant une formule où P représente les précipitations mensuelles moyennes en millimètres et T les températures mensuelles moyennes en degrés Celsius, le diagramme indique si un mois est considéré comme "sec" ou s'il y a un "manque d'eau". Il est constitué de courbes représentant les températures et les précipitations, permettant de visualiser le rapport entre les deux et d'identifier les périodes de sécheresse lorsque la courbe de température dépasse celle des précipitations. (Charre, 1997).

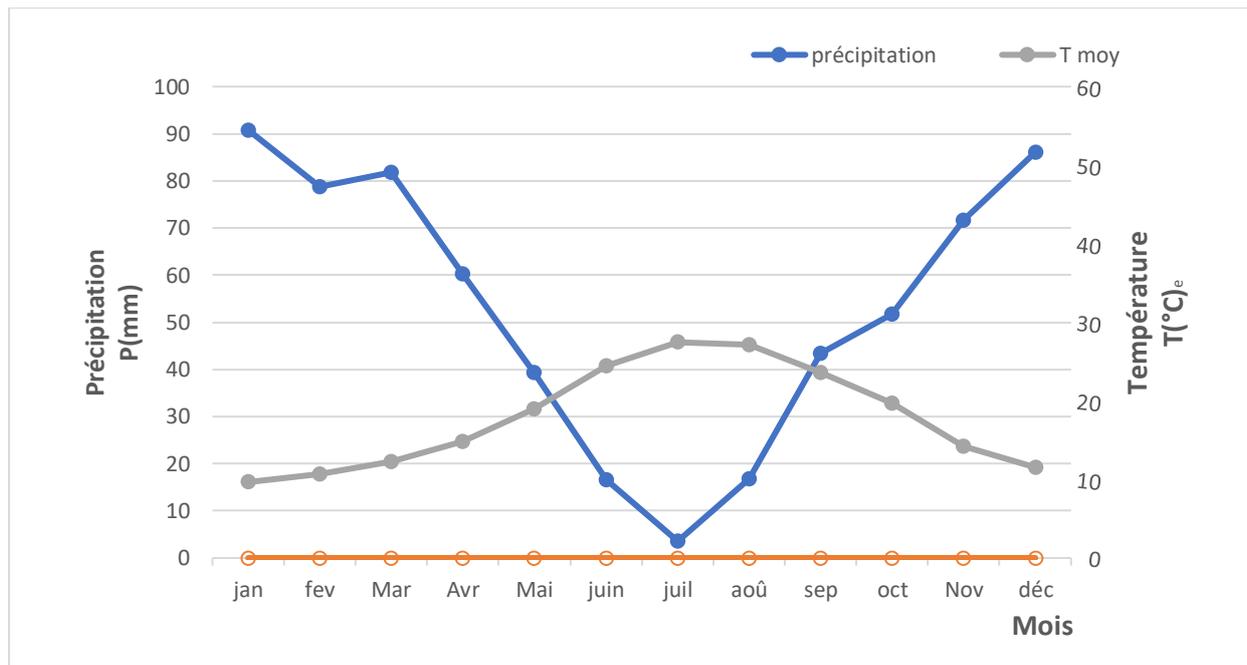


Figure 8: Diagramme Ombrothermique de Gausse de la région d'étude.

Le diagramme ombrothermique des régions d'étude en 2022 (**fig.08**) révèle l'existence d'une période sèche s'étendant de mai à mi-septembre. Il met également en évidence deux périodes humides : la première de janvier à mai, et la seconde de mi-septembre à décembre.

II- Méthode de travail

II.1 Échantillonnage

La période d'observation s'est déroulée à travers la station de Hammam Debagh, allant du 1er février au 10 mars. Pendant ces deux mois, six prélèvements d'échantillons d'eau ont été réalisés. Le tableau ci-dessous résume les dates de prélèvement pour chaque échantillon :

Tableau 2: Récapitulatif des fréquences de prélèvements.

Date de prélèvement	Site	Heures du prélèvement
13/02 2024	S1	08h15
10/03 2024	S1	08h30
01/02 2024	S2	11h20
07/03 2024	S2	11h45
01/02/2024	S3	11h00
07/03 2024	S3	11h30

II.1.1 Choix des sites de prélèvement

Nous avons sélectionné 3 sites de prélèvement représentatifs :

Le premier site (S1) : est le robinet d'eau traitée provenant du barrage Bouhamdane.

Le deuxième site (S2) : est le robinet d'eau provenant du forage Bouzitoune 4.

Le troisième site (S3) : est le robinet d'eau du forage Bouzitoune 2.

Ces 3 stations ont été choisies avec soin pour couvrir différentes sources d'approvisionnement en eau dans la région, permettant ainsi une analyse complète de la qualité de l'eau potable à Guelma.

II.1.2 Technique de prélèvement

Avant le prélèvement, une bouteille de 1L est soigneusement rincée pour éliminer tout contaminant résiduel. Ensuite, elle est remplie jusqu'au bord avec l'eau à analyser, minimisant ainsi le risque de contamination extérieure.

II.1.3 Conservation et transport d'échantillon

La conservation des échantillons entre l'échantillonnage et l'analyse en laboratoire est essentielle pour préserver leur intégrité lorsqu'ils sont envoyés au laboratoire. Les variations physiques ou chimiques peuvent altérer la qualité originale de l'échantillon. Pour cela, il est recommandé de les conserver dans l'obscurité et à une température de 4°C dans une glacière avec de la glace. Cette méthode est généralement utilisée lorsque les analyses sont effectuées dans les 24 heures suivant l'échantillonnage. (Hébert et Légaré, 2000).

II.2 Analyses physico-chimiques

II.2.1 L'électrochimie

II.2.1.1 Le pH

Pour mesurer le pH, utilisez un multi-paramètre ou bien un pH-mètre électronique. Remplissez un bécher avec environ 100 ml d'eau à analyser. Insérez l'électrode dans l'eau et laissez-la reposer jusqu'à ce que l'affichage se stabilise. Ensuite, lisez directement le pH sur l'écran de l'appareil.

II.2.1.2 La Température

La mesure de la température se fait à l'aide d'une sonde de température qui est connectée au pH-mètre ou à un multi-paramètre suivant la même méthode utilisée pour mesurer le pH. La mesure de la température est généralement effectuée en plongeant immédiatement les sondes dans l'eau à analyser. La lecture s'affiche ensuite sur l'écran de l'appareil, exprimée en degrés Celsius (°C).



Photo 1: Multi-paramètre Portable HACH SL1000. (Station de Hammam Debagh)

II.2.1.3 La Conductivité électrique, Salinité et TDS :

La mesure de la conductivité électrique et de la salinité s'effectue à l'aide d'un conductimètre ou d'un multi-paramètre de terrain. L'électrode de l'appareil est directement plongée dans l'eau à analyser. Les résultats sont ensuite affichés après la stabilisation de l'appareil en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) pour la conductivité électrique, et en pourcentage (%) pour la salinité.

Pour assurer la précision des mesures, l'appareil ajuste automatiquement la température. Il est recommandé d'immerger complètement l'électrode pour des résultats fiables.



Photo 2: Conductimètre WTW LF197. (Station de Hammam Debagh).

II.2.1.4 La turbidité

Pour mesurer la turbidité d'un échantillon, utilisez un turbidimètre. Agitez vigoureusement l'échantillon pour assurer son homogénéité. Nettoyez méticuleusement la cuve du turbidimètre pour éliminer toute trace d'eau ou de résidus. Remplissez la cuve avec l'échantillon et refermez hermétiquement le capot pour éviter toute contamination. Vérifiez qu'il n'y a pas de bulles d'air dans la cuve. Effectuez la lecture rapidement après le prélèvement, de préférence le même jour, pour des résultats fiables. Notez ensuite le résultat affiché en (NTU).



Photo 3: Turbidimètre HACH TL2300. (Station de Hammam Debagh).

Note ; Les principales mesures d'électrochimie telles que le pH, la conductivité électrique et la salinité sont généralement effectuées à la fois en laboratoire et sur le terrain à l'aide d'un équipement portable tel qu'un pH-mètre, un conductimètre ou un multi-paramètre. Cela permet d'obtenir des résultats rapides et fiables sur place.

II.2.2 Volumétrie

II.2.2.1 Détermination de la matière en suspension (MES)

Principe :

L'eau est filtrée et le poids des matières retenues par le filtre est déterminé par différence de pesée

Mode opératoire :

- Les membranes filtrantes sont placées dans une étuve à 105°C pendant 20 minutes, puis laissées à refroidir dans un dessiccateur.
- Ensuite, on les pèse et on note cette première mesure comme p₁.
- Placer les membranes dans le dispositif de filtration et faire passer 200 ml d'eau à analyser à travers elles.
- Les membranes sont de nouveau mises dans l'étuve (105°C) pour être séchées pendant 20 minutes.
- Après refroidissement dans le dessiccateur, on les pèse une seconde fois et on note cette mesure comme p₂.



Photo 4: Un dispositif de filtration. (Station de Hammam Debagh)

Expression des résultats :

La concentration en Matières en Suspension (MES) est calculée comme suit :

$$\text{MES (mg/l)} = (P_1 - P_2) \times 5 \times 1000.$$

Où :

P_1 : poids des membranes avant filtration.

P_2 : poids des membranes après filtration.

II.2.2.2 Détermination de la matière organique (MO)

Principe :

Cette opération vise à mesurer la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du permanganate de potassium par la matière organique d'origine animale ou végétale présente dans l'eau, à la fois en milieu acide et alcalin.

Mode opératoire :

- Dans un Erlenmeyer de 500 ml, versez 100 ml d'eau à analyser.
- Ajoutez 10 ml d'acide sulfurique à 50% et 10 ml de solution de permanganate de potassium N/80.

- Chauffez l'échantillon à légère ébullition pendant 10 minutes dès l'apparition des bulles au fond du récipient.
- Après les 10 minutes, ajoutez 10 ml d'acide oxalique N/80 pour décolorer la solution. Si la solution reste rose, cela indique qu'il n'y a pas de matière organique dans l'échantillon. Sinon, procédez à l'étape suivante.
- Utilisez une burette graduée pour ajouter immédiatement la solution de permanganate de potassium N/80 jusqu'à la disparition de la coloration rose persistante.
- Effectuez un essai à blanc dans les mêmes conditions.

Expression des résultats :

$$MO(O_2/l) = V_{(\text{échantillon})} - V_{(\text{blanc})}$$

II.2.2.3 Détermination des chlorures (Cl⁻)

Principe :

Les chlorures sont dosés en milieu neutre à l'aide d'une solution étalon de nitrates d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

Mode opératoire :

- Introduire 25 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer à col large et ajouter 2 à 3 gouttes d'une solution de chromate de potassium à 10 %.
- À l'aide d'une burette, verser la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'une teinte rougeâtre qui devrait persister pendant 1 à 3 minutes.
- Noter le volume **V** en millilitres de nitrate d'argent N/10 utilisés.

Expression des résultats :

La teneur en chlorures (mg/l) est calculée comme suit :

$$\text{Teneur (mg/l)} = \text{titre } V * 142$$

II.2.2.4 Détermination du résidu sec

Principe :

Évaporation d'une quantité d'eau dans une capsule tarée.

Pesée du résidu sec après évaporation.

Mode opératoire :

- Tarer d'une capsule préalablement lavée, rincée à l'eau distillée et séchée.
- Prélever de 200 ml d'eau à analyser.
- Porter à l'étuve à 105°C pendant 24 heures.
- Refroidir dans un dessiccateur pendant 15 minutes.
- Peser immédiatement et rapidement

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en mg/l :

$$RS \text{ (mg/L)} = (PP - PV) \times 5 \times 1000.$$

Où **PP** représente le poids plein de la capsule et **PV** le poids de la capsule vide.

II.2.3 Spectrophotomètre moléculaire

II.2.3.1 Nitrates (NO_3^-)

Principe :

En présence de salicylate de sodium, les nitrates réagissent pour former du paranitrosionate de sodium, un composé coloré en jaune qui peut être quantifié par une méthode colorimétrique.

Mode opératoire :

- Dans un bécher contenant 10 ml de l'échantillon à analyser, ajoutez 2 à 3 gouttes de NaOH à 30% et 1 ml de salicylate de sodium.
- Évaporer l'échantillon à sec au bain-marie ou à l'étuve à une température comprise entre 75 et 88°C. Veillez à ne pas surcharger ou surchauffer l'échantillon pendant une durée excessive. Laisser refroidir après évaporation.
- Recueillir le résidu et ajouter 2 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4). Laisser reposer pendant 10 minutes.

- Ajouter 15 ml d'eau distillée.
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium.
- Effectuez ensuite la lecture spectrophotométrique à une longueur d'onde de 415 nm.



Photo 5: Évaporation de l'échantillon à sec au bain-marie. (Station de Hammam Debagh).

Expression des résultats :

Le résultat est exprimé directement en mg/l

II.2.3.2 Le fer (Fe^{2+})

Principe :

L'ajout d'une solution de phénantroline-1,10 à un échantillon est suivi d'une mesure photométrique de la couleur rouge-orange du complexe à une longueur d'onde de 510 nm. Le complexe fer (II-phénantroline-1,10) reste stable dans un pH allant de 2,5 à 9, et l'intensité de la couleur est directement proportionnelle à la quantité de fer présente.

Mode opératoire :

Une prise d'essai de 50 ml de la solution est prélevée. Cette solution est ensuite transférée dans un flacon de 100 ml. Pour préparer le mélange, 1 ml de solution d'hydroxylamine de chlorhydrate est ajouté et soigneusement mélangé. Ensuite, pour

ajuster le pH du mélange, 2,0 ml de tampon acétate sont ajoutés, visant un pH compris entre 3,5 et 5,5, de préférence 4,5. Une fois le pH ajusté, 2,0 ml de solution de phénantroline sont ajoutés au mélange. Ce mélange est ensuite conservé dans l'obscurité pendant 15 minutes pour permettre la réaction. Après cette période d'incubation, l'absorbance du mélange est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre UV VIS à une longueur d'onde de 510 nm, en utilisant une cellule de 10 mm².

Expression des résultats :

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l du fer.



Photo 6: Spectrophotomètre d'absorption moléculaire HACH DR6000. (Station de Hammam Debagh)

Chapitre 03

Résultats et discussion

Chapitre 03 : Résultats et discussion

Les résultats des prélèvements d'échantillons effectués entre février et mars sur les trois sites (le site 1 représentant l'eau de barrage, le site 2 correspondant à l'eau du forage Bouzitoune 4, et enfin le site 3 représentant l'eau du forage Bouzitoune 2) ont permis d'obtenir plusieurs histogrammes différents qui capturent de manière exhaustive notre étude des caractéristiques physico-chimiques de l'eau à chaque emplacement.

I - Paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle de l'eau

I.1 Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH de l'eau, influencé par divers facteurs tels que l'origine des eaux, la nature géologique du substrat et le bassin versant traverser (**Kachi *et al.*, 2013**), doit être régulé lorsqu'elle entre dans le réseau de distribution. Cette régulation vise à minimiser la corrosion des conduites d'eau et des tuyaux dans les réseaux domestiques, avec une valeur optimale généralement recommandée entre 6,5 et 8,5 selon l'Organisation mondiale de la santé (**OMS, 2017**).

Dans le cas de notre eau étudiée, les valeurs enregistrées ne montrent pas de variation notable et sont comprises entre 7,36 et 7,84, (**Fig.09**), Ces valeurs respectent les normes algériennes, qui fixent les valeurs de pH entre 6,5 et 9, ainsi que les normes de l'OMS, qui recommandent un pH compris entre 6,5 et 8,5. (**Tableau 01**).

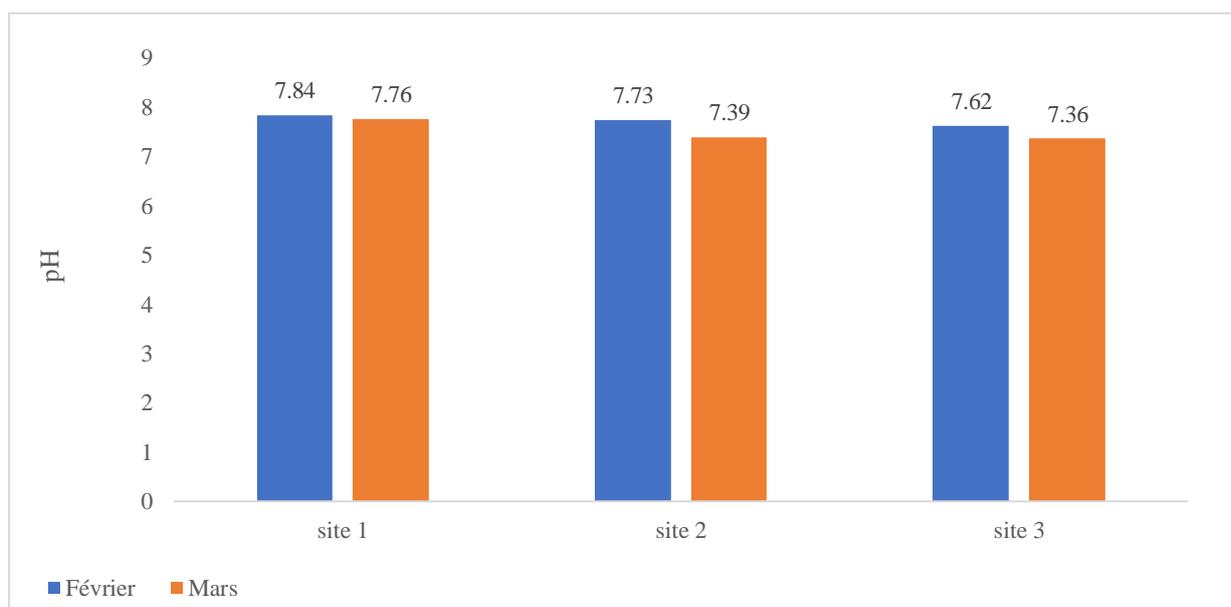


Figure 9: Évolution du pH dans les sites de prélèvements.

I.2 La température

La température de l'eau est importante pour éviter la croissance des microorganismes et maintenir la qualité. Une température entre 4°C et 10°C est idéale pour la consommation. Les températures supérieures à 25°C peuvent causer des problèmes de goût, d'odeur et de couleur (CAWST, 2013).

D'après les résultats obtenus, les valeurs enregistrées pour la température sont comprises entre 7,6°C, qui représente la valeur minimale, et 7,8°C pour le site 1, entre 16,4°C et 17,4°C pour le site 2, et pour le site 3 entre 15,9°C et 18,6°C, qui est la valeur maximale, selon les données fournies pour février et mars (Fig.10). Ces valeurs restent dans des plages acceptables et sont conformes aux normes algériennes qui recommandent que la température ne dépasse pas 25°C (Tableau 01).

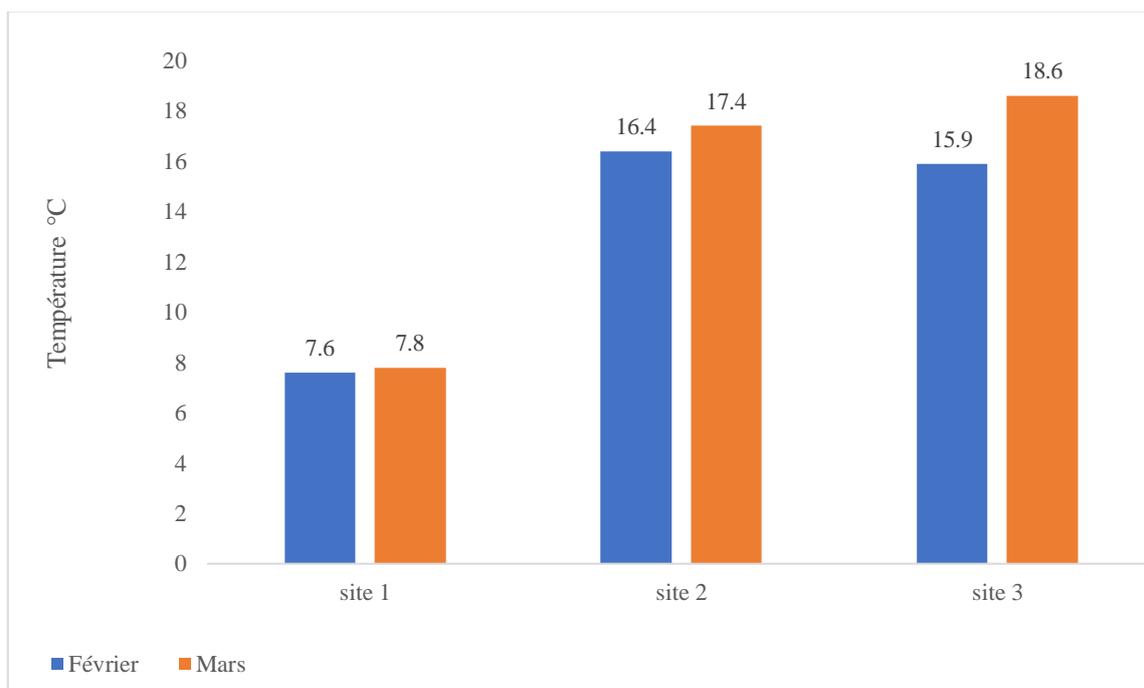


Figure 10: Évolution de la température dans les sites de prélèvements.

I.3 La conductivité électrique

La conductivité permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau dans la mesure où la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement (Rodier, 2009, in Kahoul et Touhami, 2010).

Les valeurs de la conductivité électrique (CE) enregistrées pour les mois de février et mars pour les trois sites étudiés (**Fig.11**) montrent qu'au site 1, la conductivité est passée de 585 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en février à 560 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en mars. Pour le site 2, les valeurs sont passées de 730 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 668 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sur la même période, tandis qu'au site 3, la conductivité est passée de 768 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 671 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Il est également remarquable que la conductivité ait diminué dans les trois sites pendant la période étudiée. Cette diminution pourrait être attribuée à une augmentation des précipitations, qui diluent les sels présents dans l'eau (**N'Diaye et Salem, 2013**).

Toutes les valeurs de conductivité ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité, établie à 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (**Tableau 01**). Cela indique que l'eau prélevée aux différents sites conserve une conductivité acceptable pour la consommation humaine en termes de minéralisation, suggérant qu'elle est moyennement minéralisée.

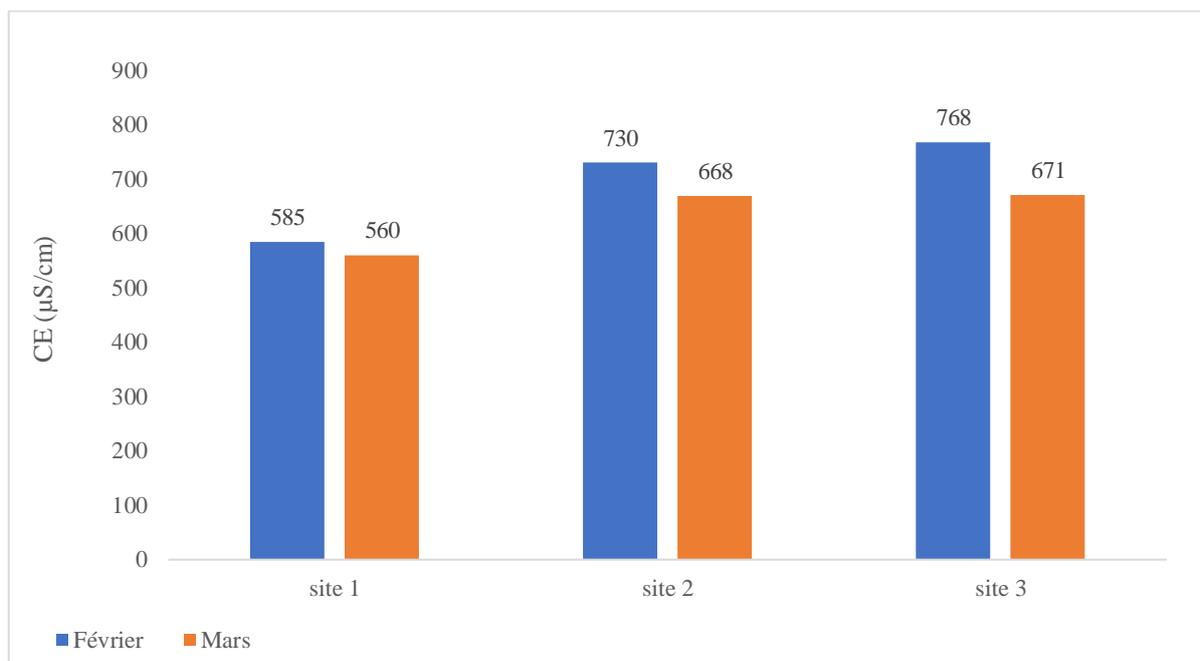


Figure 11: Évolution de la conductivité électrique dans les sites de prélèvements.

I.4 La salinité

La salinité de l'eau, déterminée par la quantité de sels dissous, est essentielle pour sa qualité physique et chimique. Elle peut être influencée par des facteurs naturels, tels que la géologie environnante et l'érosion des sols, mais elle est souvent exacerbée par les activités humaines, comme l'agriculture intensive. (**France Nature Environnement Loire, 2020**).

Pendant les deux mois (**Fig.12**), la salinité semble être relativement stable à 0,1 % pour tous les sites, sauf pour le site 1 où elle diminue de 0,1 % en février à 0 % en mars. Les valeurs restent cependant très faibles dans l'ensemble, ce qui suggère une faible concentration de sels dans l'eau.

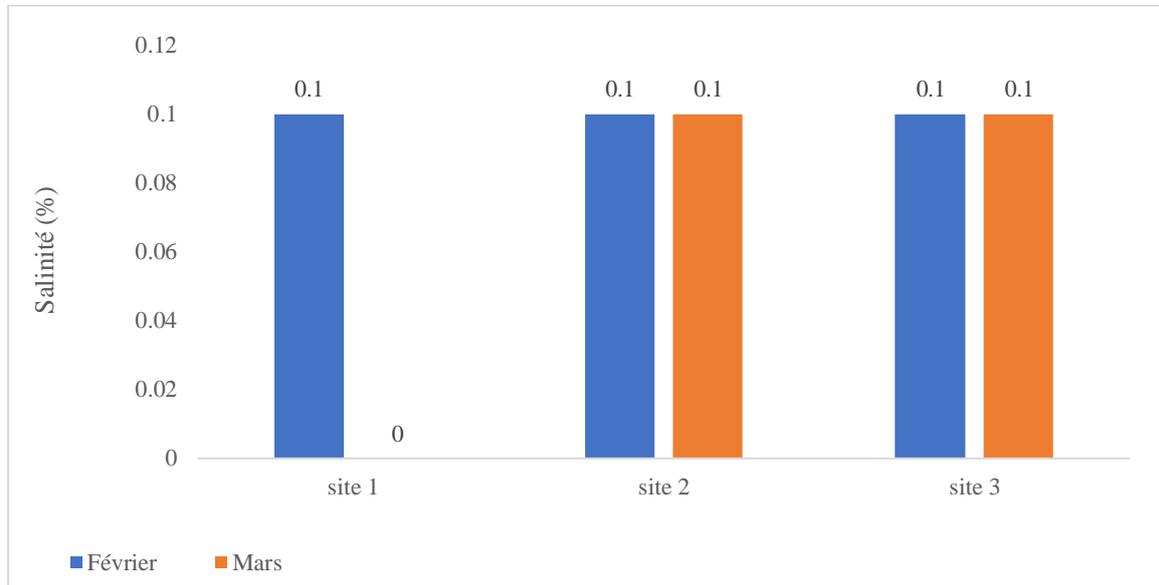


Figure 12: Évolution de la salinité dans les sites de prélèvements.

1.5 La turbidité

La turbidité de l'eau est causée par la présence de solides en suspension tels que le sable, le limon et l'argile. Ces particules flottent dans l'eau et réfléchissent la lumière, ce qui donne à l'eau un aspect trouble ou sale. (CAWST, 2013).

Les résultats des mesures de la turbidité (**Fig.13**) indiquent que, pour les sites 2 et 3, les valeurs de turbidité sont relativement stables et proches l'une de l'autre pendant les deux mois, avec 0,12 NTU en février et 0,25 NTU en mars pour le site 2, et avec 0,15 NTU en février et 0,40 NTU en mars pour le site 3. En revanche, pour le site 1, les valeurs enregistrées sont significativement plus élevées, dépassant largement celles des autres sites, avec une turbidité de 2,80 NTU en février et de 2,00 NTU en mars.

D'après le **tableau 2**, Les résultats des mesures de turbidité indiquent que toutes les valeurs de ce paramètre restent en dessous des normes nationales et internationales, établies à 5 NTU.

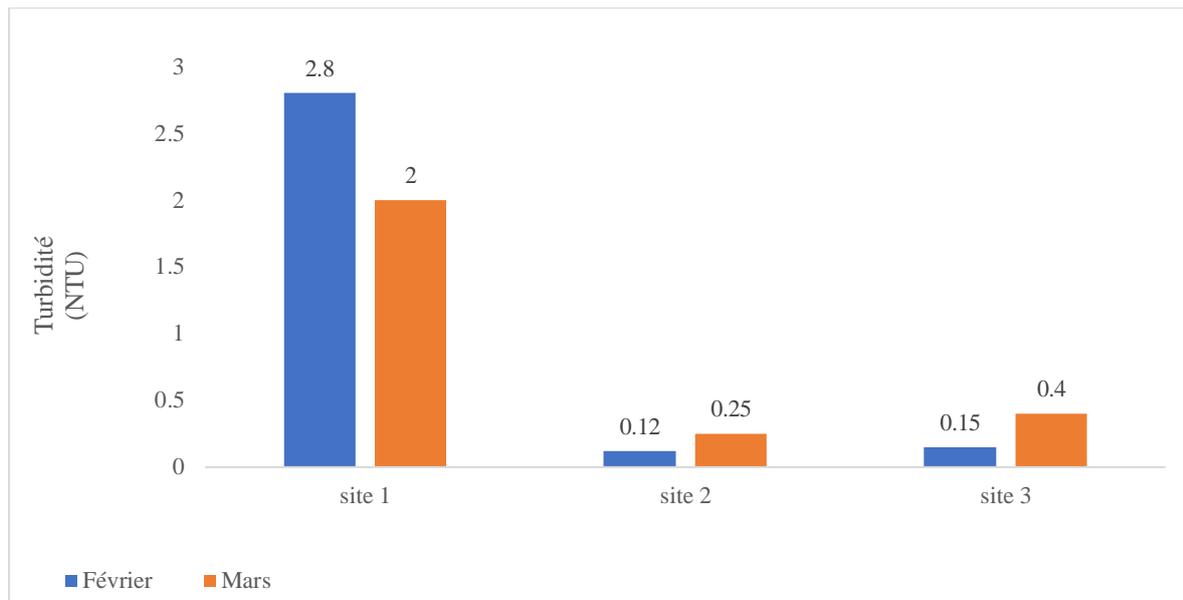


Figure 13: Évolution de la turbidité dans les sites de prélèvements.

II - Paramètres concernant les substances indésirable

II.1 La matière en suspension (MES)

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Leur présence est influencée par des facteurs tels que la nature des terrains traversés, la saison, les précipitations, le régime d'écoulement des eaux. (Rodier, 1996 *in* N'Diaye et Salem, 2013).

Les valeurs mesurées pour les matières en suspension (MES) entre les différents sites étudiés au cours du mois de février (Fig.14) indiquent que la valeur maximale enregistrée est 1 mg/l au site 1, tandis que les sites 2 et 3 présentent une valeur minimale commune de 0 mg/l.

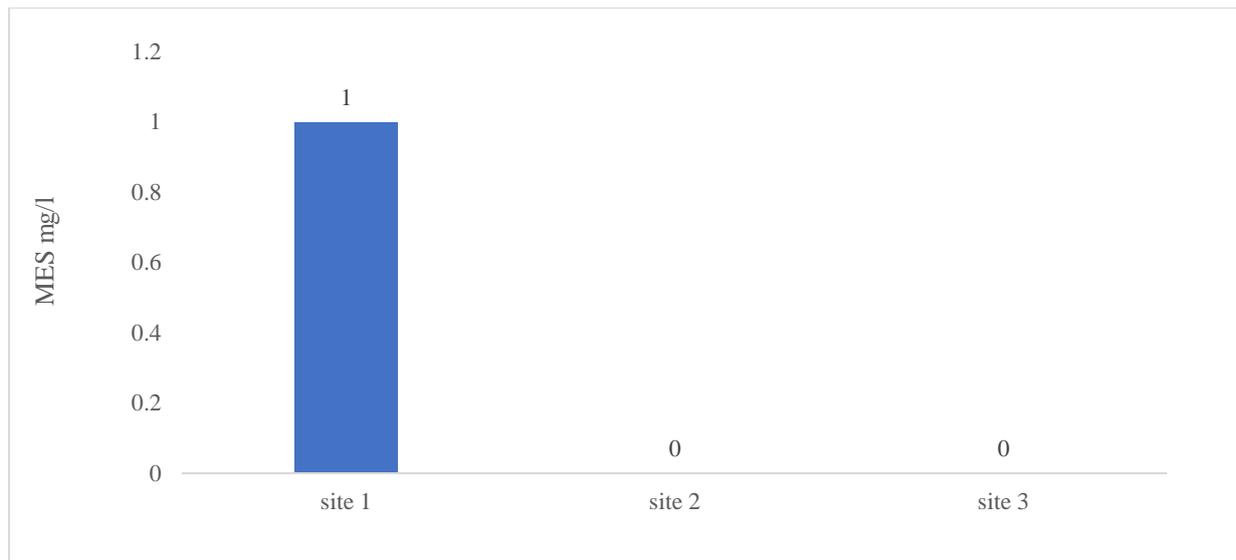


Figure 14: Variation des Matières en Suspension (MES) entre les Sites Étudiés en Février.

II.2 La résidu sec :

Les résultats des mesures de résidu sec (RS) pour le mois de février (**fig.15**) montrent que le site 1 affiche une valeur minimale de 427 mg/l, tandis que les sites 2 et 3 présentent des valeurs proches, avec 845 mg/l pour le site 3 et une valeur maximale de 877 mg/l pour le site 2.

La qualité des eaux analysées est excellente et respecte à la fois les normes algériennes, qui fixent une limite de résidus secs à 2000 mg/l, et les normes de l'OMS, établissant cette limite à 1500 mg/l, comme confirmé par Hamed (2017).

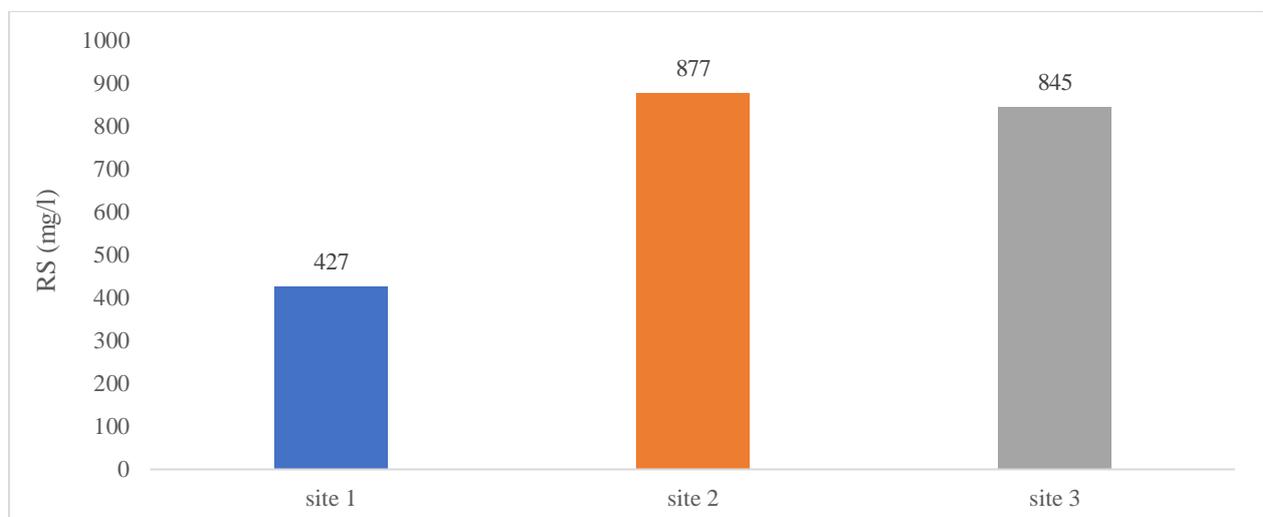


Figure 15: Variation de Résidu sec (RS) entre les Sites Étudiés en Février.

II.3 La matière organique (MO)

Les résultats des mesures de matière organique (MO) effectuées entre les différents sites étudiés au cours du mois de février (**Fig.16**) révèlent que la valeur maximale enregistrée est de 2,8 mg/l au site 1, tandis que les sites 2 et 3 présentent une valeur minimale commune de 0 mg/l. Ces résultats indiquent que toutes les valeurs de ce paramètre ne dépassent pas les normes algériennes de 3 mg/l, ainsi que les normes de l'OMS qui fixent une concentration maximale de 5 mg/l. (**Sofrani *et al.*, 2021**).

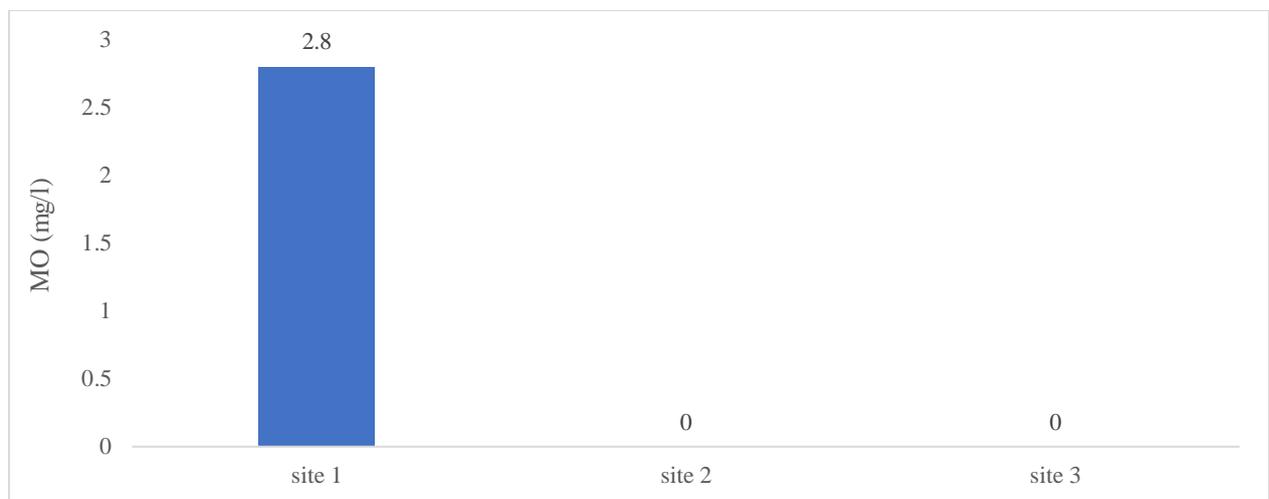


Figure 16: Variation de la matière organique (MO) entre les Sites Étudiés en Février.

II.4 Les chlorures (Cl⁻)

Les chlorures sont des anions inorganiques présents en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Leur présence est souvent utilisée comme un indice de pollution. (**Makhoukh *et al.*, 2011**).

Les valeurs mesurées pour les chlorures entre les différents sites étudiés au cours du mois de février (**Fig.17**) indiquent que le site 1 affiche une valeur maximale de 71 mg/l, tandis que les sites 2 et 3 présentent des valeurs minimales identiques de 28,4 mg/l. Selon le **tableau 2**, ces valeurs respectent les normes algériennes, qui fixent une valeur maximale de 500 mg/l pour le chlorure, ainsi que les normes de l'OMS, qui est de 250 mg/l.

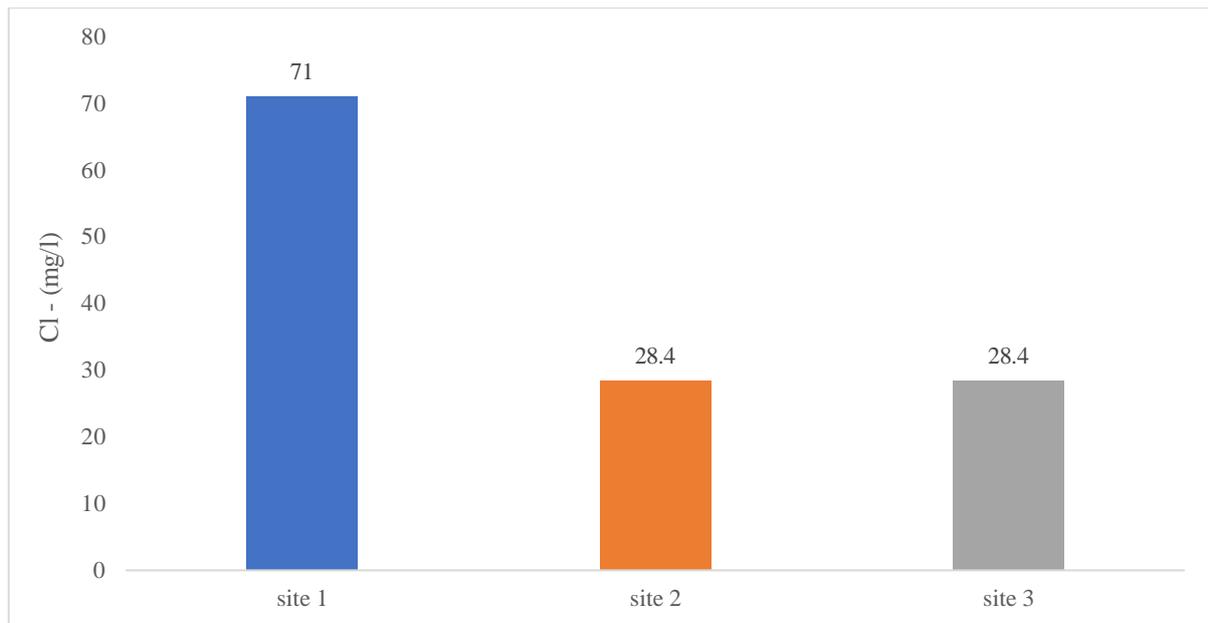


Figure 17: Variation des chlorures (Cl⁻) entre les Sites Étudiés en Février.

II.5 Les nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates constituent l'étape finale de l'oxydation de l'azote et sont la forme d'azote la plus fortement oxydée dans l'eau (Kouassi *et al.*, 2014).

Les valeurs mesurées pour les nitrates entre les différents sites étudiés au cours du mois de février (Fig.18) indiquent que le site 1 affiche une valeur maximale de 9,366 mg/L. Tandis que les valeurs des sites 2 et 3 sont proches l'une de l'autre, avec 0,993 mg/L pour le site 2 et une valeur minimale de 0,557 mg/L pour le site 3. Ceci reste largement inférieur aux 50 mg/l fixés par les normes de l'OMS et les normes algériennes (Tableau 01).

Ces résultats nous permettent de conclure que les eaux étudiées ne présentent pas de risque de pollution par les nitrates.

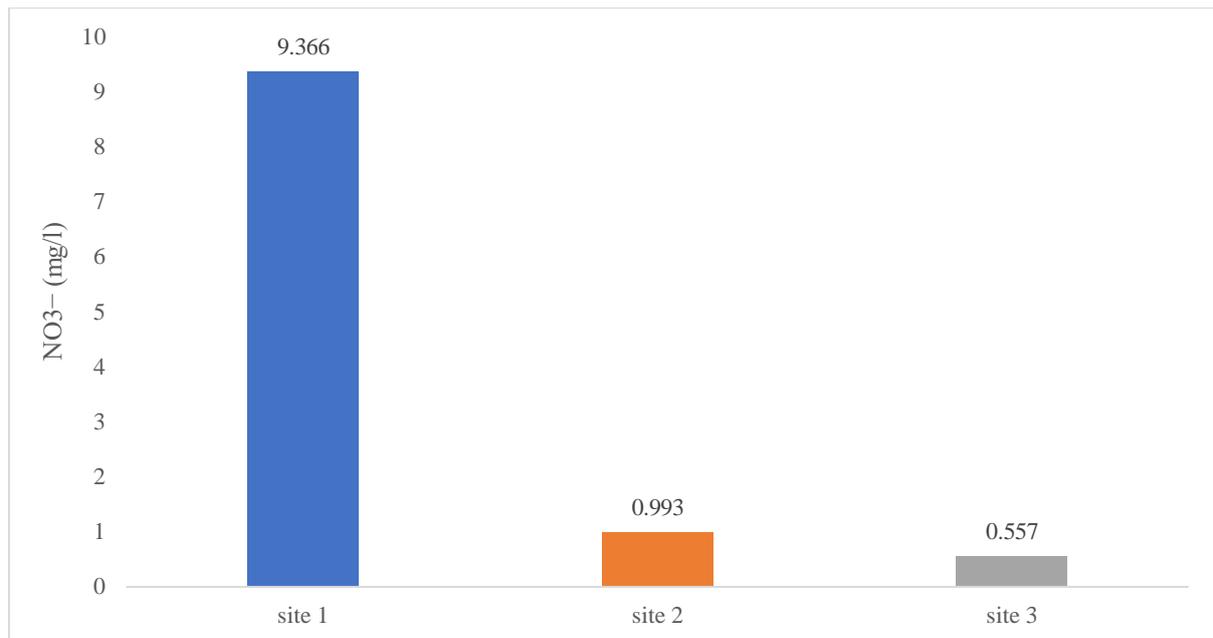


Figure 18: Variation des nitrates (NO_3^-) entre les Sites Étudiés en Février.

II.6 Le fer (Fe^{2+})

Le fer est largement répandu dans la croûte terrestre et se retrouve dans les eaux douces naturelles à des concentrations allant de 0,5 à 50 mg/l. Sa présence dans l'eau potable peut également résulter de l'utilisation de coagulants de fer ou de la corrosion des tuyaux en acier et en fonte pendant la distribution d'eau. Ce minéral est indispensable pour la nutrition humaine, notamment sous sa forme d'oxydation Fe (II). Les besoins quotidiens en fer varient de 10 à 50 mg en fonction de l'âge, du sexe, du statut physiologique et de la biodisponibilité du fer (**WHO, 2011**).

Les valeurs mesurées pour le fer entre les différents sites étudiés au cours du mois de février (**Fig.19**) montrent que le site 2 affiche la valeur maximale de 0,25 mg/l, tandis que les sites 1 et 3 présentent des valeurs plus basses, avec 0,06 mg/l pour le site 1 et une valeur minimale de 0,01 mg/l pour le site 3.

Ces résultats demeurent inférieurs à la valeur des normes algériennes, qui fixent une concentration maximale de 0,3 mg/l (**JORADP, 2014**).

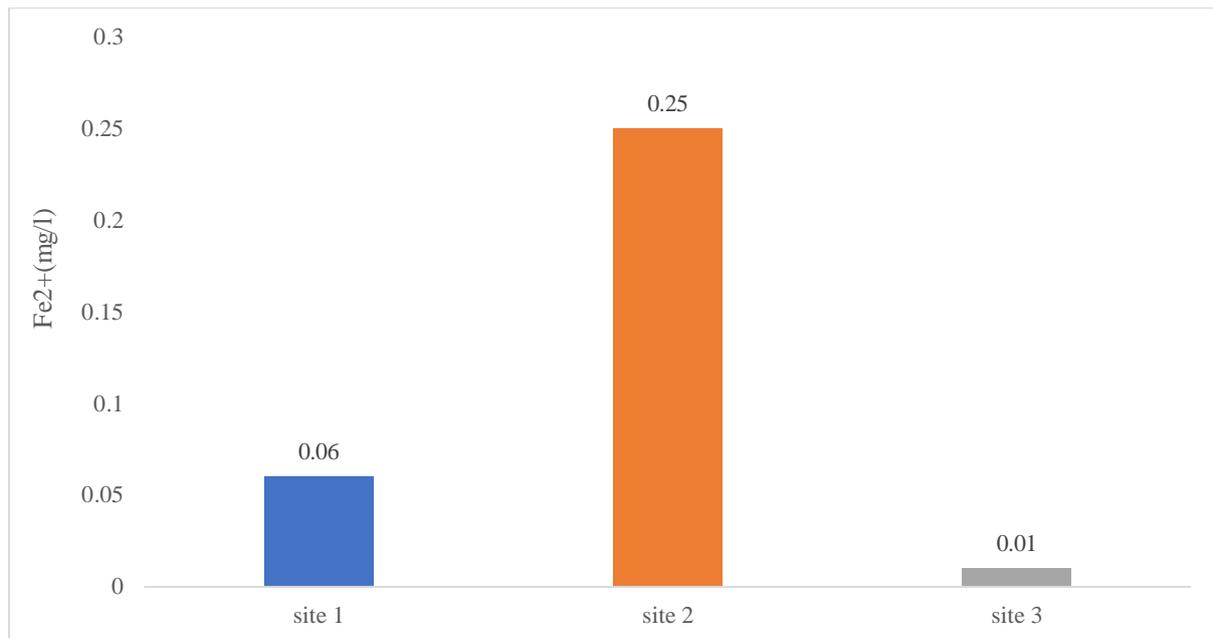


Figure 19: Variation du fer (Fe^{2+}) entre les Sites Étudiés en Février.

II.7 Le TDS

Le TDS (Total Dissolve Solides) mesure la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau, comprenant principalement des sels inorganiques tels que le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium, ainsi que des anions comme les carbonates, les nitrates, les bicarbonates, les chlorures et les sulfates (Chaden, 2014).

D'après les résultats obtenus pour le TDS (Fig.20), en février, le site 3 montre la valeur maximale de 360 mg/l, tandis que le site 1 présente la valeur minimale de 314 mg/l. En mars, le site 3 conserve sa valeur maximale avec 352 mg/l, alors que le site 1 enregistre toujours la valeur minimale de 293 mg/l. Le site 2 maintient des valeurs relativement stables entre les deux mois, avec 345 mg/l en février et 347 mg/l en mars. Selon Sid Ali et Sid Ali (2017), l'eau analysée est de bonne qualité.

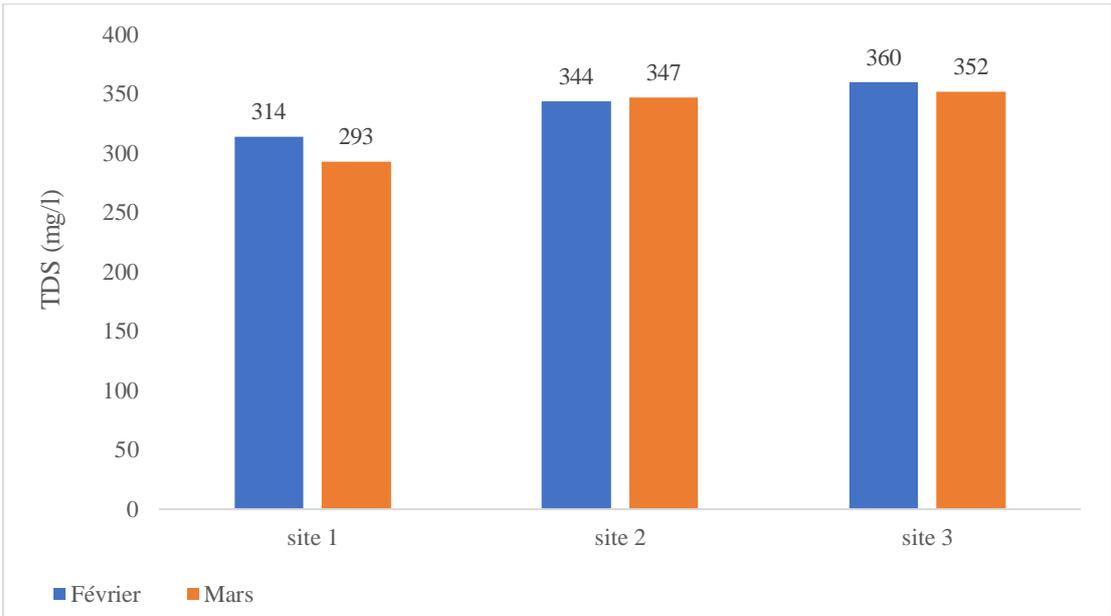


Figure 20: Évolution du TDS (Total des Sels Dissous) dans les sites de prélèvements.



Conclusion

Conclusion

L'étude physico-chimique réalisée au laboratoire de la station de traitement des eaux potables de Hammam Debagh nous a permis de déterminer les caractéristiques physico-chimiques de l'eau traitée ainsi que celles de deux forages (Bouzitoune 2 et 4) de la région de Guelma.

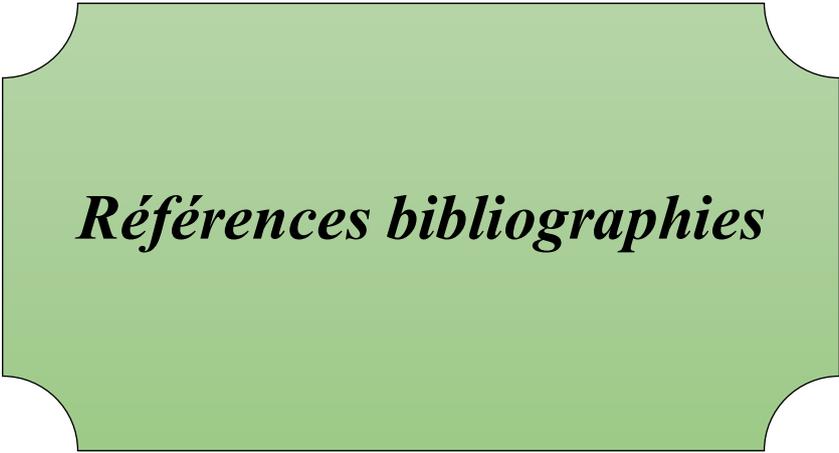
Les résultats de l'étude des caractéristiques physico-chimiques de l'eau, illustrés par plusieurs histogrammes, révèlent des similitudes et des différences notables entre les sources du barrage et des deux forages.

Pour les deux forages, ainsi que pour l'eau traitée de barrage, le pH, la température et la conductivité électrique demeurent dans des plages acceptables pour la consommation humaine. Les valeurs respectives de pH se situent entre 6,5 et 8,5, tandis que les températures oscillent entre 7,6°C et 17,4°C. En ce qui concerne la conductivité électrique, elle varie de 560 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 768 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les forages et l'eau de barrage.

En revanche, des variations sont constatées, notamment dans la turbidité, où l'eau de barrage affiche des valeurs plus élevées que les forages, atteignant jusqu'à 2,80 NTU contre 0,25 NTU pour les forages.

Malgré ces différences, toutes les sources respectent les normes réglementaires en ce qui concerne les substances indésirables telles que les matières en suspension, la matière organique, les chlorures, les nitrates, le fer et le TDS.

Les résultats confirment que l'eau provenant du barrage et des forages répond aux normes de consommation humaine. Cette conformité démontre l'efficacité du traitement, assurant ainsi un approvisionnement sûr en eau potable conforme aux normes nationales et internationales, notamment celles de l'OMS. Cela revêt une importance capitale pour protéger la santé publique, les réseaux d'approvisionnement en eau et les besoins domestiques.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Agaguena, R., Brahmi, F., & Adjroud, O. (2023).** Evaluation of the secondary effects of a heavy metal on the biochemical and histological level of the cardiac system and its possible remediation by some trace elements in the Wistar rat. In Proceedings of the 1st International Virtual Seminar on Geosciences, Constantine, Algeria, Volume 4: Water and Environment; Geotechnics and Geophysics.
- **Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière (ANIREF). (2023).** Monographie Wilaya de Guelma.
- **Bacil Chourouk, H. B. F. A. (2023).** Contribution à l'étude des ectoparasites des tortues aquatiques dans la région de Guelma : Cas de l'Emyde lépreuse *Mauremys leprosa*.
- **Banas, D., & Lata, J. C. (2006).** Nitrates. The White Paper Pollutants Habitat.
- **Centre for Affordable Water and Sanitation Technology (CAWST). (2013).** Introduction à l'Analyse de Qualité de l'Eau de Boisson : Section 5 - Analyse des paramètres physiques.
- **Charre, J. (1997).** Dessine-moi un climat. Que penser du diagramme ombrothermique ? *Mappemonde*, 46(2), 29-31.
- **Chartier, M. (1974).** Les types de pollutions de l'eau. *Norois*, 82(1), 183-193.
- **Coreil, F. (1896).** L'eau potable : généralités, analyse chimique, examen microscopique des eaux, analyse bactériologique, amélioration des eaux. Baillière.
- **Couillard, D., Lafrance, P., & Lessard, S. (1992).** Évaluation de la qualité organoleptique de l'eau potable dans le réseau de distribution de East-Broughton (Beauce) et suggestion d'un procédé de traitement.
- **Direction de l'eau potable et des eaux souterraines, Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2021).** Guide d'interprétation du Règlement sur la qualité de l'eau potable (7^e édition). Dépôt légal – 2021. Bibliothèque et Archives nationales du Québec. ISBN : 978-2-550-89500-8 (PDF).

Références bibliographiques

- **DJADOUNI, F. (2017).** Etude de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux brutes et traitées du barrage de bouhanifia de la wilaya de mascara (ouest d'Algérie). *Revue des bio ressources*, 7(2), 10-10.
- **El Ouedghiri, K., El Oualti, A., El Ouchy, M., Zerrouq, F., Chahdi, F., & Lalami, A. (2014).** Risques sanitaires liés aux composés chimiques contenus dans l'eau de boisson dans la ville de Fès : Cas des ions nitrates et nitrites (Health risks of the chemicals in drinking water in the city of Fez : nitrate and nitrite ions). *J. Mater. Environ. Sci*, 5, 2284-2292.
- **Festy, B., Hartemann, P., Ledrans, M., Levallois, P., Payment, P., & Tricard, D. (2003).** Qualité de l'eau. *Environnement et santé publique-Fondements et pratiques*, 333-368.
- **Fondation Nationale de la Santé. (2013).** Manuel pratique d'analyse de l'eau (4ème édition). Brasilia.
- **France Nature Environnement Loire. (2020).** Guides bénévoles : Tout savoir sur les critères de détermination de la qualité de l'eau.
- **Grosclaude, G. (1999).** L'eau : Tome 2 : Usages et polluants. France : Quae.
- **Hadda Yasmine, R. (2022).** Traitement des eaux de consommation. Faculté de Médecine, Université Constantine 3 (PDF).
- **Haidar, C. M. (2014).** Evaluation de la qualité de l'eau du bassin supérieur de la rivière du litani, liban: approche hydrogéochimique (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- **HAMED, N. (2018).** Caractérisations physico chimiques et bactériologiques de l'eau traitée du barrage Bakhadda (Tiaret) (Doctoral dissertation, université ibn khaldoun-tiaret).
- **Hébert, S., & Légaré, S. (2000).** Suivi de la qualité de l'eau des rivières et des petits cours d'eau.
- **Journal Officiel de la République Algérienne. (2014, 9 mars).** N° 13, 53ème Année, 7 Jomada El Oula 1435.
- **Kachi, S., Kachi, N., & Kherici, N. (2013).** Caractérisation physico-chimique de quelques sources municipales d'approvisionnement en eau potable (région de

Références bibliographiques

- Guelma). Dans Université de Tébessa, Algérie. (2013). 3ème Colloque International : Les Géosciences au Service du Développement Durable. Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.
- **KAHOUL, M., & TOUHAMI, M. (2014).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (Algérie). LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (19).
 - **Katsanou, K., & Karapanagioti, H. K. (2017).** Surface Water and Groundwater Sources for Drinking Water.
 - **Kouassi, A. E., Ahoussi, K. E., Koffi, Y. B., Kouame, I. K., Soro, N., & Biemi, J. (2014).** Caracterisation physico-chimique du lixiviat d'une décharge de l'Afrique de l'ouest : cas de la décharge d'Akouedo (Abidjan-Côte d'Ivoire). LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (19).
 - **Levallois, P., & Phaneuf, D. (1992).** Risques associés à la contamination de l'eau potable par les nitrates. Bulletin d'information en santé environnementale, 3(3), 1-3. P.1.
 - **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 P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (9).
 - **Ministère de la Transition Écologique. (2022).** Le cycle naturel de l'eau et les usages. Dans D'où vient l'eau et que devient-elle ?
 - **N'Diaye, A. D., & Salem, K. M. M. (2013).** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique de l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal. LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (12).
 - **Nouayti, N., Khattach, D., & Hilali, M. (2015).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc) [Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz (Central High Atlas, Morocco)]. Journal of Materials and Environmental Science, 6(4), 1068-1081.

Références bibliographiques

- **Orelien, F. (2017).** Etude de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine dans le sous-bassin versant de Ravine Diable (Anse-a-Veau).
- **Organisation mondiale de la Santé (OMS).** Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4e éd. Intégrant le premier additif.
- **Painchaud, J. (1997).** La qualité de l'eau des rivières du Québec : état et tendances. Ministère de l'environnement et de la faune.
- **Remini, B. (2010).** La problématique de l'eau en Algérie du nord. LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (8).
- **Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2016).** L'analyse de l'eau-10e éd. Dunod.
- **Santé Canada. (2013).** Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Document technique — Le nitrate et le nitrite. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario). (Numéro de catalogue H144-13/2-2013F-PDF).
- **Sid Ali, N., & Sid Ali, R. (2017).** Optimisation des produits de traitement de l'eau dans une usine de production des eaux potables (cas de la station de Souk El Djemaa) (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- **SOFRANI, M., AMARI, F., & SOLI, K. M. (2021).** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de source de Sidi Ouadah– Wilaya de Tiaret (Doctoral dissertation, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie).
- **Soltani, A., Abderahmane, Y., Djabri, L., Hamed, Y., & Bouguerra, H. (2019).** Interférences des polluants endogènes et exogènes dans les eaux des puits et de l'Oued Seybouse : cas de plaine de Guelma. JISTEE, 4, 96-99.
- **Touati, L. (2020).** Cours de pollution des eaux [Cours donné dans le cadre du programme de Master 1 en Écologie Fondamentale & Appliquée, Département Biologie & Écologie Végétale, Université Frères Mentouri Constantine 1, République Algérienne Démocratique et Populaire].
- **Université Frères Mentouri - Constantine 1. (2023).** Analyse des paramètres du climat : Température [Cours 3 S3 N03 BIOCLIMATOLOGIE].

Références bibliographies

- **WHO (World Health Organization). 2011.** Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition.
- **Zouak, Z., Benabbas, C., & Benzid, Y. (2014).** Neotectonique, anomalies morphostructurales et mouvements de terrain dans la région de Guelma. Sciences & Technologie. D, Sciences de la terre, 73-81.

Références webographiques

- [1] <https://www.dcwguelma.dz/fr/index.php/10-menu-principal/44-situation-geographique>
- [2] <https://guelma.mta.gov.dz/fr/barage-bouhamdane/>
- [3] <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre3/chapitre3.html>
- [4] <https://elwatan-dz.com/barrage-de-hammam-debagh-wilaya-de-guelma-malgre-un-taux-de-remplissage-de-5-lanbt-rassure>