

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA

FACULTE DES MATHEMATIQUES, DE L'INFORMATIQUE ET DES SCIENCES DE LA MATIERE

Mémoire de Projet de Fin d'Étude

Master II



Domaine : Sciences de la Matière

Filière : Chimie Physique Département : Sciences de la Matière

Etude comparative des propriétés physico-chimiques de l'eau dans la région de Guelma (Nord, Sud, Est, Ouest)

Présenté par :

- AFAIFIA Noor
- DERABLA Imane

Sous la supervision de :

- Dr. AMRANI Salma
- Dr. CHEGHIB Nedjoua

Année universitaire : 2024 - 2025



REMERCIEMENT



Class of 2025

Noor & Imane



الحمد لله أولاً وآخراً، سرّ البداية وسند النهاية، له الفضل كله، وله الحمد حتى برضى، وإذا رضى، وبعد الرضا،

إنه بلطفه يسرّ، وبحكمته دلّنا، وبنوره أرشدنا، فكانت هذه المذكرة ثمرة من ثمار عطائه

وإنّا لنهمس خاشعين كما همس الخليل عليه السلام: (إِنَّهُ كَانَ بِي خَفِيًّا)، فقد كان الله معنا في دروب

الخفاء، يسندنا حين لا يسندنا أحد، ويضيء لنا عتمة الطريق بلطفه الخفيّ.

ولا بد في هذا المقام أن نوجّه أسمى عبارات التقدير والامتنان إلى لجنة التقييم المؤقّرة، التي شرفتنا بقرائها لهذا العمل، ومنحتنا من وقتها واهتمامها ونظرتها العلمية الرفيعة ما نعتز به ونفتخر. فلکم جزيل الشكر على المرافقة الدقيقة والتوجيهات السديدة.

كما نخص بالشكر والتقدير مؤسسة الجزائرية للمياه، التي فتحت لنا أبوابها واحتضنت تربصنا بكل رحابة صدر واحترافية. وشكّر خاص نرفعه إلى السيد عمراوي صالح، الذي أحسن استقبالنا وكان وجهًا مشرقًا للمؤسسة، فغمرنا بلطفه وتعاون، وسهّل لنا كل خطوة داخل هذا الفضاء العملي. وشكّرًا من القلب لكل طاقم المؤسسة، من إداريين ومهندسين وعمّال، على تعاونهم وتفهمهم، فقد تعلمنا منكم أكثر مما كنّا نتوقع، وخرجنا من هذه التجربة بزايد حقيقيّ من المعرفة والإنسانية.

إلى أستاذتنا الغالية سلمى عمراني، نرفع كلمات امتنان صادق على دعمها وثقتها، وصبرها وتوجيهاتها التي كانت نورًا في لحظات التعب. كما نشكر الأستاذة نجوى شغيب على دعمها وتوجيهاتها ومساهمتها في إنجاز هذا العمل.





Class of 2025

Noor & Imane

ولا يسعنا أن نغفل عن أهلنا، أولئك الذين كانوا الدعامة الصلبة خلف هذا الإنجاز. كانوا القوة الهادئة، والدعاء الصادق، والتضحية التي لا تُقال لكنها تُشعر. لهم في القلب امتنان لا ينتهي، ومكان لا يزول كما تتوجه بخالص الشكر والاعتراف بالفضل إلى أصدقائنا من رافقونا وآمنوا بنا، وساندونا بكلمة، أو حضن، أو حتى بصمتهم الجميل. ولمن ساندنا من قريب أو بعيد، ولو بلحظة اهتمام أو نية طيبة: شكرًا. فبعض الأثر لا يحتاج صوتًا، يكفي أن يُترك في القلب.

وفي ختام هذه الرحلة، لا يمكننا أن ننسى جهودنا الذاتية، التي امتدت عبر ليالي من العمل والبحث والمثابرة، حتى خرج هذا العمل في صورته النهائية. لم يكن مجرد واجب علمي، بل انعكاسٌ لصبرنا وإيماننا بأن التعب لا يضيع.

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات. والشكر لكل من كان نورًا في طريقنا.

وَكَانَ حَقًّا عَلَيْنَا أَنْ نَخْتِمَ بِهَذِهِ الْآيَةِ الْكَرِيمَةِ:

(وَقُلْ أَعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ)

التوبة: 105





DÉDICACE



﴿وَقَالُوا الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي هَدَانَا لِهَذَا وَمَا كُنَّا لِنَهْتَدِيَ لَوْلَا أَنْ هَدَانَا اللَّهُ﴾

(سورة الأعراف، الآية 43).

Everything I have achieved, everything I have overcome, all that I was and have become... it is all, first and foremost, by the grace of Allah — who sheltered me in the darkness and led me through confusion until I reached this very moment.

Even though I know that this effort will be credited to me,

Words alone cannot do justice to the journey of the past years — how long and short they were at once, how barren yet full, how they held all the meaning of contradiction within them.

Those days, this day, and all the moments in between — I dedicate them:

To seventeen years that carried me between dream and certainty, between falling and rising, between the doubts that caged me and the strength I discovered within.

To the silent falls no one witnessed, the sleepless nights, and the moments when reaching seemed impossible. To the soul that adapted, and the sleepless eyes that stayed awake for a dream others called far-fetched.

To this work I consider sacred, for it raises my banner in triumph after seventeen continuous years of effort — for what I have attained... and what it has taken from me.

To my parents, to those who gave me life twice: once when they brought me into this world, and again when they taught me how to face it.

To the ones whose fears became my armor, whose voices — no matter the tone — became a doorway to peace.

To my mother, that heart whose light never faded.

To my father, whose silence held the sincerest of prayers.

To my sister Amira — my soulmate, my friend, and my ever-present source of warmth. Thank you for always being the supportive voice I needed.

And to my brothers, Walid and Azzedine, and to my extended family — may you always remain my unwavering support. My deepest gratitude for your presence and love.

To Iman... my partner in this work, the one who made the path more bearable and possible.

Who stood by me when the details weighed us down, and when doubt crept in.

We shared the effort, the exhaustion, even moments of hesitation — and here we are today, standing together on the threshold of success. Thank you for your presence and for the bond that united us in this journey.

NOOR

To Razan, who always reminded me of the beauty of genuine friendship. Her support, her attentive ear, her constant presence — have always been, and will remain, a source of joy and comfort to me.

To Professor Salma Amrani. To the one who was more than a supervisor — a kind heart, a wise guide, a motherly presence in all the details. You embraced us with warmth, led us with strength, understood our struggles, and pushed us toward resilience with your unwavering belief. All my thanks and appreciation for everything you've given, for your sincerity, your dedication, and your noble humanity.

To everyone who crossed my path. To those who offered their hand, or passed by without knowing. To those who left a mark, or taught me a lesson. To those who carried light when my skies were heavy. And to the shadows that never judged my stumbling steps. To every scar that became a map leading me to strength. To moonlit nights that embraced my restless thoughts. And to ink-stained pages where I poured the weight of my silence...

Thank you for being part of this long journey.

And I thank myself —

For the nights I doubted but kept going. For the strength I found when I thought I'd lost it. For the patience I nurtured through hardship. For choosing to rise when staying down seemed easier. To me... the one who believed when every path seemed empty. And when everything looked like loss — to me, who has always deserved this moment. This achievement is mine, and it belongs to me with full merit.

As Allah says in His Noble Book:

﴿وَأَنْ لَّيْسَ لِلْإِنْسَانِ إِلَّا مَا سَعَى (النجم : 39)﴾

To this journey — and may I never forget that the light within us always finds a way to shine.

All praise is due to Allah, endlessly, for every blessing He has bestowed upon me.

This is for you, and for me, and for the story we are still writing...

A story that testifies: the light never truly falters, not even in the deepest shadows.

Seventeen years are embodied in this moment.

And here I stand — carrying all my attempts, my failures, and my victories.

I recognize my arrival, and I taste it.

All praise be to Allah.

وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

بسم الله الرحمن الرحيم
"وآخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمين"
إلهي...

يا من لا يطيب الليل إلا بذكرك
ولا يهنأ النهار إلا بطاعتك،
ولا تسكن الروح إلا برضاك،
ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك،
ولا تكتمل الجنة إلا برؤية وجهك الكريم...

لك الحمد حتى ترضى، ولك الحمد إذا رضيت، ولك الحمد بعد الرضى.

أهدي هذا النجاح، ثمرة التعب والسهر والدعاء، إلى من سكنوا قلبي، وكانوا النور في كل ظلمة:
إلى والدي الغالي، رجل الكفاح والعزم، الذي أفنى زهرة عمره ليراني في أبهى صوري، من نزع الأشواك من
دربي ومهد لي طريق العلم والعمل... دمت تاجاً على رأسي.
إلى أُمي الحبيبة، دعاؤك كان سلاحي، ورضاك كان نوري، علمتني الحنان والصبر والرضا... لك كل الحب
والامتنان، يا نبض القلب.
إلى إخوتي الذين كانوا سندي في الفرح والضعف، وشاركوني دروب الحياة بحلوها ومرّها... شكراً لكم من
القلب.

إلى من دعمني في الخفاء، وشجعني بصمت، وكان نبع طاقة خفيّاً يُضيء دربي دون أن يطلب شيئاً في
المقابل... لك مَنّي جزيل الشكر والعرفان.

إلى أصدقائي الأعزاء، ورفقاء الدرب، من زرعوا في طريقي الضحكة رغم التعب، وشاطروني لحظات الانكسار
والانتصار... وجودكم زاد الحياة بهجة.

إلى صديقتي الغالية أميرة، يا من كنت لي أختاً وصديقةً وسنداً، كنتِ البلمس في التعب، والفرح في الضيق...
شكراً من القلب لوجودك الحقيقي والمُحب.

إلى رفيقة دربي، أختي من رحم الصداقة: نُور، من قالت "أنا لها" فكانت لها، ومضت بي خمس سنوات كأنها
لحظة، بوجودك أنتِ... شكراً للحب والدعم والثبات.

إلى أستاذتي الفاضلة عمرانتي سلمى، شكراً لحرصك علينا، ولوقوفك الصارم الذي زرع فينا روح الجِد
والاجتهاد... جزاك الله عنا خير الجزاء.

وأخيراً... إلى نفسي، التي صبرت وثابرت، وسهرت الليالي، وتحدّت اليأس... فخورة بك، فخورة بكل خطوة
مشيتها نحو هذا الحلم.



LISTE DES FIGURES

Liste des figures

<i>Figure</i>	<i>Intitulé</i>	<i>Numéro de page</i>
Chapitre I Généralité sur l'eau potable		
Fig.I.1	Coupe géologique montrant une nappe phréatique	06
Fig.I.2	Illustration du processus d'infiltration de l'eau jusqu'à la nappe	08
Chapitre II Description de la zone d'étude		
Fig.II.1	Carte de localisation des sources étudiées dans la wilaya de GUELMA	19
Fig.II.2	Carte topographique de la wilaya de GUELMA	22
Fig.II.3	Carte de réseau routier dans la wilaya de GUELMA	24
Fig.II.4	Carte de réseau routier dans la wilaya de GUELMA	24
Fig.II.5	Localisation des différents aquifères dans la zone d'étude	25
Fig.II.6	Principales rivières, nappes et sources	30
Fig.II.7	Interconnexion géographique et hydrologique à Guelma : Route et nappes phréatiques	32
Fig.II.8	Spectre thermique moyen saisonnier dans la région de GUELMA (2000-2010)	35
Fig.II.9	Variation moyenne de l'humidité de la station de BELKHEIR	36
Fig.II.10	Classe d'altitude de la wilaya de Guelma	37
Fig.II.11	Évolution urbaine de la ville de GUELMA 2014	38
Fig.II.12	Vue partielle de la ville de GUELMA 2012	38
Fig.II.13	Évolution de la tache urbaine du groupement intercommunal de GUELMA entre 1987-2015	39
Fig.II.14	Typologie des espaces publics de la ville de Guelma	39
Fig.II.15	Répartition des superficies repiqués de la tomate industrielles par commune (2014-2015)	40
Fig.II.16	Répartition des superficies repiqués par statut juridiques	41
Fig.II.17	Évolution de la superficie et de la production de la tomate industrielles dans la wilaya de Guelma	41
Fig.II.18	Bassin-versant de la Seybouse	42
Fig.II.19	Les rejets dans Oued Seybouse	42

<i>Chapitre IV</i>		
<i>Résultats et discussion</i>		
Fig.IV.1	Graphe de comparaison de turbidité	72
Fig.IV.2	Graphe de comparaison de potentiel d'hydrogène	73
Fig.IV.3	Graphe de comparaison de conductivité électrique	74
Fig.IV.4	Graphe de comparaison de teneur en matière dissoute totale	76
Fig.IV.5	Graphe de comparaison de dureté totale de l'eau	77
Fig.IV.6	Graphe de comparaison de température de l'eau	78
Fig.IV.7	Graphe de comparaison de salinité	80
Fig.IV.8	Graphe de comparaison de titre alcalimétrique	81
Fig.IV.9	Graphe de comparaison de titre alcalimétrique complet	82
Fig.IV.10	Graphe de comparaison de Bicarbonates	83
Fig.IV.11	Graphe de comparaison de Calcium	85
Fig.IV.12	Graphe de comparaison de magnésium	86
Fig.IV.13	Graphe de comparaison de chlore	87
Fig.IV.14	Graphe de comparaison de matière organique	89
Fig.IV.15	Graphe de comparaison de matière en suspension	90
Fig.IV.16	Graphe de comparaison de résidus sec	91
Fig.IV.17	Graphe de comparaison d'ammonium	92
Fig.IV.18	Graphe de comparaison de nitrates	94
Fig.IV.19	Graphe de comparaison de sulfate	95
Fig.IV.20	Graphe de comparaison d'orthophosphate	96
Fig.IV.21	Graphe de comparaison de sodium	97
Fig.IV.22	Graphe de comparaison de potassium	99



LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux

<i>Tableau</i>	<i>Intitulé</i>	<i>Numéro de page</i>
Chapitre I Généralité sur l'eau potable		
Tab.I.1	Comparaison des méthodes de traitement de l'eau selon la source	06
Chapitre II Description de la zone d'étude		
Tab.II.1	Description hydrogéologique des formations de la plaine de Guelma	29
Tab.II.2	Répartition des lames d'eau dans la zone d'étude	32
Tab.II.3	Variations mensuelles des précipitations (Station de H. Débagh).	34
Tab.II.4	Caractéristiques des stations météorologiques	34
Tab.II.5	Températures extrêmes moyennes mensuelles	34
Chapitre IV Résultats et Discussion		
Tab.IV.1	Tableau des résultats d'analyses de turbidité	72
Tab.IV.2	Tableau des résultats d'analyses de potentiel d'hydrogène	73
Tab.IV.3	Tableau des résultats d'analyses de conductivité électrique	74
Tab.IV.4	Tableau des résultats d'analyses de teneur en matière dissoute totale	76
Tab.IV.5	Tableau des résultats d'analyses de dureté totale de l'eau	77
Tab.IV.6	Tableau des résultats d'analyses de température de l'eau	78
Tab.IV.7	Tableau des résultats d'analyses de salinité	80
Tab.IV.8	Tableau des résultats d'analyse de titre alcalimétrique	81
Tab.IV.9	Tableau des résultats d'analyse de titre alcalimétrique complet	82
Tab.IV.10	Tableau des résultats d'analyses de Bicarbonates	83
Tab.IV.11	Tableau des résultats d'analyses de Calcium	85
Tab.IV.12	Tableau des résultats d'analyses de magnésium	86
Tab.IV.13	Tableau des résultats d'analyses de chlore	87
Tab.IV.14	Tableau des résultats d'analyses de matière organique	89

Tab.IV.15	Tableau des résultats d'analyses de matière en suspension	90
Tab.IV.16	Tableau des résultats d'analyses de résidus sec	91
Tab.IV.17	Tableau des résultats d'analyses d'ammonium	92
Tab.IV.18	Tableau des résultats d'analyses de nitrates	94
Tab.IV.19	Tableau des résultats d'analyses de sulfate	95
Tab.IV.20	Tableau des résultats d'analyses d'orthophosphate	96
Tab.IV.21	Tableau des résultats d'analyses de sodium	97
Tab.IV.22	Tableau des résultats d'analyses de potassium	99



ABSTRACT

Abstract

This study falls within the framework of analyzing the chemical properties of drinking water in the Guelma region, by evaluating a range of essential chemical elements present in the water, such as iron, aluminum, phosphates, sodium, potassium, calcium, and magnésium, in addition to other dissolved ions and minerals.

The main objective is to verify the compliance of the water with the quality standards recommended by the **World Health Organization (WHO)** and national regulations, relying on reliable scientific references such as **Rodier** and **Technosup** for the interpretation of analytical results.

The adopted methodology is based on sampling from different areas within the wilaya, followed by laboratory analyses of chemical parameters that have a direct impact on public health and water quality.

The results obtained allowed for the assessment of the current state of distributed water, the identification of strengths and weaknesses in the supply and control system, and the formulation of scientific and technical recommendations aimed at improving water quality and ensuring its potability.

This study contributes to supporting local policies for the protection of water resources and serves as a valuable scientific reference for future work related to water quality in Algeria.

ملخص

تندرج هذه الدراسة ضمن إطار تحليل الخصائص الكيميائية لمياه الشرب في منطقة قالمة، وذلك من خلال تقييم مجموعة من العناصر الكيميائية الأساسية الموجودة في المياه، مثل الحديد، الألمنيوم، الفوسفات، الصوديوم، البوتاسيوم، الكالسيوم، والمغنزيوم، بالإضافة إلى أيونات ومعادن أخرى مذابة.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو التحقق من مدى مطابقة المياه لمعايير الجودة الموصى بها من قبل منظمة الصحة العالمية و المعايير الوطنية (OMS) بالاعتماد على مراجع علمية موثوقة لتفسير النتائج التحليلية مثل Technosup و Rodier.

تعتمد المنهجية المتبعة على جمع عينات من مناطق مختلفة من الولاية، تليها تحاليل مخبرية للمعايير الكيميائية التي لها تأثير مباشر على الصحة العامة وجودة المياه.

لقد سمحت النتائج المُحصَل عليها بتقييم الوضع الحالي للمياه الموزعة، وتحديد نقاط القوة والقصور في نظام التوريد والرقابة، واقتراح توصيات علمية وتقنية تهدف إلى تحسين جودة المياه وضمان صلاحيتها للشرب.

تُسهّم هذه الدراسة في دعم السياسات المحلية لحماية الموارد المائية، وتُعد مرجعًا علميًا مفيدًا للأعمال المستقبلية المتعلقة بجودة المياه في الجزائر.

Résumé

Cette étude s'inscrit dans le cadre de l'analyse des propriétés chimiques de l'eau potable dans la région de Guelma, à travers l'évaluation d'un ensemble d'éléments chimiques essentiels présents dans l'eau, tels que le fer, l'aluminium, les phosphates, le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium, ainsi que d'autres ions et minéraux dissous.

L'objectif principal est de vérifier la conformité de l'eau aux normes de qualité recommandées par l'**Organisation mondiale de la santé (OMS)** et les standards nationaux, en s'appuyant sur des références scientifiques fiables telles que **Rodier** et **Technosup** pour l'interprétation des résultats analytiques.

La méthodologie adoptée repose sur le prélèvement d'échantillons dans différentes zones de la wilaya, suivie d'analyses en laboratoire portant sur les paramètres chimiques ayant un impact direct sur la santé publique et la qualité de l'eau.

Les résultats obtenus ont permis d'évaluer l'état actuel de l'eau distribuée, d'identifier les points forts et les insuffisances du système d'approvisionnement et de contrôle, et de proposer des recommandations scientifiques et techniques visant à améliorer la qualité de l'eau et à garantir sa potabilité.

Cette étude contribue à soutenir les politiques locales de protection des ressources hydriques, et constitue une référence scientifique utile pour les travaux futurs liés à la qualité de l'eau en Algérie.



SOMMAIRE

Sommaire

Introduction générale	01
Chapitre I Généralité sur l'eau potable	
I.1.Introduction	04
I.2. Définition de l'eau potable	05
I.3. Formes et sources de l'eau potable	05
I.4. Le cycle de l'eau et sources d'eau potable	07
1.4.1 Le cycle de l'eau	07
I.4.2. Le cycle des eaux souterraines (sources d'eau potable)	07
I.5. Traitement de l'eau potable	09
I.5.1 Contexte hydrique global et local	10
I.5.2 Potabilité et normes pour le traitement des eaux potables	11
I.5.3. Les étapes de traitements	12
I.5.4. Problèmes, défis et impact sur la santé du traitement de l'eau potable	14
Chapitre II Description de la zone d'étude	
II.1. Introduction	18
II.2. Situation Géographique et Accès	18
II.2.1. Localisation des sources dans la wilaya de Guelma	18
II.2.2. Altitude et Relief	20
II.2.3. Accessibilité et aménagements	22
II.3. Aperçu Géologique et Stratigraphie	25
II.3.1. Le Primaire	26
II.3.2. Le Trias	26
II.3.3. Le Jurassique	26
II.3.4. Le Crétacé	27
II.3.5. L'unité tellienne et ultra-tellienne	27
II.3.6. Le Numidien	28
II.3.7. Le Mio-Pliocène	28
II.3.8. Le Quaternaire	28
II.4. Cadre Hydrographique et Hydrogéologique	30
II.4.1. Réseau hydrique de la région	30

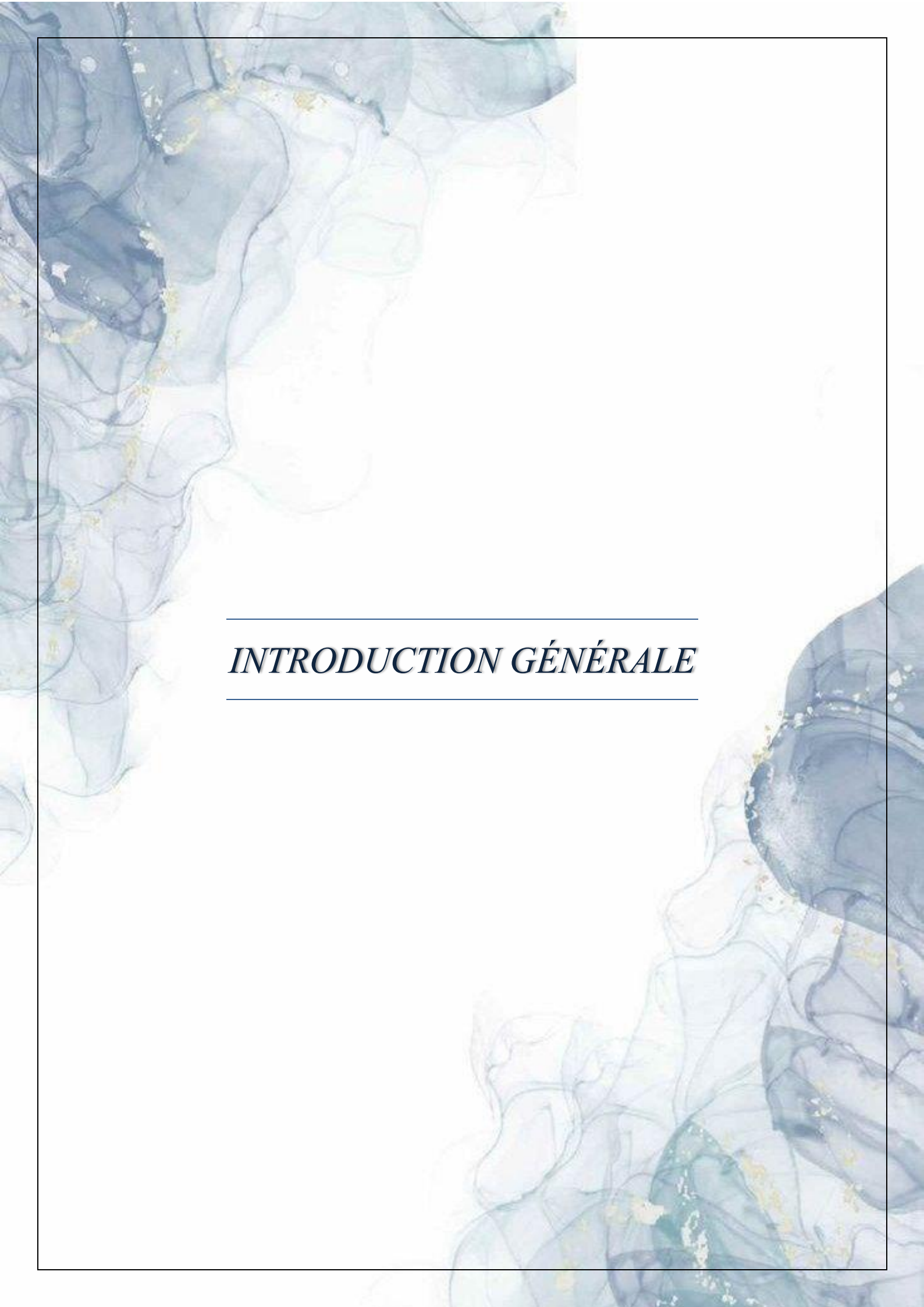
II.4.2. Principales sources et cours d'eau associés	31
II.4.3. Relation entre les nappes phréatiques et les sources	31
II.5. Climatologie et Influence sur les Sources	33
II.5.1. Précipitations	33
II.5.2. Température	34
II.5.3. Type de climat	35
II.5.4. Humidité relative de l'air	35
II.5.5. Vents	36
II.6. Situation Écologique et Conservation des Sources	36
II.6.1. Végétation et couverture forestière	37
II.6.2. Impact des activités humaines	38
II.6.3. État de conservation et protection des écosystèmes aquatiques	43
II.6.4. Effets du changement climatique sur les sources	43
II.6.5. Solutions alternatives et innovations pour la gestion des sources	43
Chapitre III Propriétés physico-chimiques de l'eau potable et techniques de mesure	
III.1. Introduction	46
III.2. Échantillonnage	46
III.2.1. Choix des stations de prélèvement	47
III.2.2. Conditions de prélèvement	47
III.2.3. Nature et Période des Prélèvements	48
III.3. Les propriétés physiques et les techniques de mesures	48
III.3.1. Température III.3.1.1. Principe III.3.1.2. Appareil de mesure III.3.1.3. Mode Opératoire III.3.1.4 Remarques	48 49
III.3.2. Turbidité III.3.2.1. Principe III.3.2.2. Appareil de mesure III.3.2.3. Mode Opératoire III.3.2.4 Remarques	49 50

III.3.3. Conductivité électrique III.3.3.1. Principe III.3.3.2. Appareil de mesure III.3.3. Mode Opérateur III.3.3.4 Remarques	51
III.3.4. Potentiel d'hydrogène III.3.4.1. Principe III.3.4.2. Appareil de mesure III.3.4.3. Mode Opérateur III.3.4.4 Remarques	52 53
III.3.5. Dureté de l'eau III.3.5.1. Principe III.3.5.2. Techniques de mesure III.3.5.3. Mode Opérateur III.3.5.4 Remarques	53 54
III.3.6. Salinité III.3.6.1. Principe III.3.6.2. Mode Opérateur III.3.6.3 Remarques	54 55
III.3.7. Solides Dissous Totaux III.3.7.1. Principe III.3.7.2. Mode Opérateur III.3.7.3 Remarques	56
III.3.8. Matière en suspension III.3.8.1. Principe III.3.8.2. Mode Opérateur III.3.8.3 Remarques	56 57
III.3.9. Matière organique III.3.9.1. Principe III.3.9.2. Mode Opérateur III.3.9.3 Remarques	57 58

III.3.10. Résidu sec	
III.3.10.1. Principe	57
III.3.10.2. Mode Opérateur	58
III.3.10.3. Remarques	
III.4. Les propriétés chimiques de l'eau potable et les techniques de mesure	58
III.4.1. Détermination du titre alcalimétrique simple	
III.4.1.1. Principe	
III.4.1.2. Réactifs	59
III.4.1.3. Mode opératoire	60
III.4.1.4. Remarques	
III.4.2. Détermination du titre alcalimétrique complet	
III.4.2.1. Principe	
III.4.2.2. Réactifs	60
III.4.2.3. Mode opératoire	61
III.4.2.4. Remarques	
III.4.3. Dosage de l'ammonium	
III.4.3.1. Principe	
III.4.3.2. Réactifs	
III.4.3.3. Mode opératoire	61
III.4.3.4. Remarques	
III.4.4. Dosage des nitrites	
III.4.4.1. Principe	
III.4.4.2. Réactifs	
III.4.4.3. Mode opératoire	62
III.4.4.4. Remarques	
III.4.5. Dosage des nitrates	
III.4.5.1. Principe	
III.4.5.2. Réactifs	63
III.4.5.3. Mode opératoire	64
III.4.5.4. Remarques	
III.4.6. Dosage des sulfates	
III.4.6.1. Principe	
III.4.6.2. Réactifs	64
III.4.6.3. Mode opératoire	65
III.4.6.4. Remarques	

III.4.7 Dosage des orthophosphates III.4.7.1. Principe III.4.7.2. Réactifs III.4.7.3. Mode opératoire III.4.7.4. Remarques	65 66
III.4.8 Dosage de fer III.4.8.1. Principe III.4.8.2. Réactifs III.4.8.3. Mode opératoire III.4.8.4. Remarques	66 67
III.4.9. Dosage de l'aluminium III.4.9.1. Principe III.4.9.2. Réactifs III.4.9.3. Mode opératoire III.4.9.4. Remarques	67 68
III.4.10. Dosage du sodium (Na ⁺) et du potassium (K ⁺) III.4.10.1. Principe III.4.10.2. Réactifs III.4.10.3. Mode opératoire III.4.10.4. Remarques	68 69
Chapitre IV Résultats et Discussion	
IV.1. Introduction	71
IV.2. Analyse et discussion par paramètre	71
IV.2.1. Turbidité [NTU]	71
IV.2.2. Potentiel d'hydrogène pH	73
IV.2.3. Conductivité électrique (μS/Cm)	74
IV.2.4. La teneur en matière dissoute totale TDS	75
IV.2.5. Dureté totale de l'eau TH (Titre Hydrotimétrique)	77
IV.2.6. Température de l'eau T (en °C)	78
IV.2.7. Salinité	79
IV.2.8. Titre alcalimétrique TA (en F°)	81
IV.2.9. Titre Alcalimétrique Complet TAC (en F°)	82
IV.2.10. Bicarbonates HCO ₃ ⁻ (mg/L)	83
IV.2.11. Calcium Ca ²⁺ (mg/L)	84
IV.2.12. Magnésium Mg ²⁺ (mg/L)	85
IV.2.13. Chlore Cl ⁻ (mg/L)	87
IV.2.14. Matière Organique (mg/L)	88

IV.2.15. Matière En Suspension (mg/L)	89
IV.2.16. Résidus Sec (mg/L)	91
IV.2.17. Ammonium NH_4^+ (mg/L)	92
IV.2.18. Les nitrates NO_3^- (mg/L)	93
IV.2.19. Les sulfates SO_4^{2-} (mg/L)	95
IV.2.20. Les orthophosphates PO_4^{2-} (mg/L)	96
IV.2.21. Les ions de Sodium Na^+ (mg/L)	97
IV.2.22. Les ions de potassium K^+ (mg/L)	98
Conclusion Générale	102
Bibliographie	
Annexes	
Perspective	



INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

L'eau potable constitue un élément fondamental de la santé publique et du développement durable. À l'échelle mondiale, l'accès à une eau de qualité demeure un défi majeur, confronté à des enjeux tels que la pollution, le changement climatique et l'urbanisation croissante. Selon l'Organisation mondiale de la santé (**OMS**), près de 2 milliards de personnes consomment de l'eau contaminée par des agents pathogènes, augmentant ainsi les risques de maladies hydriques telles que le choléra et la dysenterie. Pour garantir une gestion efficace de cette ressource vitale, un contrôle rigoureux des paramètres physico-chimiques de l'eau est essentiel afin de vérifier sa conformité aux normes internationales [01].

En Algérie, l'approvisionnement en eau potable repose principalement sur les nappes souterraines et les barrages. Cependant, la qualité de l'eau est fréquemment altérée par les rejets industriels, l'agriculture intensive et une urbanisation non maîtrisée. En réponse à cette problématique, des réglementations strictes ont été instaurées, en collaboration avec des organismes internationaux, pour surveiller les paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau distribuée à la population. Malgré ces efforts, certaines études révèlent des concentrations élevées de nitrates et de sels minéraux dans certaines sources d'eau, nécessitant un traitement spécifique avant consommation [02].

Dans la région de Guelma, l'approvisionnement en eau potable dépend des nappes souterraines et des stations de traitement. Toutefois, cette ressource est vulnérable à des risques de contamination, notamment en raison des rejets domestiques, des pratiques agricoles et des caractéristiques géologiques locales. Des analyses réalisées dans cette région ont mis en évidence des variations spatio-temporelles dans la qualité de l'eau, influencées par les saisons et les zones d'exploitation. Une surveillance continue est donc cruciale pour prévenir toute détérioration de la qualité de l'eau potable et garantir sa conformité aux normes nationales et internationales [03].

L'objectif de cette étude est de comparer les propriétés physico-chimiques de l'eau potable provenant de différentes sources de la région de Guelma avec les références de qualité établies. Cette analyse vise à identifier les écarts par rapport aux normes et à évaluer les facteurs influençant la qualité de l'eau distribuée. Les résultats obtenus permettront de formuler des recommandations pour améliorer la gestion et la protection des ressources en eau, assurant ainsi une meilleure qualité de vie pour la population locale [04].

Références :

- [01] : WHO (World Health Organization). (2021). Drinking Water: Key Facts and Global Quality Standards. WHO Report, Geneva.
- [02] : Bouderbala, A., Saidi, S., &Kherici, N. (2018). Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines en Algérie : Cas de la région de Guelma. Revue des Sciences Hydrologiques, 5(2), 88-104.
- [03] : Medjani, K., Bouzid, S., & Amari, N. (2022). Comparaison des caractéristiques physico-chimiques des eaux de consommation avec les normes internationales : Cas de l'Est Algérien. Journal Algérien d'Hydrologie et Environnement, 9(1), 35-50.
- [04] : Bekkouche, S. M., Bouhadeb, M., &Zeddouri, A. (2017). Évaluation de la qualité de l'eau potable distribuée en Algérie : Cas de la région de Guelma. Journal Algérien des Sciences et Techniques de l'Eau, 4(1), 55-68.

CHAPITRE I
GÉNÉRALITÉS SUR L'EAU
POTABLE

Généralités sur l'eau potable

I.1. Introduction :

Depuis l'Antiquité, l'eau a été un facteur déterminant dans l'implantation et le développement des civilisations. Les grandes sociétés humaines se sont souvent établies à proximité des sources d'eau, qu'elles utilisaient pour l'irrigation, l'hygiène, la consommation et les échanges. L'eau est une ressource naturelle fondamentale à la vie, indispensable à la survie de tous les êtres vivants ainsi qu'aux activités humaines, industrielles et agricoles. Sur le plan chimique, elle est constituée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène (H_2O), formant une molécule aux propriétés physico-chimiques particulières, notamment sa polarité, sa tension superficielle élevée et sa capacité à dissoudre un grand nombre de substances [57]. Bien qu'elle couvre environ **71 %** de la surface terrestre, seule une faible proportion est accessible et utilisable sous forme d'eau douce.

Depuis l'Antiquité, l'eau a été un facteur déterminant dans l'implantation et le développement des civilisations. Les grandes sociétés humaines se sont souvent établies à proximité des sources d'eau, qu'elles utilisaient pour l'irrigation, l'hygiène, la consommation et les échanges.

On distingue plusieurs types d'eau selon leur origine et leur usage : **L'eau douce, l'eau salée et l'eau de pluie.**

Selon les recommandations de l'**Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2011)**, une eau potable doit satisfaire à des exigences rigoureuses en matière de qualité microbiologique, chimique et physique. Une eau non conforme peut entraîner des risques sanitaires graves, tels que des maladies diarrhéiques, des parasitoses, des affections dermatologiques ou des intoxications. Cette nécessité de contrôle est largement développée dans les travaux de **Rodier (2009)**, qui insiste sur l'importance de l'analyse des paramètres de qualité pour les eaux destinées à la consommation.

Dans un contexte mondial marqué par la pression démographique, les modifications climatiques et les pollutions diverses, la gestion de l'eau est devenue un enjeu majeur pour les politiques publiques [61]. En Algérie, pays à climat semi-aride, la question de l'accès à l'eau potable reste un défi permanent, notamment dans certaines régions comme celle de Guelma, où la qualité et la disponibilité des ressources hydriques varient fortement selon les sources.

Ce chapitre présente les fondements scientifiques et contextuels liés à l'eau, en posant les bases nécessaires à la compréhension des problématiques de qualité, d'exploitation et de traitement.

Généralités sur l'eau potable

Il constitue également un socle théorique pour aborder l'étude comparative de l'eau potable dans la région de Guelma, qui fera l'objet des chapitres suivants.

I.2. Définition de l'eau potable :

L'eau potable est une ressource fondamentale pour la vie humaine et le développement durable. Elle est utilisée pour la consommation, la préparation des aliments, l'hygiène, ainsi que dans diverses applications industrielles et agricoles. L'eau potable doit répondre à des critères de qualité stricts pour garantir la santé publique. Elle provient de différentes sources, notamment les rivières, les lacs, les nappes phréatiques, et parfois des processus de désalinisation de l'eau de mer. La gestion de cette ressource est devenue un enjeu majeur à l'échelle mondiale, surtout dans les régions où l'eau douce est limitée, comme c'est le cas dans les zones semi-arides ou arides [57], [64].

I.3. Formes et sources de l'eau potable :

L'eau potable peut se présenter sous différentes formes en fonction de sa source et de son traitement. Les principales sources d'eau potable sont :

- **L'eau de surface** : Elle provient des rivières, des lacs et des réservoirs. L'eau de surface est généralement traitée dans des stations de purification avant d'être distribuée pour la consommation humaine. Cette source d'eau peut être sujette à une pollution de surface, nécessitant des traitements adéquats [60].
- **L'eau souterraine** : Cette eau provient des nappes phréatiques et est filtrée naturellement par le sol. Elle est souvent utilisée pour l'approvisionnement en eau potable, notamment dans les régions où les sources d'eau de surface sont insuffisantes. L'eau souterraine est généralement plus pure que l'eau de surface, mais elle nécessite parfois un traitement supplémentaire pour éliminer les contaminants [57], [64].
- **L'eau de pluie** : L'eau de pluie, bien qu'elle soit naturellement pure, peut contenir des impuretés dues à la pollution atmosphérique. Elle peut être récoltée à partir de systèmes de collecte pour être utilisée comme eau potable après traitement [64].
- **L'eau dessalée** : Cette forme d'eau est obtenue par le processus de dessalement de l'eau de mer. Elle est utilisée principalement dans les régions côtières où l'eau douce est rare. Cependant, le processus de dessalement est coûteux et nécessite une gestion soignée des ressources [60].

Généralités sur l'eau potable

- **L'eau traitée** : Il s'agit de l'eau qui a subi des traitements chimiques et physiques dans des stations de purification pour éliminer les agents pathogènes et les impuretés avant sa distribution [57].

Source d'eau	Méthodes de traitement	Avantages	Inconvénients
Eau de surface	Filtration, désinfection, coagulation	Traitement rapide, disponible en grande quantité	Pollution fréquente, nécessite un traitement complet
Eau souterraine	Filtration, désinfection légère	Moins polluée, filtration naturelle	Peut contenir des nitrates ou des métaux lourds
Eau de pluie	Filtration, désinfection, décantation	Naturellement douce, facile à collecter	Pollution atmosphérique, stockage nécessaire
Eau dessalée	Dessalement par osmose inverse	Disponible en milieu côtier, qualité stable	Coût élevé, forte consommation d'énergie

Tableau I.1 : Comparaison des méthodes de traitement de l'eau selon la source

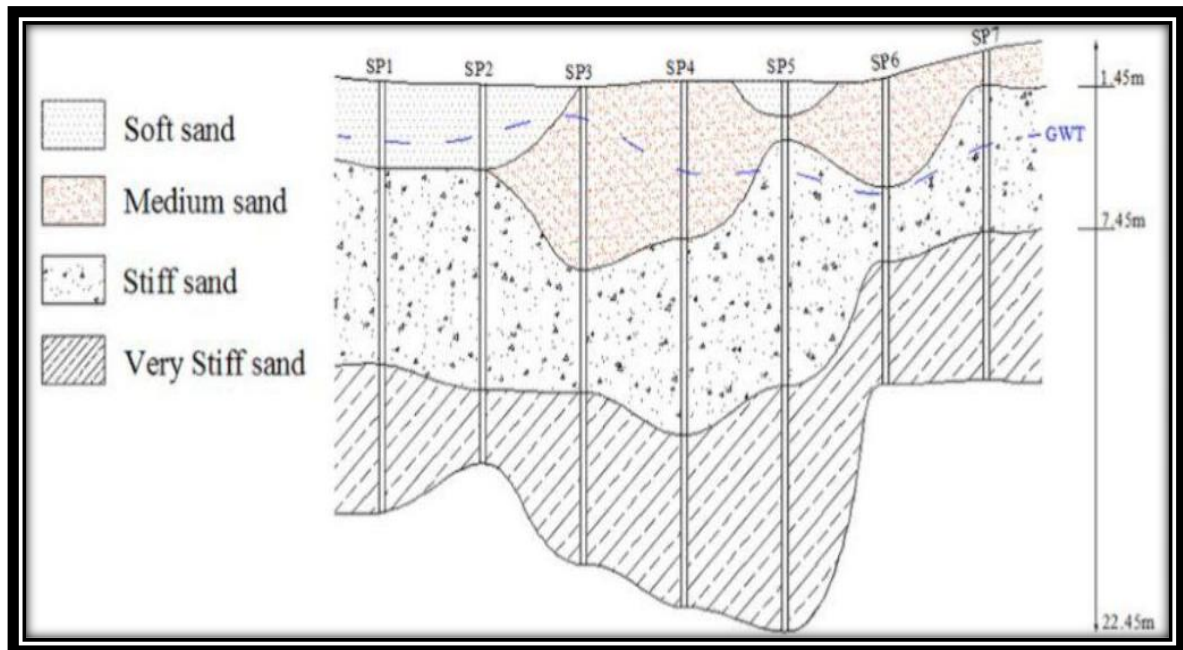


Figure I.1 : Coupe géologique montrant une nappe phréatique

I.4. Le cycle de l'eau et sources d'eau potable :

I.4.1. Le cycle de l'eau :

Le cycle de l'eau, ou cycle hydrologique, est un processus naturel continu par lequel l'eau circule à travers différents compartiments de la Terre, y compris l'atmosphère, les océans, les rivières, les lacs et les nappes souterraines. Ce cycle permet de régénérer les ressources en eau douce et d'assurer leur disponibilité pour les écosystèmes et les activités humaines. Selon la World Meteorological Organization (**WMO**), ce cycle est fondamental pour maintenir l'équilibre de la ressource en eau sur la planète [65].

Les principales étapes du cycle de l'eau sont les suivantes :

- **L'évaporation** : L'eau de surface (océans, lacs, rivières) s'évapore sous l'effet de la chaleur solaire. Elle se transforme en vapeur d'eau et monte dans l'atmosphère [65].
- **La condensation** : La vapeur d'eau se refroidit à mesure qu'elle monte dans l'atmosphère, se transformant en gouttelettes d'eau qui forment des nuages [57].
- **Les précipitations** : Lorsque les gouttelettes d'eau dans les nuages se regroupent et deviennent trop lourdes, elles retombent sous forme de pluie, neige ou grêle [65], [60].
- **Le ruissellement et l'infiltration** : Une partie de l'eau précipitée s'écoule à la surface sous forme de ruissellement, rejoignant les rivières et les lacs. L'autre partie s'infiltrate dans le sol, alimentant les nappes phréatiques [57], [64].
- **Le retour à l'océan** : L'eau des rivières et des nappes phréatiques finit par rejoindre les océans, bouclant ainsi le cycle de l'eau [65].

I.4.2. Le cycle des eaux souterraines (sources d'eau potable) :

Les eaux souterraines représentent une part essentielle du cycle de l'eau et constituent une source importante d'eau potable, notamment dans les régions où les ressources en eau de surface sont limitées. Ce cycle naturel permet non seulement de recharger les nappes phréatiques, mais aussi d'assurer une filtration naturelle de l'eau.



Figure I.2 : Illustration du processus d'infiltration de l'eau jusqu'à la nappe

a) L'infiltration des précipitations :

Le cycle commence par les précipitations (pluie, neige), qui tombent sur la surface terrestre. Une partie de cette eau s'infiltré lentement dans le sol, traversant les couches de terre, de sable, d'argile et de roches. Ce phénomène d'infiltration permet à l'eau de rejoindre les nappes phréatiques, qui agissent comme des réservoirs souterrains.

Dans des régions comme celle de Guelma, la topographie et les caractéristiques géologiques jouent un rôle important dans l'infiltration et la rétention de l'eau souterraine, influençant ainsi les ressources en eau disponibles [57], [40], [39].

b) La filtration naturelle :

Au cours de son passage à travers les différentes couches géologiques, l'eau est filtrée naturellement. Les particules de sol, les minéraux et les micro-organismes présents dans le sous-sol agissent comme des filtres, éliminant une grande partie des contaminants et des impuretés. Cette filtration rend l'eau souterraine souvent plus propre et plus stable que l'eau de surface.

Cependant, certaines zones, notamment celles sujettes à une activité agricole intensive comme à Guelma, peuvent voir leur qualité d'eau dégradée par les nitrates et autres produits chimiques. La filtration est donc influencée par l'activité humaine dans certaines régions [57], [01], [54].

Généralités sur l'eau potable

c) La régénération des nappes phréatiques :

Les précipitations régulières permettent de recharger continuellement les nappes phréatiques. Ce processus de régénération est vital pour assurer un approvisionnement durable en eau potable. Cependant, il peut être ralenti ou compromis par des activités humaines telles que l'urbanisation, la déforestation, ou l'imperméabilisation des sols.

La gestion des nappes phréatiques est donc cruciale pour éviter leur épuisement et garantir une eau potable suffisante à long terme. À Guelma, la pression exercée par ces facteurs nécessite une attention particulière pour préserver cette ressource essentielle [57], [18].

d) Les menaces sur les eaux souterraines :

Malgré leur qualité, les eaux souterraines ne sont pas à l'abri des risques. Elles peuvent être contaminées par :

- Des produits chimiques ou des nitrates issus de l'agriculture,
- Des polluants industriels ou domestiques,
- Des fuites de carburants ou d'eaux usées.

La surexploitation des nappes phréatiques, par un pompage excessif d'eau, peut aussi entraîner leur épuisement ou leur affaissement.

Ce phénomène est particulièrement marqué dans certaines régions comme Guelma, où la demande en eau est croissante, et où des risques de contamination sont accrus par les pratiques humaines [57], [40], [39].

Le cycle des eaux souterraines est un élément fondamental dans la production d'eau potable. Sa préservation passe par une gestion équilibrée des ressources, une surveillance constante de la qualité des eaux, et une réduction de la pollution. Protéger ce cycle naturel, c'est garantir l'accès à une eau potable saine pour les générations actuelles et futures. Dans des régions comme Guelma, la gestion des ressources en eau souterraine est cruciale pour faire face à l'urbanisation et aux défis environnementaux croissants [57].

I.5. Traitement de l'eau potable :

L'accès à une eau potable de qualité est une exigence fondamentale pour la santé publique, reconnue comme un droit humain essentiel. Le traitement de l'eau potable repose sur un ensemble d'étapes techniques normalisées, destinées à éliminer les agents pathogènes, les polluants chimiques, et à assurer une qualité conforme aux normes sanitaires internationales, notamment celles fixées par l'Organisation mondiale de la santé [47].

Généralités sur l'eau potable

En Algérie, l'enjeu du traitement de l'eau potable est particulièrement crucial en raison des conditions climatiques arides, de la pression démographique croissante et de la rareté des ressources hydriques. L'État a mis en place plusieurs stations modernes de traitement, notamment à partir d'eaux de surface et d'eau de mer dessalée [44]. Des efforts sont également faits pour intégrer les technologies les plus récentes afin de pallier les problèmes de potabilité, surtout dans les régions du Sud et les zones rurales [09].

Ainsi, le traitement de l'eau potable, loin d'être une simple opération technique, représente un enjeu stratégique, alliant exigences sanitaires, innovation technologique et adaptation aux réalités locales.

I.5.1. Contexte hydrique global et local :

L'accès à l'eau potable est un défi mondial, qui se manifeste de manière particulièrement aiguë dans les régions arides et semi-arides. **Le contexte hydrique global** montre que l'eau douce représente seulement **2,5 %** des réserves d'eau de la planète, et une grande partie de celle-ci est difficile d'accès, souvent située dans des glaciers ou des nappes phréatiques profondes. Selon **le rapport mondial sur l'eau 2020** publié par l'UNESCO, plus de 2 milliards de personnes vivent dans des régions où l'eau est insuffisante ou de mauvaise qualité, un phénomène accentué par le changement climatique, qui modifie les régimes de précipitations et aggrave la fréquence des sécheresses [61]. Par exemple, en Afrique subsaharienne, des pays comme le **Niger** et le **Tchad** font face à des pénuries d'eau chroniques, exacerbées par la désertification, nécessitant des solutions innovantes telles que les stations de dessalement ou les techniques de récupération des eaux de pluie.

En parallèle, **le contexte hydrique local** en Algérie présente des défis similaires. Le pays, qui connaît une grande variété de climats, fait face à des tensions hydriques sévères. En effet, environ 80 % du territoire algérien est désertique, où l'eau de surface est limitée et les nappes phréatiques sont souvent salées ou insuffisantes [44]. Dans les régions du nord, comme à **Alger** ou **Oran**, l'approvisionnement en eau est plus fiable, mais les infrastructures vieillissantes et le manque de traitement des eaux usées compliquent la distribution. À l'inverse, dans le sud du pays, comme à **Tamanrasset**, la situation est plus préoccupante, et l'eau potable provient souvent de ressources souterraines profondes ou du dessalement de l'eau de mer. À titre d'exemple, la station de dessalement de **Boudouaou**, inaugurée en 2018, produit une quantité significative d'eau potable pour la région de la capitale, représentant une solution face à la rareté des ressources en eau douce dans ces zones [07].

Généralités sur l'eau potable

Le changement climatique exacerbe ces problèmes : l'Algérie connaît une augmentation des températures et une diminution des précipitations, ce qui entraîne une diminution de la recharge des nappes phréatiques. Selon des études réalisées par le Ministère de l'**Environnement et des Énergies Renouvelables**, la fréquence des sécheresses devrait augmenter, ce qui met en lumière l'urgence d'adopter des technologies efficaces de gestion de l'eau [42]. Par exemple, le recours à des solutions telles que **la recharge artificielle des nappes phréatiques**, utilisée dans des pays comme la Jordanie, pourrait offrir une alternative dans certaines régions algériennes pour soutenir l'approvisionnement en eau [63].

En résumé, le **contexte hydrique** tant global que local montre qu'il est nécessaire de mettre en place des stratégies de gestion durable de l'eau, qui comprennent des investissements dans des infrastructures de traitement, des technologies innovantes comme le dessalement ou la collecte des eaux de pluie, ainsi qu'une meilleure gestion des ressources naturelles pour répondre à la demande croissante d'eau potable.

I.5.2. Potabilité et normes pour le traitement des eaux potables :

La potabilité de l'eau est définie par sa capacité à répondre à des critères de qualité physique, chimique et microbiologique, permettant une consommation sans risque pour la santé humaine. La norme la plus courante au niveau mondial est définie par l'Organisation mondiale de la santé (**OMS**), qui établit une série de seuils pour les contaminants tels que les bactéries coliformes, les métaux lourds, les nitrates et les pesticides [47]. Selon cette organisation, l'eau potable doit être exempte de contaminants microbiens et doit présenter un goût, une couleur et une odeur acceptables, tout en étant dépourvue de substances chimiques dangereuses à des concentrations dépassant les seuils établis. Par exemple, dans de nombreux pays développés, tels que le **Canada**, les autorités locales de l'Ontario mettent en œuvre des systèmes de gestion rigoureux de la qualité de l'eau, avec des tests réguliers des contaminants microbiens et chimiques [48].

En Algérie, **les normes nationales** de la qualité de l'eau potable sont régies par la législation du Ministère des Ressources en Eau et définissent les limites maximales de contamination pour divers éléments chimiques et biologiques. Par exemple, les eaux destinées à la consommation ne doivent pas dépasser une teneur en bactéries coliformes de zéro unité par 100 mL d'eau, et des seuils spécifiques sont également définis pour les métaux lourds tels que le plomb et le mercure [44]. Cependant, malgré ces normes, l'application et le suivi de la qualité de l'eau potable restent un défi, notamment dans les régions rurales où l'infrastructure est insuffisante. Par exemple, à **Alger**, l'**Agence Nationale des Ressources en Eau (ANRE)** surveille la qualité

Généralités sur l'eau potable

de l'eau potable dans la capitale, avec une utilisation croissante de **la station de dessalement de Boudouaou** pour fournir de l'eau potable tout en respectant les normes de qualité [05]. De plus, dans des régions comme le **Sahara algérien**, des initiatives locales sont mises en place pour traiter l'eau des nappes phréatiques, mais la gestion de la qualité demeure un défi majeur dans les zones reculées.

Les défis liés à la potabilité de l'eau comprennent la contamination par des micro-organismes pathogènes comme les **Escherichia coli** et les **Entérocoques**, particulièrement dans les zones où les systèmes de traitement et de distribution sont défectueux [47]. En parallèle, des défis physicochimiques se posent avec la présence de **métaux lourds** (plomb, arsenic, mercure), des **nitrites** et d'autres substances chimiques dangereuses issues des activités industrielles et agricoles [62]. Ces polluants altèrent non seulement la qualité de l'eau, mais affectent également ses caractéristiques organoleptiques (goût, couleur, odeur) [23]. Pour faire face à ces défis, des technologies telles que la **chloration**, l'**ozonation**, la **filtration sur charbon actif**, ainsi que des techniques plus avancées comme l'**osmose inverse** et la **dépollution par membranes** sont fréquemment utilisées pour éliminer les agents pathogènes et réduire la concentration de substances toxiques [25]. Ces méthodes sont particulièrement importantes dans des régions comme l'Algérie, où l'eau est souvent contaminée par des polluants industriels ou agricoles [62].

I.5.3. Les étapes de traitements :

Le traitement de l'eau potable suit une série d'étapes destinées à rendre l'eau propre à la consommation en éliminant les impuretés et les agents pathogènes. Ces étapes incluent généralement le prélèvement de l'eau à la source, le pré-traitement pour éliminer les impuretés visibles, la coagulation-floculation pour regrouper les particules fines, la filtration pour séparer les résidus solides restants, la désinfection pour éliminer les micro-organismes et la distribution de l'eau traitée. Chaque étape doit être réalisée avec soin pour respecter les normes de potabilité et assurer la sécurité de l'eau. Les technologies utilisées dans ces processus dépendent des caractéristiques de l'eau à traiter et des réglementations locales. [12].

- **Prélèvement de l'eau :** Le prélèvement de l'eau se fait à partir de sources naturelles telles que des rivières, des lacs, ou des nappes phréatiques. L'eau brute est ensuite transportée vers les installations de traitement. Cette étape est fondamentale car la qualité de l'eau à ce stade conditionne l'ensemble des traitements à venir [57].

Généralités sur l'eau potable

- **Pré-traitement** : Cette étape consiste à éliminer les impuretés visibles et les grosses particules en suspension avant les traitements plus fins. Les méthodes de pré-traitement incluent souvent des grilles et des dégrilleurs pour éliminer les déchets solides [64]. Les techniques courantes de pré-traitement comprennent :
 - *Filtration grossière* : Ce processus élimine les grandes particules solides de l'eau par des filtres à mailles larges ou des grilles. Il s'agit de la première étape dans la purification de l'eau, qui permet de réduire la charge sur les équipements de traitement ultérieurs.
 - *Décantation primaire* : Dans certaines stations de traitement, une décantation primaire est réalisée avant la coagulation pour séparer les plus grosses particules solides qui ne se sont pas éliminées lors du filtrage grossier. Ces étapes sont essentielles pour réduire la charge de matière organique et inorganique avant d'attaquer les contaminations plus fines et plus complexes, et sont particulièrement utiles dans les zones où les sources d'eau sont fortement exposées aux contaminants industriels ou agricoles [59].
- **Traitement principal** :

Selon **Rodier (2009)**, le traitement principal de l'eau potable intervient après les phases de prélèvement et de prétraitement, et repose sur des procédés physico- chimiques rigoureux permettant d'éliminer les impuretés résiduelles. Ce traitement vise à améliorer les caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques de l'eau afin d'assurer sa conformité aux normes de potabilité. Il se compose de plusieurs étapes successives, dont les plus importantes sont les suivantes :

 - *Coagulation-Floculation* : Les produits chimiques, tels que les coagulants (sulfate d'aluminium, chlorure ferrique), sont ajoutés pour provoquer la formation de floccs. Ces floccs piègent les particules fines, qui seront ensuite éliminées par décantation. Cette étape permet d'améliorer la clarté de l'eau [57].
 - *Filtration* : L'eau passe par un système de filtration qui peut inclure du sable, du charbon actif, ou des membranes à haute technologie pour éliminer les particules restantes et certaines impuretés dissoutes. Cette étape est essentielle pour purifier l'eau avant la désinfection [58].
 - *Décantation* : Après la coagulation et la floculation, la décantation permet de séparer les particules solides (floccs) de l'eau clarifiée. Ce procédé repose sur la gravité : les particules plus lourdes se déposent au fond des bassins de décantation. Ce procédé est suivi d'une filtration pour éliminer les impuretés restantes [57].

Généralités sur l'eau potable

- *Désinfection* : La désinfection vise à éliminer les agents pathogènes présents dans l'eau, tels que les bactéries, les virus et les parasites. La chloration est la méthode la plus courante, mais des techniques comme l'ozonation ou la filtration par UV peuvent aussi être utilisées pour améliorer l'efficacité de cette étape [64].
- *Distribution* : Après traitement, l'eau est stockée et distribuée via des réseaux de distribution. Des tests réguliers sont effectués pour vérifier la conformité de l'eau à la norme de potabilité avant sa distribution aux consommateurs [57].

- **Technologies avancées de traitement final de l'eau potable :**

En réponse aux limites des **méthodes conventionnelles** de traitement de l'eau potable, de nouvelles **technologies avancées** ont vu le jour afin d'assurer une qualité supérieure et durable. Parmi ces innovations, on distingue notamment les **technologies membranaires**, telles que **l'osmose inverse** et la **nanofiltration**, qui permettent une filtration fine adaptée aux exigences modernes [12]. **L'adsorption sur charbon actif** représente également une méthode efficace pour l'élimination des contaminants organiques ainsi que pour l'amélioration des propriétés organoleptiques de l'eau [57]. Enfin, le **dessalement** s'impose comme une solution stratégique pour répondre aux besoins en eau potable dans les régions soumises à un stress hydrique sévère [12]. Ces technologies feront l'objet d'une analyse approfondie dans les sections suivantes.

I.5.4. Problèmes, défis et impact sur la santé du traitement de l'eau potable :

Le traitement de l'eau potable est confronté à une série de défis techniques, environnementaux et financiers. L'un des plus importants est la **pollution de l'eau** par des contaminants tels que **les produits chimiques industriels**, les **métaux lourds**, et les **pesticides**. Ces polluants sont difficiles à éliminer avec des méthodes traditionnelles et nécessitent des technologies avancées, telles que les **membranes filtrantes** et **l'osmose inverse**. De plus, des **changements climatiques** influencent les régimes de précipitations, créant des pénuries d'eau qui compliquent le traitement et l'approvisionnement en eau potable dans certaines régions. Par ailleurs, **l'insuffisance d'infrastructures** et le **manque de financement** dans certains pays aggravent le problème, limitant la capacité des stations de traitement à assurer une purification adéquate [12], [57].

Les problèmes liés à l'inefficacité du traitement de l'eau peuvent entraîner de graves **impacts sur la santé publique**. L'eau non traitée ou mal purifiée est un vecteur de nombreuses **maladies infectieuses** causées par des **micro-organismes pathogènes** tels que **les Escherichia coli**, responsables de diarrhées, de fièvres et d'autres infections gastro-intestinales. **Les épidémies**

Généralités sur l'eau potable

de choléra sont fréquentes dans les régions où les systèmes d'approvisionnement en eau sont vétustes ou inexistants, affectant particulièrement les populations vulnérables dans les pays en développement [47].

Outre les contaminants microbiens, la présence de **substances chimiques**, comme les **métaux lourds** (plomb, arsenic), dans l'eau potable peut provoquer des **maladies chroniques**. L'arsenic, par exemple, est un contaminant bien connu dans les eaux souterraines, et son ingestion prolongée est associée à des **troubles neurologiques**, des **problèmes cardiovasculaires** et même à des **cancers**. Les **intoxications par le plomb** affectent gravement le système nerveux, en particulier chez les jeunes enfants [57]. Ces défis soulignent l'importance de maintenir des **normes strictes de qualité de l'eau** et de mettre en place des technologies efficaces pour garantir la potabilité de l'eau, tout en réduisant les risques sanitaires associés aux contaminations microbiennes et chimiques. Le traitement de l'eau potable est un domaine complexe et essentiel à la préservation de la santé publique et à la durabilité des ressources en eau. À travers les diverses étapes du traitement, allant du prélèvement à la désinfection, en passant par la coagulation, la floculation et la filtration, il est possible de garantir l'élimination des contaminants et d'assurer la potabilité de l'eau [12]. Cependant, ce processus est confronté à de nombreux défis, notamment les changements climatiques, la pollution industrielle et les limites des infrastructures [57]. Les avancées technologiques, telles que l'osmose inverse, la nanofiltration et l'adsorption sur charbon actif, ont permis de répondre à certains de ces défis en offrant des solutions plus efficaces et plus adaptées aux nouvelles formes de pollution [47].

Néanmoins, la question de la qualité de l'eau reste importante. Les problèmes de contamination, qu'ils soient microbiologiques ou chimiques, continuent d'affecter de nombreuses régions, avec des conséquences graves sur la santé des populations. L'eau non traitée ou mal purifiée est responsable de diverses maladies, dont certaines peuvent entraîner des épidémies majeures [47]. De plus, les impacts des polluants chimiques, tels que les métaux lourds et les produits chimiques industriels, soulignent l'importance d'un traitement efficace et d'une surveillance continue de la qualité de l'eau [57].

Les défis liés à la potabilité de l'eau sont donc multiples, mais grâce aux progrès technologiques et à une gestion plus rigoureuse des ressources en eau, il est possible de surmonter ces obstacles. Il reste crucial de continuer à investir dans les infrastructures, de renforcer les capacités techniques et de promouvoir des normes de qualité rigoureuses pour garantir un accès durable à l'eau potable pour tous [12]. Le traitement de l'eau, au-delà de son aspect technologique, est également une question de justice sociale et de développement durable. Assurer un accès

Généralités sur l'eau potable

équitable à une eau potable de qualité est un enjeu fondamental pour les sociétés modernes et un pilier pour la santé publique et l'environnement [47].

CHAPITRE II
DESCRIPTION DE LA ZONE
D'ÉTUDE

Description de la zone d'étude

II.1. Introduction :

La wilaya de **Guelma**, située dans le nord-est de l'Algérie, occupe une position stratégique en servant de carrefour entre les pôles industriels du nord, tels qu'**Annaba** et **Skikda**, et les centres d'échanges du sud, notamment **Oum El Bouaghi** et **Tébessa**. Elle est délimitée par les wilayas d'**Annaba** au nord, de **Skikda** au nord-ouest, de **Constantine** à l'ouest, d'**Oum El Bouaghi** au sud, de **Souk Ahras** à l'est et d'**El Tarf** au nord-est [43]. S'étendant sur une superficie de 3 686,84 km², la wilaya abritait une population estimée à 570 114 habitants en 2021, ce qui correspond à une densité moyenne de 155 habitants par km² [46]. Le relief de Guelma est diversifié, caractérisé par une importante couverture forestière et traversé par l'oued Seybouse, principal cours d'eau de la région. Ce relief varié comprend des montagnes, des plaines et des vallées, offrant ainsi un paysage riche et contrasté [06].

Cependant, la wilaya de Guelma fait face à certains problèmes environnementaux, notamment la pollution due aux activités industrielles et agricoles. Cette pollution peut avoir un impact significatif sur la qualité des ressources en eau, en particulier l'Oued Seybouse, qui reçoit des rejets domestiques et industriels non traités. La contamination des eaux souterraines et superficielles représente un défi majeur pour la préservation de l'environnement et la santé des habitants [37].

III.2. Situation Géographique et Accès :

L'accès aux ressources en eau est un facteur déterminant pour le développement socio-économique de la wilaya de Guelma. La distribution des sources naturelles est influencée par le relief varié de la région, allant des zones montagneuses aux plaines agricoles. Certaines sources, situées en hauteur, nécessitent des infrastructures spécifiques pour leur exploitation, tandis que celles en basse altitude sont plus vulnérables à la pollution et aux variations climatiques. Une gestion durable de ces ressources est donc essentielle pour préserver leur qualité et assurer un approvisionnement stable aux populations locales [54].

III.2.1. Localisation des sources dans la wilaya de Guelma :

La wilaya de Guelma est riche en ressources hydriques, avec plusieurs sources naturelles réparties sur son territoire. Parmi celles étudiées dans ce travail, on retrouve **Sellaoua Anouna**, **Ain Souda**, **Boucheougouf**, **Bouzitoune** et **Dahouara**. Ces sources se situent dans des

Description de la zone d'étude

environnements variés, allant des plaines fertiles aux zones montagneuses plus accidentées. Elles jouent un rôle clé dans l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation agricole et les activités thermales [06].

- **Sellaoua Anouna** : Située dans une zone vallonnée, cette source est connue pour la pureté de son eau et son utilisation domestique. Elle est exploitée de manière traditionnelle par les habitants des environs [38].
- **Ain Souda** : Localisée près de zones forestières, cette source bénéficie d'un environnement naturel préservé, bien qu'elle soit soumise à certaines pressions anthropiques, notamment liées à l'exploitation agricole et au tourisme [06].
- **Bouchegouf** : Située dans une région à forte activité agricole, cette source est essentielle pour l'irrigation des cultures et l'alimentation en eau domestique des populations locales [38].
- **Dahouara** : Importante pour l'approvisionnement en eau potable de plusieurs localités, cette source est connue pour son débit constant, garantissant une ressource hydrique stable malgré les variations saisonnières [38].
- **Bouzitoune** : Nichée dans un relief accidenté, cette source est particulièrement prisée pour ses propriétés thérapeutiques et ses usages domestiques [06].



Figure II.1. : Carte de localisation des sources étudiées dans la wilaya de GUELMA

Description de la zone d'étude

L'étude de ces sources permet de mieux comprendre leur répartition géographique et d'analyser les défis environnementaux qui les affectent, notamment la pollution, la surexploitation des nappes phréatiques et les impacts du changement climatique [38]).

III.2.2. Altitude et Relief :

Le relief de la wilaya de Guelma est marqué par une diversité géographique influençant directement la répartition et la qualité des ressources en eau. Il se compose de plaines fertiles, de vallées profondes et de chaînes montagneuses, notamment les monts de la Medjerda et les hauteurs de Beni Salah, où l'altitude dépasse parfois 1 200 mètres [29].

Le territoire est principalement caractérisé par :

➤ **Montagnes**, qui représentent environ 37,8 % de la superficie totale et atteignent des altitudes remarquables. Parmi les sommets notables, on trouve :

- ❖ *D'bagh* : 1 060 m d'altitude
- ❖ *Taya* : 1 208 m d'altitude
- ❖ *Houara* : 1 292 m d'altitude
- ❖ *Mahouna* : 1 411 m d'altitude
- ❖ *Beni Salah* : 1 306 m d'altitude
- ❖ *Djebel Gouadjlia* : 1 176 m d'altitude
- ❖ *Djebel Bouhachana* : 1 108 m d'altitude

Ces zones montagneuses jouent un rôle essentiel dans l'alimentation des sources en eau grâce aux précipitations et à l'infiltration dans les nappes souterraines, influençant ainsi fortement le climat local et l'écoulement des eaux vers les plaines et vallées [50].

➤ Plateaux :

Les plateaux couvrent environ 22 % de la superficie de la wilaya et offrent un relief relativement stable, propice à l'élevage et à l'agriculture. Parmi les principaux plateaux, on peut citer :

- *Plateau de Nechmaya* : connu pour son climat semi-aride et son potentiel agricole.
- *Plateau de Bordj Sabath* : situé au sud de la wilaya, il est utilisé pour l'agriculture et l'élevage.
- *Plateau de Hammam N'bail* : caractérisé par des sols calcaires et une faible densité de végétation [02].

Description de la zone d'étude

➤ **Plaines :**

Les plaines sont des zones propices à l'agriculture et à l'urbanisation, couvrant une partie importante de la wilaya. Parmi les plus importantes, on peut citer :

- *Plaine de Guelma* : une vaste zone agricole bénéficiant de ressources hydriques abondantes.
- *Plaine de Bouchegouf* : réputée pour ses terres fertiles et son activité agricole intensive.
- *Plaine d'Oued Zenati* : exploitée pour la culture céréalière et les plantations fruitières [50].

➤ **Collines :**

Les collines assurent une transition entre les zones montagneuses et les plaines. Elles représentent environ 26,2 % de la superficie de la wilaya. Parmi les principales collines, on retrouve :

- *Collines de Roknia* : riches en sources thermales exploitées à des fins thérapeutiques.
- *Collines de Hammam Debagh* : connues pour leurs formations rocheuses et leurs sources d'eau chaude.
- *Collines de Oued Zenati* : situées à l'ouest, elles présentent un sol favorable à l'agriculture [15].

➤ **Piémonts :**

Les piémonts constituent des zones intermédiaires entre les montagnes et les plaines, influençant la circulation des eaux souterraines. Les principaux piémonts sont :

- *Piémont de D'bagh* : marquant la transition entre les montagnes et les plaines fertiles.
- *Piémont de Bouhamdane* : jouant un rôle clé dans l'écoulement des eaux vers les bassins hydrographiques.
- *Piémont de Oued Frag* : situé au nord, il contribue à la recharge des nappes phréatiques [29].

Ces variations topographiques influencent le débit et la minéralisation des sources naturelles. Certaines, situées en altitude, possèdent une eau faiblement minéralisée, tandis que celles en plaine sont plus sujettes aux infiltrations et aux polluants agricoles [50].

Description de la zone d'étude

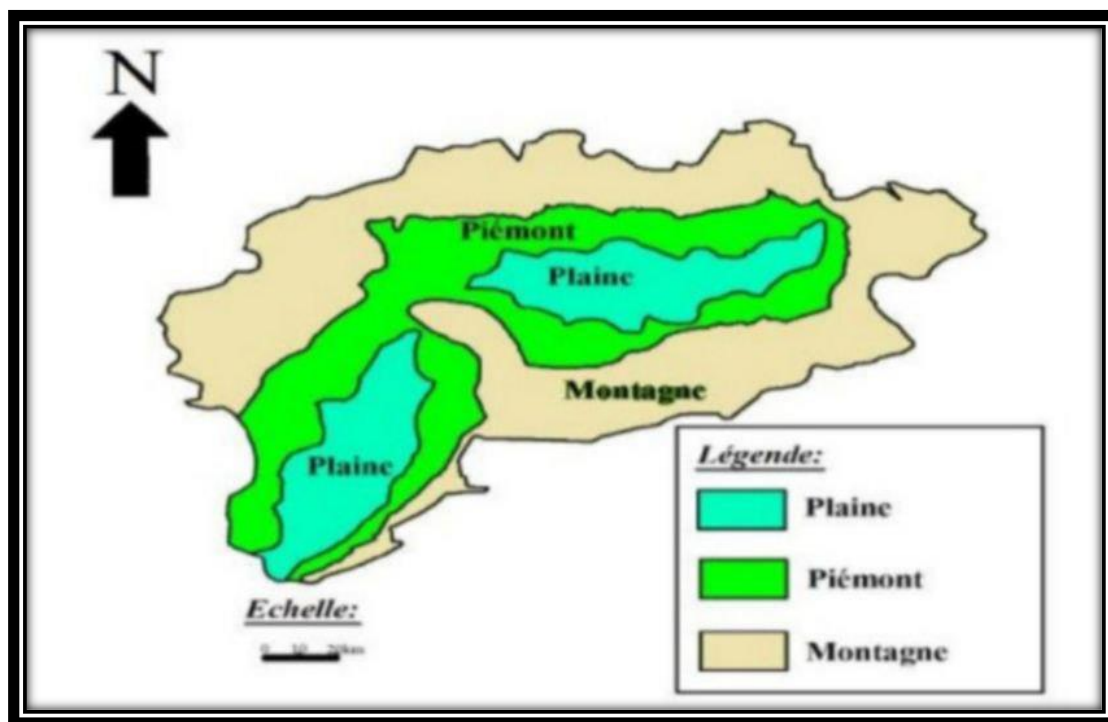


Figure II.2. : Carte topographique de la wilaya de GUELMA

III.2.3. Accessibilité et aménagements :

L'accessibilité aux différentes sources d'eau de la wilaya de Guelma varie en fonction de leur localisation et du niveau de développement des infrastructures. Certaines sources, situées à proximité des zones urbaines et des axes routiers, sont facilement accessibles, tandis que d'autres, nichées dans des régions montagneuses ou forestières, nécessitent des chemins plus difficiles d'accès.

Parmi les sources bien desservies, **Bouhegouf** bénéficie d'un réseau routier en bon état, facilitant son exploitation pour l'irrigation et l'approvisionnement en eau potable. Elle est équipée de canalisations permettant de distribuer l'eau vers plusieurs localités rurales avoisinantes, couvrant une superficie d'environ 120 hectares de terres agricoles [46].

En revanche, **Ain Souda**, située en zone boisée, est plus difficile d'accès en raison de sentiers non aménagés. Un projet de réhabilitation est en cours depuis 2021, visant à renforcer les pistes existantes et installer des bornes-fontaines pour les habitants locaux. Cependant, les travaux avancent lentement en raison de contraintes environnementales et administratives [50].

Concernant les aménagements, certaines sources ont fait l'objet de travaux de protection et de valorisation. **Dahouara**, par exemple, est équipée de structures permettant la collecte et la distribution de l'eau aux localités environnantes. Son débit est estimé à 2,5 litres par seconde,

Description de la zone d'étude

assurant un approvisionnement stable pour environ 3 000 habitants. De plus, des installations de filtration ont été ajoutées en 2020 pour améliorer la qualité de l'eau et prévenir toute contamination [06].

Sellaoua Anouna, localisée à la périphérie sud de la wilaya, bénéficie d'un accès routier relativement praticable, ce qui facilite son utilisation partielle pour l'irrigation. Bien que les infrastructures soient encore en développement, une route secondaire permet d'atteindre la source en véhicule, rendant son exploitation plus accessible que certaines sources enclavées. Depuis 2022, des efforts ont été entrepris pour améliorer les aménagements autour de la source, notamment par l'installation de canalisations rudimentaires et la sécurisation du périmètre afin de prévenir les risques de pollution. Le débit de la source, estimé à 1,8 litre par seconde, permet de répondre partiellement aux besoins des habitants des hameaux environnants, en particulier pour l'agriculture de subsistance. Toutefois, l'absence d'un système de stockage efficace et de dispositifs de traitement limite encore son potentiel, d'où la nécessité de poursuivre les investissements dans cette zone [19].

D'autres sources, comme **Bouzitoune**, restent vulnérables face aux risques de pollution et de surexploitation. Située dans un relief accidenté, elle manque encore d'un réseau de distribution efficace. L'eau y est collectée principalement de manière artisanale, et les habitants doivent parcourir de longues distances pour s'approvisionner. Une étude menée en 2021 a recommandé l'installation de réservoirs de stockage et la mise en place d'un plan de gestion des prélèvements pour préserver cette ressource fragile [38].

Le développement des infrastructures, notamment la réhabilitation des routes d'accès et l'installation de dispositifs de filtration et de stockage, est essentiel pour assurer une exploitation durable de ces sources tout en préservant leur qualité et leur disponibilité. À cet égard, plusieurs initiatives locales et nationales sont en cours pour améliorer l'accès et optimiser la gestion de l'eau dans la région [06].

Description de la zone d'étude

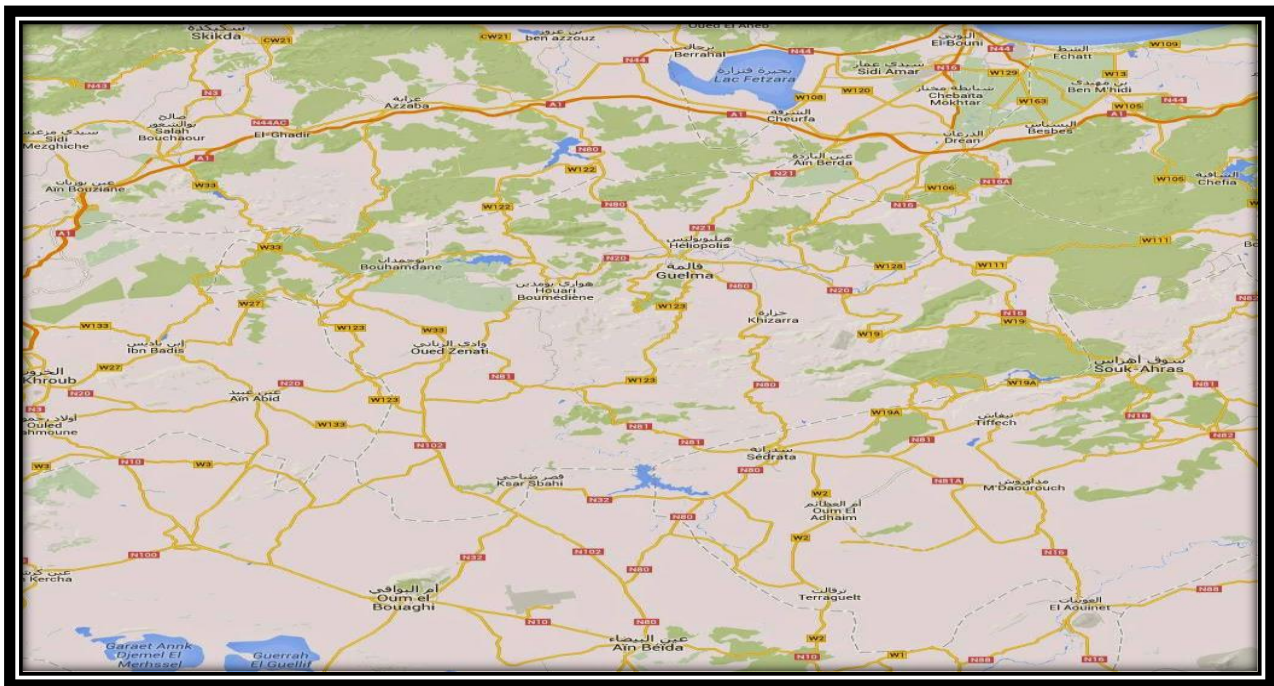


Figure II.3. : Carte de réseau routier dans la wilaya de GUELMA

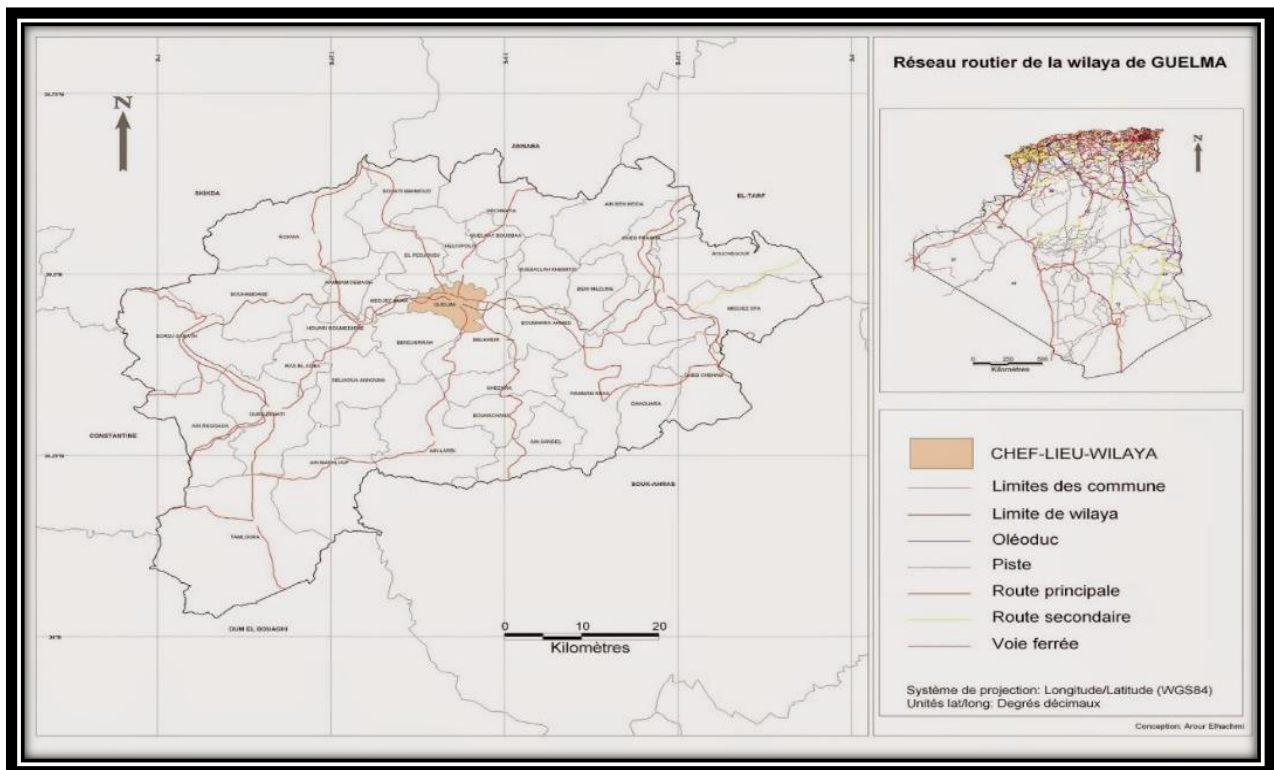


Figure II.4. : Carte de réseau routier dans la wilaya de GUELMA

Description de la zone d'étude

II.3. Aperçu Géologique et Stratigraphie :

L'évolution géologique de la wilaya de Guelma est marquée par une succession de formations rocheuses appartenant à différentes périodes. Ces formations influencent directement la disponibilité et la qualité des ressources en eau souterraine, en jouant un rôle dans la recharge et la circulation des nappes aquifères.

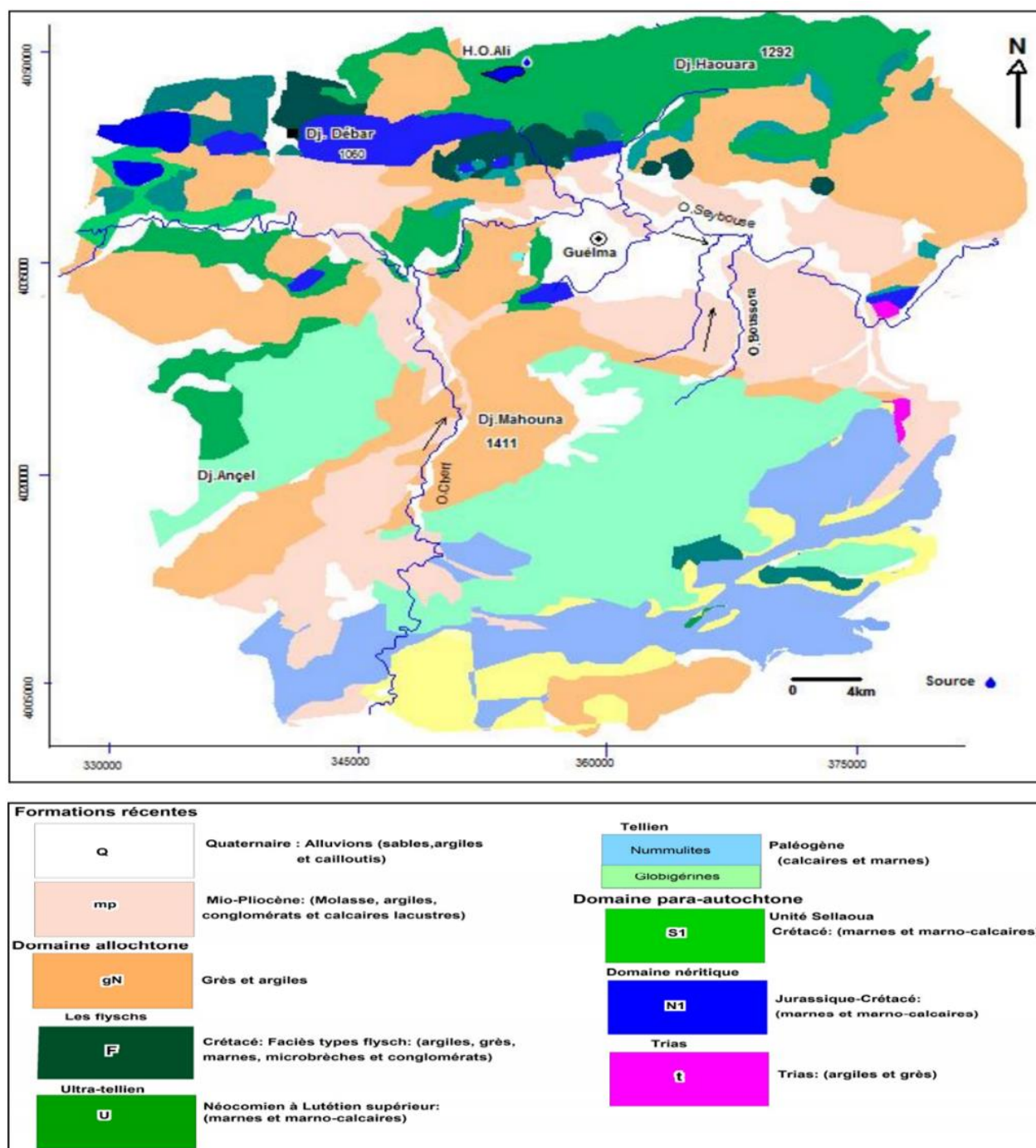


Figure II.5. : Localisation des différents aquifères dans la zone d'étude

Description de la zone d'étude

II.3.1. Le Primaire : Présence et caractéristiques des formations les plus anciennes

Les formations primaires, bien que peu répandues dans la région, se manifestent par des affleurements schisteux et quartzitiques dans certaines zones montagneuses. Ces roches métamorphiques, peu perméables, limitent l'infiltration des eaux souterraines mais peuvent constituer un socle imperméable permettant l'accumulation d'aquifères dans les formations plus récentes [30].

➤ Exemples :

- ❖ Les affleurements de schistes dans la région de **Ras El Agba**, qui forment un substrat imperméable.
- ❖ Les quartzites visibles près de **Hammam Debagh**, influençant la circulation des eaux thermales.
- ❖ Les formations cristallines de la région de **Aïn Makhlouf**, qui marquent une transition vers les terrains sédimentaires plus récents.

II.3.2. Le Trias : Nature des roches et leur impact sur l'hydrogéologie locale

Le Trias est principalement représenté par des formations évaporitiques (gypses, sels) et des dolomies. Ces formations jouent un rôle clé dans la minéralisation des eaux souterraines et peuvent influencer la qualité chimique des sources naturelles [06].

➤ Exemples :

- ❖ La présence de formations salifères dans la région de **Bouchegouf**, qui contribuent à une minéralisation plus élevée de certaines sources.
- ❖ Les calcaires dolomitiques de la région **d'Oued Zenati**, influençant le débit et la qualité des eaux de source.
- ❖ Les gypses affleurant dans les zones proches de **Guelma**, pouvant affecter la salinité des nappes phréatiques.

II.3.3. Le Jurassique : Stratigraphie et influence sur la structure des aquifères

Le Jurassique est caractérisé par des formations calcaires et marneuses, jouant un rôle important dans le stockage et la recharge des nappes aquifères. Ces roches sont souvent fracturées, facilitant ainsi l'infiltration et l'écoulement des eaux souterraines [51].

Description de la zone d'étude

➤ Exemples :

- ❖ Les calcaires karstifiés de la région de **Tamlouka**, qui alimentent plusieurs sources souterraines.
- ❖ Les marnes jurassiques près de **Hammam Debagh**, qui limitent la circulation de l'eau en raison de leur faible perméabilité.
- ❖ La présence de dolomies près de **Roknia**, influençant la composition chimique des eaux minérales.

II.3.4. Le Crétacé : Composition et rôle dans l'alimentation des nappes

Les formations crétacées, riches en calcaires et en sédiments marins, constituent d'importants réservoirs aquifères dans la région. Elles permettent le stockage et la redistribution de l'eau souterraine, assurant l'alimentation de plusieurs sources naturelles [20].

➤ Exemples :

- ❖ Les calcaires du Crétacé supérieur dans la région de **Nechmaya**, qui favorisent la présence d'aquifères profonds.
- ❖ Les sables et grès crétacés de **Bouhamdane**, jouant un rôle dans l'alimentation des nappes superficielles.
- ❖ Les formations marneuses du Crétacé inférieur près d'**Oued Fragha**, influençant la qualité de l'eau par leur richesse en minéraux dissous.

II.3.5. L'unité tellienne et ultra-tellienne : Influence sur la circulation des eaux souterraines

L'unité tellienne est marquée par des formations calcaires et des flyschs qui jouent un rôle clé dans la dynamique hydrogéologique régionale. La fracturation de ces roches favorise l'écoulement et le stockage des eaux souterraines [53].

➤ Exemples :

- ❖ Les calcaires telliens de **Aïn Larbi**, qui permettent l'accumulation d'aquifères captifs.
- ❖ Les flysch ultra-telliens de la région de **Bouhegouf**, qui influencent la percolation de l'eau vers les nappes profondes.
- ❖ Les marno-calcaires de **Djebel Mahouna**, limitant la circulation de l'eau en raison de leur imperméabilité partielle.

Description de la zone d'étude

II.3.6. Le Numidien : Relation avec l'hydrologie régionale

Le Numidien est caractérisé par des grès compacts et des formations argileuses, influençant la recharge et le stockage des eaux souterraines [16].

➤ Exemples :

- ❖ Les grès numidiens de **Hammam N'Bail**, jouant un rôle dans l'alimentation des sources thermales.
- ❖ Les argiles du Numidien moyen, limitant la circulation des eaux dans certaines zones de **Aïn Sandel**.
- ❖ Les grès perméables de **Guelma**, favorisant la formation de nappes perchées.

II.3.7. Le Mio-Pliocène : Impact sur les sources

Cette période est marquée par des formations alluviales et lacustres influençant directement la disponibilité des eaux souterraines [34].

➤ Exemples :

- ❖ Les terrains argilo-sableux de **Bordj Sabath**, retenant les eaux de surface et contribuant à l'alimentation des nappes.
- ❖ Les conglomérats du Pliocène près d'**Oued Cheham**, jouant un rôle filtrant naturel.
- ❖ Les sables miocènes de **Bouati Mahmoud**, influençant la recharge des nappes phréatiques.

II.3.8. Le Quaternaire : Importance dans la recharge des nappes et la qualité des sources

Les formations quaternaires sont principalement composées d'alluvions récentes et anciennes, jouant un rôle majeur dans la recharge des nappes phréatiques et la qualité des eaux de surface [06].

➤ Exemples :

- ❖ Les alluvions récentes d'**Oued Seybouse**, essentielles pour la recharge des nappes superficielles.
- ❖ Les terrasses fluviales de **Guelma**, influençant la distribution des aquifères peu profonds.
- ❖ Les dépôts sableux et limoneux de **Bouchegouf**, jouant un rôle dans la filtration naturelle des eaux.

Description de la zone d'étude

La géologie de la wilaya de Guelma joue un rôle fondamental dans la dynamique hydrologique régionale. Chaque période géologique contribue différemment à la recharge, au stockage et à la qualité des ressources en eau souterraine. Comprendre ces interactions permet une meilleure gestion des ressources hydriques et une exploitation plus durable des sources naturelles.

Ere	Système	Lithologie	Epaisseur (m)	Intérêt hydrogéologique	
				Perméabilité	Type d'aquifère
Quaternaire	Récant	➤ Alluvions actuelles : galets, calcaires, limons, travertins. ➤ Alluvions anciennes : <u>Basse Terrasse :</u> Sables, cailloutis, limons <u>Moyenne Terrasse :</u> Sables, cailloutis, galets, limons, conglomérats <u>Haute terrasse :</u> Galets, conglomérats, limons, sables	8-16	Perméables	<u>Aquifère de la basse terrasse</u>
			30-50		<u>Aquifère de la moyenne terrasse</u>
			100		<u>Aquifère de la haute terrasse</u>
	Ancien	Tufs calcaires	-	Perméable	
Tertiaire	Mio-Pliocène	Argile à gypse	-	Imperméable	Substratum
	Pliocène	Travertins	12-55	Perméable	Aquifère des travertins

Tableau II.1. : Description hydrogéologique des formations de la plaine de Guelma

Description de la zone d'étude

II.4. Cadre Hydrographique et Hydrogéologique :

La wilaya de Guelma possède un réseau hydrographique et hydrogéologique diversifié, influencé par la nature de son sous-sol et par les précipitations saisonnières. L'étude de ses cours d'eau, nappes et sources permet de mieux comprendre la dynamique de l'eau et son exploitation durable.

II.4.1. Réseau hydrique de la région :

Le réseau hydrique de Guelma est structuré autour de plusieurs cours d'eau et nappes phréatiques. L'Oued Seybouse, principal fleuve de la région, joue un rôle déterminant dans le drainage des eaux de surface et l'alimentation des aquifères locaux. D'autres oueds, comme l'Oued Bouhamdane et l'Oued Cherf, contribuent également à la recharge des nappes [06].

Les nappes phréatiques de Guelma sont principalement alimentées par les infiltrations des précipitations et les interactions avec les rivières. Parmi elles, la nappe alluviale de la vallée de Seybouse est l'une des plus importantes, offrant un potentiel significatif pour l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation agricole [34].

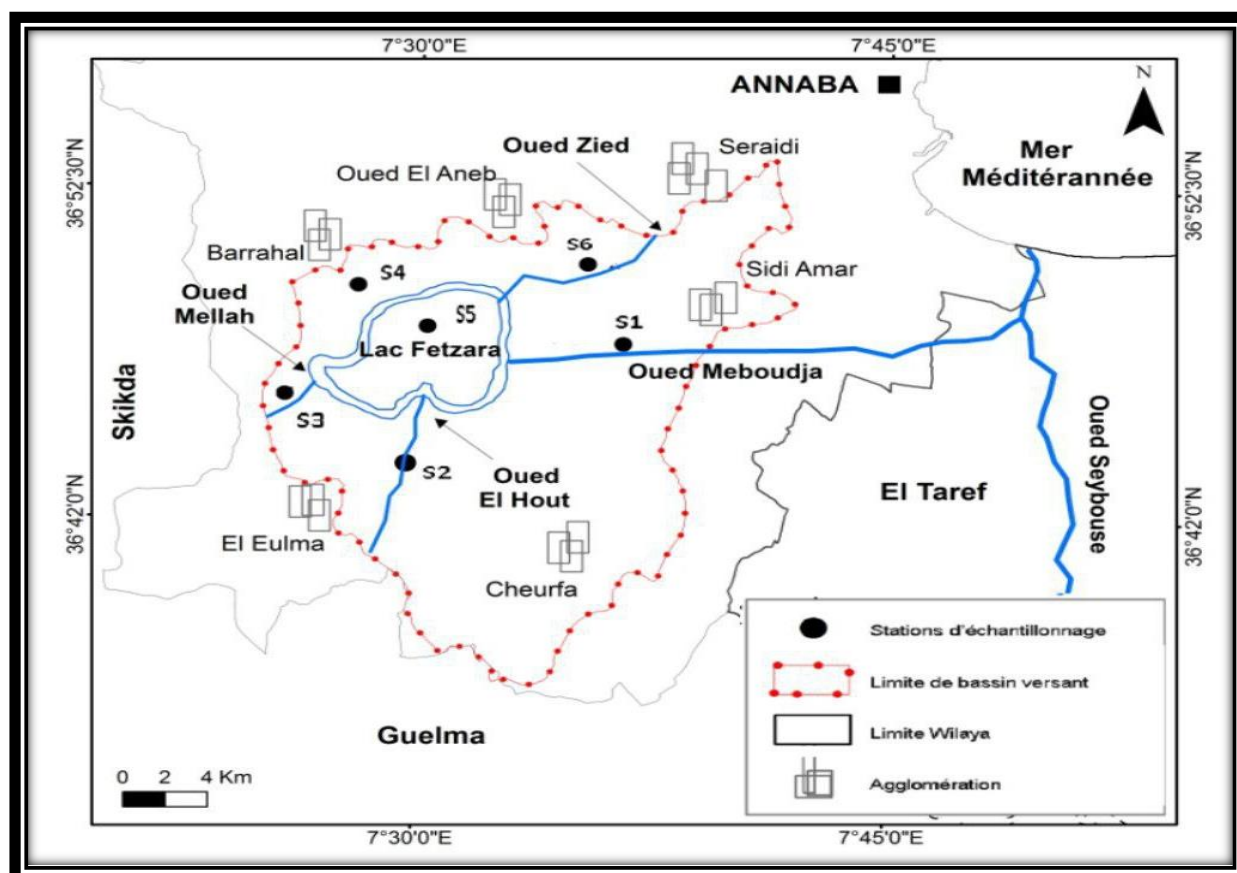


Figure II.6. : Principales rivières, nappes et sources

Description de la zone d'étude

II.4.2. Principales sources et cours d'eau associés :

Plusieurs sources naturelles émergent dans la wilaya de Guelma, certaines étant directement connectées aux cours d'eau locaux :

- **Source de Sellaoua Anouna** : Située dans une zone montagneuse, cette source est alimentée par les infiltrations des précipitations et contribue aux écoulements de l'**Oued Bouhamdane**. Son débit varie en fonction des saisons, avec une diminution notable en période estivale [20].
- **Ain Souda** : Connue pour la qualité de son eau, cette source est directement liée aux formations calcaires du Jurassique, favorisant une alimentation régulière des eaux souterraines. Elle est principalement utilisée pour l'approvisionnement en eau potable des habitants des environs [54].
- **Bouhegouf** : En interaction avec la nappe phréatique alluviale, cette source joue un rôle essentiel dans l'alimentation en eau potable et l'irrigation des terres environnantes. Sa proximité avec les zones agricoles la rend vulnérable aux variations hydriques et à la pollution par les engrais et pesticides [17].
- **Bouzitoune** : Cette source, située dans un relief escarpé, présente un accès plus difficile. Son alimentation dépend des précipitations et des infiltrations souterraines. L'absence d'aménagements modernes limite son exploitation, bien qu'elle soit utilisée localement pour l'irrigation et l'abreuvement du bétail [50].
- **Dahouara** : Source bien desservie par des infrastructures de distribution, elle alimente plusieurs localités en eau potable. Grâce à des aménagements récents, elle bénéficie d'une meilleure gestion pour éviter les pertes hydriques et assurer une distribution stable [32].

Ces sources, bien que variées en termes de localisation et de débit, sont toutes influencées par les conditions climatiques, les formations géologiques et les activités humaines.

II.4.3. Relation entre les nappes phréatiques et les sources :

Les nappes phréatiques influencent directement le débit et la pérennité des sources. Dans la région de Guelma, la recharge des nappes dépend fortement des précipitations et des échanges avec les cours d'eau. Les formations karstiques facilitent l'écoulement des eaux souterraines vers les sources naturelles, tandis que les nappes alluviales offrent un réservoir important, mais sensible aux variations climatiques [26].

L'exploitation excessive des nappes peut entraîner une diminution du débit des sources et affecter leur qualité en raison de la remontée d'eaux plus minéralisées. C'est le cas de certaines

Description de la zone d'étude

sources proches des zones agricoles intensives, où l'irrigation puise directement dans la nappe phréatique [51].

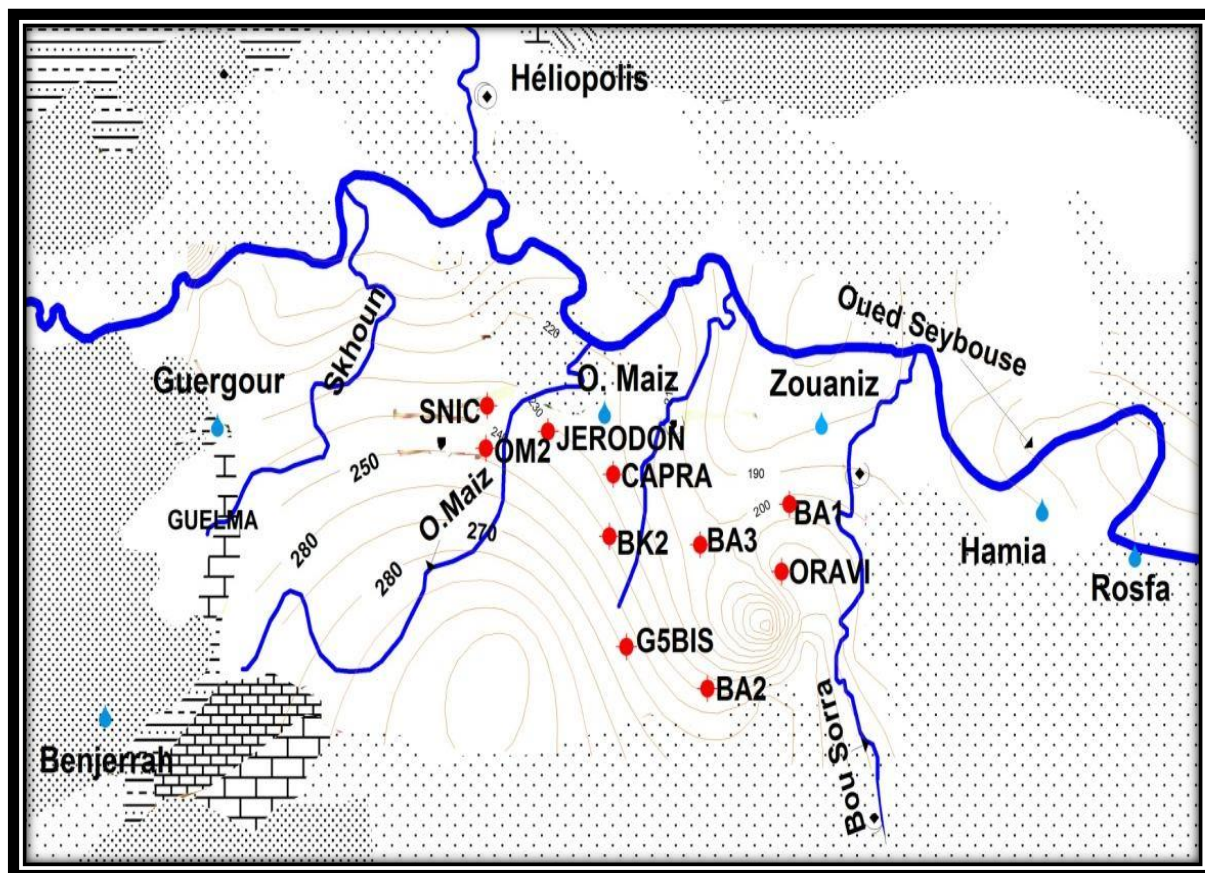


Figure II.7. : Interconnexion géographique et hydrologique à Guelma : Route et nappes phréatiques

Station	P (mm)	ETP (mm)	R (mm)	I (mm)
HM. DEBAGH	562.2	962.4	63.94	118.86

Tableau II.2. : Répartition des lames d'eau dans la zone d'étude

L'analyse hydrique et climatique de la région étudiée met en évidence un climat à tendance semi-aride, marqué par une irrégularité des précipitations et une évapotranspiration potentielle élevée, particulièrement durant la saison estivale. Le bilan hydrique révèle une période de déficit hydrique s'étendant de mai à octobre, nécessitant un apport d'irrigation pour pallier le manque d'eau disponible pour les cultures.

Description de la zone d'étude

Les résultats obtenus à partir des estimations du ruissellement et de l'infiltration montrent que la plus grande part de l'eau précipitée est perdue par évapotranspiration, tandis que le ruissellement reste relativement faible. L'infiltration représente une composante non négligeable, indiquant un potentiel de recharge des nappes souterraines, malgré les contraintes climatiques.

Ainsi, une gestion rationnelle et adaptée des ressources en eau s'impose, notamment à travers la collecte des eaux de ruissellement et l'optimisation des techniques d'irrigation, pour faire face aux besoins agricoles croissants dans cette zone vulnérable.

II.5. Climatologie et Influence sur les Sources :

Le climat joue un rôle déterminant dans la recharge des nappes et la disponibilité des sources d'eau. Située dans le nord-est de l'Algérie, la wilaya de Guelma est soumise à un climat méditerranéen, caractérisé par des hivers doux et humides et des étés chauds et secs. Ces conditions influencent directement le cycle hydrologique, notamment la recharge des nappes phréatiques, l'évaporation des ressources en eau et le régime des cours d'eau.

➤ Analyse des données climatiques :

L'étude des paramètres climatiques permet de mieux comprendre l'évolution des ressources en eau et leur variabilité saisonnière.

II.5.1. Précipitations : Régime des pluies et impact sur la recharge des nappes :

Les précipitations dans la région de Guelma suivent un régime typiquement méditerranéen, avec des pluies plus abondantes en automne et en hiver, et une sécheresse marquée en été. La moyenne annuelle des précipitations est estimée entre **500 et 700 mm**, avec une concentration des précipitations entre novembre et mars [45].

Les zones montagneuses, comme le massif de Beni Salah, enregistrent des précipitations plus importantes, favorisant une meilleure infiltration de l'eau et la recharge des nappes phréatiques. Cependant, les années de faible précipitation entraînent une diminution du débit des sources naturelles, en particulier celles qui dépendent des infiltrations lentes [17].

Description de la zone d'étude

Mois	S	O	N	D	Jan	F	M	A	M	J	J	A	Ann
Moyenne	34.2	42.2	59.6	94.5	73.8	75.8	66.5	50.97	48.16	17.7	20.5	9.87	572.2
max	114	111.2	186	192.6	209	243	147	126.4	140.7	105	31.7	63	747
Min	0	0	9	20.1	11	9.8	9.5	9	2.5	0	0	0	314.8
Ecart type	41.4	28.5	19	61.6	69.9	35.2	82.5	39.6	41.7	8.6	5.5	8.9	147.3
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
Moyenne	45.3			81.4			55.2			48.09			

Tableau II.3. : Variations mensuelles des précipitations (Station de H. Débagh).

Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période d'observation	
				Précipitations	Températures
H. Debagh	07° 15'E	36° 27'N	350	1971/72 -2008/09	1986/87-2008/09

Tableau II.4. : Caractéristiques des stations météorologiques

II.5.2. Températures : Variabilité saisonnière et effets sur l'évapotranspiration :

La température moyenne annuelle à Guelma est d'environ 17°C, avec des écarts marqués entre l'été et l'hiver. En juillet et août, les températures maximales dépassent souvent 35°C, favorisant une évaporation accrue et une diminution des écoulements de surface [04].

Mois	S	O	N	D	Jan	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne
St.Guelma	25	22	12	11	7.5	8	12	14	22	24	27	29	17.80
St.A Larbi	23	19	13	12	7	10	12	13	22	24	28	28	17.60
St.Hm Déb	25	21	15	12	8	11	14	16	20	25	29	29	19

Tableau II.5. : Températures extrêmes moyennes mensuelles

L'évapotranspiration potentielle est particulièrement élevée en été, réduisant la disponibilité de l'eau de surface et accélérant l'assèchement des petites sources. À l'inverse, en hiver, les températures plus basses limitent l'évaporation et favorisent le stockage de l'eau dans les nappes [56].

Description de la zone d'étude

II.5.3. Type de climat : Classification et influence sur les ressources en eau :

Selon la classification de Köppen-Geiger, le climat de Guelma est de type méditerranéen Csa (méditerranéen à été chaud), caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides alors des précipitations hivernales suffisantes pour maintenir un équilibre hydrologique, mais une forte évaporation estivale pouvant entraîner un stress hydrique temporaire [45].

Ce climat favorise une concentration des précipitations sur une courte période de l'année, ce qui peut provoquer des crues soudaines et un ruissellement intense. Les nappes alluviales bénéficient alors d'une recharge rapide, mais la répartition inégale des pluies limite l'alimentation continue des sources [33].

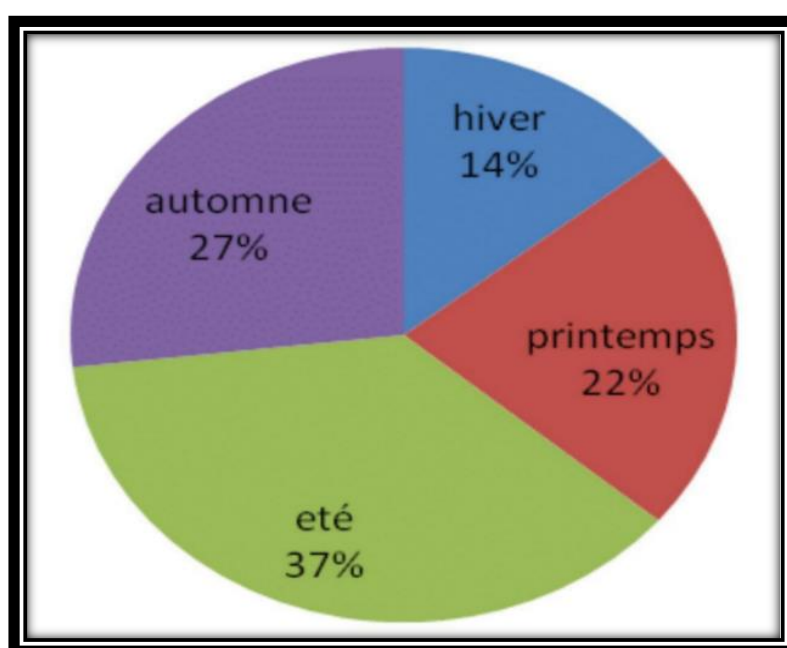


Figure II.8. : Spectre thermique moyen saisonnier dans la région de GUELMA (2000-2010)

II.5.4. Humidité relative de l'air : Influence sur l'évaporation et la conservation des sources :

L'humidité relative moyenne annuelle varie entre 60 % et 80 %, avec des valeurs plus élevées en hiver et plus faibles en été [22]. Une humidité élevée réduit le taux d'évaporation, favorisant la conservation de l'eau dans les sols et les nappes peu profondes. En revanche, lorsque l'humidité diminue en été, l'évaporation des retenues d'eau et des sources non protégées s'accélère, ce qui peut conduire à un tarissement temporaire [14].

Description de la zone d'étude

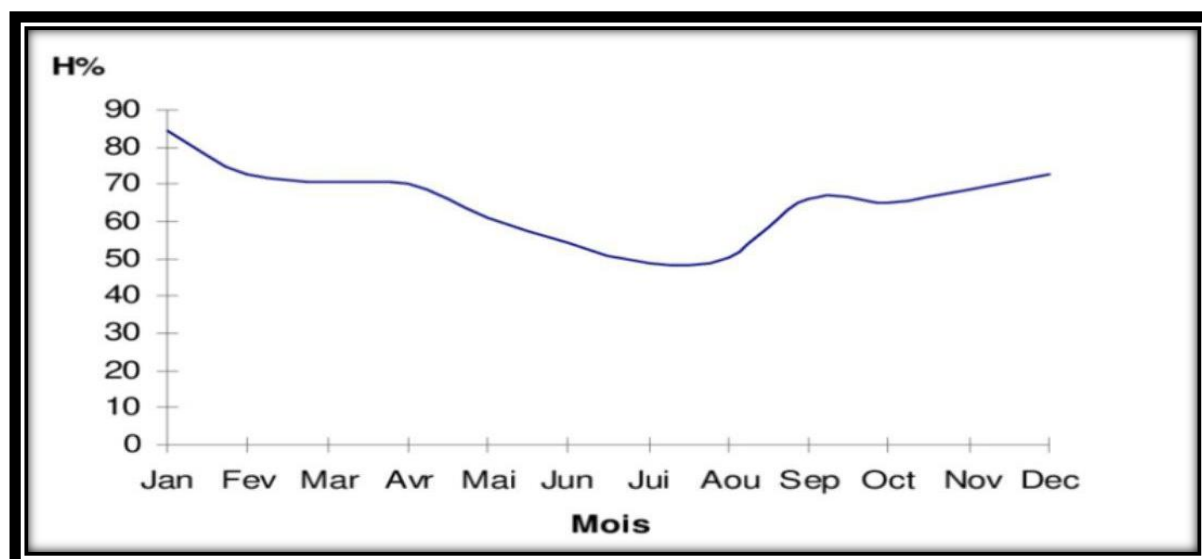


Figure II.9 : Variation moyenne de l'humidité de la station de BELKHEIR

II.5.5. Vents : Impact potentiel sur l'érosion et l'alimentation des nappes :

Les vents dominants dans la région soufflent généralement du nord-ouest en hiver et du sud en été. Les vents chauds et secs, comme le Sirocco, peuvent accentuer l'évaporation et assécher rapidement les petits cours d'eau et les sources superficielles [49].

L'érosion éolienne affecte principalement les sols des zones arides et semi-arides, modifiant parfois la capacité d'infiltration des terrains et influençant ainsi la recharge des nappes phréatiques [27].

L'analyse du climat de la région de Guelma met en évidence une forte variabilité saisonnière qui influence directement la disponibilité des ressources en eau. La combinaison de précipitations inégales, de températures élevées en été et de vents asséchants impacte la recharge des nappes et le débit des sources naturelles. Une gestion durable des ressources hydriques doit ainsi tenir compte des cycles climatiques et des variations interannuelles afin d'anticiper les périodes de stress hydrique et d'adopter des stratégies de conservation adaptées.

II.6. Situation Écologique et Conservation des Sources :

La conservation des ressources en eau repose sur plusieurs facteurs environnementaux et anthropiques qui influencent directement la quantité et la qualité des sources. La wilaya de Guelma, avec son écosystème varié, subit des pressions croissantes liées aux activités humaines et aux changements climatiques, nécessitant ainsi des stratégies adaptées pour la gestion durable de ses ressources hydriques.

Description de la zone d'étude

II.6.1. Végétation et couverture forestière : Rôle de la végétation dans la protection des sources :

La végétation joue un rôle essentiel dans la régulation du cycle de l'eau et la protection des nappes et sources. Les forêts et les zones boisées, en particulier dans le massif de Béni Salah et les monts environnants, facilitent l'infiltration des eaux pluviales et réduisent l'érosion des sols. Ces zones agissent comme des filtres naturels, limitant la pollution des eaux souterraines et contribuant à la recharge des nappes phréatiques [35].

Cependant, la déforestation progressive, due aux incendies et à l'extension des terres agricoles, réduit cette capacité d'infiltration, favorisant le ruissellement rapide et augmentant le risque d'érosion et de sédimentation des sources [21].

Un exemple concret est la diminution du débit de certaines sources dans la région de Hammam Debagh, attribuée en partie à la réduction de la couverture végétale sur les hauteurs environnantes [17].

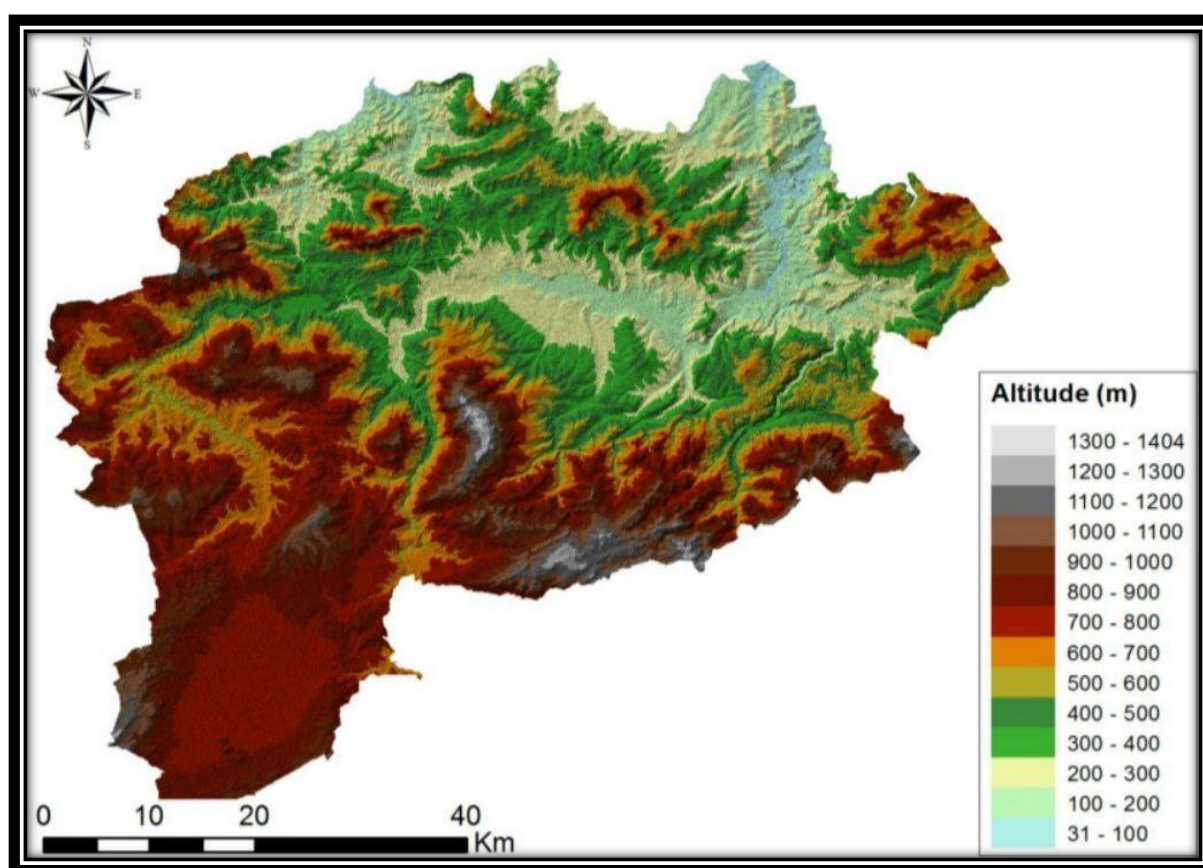


Figure II.10 : Classe d'altitude de la wilaya de Guelma

Description de la zone d'étude

II.6.2. Impact des activités humaines : Effets de l'urbanisation, de l'agriculture et de l'industrie sur la qualité et la quantité des eaux :

❖ Urbanisation et artificialisation des sols :

L'expansion des zones urbaines à Guelma a entraîné une imperméabilisation des sols, limitant l'infiltration naturelle de l'eau et augmentant le ruissellement de surface. Ce phénomène réduit la recharge des nappes phréatiques et intensifie les risques de pollution des sources par les eaux usées non traitées [06].

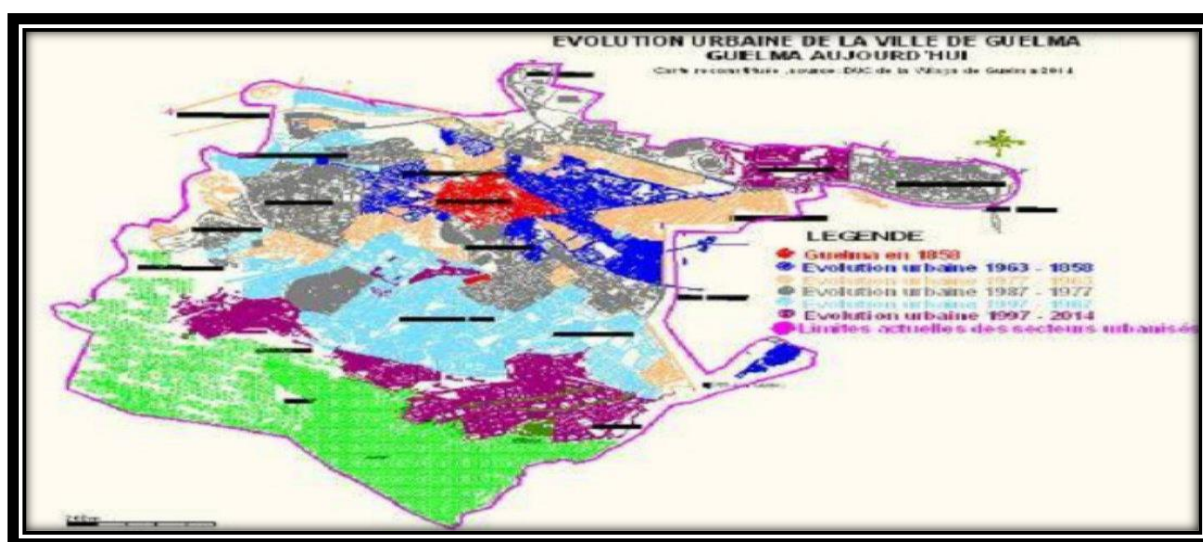


Figure II.11 : Évolution urbaine de la ville de GUELMA 2014



Figure II.12 : Vue partielle de la ville de GUELMA 2012

Description de la zone d'étude

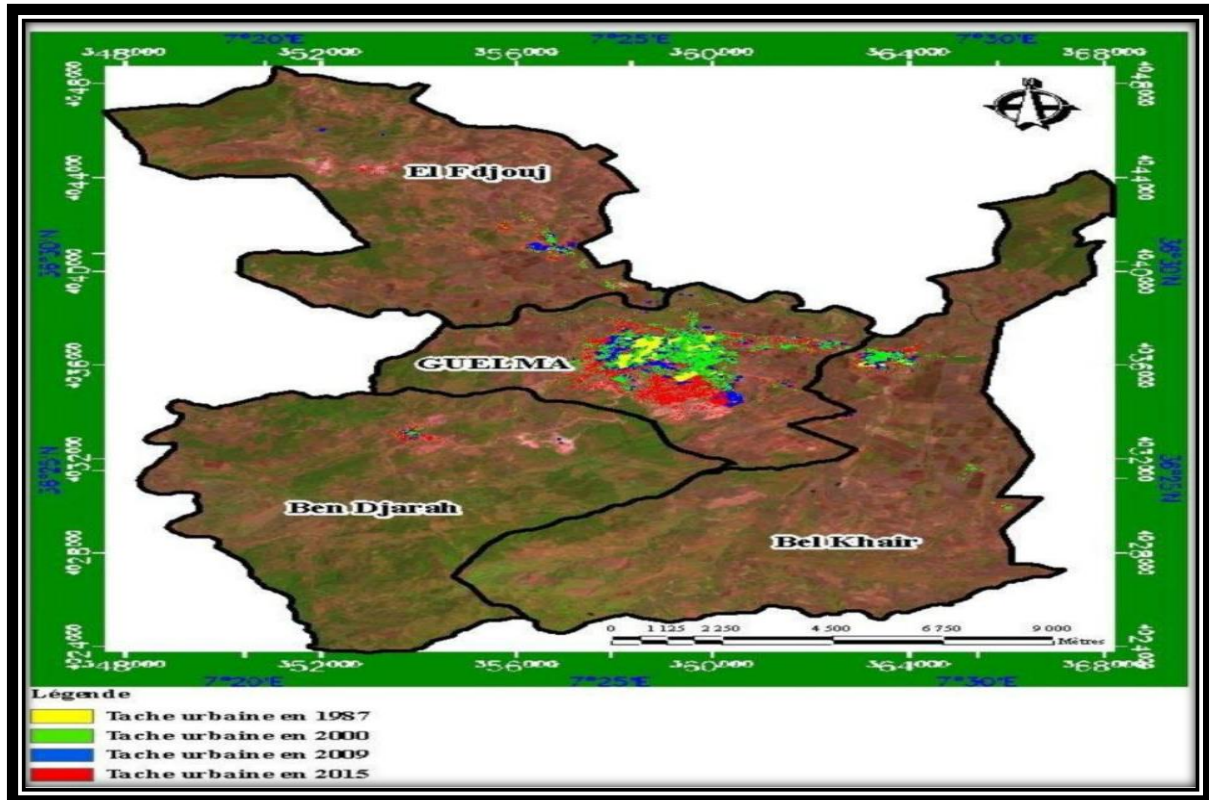


Figure II.13 : Évolution de la tache urbaine du groupement intercommunal de GUELMA entre 1987-2015

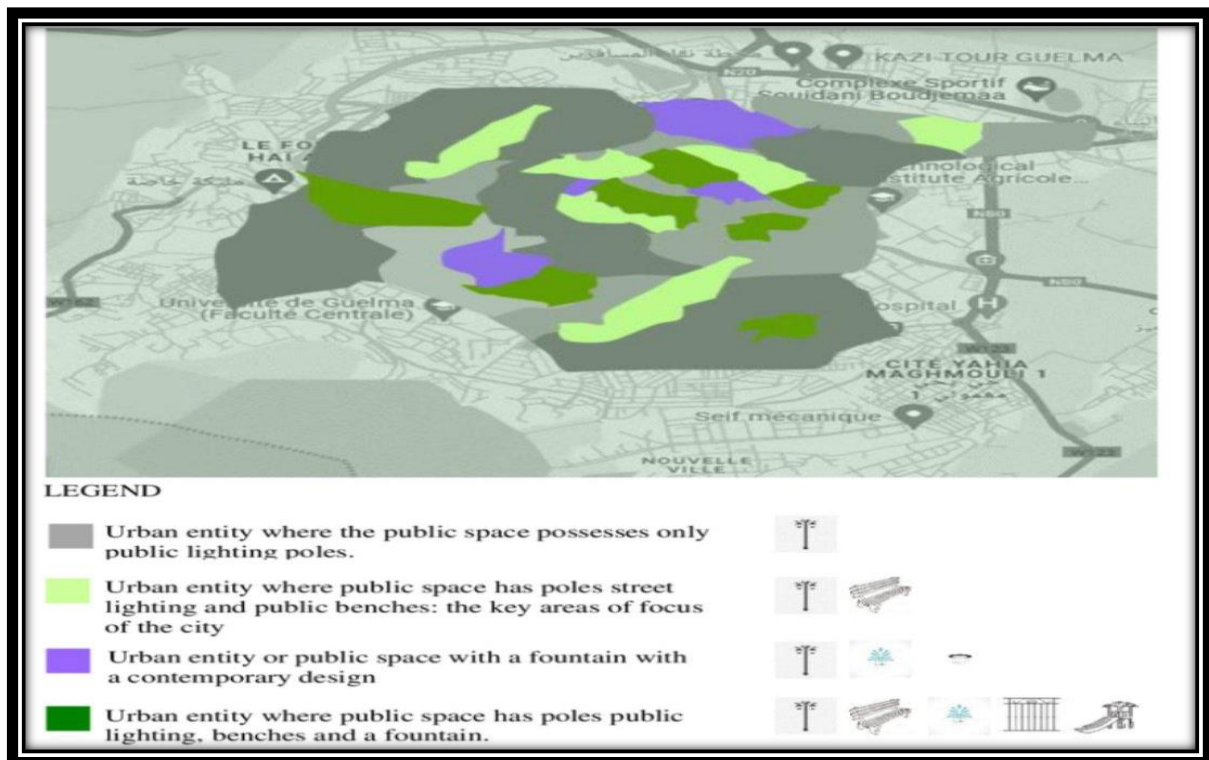


Figure II.14 : Typologie des espaces publics de la ville de Guelma

Description de la zone d'étude

❖ Agriculture intensive et utilisation des pesticides :

L'agriculture dans la plaine de Guelma repose en grande partie sur l'irrigation à partir des nappes phréatiques. L'usage excessif d'engrais et de pesticides a contribué à la contamination des eaux souterraines par les nitrates et les phosphates, mettant en péril la qualité de plusieurs sources [28]. Une étude menée sur la source de Bouhamdane a révélé des concentrations élevées de nitrates, dépassant les normes de l'OMS pour l'eau potable [41].

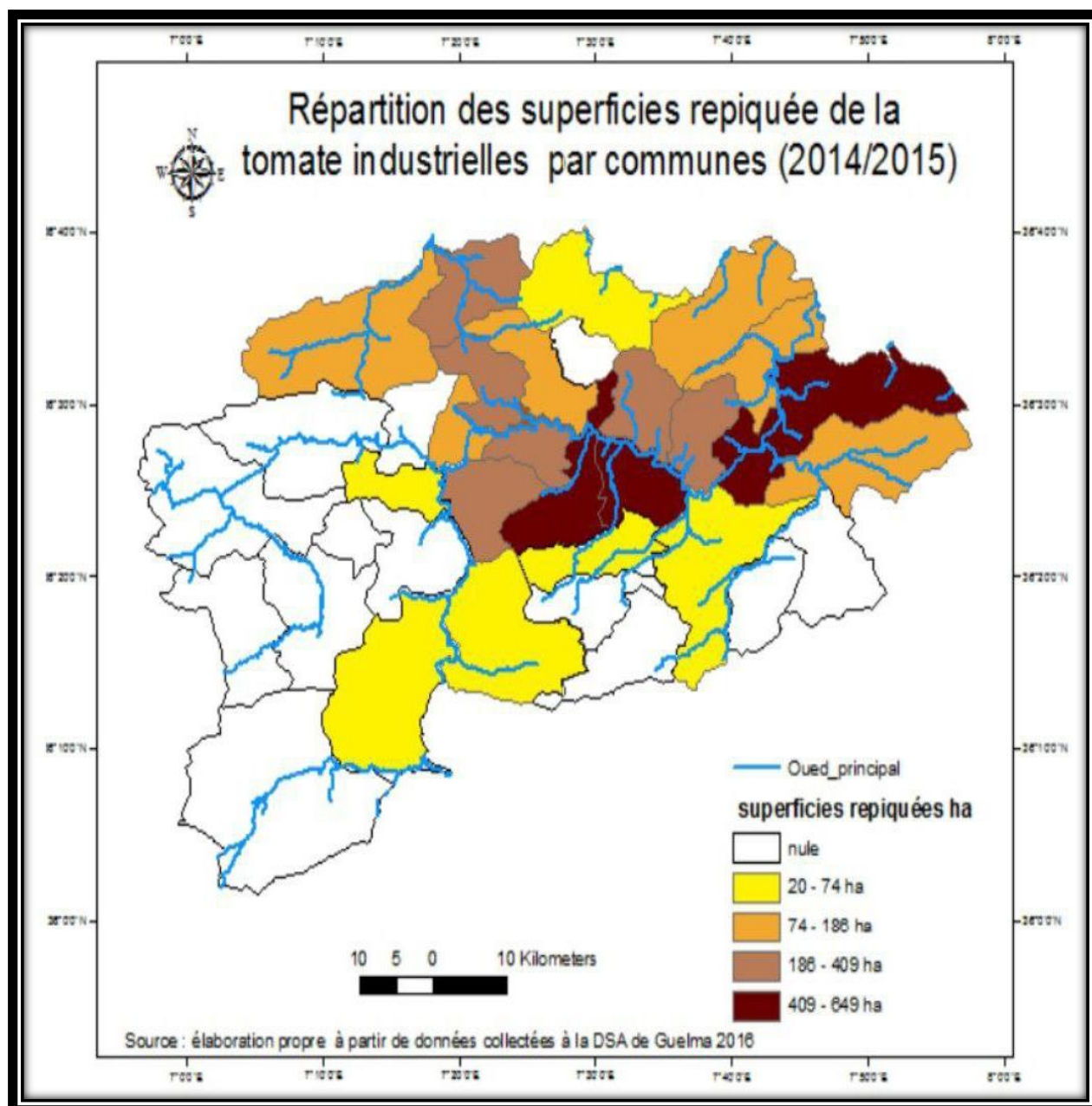


Figure II.15 : Répartition des superficies repiqués de la tomate industrielles par commune (2014-2015)

Description de la zone d'étude

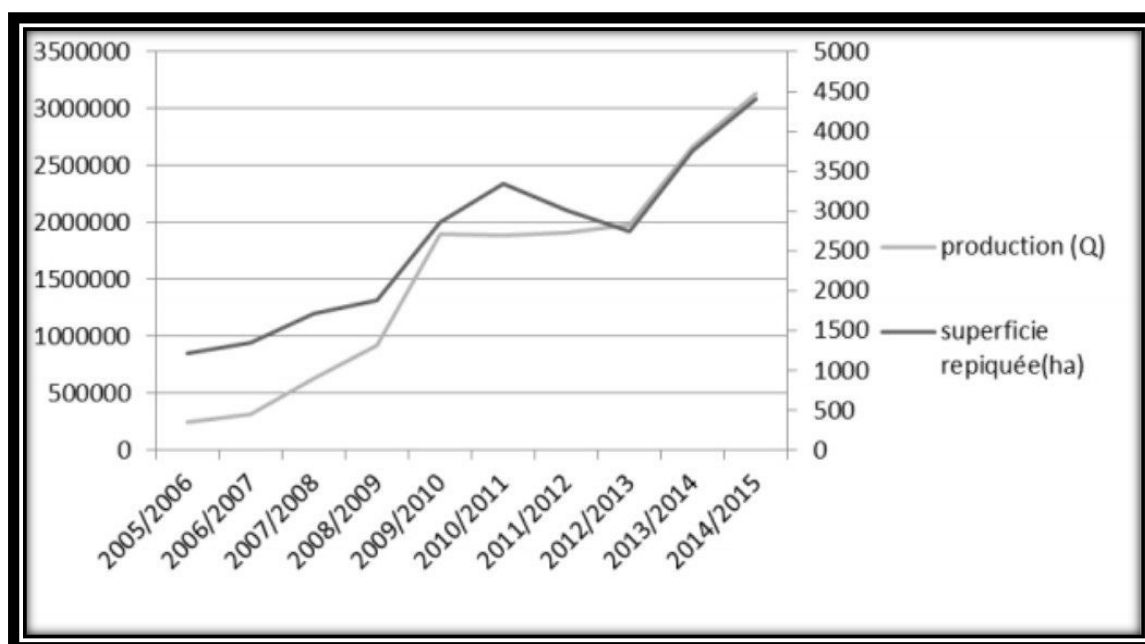


Figure II.16 : Répartition des superficies repiquées par statut juridiques

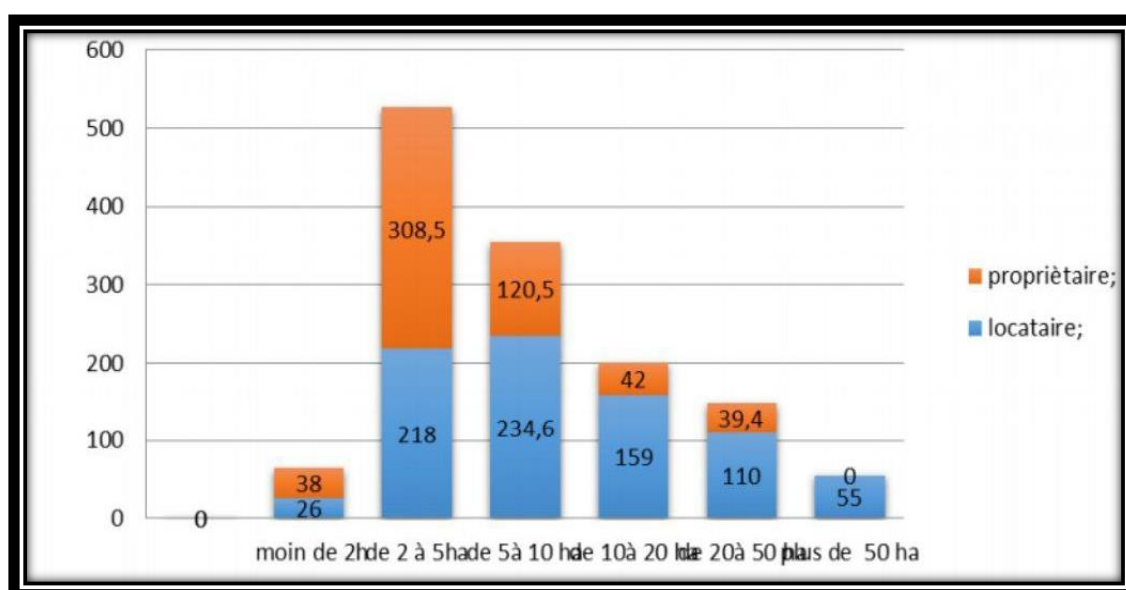


Figure II.17 : Évolution de la superficie et de la production de la tomate industrielles dans la wilaya de Guelma

❖ Industrie et rejets polluants :

Les rejets industriels constituent une menace majeure, en particulier dans les zones proches de l'Oued Seybouse, où certaines usines déversent encore des effluents insuffisamment traités. Cette pollution affecte non seulement les cours d'eau superficiels, mais aussi les sources connectées aux aquifères contaminés [52].

Description de la zone d'étude



Figure II.18 : Bassin-versant de la Seybouse



Figure II.19 : Les rejets dans Oued Seybouse

Description de la zone d'étude

III.6.3. État de conservation et protection des écosystèmes aquatiques :

Face à ces menaces, plusieurs initiatives ont été mises en place pour protéger les sources d'eau et assurer leur pérennité.

- ❖ **Projets de reboisement et de lutte contre l'érosion** : Des campagnes de reforestation ont été lancées, notamment dans les zones de montagne, pour restaurer les capacités naturelles d'infiltration des sols et protéger les bassins versants des sources principales [21].
- ❖ **Mise en place de stations d'épuration** : La construction de stations de traitement des eaux usées à Guelma vise à réduire la pollution des nappes et à préserver la qualité des sources exploitées pour l'alimentation en eau potable [06].
- ❖ **Réglementation et suivi environnemental** : Des contrôles sont effectués pour limiter l'exploitation abusive des nappes, bien que leur application reste parfois insuffisante face à la demande croissante en eau [44].

III.6.4. Effets du changement climatique sur les sources :

Le changement climatique exacerbe les pressions sur les ressources en eau, avec des effets observés à l'échelle locale.

- ❖ **Réduction des précipitations et allongement des périodes de sécheresse** : Une étude climatique récente a montré une baisse progressive des précipitations dans le nord-est algérien, accompagnée d'une augmentation de la fréquence des sécheresses prolongées, ce qui réduit le débit des sources [13].
- ❖ **Augmentation des températures et évapotranspiration accrue** : L'élévation des températures entraîne une évaporation plus rapide des réserves d'eau de surface et un assèchement accéléré des sources peu profondes, notamment en été [31].

III.6.5. Solutions alternatives et innovations pour la gestion des sources :

Pour atténuer ces effets et garantir la disponibilité des ressources en eau, plusieurs solutions alternatives peuvent être mises en œuvre :

- ❖ **Techniques de recharge artificielle des nappes** : Certaines régions d'Algérie ont testé avec succès des projets de recharge artificielle en utilisant des barrages souterrains et des bassins d'infiltration [17].
- ❖ **Utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation** : Cette approche permet de préserver les nappes en limitant la surexploitation agricole et a déjà été appliquée dans plusieurs régions du pays [04].

Description de la zone d'étude

❖ **Techniques de captage et de conservation de l'eau :** La mise en place de systèmes de collecte des eaux de pluie, ainsi que la construction de citernes souterraines, constitue une solution efficace pour réduire la dépendance aux nappes phréatiques [28].

Conclusion :

L'état écologique des sources d'eau à Guelma est influencé par des facteurs naturels et anthropiques, nécessitant une gestion rigoureuse et des stratégies adaptées pour leur préservation. La combinaison de mesures de protection, d'innovations technologiques et d'une régulation stricte de l'exploitation des nappes est indispensable pour assurer un accès durable à cette ressource vitale. Une meilleure sensibilisation des acteurs locaux et une intégration des communautés dans la gestion des ressources en eau pourraient également renforcer l'efficacité des actions de conservation.

CHAPITRE III
*PROPRIÉTÉS PHYSICO-
CHIMIQUES DE L'EAU POTABLE*
ET TECHNIQUES DE MESURE

Propriétés physico-chimiques de l'eau potable et techniques de mesure.

III.1. Introduction :

La qualité de l'eau constitue un enjeu majeur de santé publique et de développement durable. Ressource vitale pour la vie humaine, l'eau potable fait l'objet d'un contrôle rigoureux reposant sur l'évaluation de ses propriétés physico-chimiques, lesquelles reflètent directement sa conformité aux normes de potabilité. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé [47], toute déviation de ces paramètres par rapport aux limites recommandées peut représenter un risque pour la santé des consommateurs ou altérer les caractéristiques organoleptiques de l'eau.

Les propriétés physiques de l'eau englobent des paramètres observables ou mesurables tels que la turbidité, la couleur, l'odeur et la température. Quant aux propriétés chimiques, elles concernent la composition ionique (**calcium, magnésium, sodium, chlorures, nitrates, etc.**), les substances organiques, ainsi que les éléments oxydants et désinfectants, tels que le carbone organique total (**COT**) ou le chlore résiduel. Le maintien de l'équilibre entre ces différents paramètres est indispensable pour garantir une eau saine et conforme aux exigences sanitaires.

Par conséquent, l'analyse de ces propriétés repose sur des techniques de laboratoire précises et variées, telles que la spectrophotométrie, les titrages volumétriques, ou encore l'utilisation d'appareils de mesure multiparamétriques. Ces méthodes sont largement détaillées dans la littérature scientifique, notamment dans l'ouvrage de **Rodier, J. et al. (2009)**. L'Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod, Paris, considéré comme une source fondamentale pour l'étude des protocoles analytiques appliqués dans le domaine de l'eau.

C'est dans cette optique que s'inscrit le présent travail, qui vise à comparer les caractéristiques physico-chimiques de l'eau potable distribuée dans la région de Guelma, connue pour sa diversité géologique et hydrologique. Cette étude s'appuie sur des analyses fiables et se conforme aux normes nationales et internationales en vigueur.

III.2. Échantillonnage (Prélèvement et Choix des Sources) :

L'échantillonnage constitue une étape clé pour garantir la fiabilité des résultats dans toute étude de la qualité de l'eau. Ce processus doit être réalisé selon des critères précis afin de garantir une représentation fidèle des sources d'eau et de leur qualité. Dans le cadre de cette étude menée

Propriétés physico-chimiques

dans la wilaya de Guelma, plusieurs sites stratégiques ont été sélectionnés sur la base de critères géologiques, hydrogéologiques et sanitaires [57].

III.2.1. Choix des stations de prélèvement :

Les stations ont été choisies avec soin afin de couvrir les différentes zones géographiques de la wilaya de Guelma, et de refléter la diversité des sources d'approvisionnement en eau potable. Ces stations se trouvent dans des zones urbaines et semi-rurales, afin de fournir une image complète de la qualité de l'eau distribuée. Les stations sélectionnées sont les suivantes :

- **Bouchgouf** : Zone à forte densité de population, représentant une source principale d'approvisionnement
- **Aïn Souda** : Source naturelle réputée pour ses caractéristiques organoleptiques particulières.
- **Sallaoua** : Source localement exploitée, influencée par l'environnement agricole environnant.
- **Bouzitoune** : Source périphérique, sujette à des variations saisonnières.
- **Dahouara** : Zone semi-rurale, représentant un modèle traditionnel d'alimentation en eau par réseau.

Le choix de ces stations repose non seulement sur leur accessibilité, mais aussi sur la diversité de leur environnement immédiat (zones résidentielles, agricoles, forestières, etc.) [57].

III.2.2. Conditions de prélèvement (Qualité et Environnement) :

Les prélèvements ont été réalisés conformément aux normes de qualité internationales recommandées par l'OMS et selon les protocoles établis par **Rodier (2009)**. Pour garantir l'intégrité des échantillons, les conditions suivantes ont été respectées :

- ✓ Les flacons en polyéthylène ont été stérilisés et rincés à l'eau prélevée avant chaque utilisation.
- ✓ Le prélèvement a été effectué avant les points de distribution, afin d'éviter toute contamination externe.
- ✓ Des observations détaillées ont été faites concernant l'environnement immédiat de chaque site, notamment la présence de végétation, les activités humaines, et d'éventuelles sources de pollution.
- ✓ Les échantillons ont été conservés à 4°C et transportés au laboratoire dans un délai de six heures maximums afin d'éviter toute altération des propriétés de l'eau [57].

III.2.3. Nature et Période des Prélèvements :

L'étude repose sur une campagne de prélèvements ponctuelle, réalisée au cours de la saison [préciser la saison : par exemple printanière ou automnale], choisie pour son importance hydrologique. Cette période a été sélectionnée car les conditions climatiques affectent les concentrations des éléments chimiques dans les eaux superficielles et souterraines [47]. Les prélèvements ont été effectués de manière instantanée (Instantané), c'est-à-dire qu'ils représentent l'état de l'eau à un moment donné. Bien que ce type de prélèvement ne permette pas de suivre les variations sur le long terme, il offre une image fiable des caractéristiques de l'eau durant la période de l'étude [57].

III.3. Les Propriétés Physiques et les Techniques de Mesures :

La région de Guelma, située dans le nord-est de l'Algérie, présente une grande diversité géologique et hydrologique qui influence la qualité de ses ressources en eau. L'eau dans cette région varie considérablement en termes de température, de turbidité, de conductivité électrique, et d'autres propriétés physiques selon les différentes sources et les conditions environnementales. Ces paramètres sont essentiels pour évaluer la qualité de l'eau et garantir sa conformité aux normes de potabilité [57].

III.3.1. Température (T) :

III.3.1.1. Principe :

La température de l'eau est un paramètre clé qui influence les réactions chimiques et biologiques dans l'eau. Une température élevée peut augmenter la solubilité de certains polluants et accélérer les processus de dégradation des matières organiques, mais elle peut également favoriser la croissance microbienne [57].

III.3.1.2. Appareil de mesure : *Thermomètre à mercure ou électronique :*

- *Thermomètre à mercure* : Mesure la température en observant l'expansion du mercure dans un tube capillaire.
- *Thermomètre électronique* : Utilise une sonde pour détecter la température et l'afficher numériquement.

III.3.1.3. Mode opératoire :

- ✓ *Préparation de l'échantillon* : Prélever un échantillon d'eau propre et s'assurer qu'il est à température ambiante avant de procéder à la mesure.

Propriétés physico-chimiques

- ✓ *Plongée du thermomètre* : Plonger le thermomètre (à mercure ou électronique) dans l'échantillon d'eau. S'assurer que la sonde ou la partie mesurant du thermomètre est bien immergée, sans toucher les parois du récipient pour éviter des lectures erronées.
- ✓ *Attente pour stabilisation* : Attendre quelques secondes afin que la température de l'eau se stabilise et que la lecture soit fiable.
- ✓ *Lecture de la température* : Lire la valeur de la température directement sur l'échelle du thermomètre. Si vous utilisez un thermomètre électronique, la température sera affichée sur un écran numérique.
- ✓ *Nettoyage après utilisation* : Après chaque mesure, nettoyer le thermomètre pour éviter toute contamination croisée entre les échantillons.

III.3.1.4. Remarques :

- ❖ Une température élevée de l'eau peut favoriser la prolifération des micro-organismes pathogènes, augmentant ainsi le risque de contamination de l'eau et affectant sa qualité pour la consommation humaine.
- ❖ En été, dans des régions comme Guelma, les températures élevées peuvent également augmenter la charge thermique sur les stations de traitement d'eau. Cela peut entraîner une augmentation de la consommation d'énergie des installations, car les systèmes de traitement doivent fonctionner à une capacité plus élevée pour maintenir la qualité de l'eau.
- ❖ Il est essentiel de surveiller régulièrement la température de l'eau pour s'assurer qu'elle reste dans une plage appropriée, généralement entre 10 et 25°C, pour garantir une bonne efficacité des processus de traitement [11].

III.3.2. Turbidité :

III.3.2.1. Principe :

La turbidité mesure la clarté de l'eau en fonction de la quantité de particules en suspension qui diffusent ou réfléchissent la lumière. Une turbidité élevée est souvent associée à une eau de mauvaise qualité, car elle peut contenir des matières organiques et inorganiques, ainsi que des micro-organismes pathogènes [57].

III.3.2.2. Appareil de mesure : *Turbidimètre* :

Le turbidimètre mesure l'intensité de la lumière diffusée par les particules présentes dans l'eau lorsqu'un faisceau lumineux la traverse. Plus l'eau est trouble, plus la lumière diffusée sera importante.

Propriétés physico-chimiques

III.3.2.3. Mode opératoire :

- ✓ *Préparation de l'échantillon* : Prélever un échantillon d'eau à analyser, en veillant à ne pas introduire de bulles d'air ou de contaminants dans le flacon.
- ✓ *Installation du turbidimètre* : Vérifier le bon fonctionnement du turbidimètre et effectuer une calibration si nécessaire, en utilisant une solution étalon de turbidité connue.
- ✓ *Placement de l'échantillon* : Verser l'échantillon d'eau dans la cuve à turbidité, en veillant à ce qu'il soit propre et sans impuretés visibles.
Exposition à la lumière : Allumer le turbidimètre et placer la cuve contenant l'échantillon dans l'appareil le faisceau lumineux traverse l'échantillon d'eau.
- ✓ *Mesure de la diffusion de la lumière* : Le turbidimètre détecte la quantité de lumière diffusée par les particules en suspension dans l'échantillon, cela se fait généralement à un angle spécifique (généralement 90° par rapport au faisceau lumineux).
- ✓ *Affichage du résultat* : Le turbidimètre calcule l'intensité de la lumière diffusée et l'affiche sous forme de valeur en unités de turbidité (NTU).
- ✓ *Nettoyage* : Après chaque mesure, nettoyer soigneusement la cuve à turbidité et les composants du turbidimètre pour éviter toute contamination croisée.
- ✓ *Interprétation des résultats* : Comparer la valeur obtenue avec les normes de qualité de l'eau, par exemple une turbidité inférieure à **5 NTU** est recommandée pour garantir une eau de bonne qualité, en particulier pour les processus de désinfection.

III.3.2.4. Remarques :

- ❖ La turbidité est un indicateur clé de la présence de particules solides en suspension, telles que des argiles, du sable, des matières organiques ou des micro-organismes, et est donc un critère de qualité de l'eau.
- ❖ Une turbidité élevée (supérieure à 5 NTU) peut nuire à l'efficacité des processus de traitement de l'eau, notamment la désinfection, car les particules en suspension peuvent protéger les micro-organismes des agents désinfectants.
- ❖ Une turbidité inférieure à **5 NTU** est généralement recommandée pour garantir une eau de bonne qualité, conforme aux normes de potabilité, comme le souligne **Rodier (2009)**.
- ❖ Les valeurs de turbidité peuvent être utilisées pour évaluer la performance des unités de traitement, comme les filtres et les systèmes de coagulation-floculation.
- ❖ La mesure de la turbidité peut également aider à détecter les sources de pollution ou de contamination dans l'eau, permettant ainsi une gestion préventive de la qualité de l'eau.

III.3.3. Conductivité électrique (CE) :

III.3.3.1. Le principe :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire l'électricité, un indicateur de la concentration en ions dissous (calcium, magnésium, sodium, etc.). Une conductivité élevée indique une concentration élevée en minéraux dissous. [57].

III.3.3.2. Appareil de mesure : Conductimètre :

Un appareil équipé d'électrodes mesurant la conductivité de l'eau en fonction de la variation de la résistance électrique.

III.3.3.3. Mode opératoire :

- ✓ *Préparation du conductimètre* : Vérifier le bon fonctionnement du conductimètre avant l'utilisation, puis calibrer l'appareil avec des solutions étalons ayant des conductivités connues (Suivre les instructions du fabricant pour effectuer la calibration correctement).
- ✓ *Prélèvement de l'échantillon* : Prélever un échantillon d'eau propre dans un récipient propre, en évitant toute contamination.
- ✓ *Mesure de la conductivité* : Immerger les électrodes du conductimètre dans l'échantillon d'eau, puis s'assurer que les électrodes sont entièrement immergées dans l'eau et qu'elles ne touchent pas les parois du récipient pour éviter des erreurs de mesure.
- ✓ *Stabilisation de la mesure* : Laisser l'échantillon en contact avec les électrodes pendant quelques secondes pour permettre à la mesure de se stabiliser et obtenir un résultat fiable.
- ✓ *Lecture des résultats* : Lire directement la conductivité sur l'écran du conductimètre, qui est généralement exprimée en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
- ✓ *Nettoyage des électrodes* : Après chaque mesure, nettoyer les électrodes avec de l'eau distillée pour éviter tout dépôt ou contamination croisée lors des prochaines analyses.

III.3.3.4. Remarques :

- ❖ Une conductivité élevée dans l'eau peut indiquer une forte concentration en minéraux dissous, tels que le calcium, le magnésium, le sodium, etc. Ces minéraux peuvent provenir de sources naturelles ou de contaminations anthropiques.
- ❖ La conductivité peut influencer la dureté de l'eau, car une concentration élevée en ions de calcium et de magnésium contribue à une dureté élevée, ce qui peut affecter les applications domestiques et industrielles, notamment le détartrage des appareils.
- ❖ Une conductivité élevée peut également affecter le goût de l'eau, la rendant plus salée ou métallique en fonction des ions présents.

Propriétés physico-chimiques

- ❖ Dans les zones rurales de Guelma, l'eau souterraine peut avoir une conductivité plus élevée en raison de la richesse en minéraux dissous, typique des aquifères souterrains dans ces régions. Ce phénomène peut également affecter la potabilité de l'eau si la concentration en minéraux est trop élevée [57].
- ❖ Les valeurs de conductivité doivent être interprétées en fonction du contexte local et des sources d'approvisionnement en eau, pour évaluer si l'eau est adaptée à la consommation ou nécessite un traitement supplémentaire.

III.3.4. Potentiel d'hydrogène (pH) :

III.3.4.1. Le principe :

Le pH (potentiel hydrogène) est une grandeur physico-chimique exprimant l'activité des ions hydrogène (H^+) en solution aqueuse. Il permet de qualifier l'acidité ($pH < 7$), la neutralité ($pH = 7$) ou l'alcalinité ($pH > 7$) d'une eau. Cette mesure est essentielle pour évaluer la qualité de l'eau potable et son adéquation avec les normes sanitaires [57], [47].

III.3.4.2. Appareil de mesure :

La mesure du pH repose sur une méthode électrochimique utilisant une électrode de verre sensible aux ions H^+ , couplée à une électrode de référence. Le potentiel mesuré entre ces deux électrodes est proportionnel à l'activité des ions hydrogène et est converti en valeur de pH par le pH-mètre.

III.3.4.3. Mode opératoire :

✓ Conditionnement de l'appareil :

- Mettre en marche le pH-mètre et laisser l'appareil se stabiliser.
- Nettoyer l'électrode avec de l'eau distillée pour éviter toute contamination croisée.

✓ Étalonnage :

- L'étalonnage est réalisé à l'aide de solutions tampons de pH connu (généralement pH 4,00 ; 7,00 et 10,00 à 25°C).
- Immerger l'électrode successivement dans chaque solution tampon, en rinçant soigneusement entre chaque mesure.
- Ajuster l'appareil selon les valeurs de référence fournies avec les tampons.

✓ Mesure de l'échantillon :

- Prélever un volume représentatif de l'échantillon d'eau et le porter à température ambiante (idéalement 20–25°C).

Propriétés physico-chimiques

- Plonger l'électrode dans l'échantillon et attendre la stabilisation de la lecture.
- Enregistrer la valeur affichée.
- Rincer l'électrode à l'eau distillée après chaque mesure.

III.3.4.4. Remarques :

- ❖ Les analyses effectuées sur plusieurs sources de la région de Guelma ont révélé des valeurs de pH légèrement basiques, variant **entre 7,5 et 8,2**. Cette alcalinité modérée, observée notamment dans la source de **Dahouara**, peut être attribuée à la présence naturelle de bicarbonates (HCO_3^-) et de carbonates (CO_3^{2-}) issus de la dissolution des roches carbonatées (calcaires et dolomites) prédominantes dans le substrat géologique local [57], [08].
- ❖ Ces valeurs restent conformes aux normes de potabilité recommandées par l'**OMS**, qui fixent une plage acceptable de pH entre 6,5 et 8,5. Une telle alcalinité confère à l'eau une capacité tampon appréciable, la rendant plus stable face aux variations acides, ce qui est bénéfique pour la distribution et la consommation humaine.

III.3.5. Dureté de l'eau (teneur en calcium et magnésium) :

La dureté de l'eau est une propriété chimique liée à la concentration en cations divalents, principalement les ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). Elle est généralement exprimée en degrés français (°f), où 1 °f correspond à 10 mg/L de carbonate de calcium (CaCO_3). La dureté totale de l'eau se compose de deux fractions :

- **Dureté calcique (THCa) :** due aux ions Ca^{2+}
- **Dureté magnésienne (THMg) :** due aux ions Mg^{2+}

Ces deux paramètres influencent fortement les propriétés physiques, chimiques et technologiques de l'eau, notamment dans les domaines domestique, industriel et sanitaire. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (**OMS**), une dureté modérée est souhaitable pour l'eau potable. Cependant, des niveaux très élevés ou très faibles peuvent présenter des inconvénients.

III.3.5.1. Principe :

La détermination de la dureté repose sur la mesure des concentrations en ions calcium et magnésium. La méthode la plus courante est le titrage complexométrique à l'EDTA, qui permet de complexer quantitativement ces ions en solution aqueuse.

Propriétés physico-chimiques

III.3.5.2. Techniques de mesure :

Titration complexométrique à l'EDTA (acide éthylène diamine tétra-acétique) en présence d'un indicateur coloré tel que le noir ériochrome T. Le changement de couleur indique la fin du titrage, permettant de calculer la concentration en ions calcium et magnésium

III.3.5.3. Mode opératoire :

- ✓ Prélever 100 mL d'échantillon d'eau dans un bécher propre.
- ✓ Ajouter une solution tampon ammoniacale pour ajuster le pH à environ 10.
- ✓ Introduire quelques gouttes de **noir ériochrome T**, qui **forme un complexe rouge avec les ions Mg^{2+}** .
- ✓ Titrer avec une solution standardisée **d'EDTA (0,01 M)** jusqu'à changement de couleur : passage du **rouge-vin au bleu**.
- ✓ Calculer la dureté totale en °f selon le volume d'EDTA utilisé. [57], [08], [36].

II.3.5.4. Remarques :

❖ *Eaux dures (> 30 °f) :*

- Formation de dépôts calcaires dans les canalisations, chauffe-eau et appareils électroménagers.
- Réduction de l'efficacité des savons et détergents. Courantes dans certaines régions algériennes comme Guelma, notamment en zones calcaires (données ANRH).

❖ *Eaux douces (< 15 °f) :*

- Risques de corrosion des tuyauteries métalliques.
- Dissolution possible des métaux toxiques (plomb, cuivre...).
- Moins adaptées à un usage industriel sans traitement préalable.

❖ *Recommandation OMS :*

Une dureté comprise entre 15 et 30 °f est idéale pour l'eau potable, équilibrant les aspects sanitaires et techniques.

III.3.6. Salinité :

La salinité désigne la concentration totale de sels dissous dans l'eau. Ces sels sont principalement constitués de **chlorures (Cl^-)**, **sulfates (SO_4^{2-})**, **bicarbonates (HCO_3^-)** ainsi que des cations tels que le **sodium (Na^+)**, le **potassium (K^+)**, le **calcium (Ca^{2+})** et le **magnésium (Mg^{2+})**.

La salinité est un paramètre essentiel dans l'évaluation de la qualité de l'eau, notamment en ce

Propriétés physico-chimiques

qui concerne l'irrigation, l'usage domestique et l'environnement aquatique. Elle est généralement exprimée en **g/L**, **mg/L**, ou en **µS/cm** (via la conductivité électrique, qui est une mesure indirecte).

Dans les eaux douces, la salinité est généralement inférieure à **0,5 g/L**, tandis que dans les eaux saumâtres ou salées, elle peut atteindre voire dépasser **35 g/L** (valeur typique de l'eau de mer). OMS, [24], [57].

III.3.6.1. Principe :

La salinité est mesure la concentration des sels dissous dans l'eau, influençant sa densité et sa conductivité électrique (CE) de l'eau, car les sels dissous libèrent des ions qui augmentent la capacité de l'eau à conduire le courant électrique. Plus l'eau est salée, plus sa conductivité est élevée.

III.3.6.2. Mode opératoire :

- ✓ Ajouter quelques gouttes de chromate de potassium (K_2CrO_4) à l'échantillon.
- ✓ Titrer avec une solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$) jusqu'à apparition d'une coloration rouge-brun.
- ✓ Calculer la concentration en chlorures.

III.3.6.3. Remarques :

- ❖ *Salinité élevée : (Une concentration en chlorures supérieure à 250 mg/L)*
 - Peut rendre l'eau **impropre à la consommation humaine**, causant des troubles digestifs ou des maladies chroniques.
 - Nocive pour **les cultures agricoles sensibles au sel** (stress hydrique, réduction de rendement).
 - Affecte **les réseaux de distribution** par **corrosion** des canalisations métalliques.
- ❖ *Salinité modérée à faible :*
 - Recherchée pour les usages domestiques et agricoles.
 - Indique une **bonne qualité** des eaux souterraines ou de surface. Dans certaines régions de l'Algérie, notamment dans les zones semi-arides ou steppiques, la salinité élevée des eaux souterraines constitue un enjeu majeur pour l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation.

III.3.7. Solides Dissous Totaux (TDS) :

III.3.7.1. Principe :

Les solides dissous totaux (TDS, pour Total Dissolved Solids) représentent la quantité totale de substances dissoutes dans l'eau, qu'elles soient de nature inorganique (sels minéraux comme les carbonates, bicarbonates, chlorures, sulfates de calcium, magnésium, sodium, potassium, etc.) ou organique (matière organique dissoute, composés humiques, etc.). Ils influencent directement les caractéristiques organoleptiques (goût, odeur) ainsi que la qualité chimique de l'eau potable. [57], [08].

III.3.7.2. Mode opératoire (mesure avec un conductimètre TDS) :

- ✓ Mettre en marche l'appareil de mesure et sélectionner le mode « TDS ».
- ✓ Rincer la sonde à l'eau distillée et l'essuyer délicatement.
- ✓ Plonger la sonde dans l'échantillon d'eau à analyser, à température ambiante.
- ✓ Attendre que la lecture se stabilise, puis enregistrer la valeur affichée en mg/L (ppm).
- ✓ Nettoyer la sonde après utilisation pour éviter toute contamination croisée.

III.3.7.3. Remarques :

- ❖ Une concentration élevée de TDS (Une valeur supérieure à 500 mg/L) peut altérer le goût et la qualité de l'eau potable car elle indique une contamination par des polluants industriels, agricoles ou domestiques. [47].
- ❖ L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande une concentration maximale de 500 mg/L pour garantir un goût acceptable et une bonne qualité de l'eau potable. Toutefois, une eau peut rester consommable jusqu'à 1000 mg/L, selon le type et la nature des substances dissoutes. [47],[23].
- ❖ Dans la région de Guelma, les valeurs mesurées varient selon la nature géologique des sols, l'intensité des activités humaines et l'origine des ressources hydriques (nappe phréatique, sources, forages).

III.3.8. Matière En Suspension (MES) :

III.3.8.1. Principe :

Les matières en suspension (MES) désignent les particules solides non dissoutes présentes dans l'eau. Elles influencent fortement la turbidité et peuvent affecter l'efficacité des traitements de potabilisation. Leur concentration est un indicateur important de la qualité physique et chimique de l'eau. [57], [59].

Propriétés physico-chimiques

III.3.8.2. Mode opératoire (méthode gravimétrique) :

- ✓ Peser un filtre sec et propre (**masse initiale M_0**).
- ✓ Filtrer **500 mL** de l'échantillon d'eau à l'aide de ce filtre préalablement pesé.
- ✓ Sécher le filtre à une température **de 105 °C** pendant **24 heures**.
- ✓ Refroidir dans un dessiccateur.
- ✓ Repeser le filtre contenant les matières retenues (**masse finale M_1**).
- ✓ Calculer la concentration en MES à l'aide de la formule : **MES (mg/L) = $\frac{(M_1 - M_0)100}{V}$**

Où :

- **V : volume d'eau filtré en mL.**
- **M_0 : Masse initiale en g.**
- **M_1 : Masse finale en g.**

III.3.8.3. Remarque :

Une teneur élevée en MES peut provoquer l'encrassement des filtres, diminuer la transparence de l'eau et interférer avec les procédés de désinfection. Elle peut également indiquer une pollution organique ou une érosion accrue dans la zone de captage.[47], [59].

III.3.9. Matière Organique (MO) :

III.3.9.1. Le Principe :

La matière organique dans l'eau potable comprend un ensemble de composés d'origine naturelle (dissolution de matières végétales, activité microbienne) ou anthropique (rejets domestiques, industriels, agricoles). Si la matière organique est la quantité d'oxygène consommée par la matière organique, elle joue un rôle important dans la qualité de l'eau, car elle peut réagir avec les désinfectants pour former des sous-produits potentiellement toxiques comme les trihalométhanés (THM). [57], [59].

III.3.9.2. Mode opératoire :

- ✓ Peser et noter la masse du bécher contenant les résidus secs après séchage à 105°C.
- ✓ Placer le bécher dans un four à 550°C pendant 2 heures pour calciner la matière organique.
- ✓ Laisser refroidir dans un dessiccateur et peser le bécher après calcination.
- ✓ Calculer la concentration en matières organiques.

III.3.9.3. Remarque :

Une teneur élevée en **MO (>2 mg/L de COT)** peut indiquer une contamination microbiologique ou chimique. Elle favorise le développement des micro-organismes dans le réseau de distribution et interfère avec la chloration. La surveillance régulière de la MO est

Propriétés physico-chimiques

donc cruciale pour garantir la sécurité sanitaire de l'eau potable. [47], [59].

III.3.10. Résidu Sec (RS) :

III.3.10.1. Principe :

Le résidu sec correspond à la quantité totale de matières dissoutes (**organiques et inorganiques**) restant après évaporation complète de l'eau et séchage à une température de **180 °C**. Cette mesure constitue un indicateur global de la minéralisation de l'eau, utile pour évaluer sa qualité physico-chimique. [57], [59].

III.3.10.2. Mode opératoire (méthode gravimétrique) :

- ✓ Peser un bécher propre et sec (**masse M_0**).
- ✓ Introduire 200 mL de l'échantillon d'eau à analyser.
- ✓ Placer le bécher dans une étuve à **105 °C** pendant **24 heures** pour évaporer l'eau.
- ✓ Augmenter la température à **180 °C** pour éliminer toute l'humidité résiduelle et les matières volatiles.
- ✓ Laisser refroidir dans un dessiccateur pour éviter l'absorption d'humidité.
- ✓ Repeser le bécher contenant les résidus (masse M_1).
- ✓ Calculer la concentration du résidu sec par la formule suivante : **RS (mg/L) = $\frac{(M_1 - M_0)100}{V}$**

Où :

- **V : le volume d'échantillon en mL.**
- **M_0 : Masse initiale en g.**
- **M_1 : Masse finale en g.** [57], [36], [59].

III.3.10.3. Remarques :

Une concentration élevée en résidus secs est souvent associée à une forte minéralisation naturelle, à une contamination saline ou à une pollution d'origine anthropique (rejets industriels, infiltration d'eaux usées). Cette charge minérale excessive peut nuire au goût de l'eau, favoriser les dépôts dans les canalisations, et poser des problèmes techniques dans les procédés de traitement. **L'Organisation Mondiale de la Santé** recommande une limite indicative de 1000 mg/L pour une acceptabilité organoleptique satisfaisante. [47], [59].

III.4. Les propriétés chimiques de l'eau potable et les techniques de mesure :

L'analyse des propriétés chimiques de l'eau constitue une étape essentielle pour évaluer sa potabilité, sa conformité aux normes de qualité, et son impact potentiel sur la santé humaine.

Propriétés physico-chimiques

Ces propriétés concernent essentiellement la composition ionique, les nutriments, les substances minérales et organiques dissoutes. Dans cette étude, menée dans la région de Guelma (stations de Bouchgouf, Aïn Souda, Sallaoua, Bouzitoune et Dahouara), plusieurs paramètres chimiques ont été analysés à l'aide de méthodes reconnues et standardisées.

Le dosage des ions dans l'eau potable est une étape clé pour évaluer la qualité chimique de l'eau et déterminer la présence de substances dissoutes, telles que les ions calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+), nitrates (NO_3^-), sulfates (SO_4^{2-}) et d'autres ions. Ces ions ont un impact direct sur les propriétés organoleptiques et physiologiques de l'eau, ainsi que sur la potabilité et l'adéquation de l'eau pour diverses utilisations. La région de Guelma, en raison de son activité agricole et de son industrie minière, peut voir des concentrations élevées de certains ions dans ses ressources en eau. Par exemple, les nitrates, provenant des engrais agricoles, et les ions métalliques, comme le calcium et le magnésium, peuvent influencer la dureté de l'eau.

Les méthodes classiques utilisées pour le dosage des ions incluent la spectrophotométrie, la chromatographie ionique et le titrage complexométrique. Ces techniques permettent de mesurer la concentration des ions de manière précise, ce qui est essentiel pour garantir la potabilité et la qualité de l'eau [57], [59].

III.4.1. Détermination du titre alcalimétrique simple (TA) :

III.4.1.1. Le Principe :

Le titre alcalimétrique simple (TA) représente la quantité d'ions hydroxyde (OH^-) et de carbonates (CO_3^{2-}) présents dans l'eau. Il indique la capacité de l'eau à neutraliser un acide fort jusqu'à un pH de 8,3, soit le point de virage de la phénolphthaléine. Cette mesure fait partie des paramètres d'alcalinité, qui influencent la stabilité chimique de l'eau potable. [57], [59].

III.4.1.2. Réactifs :

- ✓ Acide (HCl , 0,1 N / H_2SO_4 0.02 N) – Solution titrante.
- ✓ Rouge de phénolphthaléine – Indicateur (virage $\rightarrow$ rose)

III.4.1.4. Mode opératoire :

- ✓ Prélever 100 mL de l'échantillon d'eau dans un bécher propre.
- ✓ Ajouter 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine comme indicateur.
- ✓ Observer la coloration :

Propriétés physico-chimiques

- Si une couleur rose apparaît, cela indique la présence de bases (OH^- , CO_3^{2-}), titrer ensuite goutte à goutte avec une solution d'acide sulfurique ou chlorhydrique N/50 jusqu'à la disparition complète de la couleur rose et noter le volume d'acide utilisé, **noté V_{eq}** .
- Si aucune coloration n'apparaît, $\text{TA} = 0$ et passer directement à la détermination du TAC.
- ✓ Calcul du TA en degrés français ($^{\circ}\text{F}$) : $\text{TA } (^{\circ}\text{F}) = V_{\text{eq}} [57], [01], [59]$.

III.4.1.3. Remarques :

- ❖ Si $\text{TA} = 0$, cela indique que le pH de l'eau est exactement 8,3, seuil de virage de la phénolphtaléine.
- ❖ Si $\text{TA} > 0$, cela signifie que le pH est supérieur à 8,3, révélant une eau potentiellement riche en hydroxydes ou carbonates, et donc une tendance basique.

Ce paramètre est essentiel pour anticiper les réactions chimiques dans les conduites, comme la précipitation du calcium ou la corrosion. [47], [57], [59].

III.4.2. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC) :

III.4.2.1. Le Principe :

Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la quantité totale de bases capables de neutraliser un acide fort jusqu'à un pH de 4,5. Il permet d'évaluer la présence des hydroxydes (OH^-), carbonates (CO_3^{2-}) et bicarbonates (HCO_3^-) dans l'eau. Le TAC est un indicateur fondamental du pouvoir tampon de l'eau et de sa stabilité chimique, particulièrement utile pour prévenir la corrosion ou l'entartrage dans les réseaux de distribution. [57], [59], [01].

III.4.2.2. Réactifs :

- ✓ Acide (HCl , 0,1 N / H_2SO_4 0.02 N) – Solution titrante.
- ✓ Rouge de méthyle – Indicateur (virage → orange).

III.4.2.3. Mode opératoire :

- ✓ Prélever **100 mL** d'eau à analyser dans un bécher propre.
- ✓ Ajouter quelques gouttes d'un indicateur coloré, typiquement l'orange de méthyle à 0.5 % (ou utiliser un pH-mètre si disponible).
- ✓ Titrer avec une solution d'acide sulfurique ou chlorhydrique N/50 jusqu'à atteindre un pH de 4,5 (ou un virage de couleur de l'orange au rouge).
- ✓ Noter le volume V_{eq} d'acide utilisé.
- ✓ Calcul du TAC : $\text{TAC } (^{\circ}\text{F}) = V_{\text{eq}} - 0.5$
- ✓ La concentration en HCO_3^- est déterminée par : $[\text{HCO}_3^-] \text{ (mg/L)} = \text{TAC} \times 12.2$

III.4.2.4. Remarques :

- ❖ Le facteur 0.5 dans le calcul du TAC correspond au volume de l'indicateur ajouté (méthylorange).
- ❖ Une valeur élevée du TAC indique une eau bien tamponnée, résistante aux variations de pH.
- ❖ Une faible valeur peut signifier une eau corrosive, surtout en présence d'un pH faible.
- ❖ Le TAC est souvent associé à la dureté pour évaluer l'équilibre calco-carbonique.
- ❖ En pratique, une valeur de TAC entre 10 et 30 °F est généralement considérée comme optimale pour l'eau potable. [47], [59].

III.4.3. Dosage de l'ammonium (NH_4^+) :

III.4.3.1. Le principe :

Les ions ammonium (NH_4^+) réagissent avec des réactifs spécifiques pour former un composé coloré. L'apparition d'une coloration verte indique la présence d'ammonium dans l'échantillon analysé. La présence d'ions ammonium (NH_4^+) dans l'eau potable est généralement liée à la dégradation de la matière organique azotée, ou à une contamination par des eaux usées domestiques ou industrielles. L'ammonium peut également provenir de l'utilisation excessive d'engrais azotés. Sa détection permet donc d'évaluer la qualité hygiénique de l'eau. [57], [59], [47].

III.4.3.2. Réactifs :

- ✓ Réactif 01 (4 mL) : Mélange contenant du sodium hypochlorite (NaClO) et du phénol.
- ✓ Réactif 02 (4 mL) : Solution alcaline contenant du citrate de sodium et du nitroprussiate de sodium.
- ✓ Eau distillée : Utilisée pour compléter le volume total.

III.4.3.3. Mode opératoire :

- ✓ Prélever 40 mL d'eau à analyser dans une fiole jaugée.
- ✓ Ajouter 4 mL du réactif 1.
- ✓ Ajouter 4 mL du réactif 2.
- ✓ Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
- ✓ Laisser reposer pendant 1h 30 min.
- ✓ Observer l'apparition d'une coloration verte, indiquant la présence d'ammonium.
- ✓ Mesurer l'absorbance à 410 nm avec un **spectrophotomètre**.
- ✓ Déterminer la concentration en ammonium (mg/L NH_4^+) à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

Propriétés physico-chimiques

III.4.3.4. Remarques :

- ❖ La durée d'attente de 1h 30 min est essentielle pour une réaction complète.
- ❖ Il est recommandé d'effectuer un échantillon témoin sans ammonium pour comparer la couleur.
- ❖ Une concentration **élevée en NH_4^+** est souvent le signe d'une pollution organique récente.
- ❖ Dans les réseaux d'eau potable, **une teneur $> 0,5 \text{ mg/L}$** est considérée comme non conforme aux **normes de potabilité**.
- ❖ L'ammonium, bien que faiblement toxique en soi, peut favoriser la formation de chloramines lors du traitement au chlore, ce qui altère le goût de l'eau. [47], [59].

❖ III.4.4. Dosage des nitrites (NO_2^-) :

III.4.4.1. Le Principe :

Les nitrites (NO_2^-) sont des composés azotés intermédiaires dans le cycle de l'azote, produits notamment lors de la nitrification incomplète ou de la réduction des nitrates. Leur présence dans l'eau potable est un indicateur de pollution récente d'origine organique ou fécale, et constitue un risque sanitaire majeur, particulièrement pour les nourrissons (risque de méthémoglobinémie). L'analyse des nitrites est effectuée par un test qui repose sur la réaction des nitrites (NO_2^-) avec un réactif mixte, entraînant une coloration rose en présence de ces ions. [57], [47], [59].

III.4.4.2. Réactifs :

- ✓ Solution à analyser : 50 mL d'eau.
- ✓ Réactif mixte (1 mL) : Mélange de sulfanilamide et de N-(1-naphthyl) éthylènediamine (NED) en milieu acide.

III.4.4.3. Mode opératoire :

- ✓ Prélever 50 mL de l'eau à analyser dans une fiole jaugée.
- ✓ Ajouter 1 mL du réactif mixte.
- ✓ Laisser reposer 10 minutes pour permettre la formation d'un complexe azoïque rose en présence de nitrites.
- ✓ Mesurer l'absorbance à **543 nm** à l'aide d'un spectrophotomètre.
- ✓ Établir la concentration à partir d'une courbe d'étalonnage établie avec des solutions standard de nitrites (La concentration **de NO_2^-** est exprimée **en mg/L**).

III.4.4.4. Remarques :

- ❖ La réaction repose sur la formation d'un composé azoïque par réaction des nitrites avec la sulfanilamide et le NED.

Propriétés physico-chimiques

- ❖ Une intensité plus forte de la coloration rose indique une concentration plus élevée en nitrites.
- ❖ Il est conseillé de réaliser un échantillon témoin (sans NO_2^-) pour mieux comparer la couleur.
- ❖ Cette méthode est très sensible et est souvent utilisée pour tester la qualité de l'eau et détecter une contamination par les nitrites.
- ❖ La teneur maximale recommandée par l'OMS pour les nitrites dans l'eau potable est de **0,1 mg/L**.
- ❖ Des valeurs supérieures peuvent indiquer une contamination microbiologique récente ou un dysfonctionnement du traitement de l'eau.
- ❖ Les nitrites sont toxiques, surtout pour les nourrissons, car ils peuvent oxyder l'hémoglobine en méthémoglobine, réduisant la capacité du sang à transporter l'oxygène.

III.4.5. Dosage des nitrates (NO_3^-) :

III.4.5.1. Le Principe :

Les nitrates (NO_3^-) sont des composés azotés solubles résultant principalement de la minéralisation des matières organiques azotées, ou de l'utilisation excessive d'engrais agricoles. Leur présence dans les eaux souterraines et superficielles est un indicateur courant de pollution agricole ou domestique. À forte concentration, ils représentent un risque sanitaire, notamment chez les nourrissons (syndrome du bébé bleu). Pour analyser la quantité des nitrates on fait un test qui repose sur la réaction des nitrates (NO_3^-) avec le salicylate de sodium en présence d'acide sulfurique et de tartrate double de sodium et potassium. L'apparition d'une couleur jaune indique la présence des nitrates. [57], [47], [59].

III.4.5.2. Réactifs :

- ✓ Solution à analyser : 10 mL d'eau.
- ✓ Réactif spécifique : 3 gouttes.
- ✓ Salicylate de sodium : 1 mL.
- ✓ Acide sulfurique (H_2SO_4) : 2 mL.
- ✓ Eau distillée : 15 mL.
- ✓ Tartrate double de sodium et potassium : 15 mL.

III.4.5.3. Mode opératoire :

- ✓ Dans un bécher, ajouter 10 mL de l'eau à analyser.
- ✓ Ajouter 3 gouttes du réactif et 1 mL de salicylate de sodium.
- ✓ Chauffer au bain-marie (75°C - 88°C) jusqu'à évaporation partielle.

Propriétés physico-chimiques

- ✓ Laisser refroidir le bécher.
- ✓ Ajouter 2 mL d'acide sulfurique (H_2SO_4) et attendre 2 minutes.
- ✓ Ajouter 15 mL d'eau distillée et 15 mL de tartrate double de sodium et potassium.
- ✓ Observer la couleur de la solution.

III.4.5.4. Remarques :

- ❖ La coloration jaune est due à la réaction entre les nitrates et le salicylate de sodium sous l'effet de l'acide sulfurique.
- ❖ Le chauffage au bain-marie permet d'intensifier la réaction et de favoriser la formation du composé coloré.
- ❖ Le tartrate double de sodium et potassium est ajouté pour stabiliser la solution et optimiser la détection.
- ❖ Un échantillon témoin sans nitrates est recommandé pour mieux comparer la couleur finale.
- ❖ Ce test est semi-quantitatif : une intensité plus forte du jaune indique une concentration plus élevée en nitrates.
- ❖ Il est principalement utilisé pour analyser la qualité de l'eau, notamment pour détecter une pollution par les nitrates dans l'environnement.
- ❖ La valeur guide recommandée par l'OMS pour les nitrates dans l'eau potable est de **50 mg/L NO_3^-** .
- ❖ Dépasser cette limite peut entraîner des problèmes de santé, particulièrement chez les nourrissons (risque de méthémoglobinémie).
- ❖ La présence élevée de nitrates reflète une pollution diffuse d'origine agricole ou urbaine, souvent chronique. [47], [57].

III.4.6. Dosage des sulfates (SO_4^{2-}) :

III.4.6.1. Principe :

Les ions sulfates (SO_4^{2-}) sont naturellement présents dans les eaux souterraines et superficielles, en raison de la dissolution des roches sédimentaires contenant du soufre (gypse, anhydrite). Ils peuvent également provenir d'effluents industriels (raffinage du pétrole, papeteries, industries chimiques). Leur concentration excessive dans l'eau potable peut avoir des effets laxatifs ou corrosifs, notamment en présence de magnésium. Pour analyser la quantité des ions de sulfate on fait un test qui repose sur la réaction des ions sulfate (SO_4^{2-}) avec le chlorure de baryum (BaCl_2). En présence de sulfates, un précipité blanc de sulfate de baryum (BaSO_4) se forme. [57], [59], [47].

III.4.6.2. Réactifs :

- ✓ Eau à analyser : 20 mL
- ✓ Eau distillée : 73 mL
- ✓ Solution stabilisante : 5 mL
- ✓ Chlorure de baryum (BaCl_2) : 2 mL
- ✓ Blanc (témoin) : 93 mL d'eau distillée sans sulfate.

III.4.6.3. Mode opératoire :

- ✓ *Méthode turbidimétrique au chlorure de baryum (BaCl_2) (Norme AFNOR T90-012) :*
 - Dans un bécher, ajouter 20 mL d'eau à analyser.
 - Ajouter 73 mL d'eau distillée et 5 mL de solution stabilisante.
 - Ajouter 2 mL de **BaCl_2** (chlorure de baryum) à l'échantillon acidifié, puis agiter pendant 2 minutes.
 - Une précipitation de **BaSO_4** se forme, **générant une turbidité**.
 - Mesurer cette turbidité à **420 nm** à l'aide d'un spectrophotomètre.
 - Déterminer la concentration en sulfates en comparant avec une courbe d'étalonnage réalisée à partir de standards de sulfate de sodium (Na_2SO_4).

III.4.6.4. Remarques :

- ❖ Le précipité blanc formé est du sulfate de baryum (BaSO_4), un composé très peu soluble dans l'eau.
- ❖ Un témoin blanc (eau distillée seule) est utilisé pour vérifier que la réaction est bien spécifique aux sulfates.
- ❖ Ce test est qualitatif et permet uniquement de détecter la présence des sulfates, mais pas leur concentration.
- ❖ Il est souvent utilisé dans l'analyse des eaux naturelles et des eaux usées pour évaluer la pollution en sulfates.
- ❖ Précaution : Le chlorure de baryum est toxique, il faut manipuler ce réactif avec prudence et éviter tout contact direct avec la peau.
- ❖ La valeur guide de **l'OMS** pour les sulfates dans l'eau potable est de 250 mg/L, au-delà de laquelle peuvent apparaître des effets secondaires (goût amer, effet laxatif léger).
- ❖ Des concentrations plus élevées peuvent indiquer une contamination industrielle ou une altération géologique des aquifères.

III.4.7. Dosage des phosphates (PO_4^{3-}) :

III.4.7.1. Principe :

Les phosphates proviennent principalement des engrais agricoles, des lessives et des eaux usées domestiques. Une concentration élevée peut entraîner l'eutrophisation des milieux aquatiques, favorisant la prolifération d'algues nuisibles. [57], [47].

Les orthophosphates réagissent en milieu acide avec le molybdate d'ammonium, formant un complexe phosphomolybdique. Ce complexe est ensuite réduit par l'acide ascorbique, générant une coloration bleue d'intensité proportionnelle à la concentration des orthophosphates dans l'échantillon.

III.4.7.2. Réactifs :

- ✓ Réactif mélange : Molybdate d'ammonium + Tartrate d'antimoine et de potassium + Acide sulfurique dilué.
- ✓ Acide ascorbique (solution fraîchement préparée).
- ✓ Eau distillée.

III.4.7.3. Mode opératoire :

La méthode la plus utilisée est celle à l'acide ascorbique, qui repose sur la formation d'un complexe phospho-molybdique réduit en présence d'acide ascorbique, donnant une coloration bleue mesurable à 880 nm.

- ✓ Prélever un échantillon d'eau (40 mL) dans une fiole jaugée.
- ✓ Ajouter 1 mL d'acide ascorbique pour favoriser la réduction du complexe phosphomolybdique.
- ✓ Ajouter 2 mL du réactif mélange.
- ✓ Agiter doucement et laisser reposer pendant 20 minutes.
- ✓ Observer l'apparition d'une coloration bleue, indiquant la présence des ions orthophosphate (PO_4^{3-}).
- ✓ Mesurer l'absorbance avec un spectrophotomètre à 880 nm.

III.4.7.4. Remarques :

- ❖ Une coloration bleue intense indique une forte concentration en orthophosphates. Cette méthode est sensible jusqu'à 0,01 mg/L. [57].
- ❖ La solution doit être préparée avec des réactifs frais, notamment l'acide ascorbique, qui s'oxyde rapidement.
- ❖ Une forte turbidité peut interférer avec l'interprétation des résultats.
- ❖ Il est conseillé d'effectuer un blanc avec de l'eau distillée pour comparer la coloration.

III.4.8. Dosage de fer (Fe^{2+}) :

III.4.8.1. Principe :

Le fer est un élément naturellement présent dans les eaux souterraines, en particulier sous forme ferreuse (Fe^{2+}) ou ferrique (Fe^{3+}). Sa présence excessive peut entraîner une coloration rougeâtre de l'eau, des dépôts dans les canalisations, et altérer le goût. [57], [47].

Le test pour analyser la quantité de Fer repose sur la formation d'un complexe coloré entre les ions ferreux (Fe^{2+}) et la phénanthroline 1,10 en milieu tamponné. En présence de Fe^{2+} , la solution prend une coloration rouge brique, indiquant la présence de fer dans l'échantillon analysé.

III.4.8.2. Réactifs :

- ✓ Chlorhydrate d'hydroxylamine (1 mL) : agent réducteur permettant de maintenir le fer sous forme Fe^{2+} .
- ✓ Tampon acétate (2 mL) : stabilise le pH pour favoriser la réaction.
- ✓ Phénanthroline 1,10 (2 mL) : réactif complexant spécifique du Fe^{2+} , formant un complexe coloré rouge brique.

III.4.8.3. Mode opératoire :

Méthode colorimétrique à l'orthophénanthroline, qui forme un complexe coloré orangé avec le fer ferreux (Fe^{2+}). Si le fer est à l'état ferrique (Fe^{3+}), il faut d'abord le réduire.

- ✓ Prélever 50 mL de l'eau à analyser dans un erlenmeyer ou un ballon jaugé.
- ✓ Ajouter 1 mL d'agent réducteur (**chlorhydrate d'hydroxylamine**) pour convertir Fe^{3+} en Fe^{2+} .
- ✓ Ajouter 2 mL de tampon acétate pour ajuster le pH du milieu.
- ✓ Ajouter 2 mL de phénanthroline 1,10 et bien mélanger.
- ✓ Laisser la solution **15 minutes** à l'obscurité pour permettre la réaction et observer la coloration de la solution, puis mesurer l'absorbance à **510 nm**. [57], [59].

III.4.8.4. Remarques :

- ❖ La coloration orangée est proportionnelle à la concentration en fer. Cette méthode permet de détecter des teneurs allant de 0,05 à 5 mg/L. [57].
- ❖ Si aucune coloration n'apparaît, le fer est soit absent, soit sous une autre forme d'oxydation (Fe^{3+}), qui ne réagit pas directement avec la phénanthroline sans réduction préalable.
- ❖ Ce test est semi-quantitatif : l'intensité de la couleur peut donner une estimation approximative de la concentration en fer.

III.4.9. Dosage de l'aluminium (Al^{3+}) :

III.4.9.1. Le Principe :

L'aluminium peut être naturellement présent ou introduit dans l'eau potable via les coagulants à base d'aluminium. Des concentrations élevées peuvent poser des risques neurologiques ou provoquer des dépôts. [47], [57].

Les ions aluminium (Al^{3+}) réagissent avec le rouge alizarine en présence d'un tampon acétate pour former un complexe coloré. L'intensité de la coloration orange est proportionnelle à la concentration en aluminium dans l'échantillon.

III.4.9.2. Réactifs :

- ✓ Chlorure de calcium (CaCl_2 , 2,5 mL) : stabilise la réaction.
- ✓ Acide thioglycolique (1 mL) : réduit les interférences en complexant certains ions métalliques.
- ✓ Tampon acétate (5 mL) : maintient le pH optimal pour la réaction.
- ✓ Rouge alizarine (1 mL) : colorant qui forme un complexe avec l'aluminium.
- ✓ Eau distillée : pour compléter le volume total.

III.4.9.3. Mode opératoire :

- ✓ Prélever 25 mL d'eau à analyser dans une fiole jaugée.
- ✓ Ajouter 2,5 mL de CaCl_2 pour stabiliser l'échantillon.
- ✓ Ajouter 1 mL d'acide thioglycolique.
- ✓ Ajouter 5 mL du tampon acétate.
- ✓ Ajouter 1 mL de rouge alizarine.
- ✓ Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
- ✓ Laisser reposer pendant 2 heures.
- ✓ Observer la coloration orange, indiquant la présence d'aluminium.

III.4.9.4. Remarques :

- ❖ Une coloration orange indique une présence notable d'aluminium.
- ❖ La coloration est proportionnelle à la concentration en L'acide thioglycolique est utilisé pour éviter les interférences avec d'autres métaux.
- ❖ Le tampon acétate garantit un pH optimal pour la formation du complexe coloré.
- ❖ Il est conseillé d'effectuer un blanc avec de l'eau distillée pour une meilleure comparaison des résultats.

III.4.10. Dosage du sodium (Na^+) et du potassium (K^+) :

III.4.10.1. Le Principe :

La spectroscopie de flamme repose sur l'excitation des électrons des ions métalliques sous l'effet de la chaleur de la flamme. Lorsque ces électrons reviennent à leur état fondamental, ils émettent de la lumière à une longueur d'onde spécifique. L'observation des couleurs de la flamme permet donc d'identifier qualitativement les cations présents.

- Sodium (Na^+) : Émet une flamme jaune intense (~589 nm).
- Potassium (K^+) : Émet une flamme violette (~766 nm).

III.4.10.2. Réactifs :

- ✓ Solution d'échantillon contenant des ions Na^+ et/ou K^+ .
- ✓ Brûleur à gaz pour générer une flamme propre.
- ✓ Fil de platine ou de nichrome (nettoyé dans HCl puis chauffé).

III.4.10.3. Mode opératoire :

- ✓ Nettoyer le fil de platine ou de nichrome en le plongeant dans une solution de HCl puis en le chauffant dans la flamme jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de couleur résiduelle.
- ✓ Prélever une petite quantité de l'échantillon à analyser en trempant le fil dans la solution.
- ✓ Introduire le fil dans la flamme et observer la couleur émise :
 - Jaune intense → Présence de Na^+ .
 - Violet → Présence de K^+ .
- ✓ Si la couleur jaune du sodium masque celle du potassium, on peut observer le potassium à travers un verre cobalt qui filtre la lumière jaune du sodium.

II.4.10.4. Remarque :

Ce test est qualitatif mais peut être couplé à un spectrophotomètre de flamme pour une analyse quantitative des concentrations en Na^+ et K^+ . Il est important d'utiliser une flamme propre pour éviter des interférences. L'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau, tels que la turbidité, la conductivité, la couleur, l'odeur et la température, est essentielle pour évaluer sa qualité et son adéquation à la consommation. Chaque critère fournit des informations précieuses sur la présence de contaminants, la concentration en minéraux dissous, et l'efficacité des processus de traitement. La surveillance régulière de ces paramètres, en particulier dans des régions comme Guelma, permet de garantir l'approvisionnement en eau potable et de prévenir les risques sanitaires. L'application de techniques de mesure adaptées, telles que turbidimètre, le conductimètre et les thermomètres, contribue à une gestion optimale de la qualité de l'eau.

CHAPITRE IV
RÉSULTATS ET DISCUSSION

Résultats et discussion

IV.1. Introduction :

Les données expérimentales issues de l'analyse physico-chimique des eaux de la wilaya de Guelma offrent un reflet fidèle de la réalité environnementale locale, marquée à la fois par des influences naturelles et des activités anthropiques. Dans le cadre de notre travail de recherche, une série d'échantillons d'eau potable a été prélevée entre janvier et mars 2025, à partir de sources réparties entre le nord, le sud, l'est et l'ouest de la région. Les analyses ont été réalisées au laboratoire de la station de traitement des eaux de Hammam Debagh, constituant ainsi une étape importante de notre étude. Ces résultats, parfois discrets en apparence, révèlent cependant des différences significatives, traduisant le niveau d'équilibre physico-chimique de ces ressources. Ce chapitre présente de manière méthodique l'ensemble des résultats obtenus, confrontés aux normes nationales, dans le but d'établir un portrait global de la qualité des eaux et d'évaluer leur aptitude à satisfaire les exigences de l'usage humain, tant actuel que futur.

IV.2. Analyse et discussion par paramètre :

IV.2.1. Turbidité [NTU] :

L'analyse des niveaux de turbidité mesurés dans les différentes sources d'eau de la wilaya de Guelma révèle des valeurs relativement faibles et globalement satisfaisantes, témoignant d'une eau claire et peu chargée en particules en suspension. Les valeurs varient entre 0,19 NTU (Bouhegouf) et 0,66 NTU (Ain Souda). Toutes les sources naturelles présentent donc une turbidité inférieure à 1 NTU. À l'inverse, l'eau traitée montre une valeur notablement plus élevée de 3,86 NTU, ce qui attire l'attention.

Résultats et Discussion

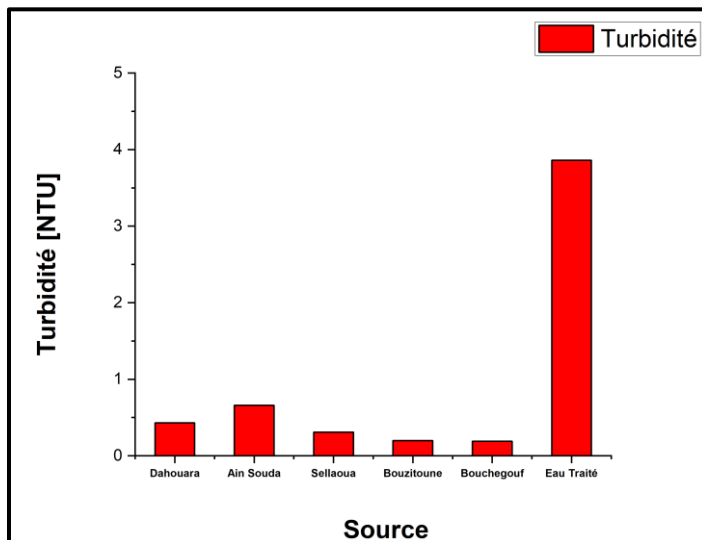


Fig.IV.1 : Graphe de Turbidité.

Source	Turbidité
Dahouara	0.43
Ain Souda	0.66
Sellaoua	0.31
Bouzitoune	0.20
Bouchegouf	0.19
Eau Traité	3.86

Tab.IV.1 : Résultats de Turbidité.

Selon la norme algérienne relative à la potabilité de l'eau, la valeur maximale admissible de turbidité est de 5 NTU, avec une valeur guide recommandée inférieure à 1 NTU pour garantir une désinfection efficace. Toutes les valeurs enregistrées, y compris celle de l'eau traitée, demeurent dans les limites réglementaires. Toutefois, la turbidité plus élevée de l'eau traitée par rapport aux eaux naturelles reste inhabituelle et soulève des interrogations sur l'efficacité du processus de traitement.

La turbidité relativement haute à Ain Souda (0,66 NTU), bien qu'acceptable, peut s'expliquer par des facteurs environnementaux tels que le ruissellement de surface après les précipitations, une érosion modérée du sol environnant ou une activité biologique (algues, micro-organismes). Quant à la turbidité de l'eau traitée, elle pourrait résulter d'un mauvais fonctionnement de la station de traitement, d'une saturation des filtres, ou d'un relargage de particules dans le réseau de distribution. À l'opposé, les faibles valeurs dans les autres sources naturelles confirment que les eaux de source, notamment les eaux souterraines, restent les plus stables et les mieux protégées contre les pollutions physiques.

Sur le plan sanitaire et environnemental, une turbidité élevée peut diminuer l'efficacité des désinfectants comme le chlore, favoriser la prolifération microbienne, altérer le goût et l'aspect visuel de l'eau, et, à long terme, encrasser les réseaux de distribution. En revanche, les faibles valeurs observées dans les sources naturelles — Dahouara, Ain Souda, Sellaoua, Bouzitoune et Bouchegouf — témoignent d'une bonne qualité physique de l'eau et d'un faible risque de contamination particulaire. Pour limiter ces risques, il serait nécessaire d'optimiser les étapes

Résultats et Discussion

de décantation et de filtration dans les stations de traitement, d'assurer un entretien régulier du réseau, et de renforcer la protection des zones de captage contre le ruissellement et l'érosion.

IV.2.2. Potentiel d'hydrogène pH :

L'analyse des valeurs de pH des différentes sources de la wilaya de Guelma montre une variation modérée allant de légèrement acide à faiblement basique. Les valeurs varient de 6,92 à Ain Souda à 8,43 à Dahouara. Les autres sources se situent dans une zone de neutralité relative : Sellaoua (7,14), Bouzitoune (6,97), Bouchegouf (7,74) et eau traitée (7,95). La valeur la plus élevée est observée à Dahouara, traduisant un caractère légèrement basique de l'eau.

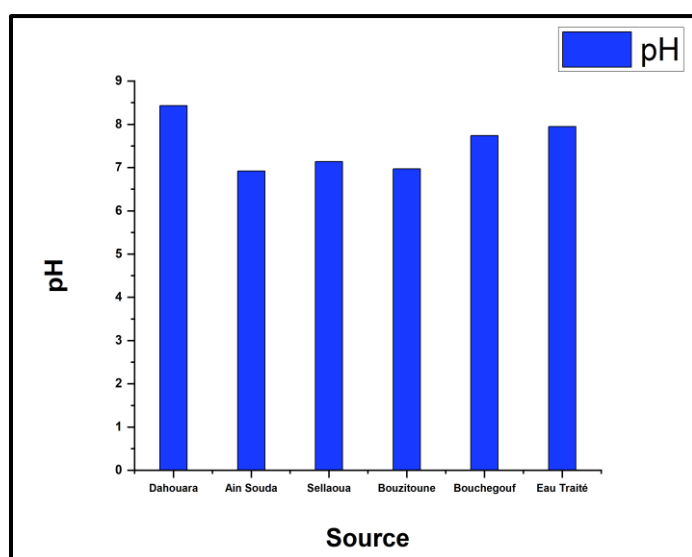


Fig.IV.2 : Graphe de pH.

Source	pH
Dahouara	8.43
Ain Souda	6.92
Sellaoua	7.14
Bouzitoune	6.97
Bouchegouf	7.74
Eau Traité	7.95

Tab.IV.3 : Résultats de pH.

Selon la norme algérienne (NA 6368), le pH de l'eau potable doit se situer entre 6,5 et 8,5. Toutes les sources analysées respectent donc cette plage, y compris Dahouara avec son pH de 8,43, qui demeure juste en dessous de la limite supérieure. Ces valeurs indiquent que l'eau ne présente pas de risque immédiat en termes d'acidité ou d'alcalinité.

La valeur élevée à Dahouara (8,43) pourrait s'expliquer par la présence de roches carbonatées (calcaire, dolomie) dans la zone, ce qui augmente l'alcalinité. Les valeurs proches de 7 dans les autres sources révèlent une bonne stabilité chimique. Une eau avec un pH trop élevé peut légèrement modifier le goût de l'eau et réduire l'efficacité de la désinfection au chlore. À l'inverse, un pH trop bas pourrait être corrosif pour les canalisations et libérer des métaux lourds (plomb, cuivre).

Résultats et Discussion

Les eaux étudiées présentent un pH conforme aux normes, traduisant un bon équilibre acido-basique. Toutefois, la source de Dahouara, bien que dans les limites acceptables, devrait être surveillée régulièrement en raison de sa proximité avec le seuil supérieur. Il est recommandé de maintenir une surveillance périodique du pH, notamment après des périodes de fortes pluies ou de sécheresse qui pourraient modifier la composition géochimique. Le pH étant un facteur influent sur la qualité microbiologique et la solubilité des minéraux, son contrôle régulier est crucial pour assurer une bonne potabilité.

IV.2.3. Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{Cm}$) :

L'analyse de la conductivité électrique dans les différentes sources montre une variabilité importante des valeurs, traduisant des différences notables en teneur en sels dissous.

Les valeurs vont de 540 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Dahouara à un maximum très élevé de 3349 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Bouchegouf. Les autres sources présentent des niveaux intermédiaires : Ain Souda (735 $\mu\text{S}/\text{cm}$), Bouzitoune (779 $\mu\text{S}/\text{cm}$), Sellaoua (996 $\mu\text{S}/\text{cm}$), et eau traitée (900 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Cette hétérogénéité reflète probablement des influences géologiques et anthropiques différenciées.

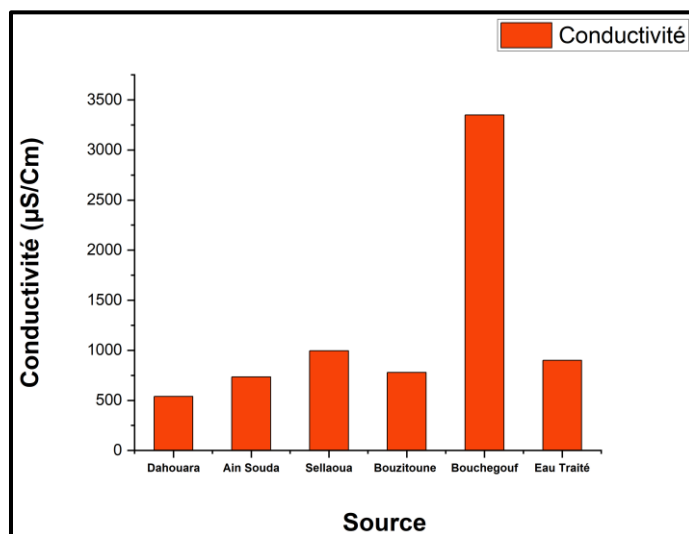


Fig.IV.3 : Graphe de Conductivité.

Source	Conductivité
Dahouara	540
Ain Souda	735
Sellaoua	996
Bouzitoune	779
Bouchegouf	3349
Eau Traité	900

Tab.IV.3 : Résultats de Conductivité.

Selon les recommandations de la norme algérienne, aucune valeur limite obligatoire n'est fixée pour la conductivité, mais une valeur inférieure à 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ est généralement recommandée pour le confort des consommateurs (goût acceptable et absence d'effets laxatifs).

Ainsi, seule la source de Bouchegouf (3349 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dépasse largement cette valeur indicative, ce qui suggère une minéralisation excessive. Les autres sources restent en dessous de ce seuil, bien que Sellaoua et l'eau traitée présentent des valeurs relativement élevées.

Résultats et Discussion

La conductivité élevée peut être due à la présence de sels dissous tels que les chlorures, les sulfates, les bicarbonates, le sodium ou le calcium. La valeur extrêmement élevée à Bouchegouf peut s'expliquer par une infiltration d'eaux de lessivage agricole, des rejets domestiques ou industriels, ou encore la nature géologique salifère de la zone. Une eau à forte conductivité peut altérer le goût, favoriser la corrosion ou l'entartrage des installations, et refléter une qualité physico-chimique globalement médiocre. Elle peut aussi nuire à certaines personnes sensibles, en particulier si elle est associée à d'autres minéraux en excès.

À l'exception de Bouchegouf, les sources présentent une conductivité relativement acceptable, même si certaines (Sellaoua, eau traitée) nécessitent une surveillance accrue. Pour Bouchegouf, une analyse complémentaire détaillée des ions responsables est recommandée afin de déterminer l'origine de cette forte minéralisation et d'évaluer les risques sanitaires potentiels. Il est également conseillé de renforcer les mesures de protection autour de la source et de contrôler régulièrement l'évolution de la conductivité, en particulier en période de forte activité agricole ou après les pluies.

IV.2.4. La teneur en matière dissoute totale TDS :

Les teneurs en matières dissoutes totales (TDS) mesurées dans les différentes sources varient de manière modérée à élevée. Les valeurs enregistrées vont de 280 mg/L à Dahouara, à 466 mg/L à Sellaoua. Les autres sources présentent des valeurs intermédiaires :

Ain Souda (325 mg/L), Bouzitoune (408 mg/L), et eau traitée (439 mg/L). Aucune donnée n'a pu être obtenue pour la source de Bouchegouf, ce qui constitue une limite dans l'évaluation complète de la qualité de cette source.

Les teneurs en matières dissoutes totales (TDS) mesurées dans les différentes sources varient de manière modérée à élevée. Les valeurs enregistrées vont de 280 mg/L à Dahouara, à 466 mg/L à Sellaoua. Les autres sources présentent des valeurs intermédiaires : Ain Souda (325 mg/L), Bouzitoune (408 mg/L), et eau traitée (439 mg/L).

Aucune donnée n'a pu être obtenue pour la source de Bouchegouf, ce qui constitue une limite dans l'évaluation complète de la qualité de cette source.

Résultats et Discussion

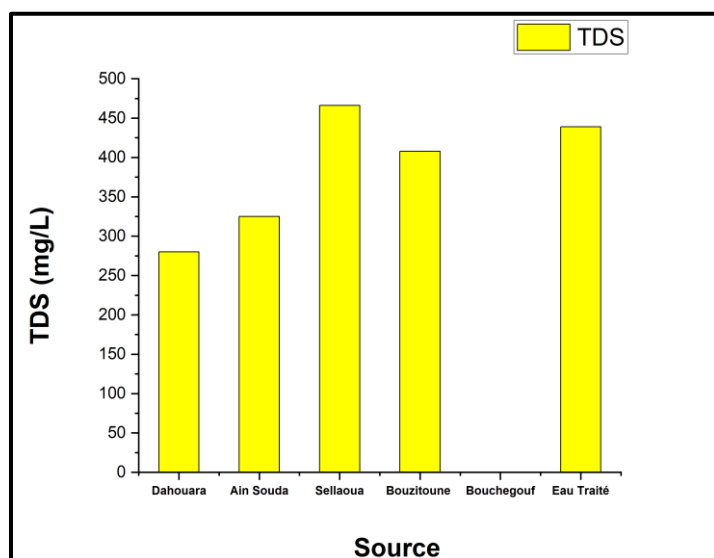


Fig.IV.4 : Graphe de TDS.

Source	TDS
Dahouara	280
Ain Souda	325
Sellaoua	466
Bouzitoune	408
Bouchegouf	/
Eau Traité	439

Tab.IV.4 : Résultats de TDS.

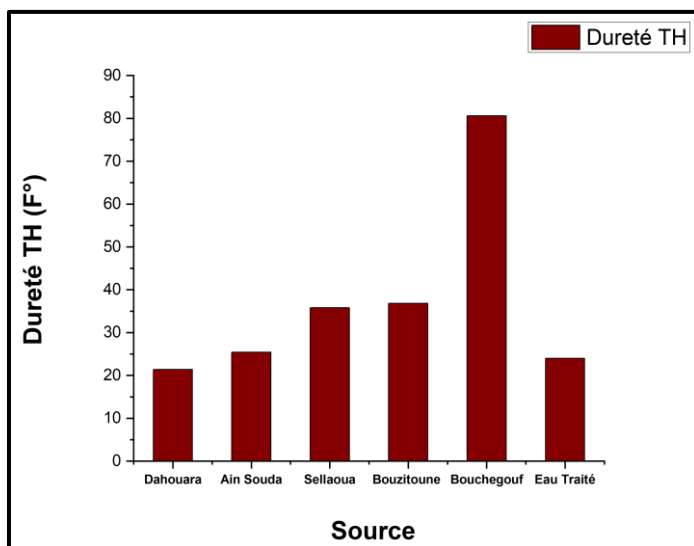
Selon l'OMS, l'eau potable est généralement acceptable jusqu'à 500 mg/L de TDS, bien qu'une préférence soit donnée à des valeurs inférieures à 300 mg/L pour le goût et le confort. Toutes les sources étudiées sont inférieures à la limite maximale recommandée, bien que Sellaoua, Bouzitoune et l'eau traitée présentent des niveaux proches du seuil. Cela indique une bonne minéralisation générale, sans dépasser les standards de potabilité.

Le TDS regroupe l'ensemble des sels minéraux dissous (calcium, magnésium, sodium, chlorures, sulfates, etc.). Des valeurs modérées à élevées peuvent refléter la nature géologique des terrains traversés, notamment en présence de roches calcaires ou marneuses, mais aussi l'influence des activités agricoles (engrais, amendements) ou domestiques. Un TDS élevé peut altérer le goût de l'eau, la rendant amère ou salée, et favoriser l'entartrage des canalisations. Toutefois, les valeurs mesurées ici ne posent pas de danger pour la santé humaine.

Les eaux analysées présentent des teneurs en TDS conformes aux recommandations internationales. La source de Dahouara se distingue par une qualité minérale plus légère, tandis que Sellaoua et l'eau traitée montrent des valeurs relativement plus élevées, à surveiller avec le temps. Il est recommandé de réaliser régulièrement cette mesure, notamment après des changements saisonniers ou des épisodes de pollution potentielle. Il serait également pertinent de compléter les analyses à Bouchegouf, afin d'avoir une évaluation complète de la qualité globale.

IV.2.5. Dureté totale de l'eau TH (Titre Hydrotimétrique) :

Les valeurs de la dureté totale (TH) mesurées dans les différentes sources de la région de Guelma varient de modérées à très élevées. Les valeurs vont de 21,4 °f à Dahouara à un maximum de 80,6 °f à Bouchegouf, ce qui indique une eau très dure. Les autres sources présentent des duretés intermédiaires : Ain Souda (25,4 °f), Sellaoua (35,8 °f), Bouzitoune (36,8 °f), et eau traitée (24 °f). On note donc une hétérogénéité importante du niveau de minéralisation calco-magnésienne selon la source.



Source	TH
Dahouara	21.4
Ain Souda	25.4
Sellaoua	35.8
Bouzitoune	36.8
Bouchegouf	80.6
Eau Traité	24

Fig.IV.5 : Graphe de Dureté TH.

Tab.IV.5 : Résultats de Dureté TH.

Bien que la dureté ne soit pas soumise à une norme sanitaire stricte, les classifications usuelles sont les suivantes :

< 15 °f : eau douce

15 – 30 °f : eau moyennement dure

30 – 45 °f : eau dure

> 45 °f : eau très dure

Ainsi, toutes les sources, à l'exception de Dahouara et Ain Souda, présentent une dureté élevée à très élevée, notamment Bouchegouf qui dépasse largement les seuils avec 80,6 °f, traduisant une minéralisation excessive en calcium et magnésium.

La dureté est liée principalement à la présence de cations calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). Sa valeur dépend fortement de la nature géologique des terrains traversés par l'eau. Une dureté

Résultats et Discussion

très élevée comme à Bouchegouf est typique des régions riches en roches calcaires ou dolomitiques.

Sur le plan sanitaire, une eau dure n'est pas nocive pour la santé ; au contraire, elle peut représenter une source intéressante de calcium et de magnésium. Cependant, elle peut entraîner des inconvénients domestiques : entartrage des canalisations, réduction de l'efficacité des savons et détergents, et dépôts de calcaire dans les appareils électroménagers.

L'analyse révèle une dureté globalement élevée dans plusieurs sources, en particulier à Bouchegouf, ce qui pourrait nécessiter un traitement adoucisseur si l'eau est destinée à des usages domestiques sensibles (chauffe-eau, industrie, etc.).

Pour les autres sources, les valeurs restent acceptables pour la consommation humaine mais doivent être suivies régulièrement, surtout en cas de modification du régime hydrogéologique. Il est également conseillé d'informer les usagers sur la nécessité de détartrer régulièrement leurs équipements, notamment dans les zones à forte dureté.

IV.2.6. Température de l'eau T (en °C) :

Les températures mesurées dans les différentes sources de la wilaya de Guelma varient entre 10,1 °C pour l'eau traitée et 19,4 °C à Bouzitoune. Les autres sources présentent des températures modérées : Dahouara (13,9 °C), Ain Souda (14,3 °C), Sellaoua (15,2 °C) et Bouchegouf (15,5 °C). Ces températures sont typiques des eaux souterraines ou de sources naturelles exposées de façon variable aux conditions climatiques locales.

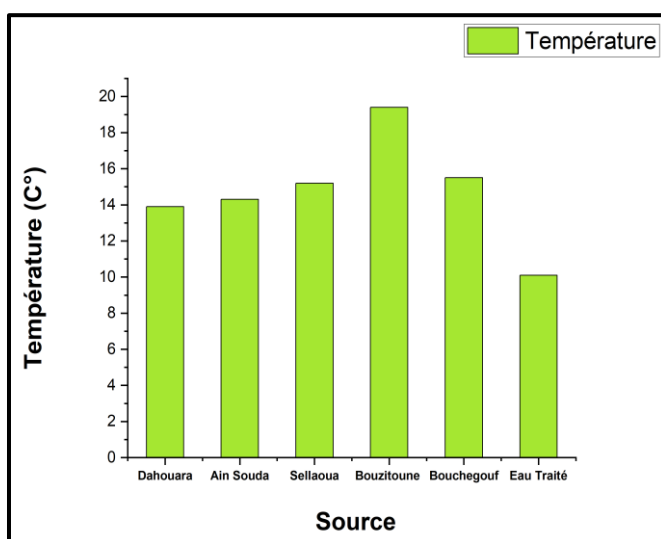


Fig.IV.6 : Graphe de Température.

Source	Température
Dahouara	13.9
Ain Souda	14.3
Sellaoua	15.2
Bouzitoune	19.4
Bouchegouf	15.5
Eau Traité	10.1

Tab.IV.6 : Résultats de Température.

Résultats et Discussion

Il n'existe pas de norme sanitaire stricte pour la température de l'eau potable, mais l'OMS recommande qu'elle soit inférieure à 25 °C pour des raisons de goût, de confort et de limitation du développement microbologique. Ainsi, toutes les sources analysées respectent cette recommandation. Par ailleurs, une température inférieure à 15 °C est généralement considérée comme agréable au goût et limitant la prolifération bactérienne.

La température de l'eau dépend principalement de la profondeur des nappes, de la saison au moment de l'échantillonnage et de l'exposition à l'air libre. L'eau plus fraîche à Dahouara, Ain Souda et dans l'eau traitée indique une possible protection contre l'exposition solaire ou une origine souterraine profonde. En revanche, la température plus élevée à Bouzitoune (19,4 °C) pourrait être due à une source plus superficielle, une exposition directe au soleil, ou encore un écoulement lent favorisant l'échauffement. Une température plus élevée peut favoriser la croissance microbologique et altérer la qualité organoleptique (goût, odeur).

Les eaux analysées présentent des températures inférieures à 25 °C, ce qui est acceptable d'un point de vue sanitaire. Toutefois, la température relativement élevée observée à Bouzitoune mérite une vigilance particulière, notamment en période estivale, pour prévenir le développement microbologique. Il est conseillé de protéger les points d'eau contre l'exposition directe (couvertures, ombrages) et d'assurer une surveillance microbologique régulière, en particulier lorsque les températures dépassent 18–20 °C.

IV.2.7. Salinité :

Les niveaux de salinité mesurés dans les différentes sources de la wilaya de Guelma varient de manière significative. Les sources de Dahouara, Ain Souda, Sellaoua et Bouzitoune présentent des teneurs faibles à modérées (entre 0 et 0,3 ‰), ce qui traduit une minéralisation relativement faible de ces eaux. En revanche, la source de Bouchegouf affiche une salinité nettement plus élevée (1,9 ‰), ce qui suggère une charge en sels dissous bien plus importante. L'eau traitée, quant à elle, présente une valeur de 0,2 ‰, proche de celle de Bouzitoune, ce qui indique un bon contrôle du taux de sels par le traitement.

Résultats et Discussion

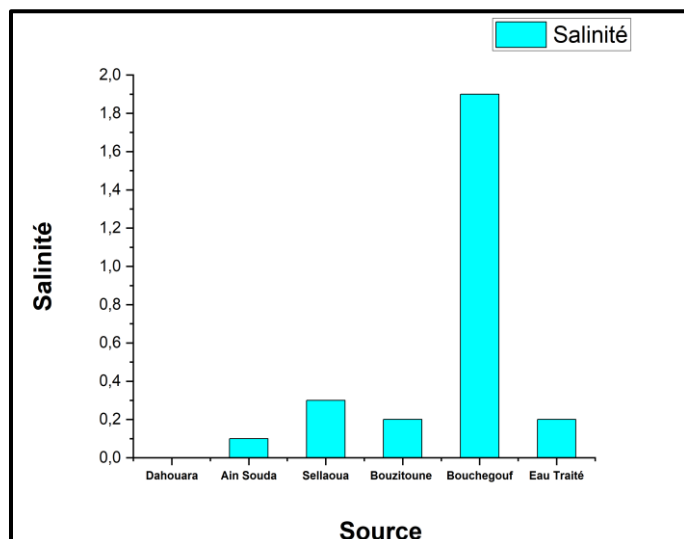


Fig.IV.7 : Graphe de Salinité.

Source	Salinité
Dahouara	0.0
Ain Souda	0.1
Sellaoua	0.3
Bouzitoune	0.2
Bouchegouf	1.9
Eau Traité	0.2

Tab.IV.7 : Résultats de Salinité.

La réglementation algérienne relative à l'eau potable ne spécifie pas de seuil précis pour la salinité en tant que telle, mais elle impose des limites pour les résidus solides dissous (TDS), souvent utilisés comme indicateur indirect de la salinité. En général, une eau est considérée comme potable si sa salinité reste inférieure à 1 %. Ainsi, seules les eaux de Bouchegouf dépassent ce seuil, ce qui pourrait poser problème en termes de goût et d'usage domestique prolongé.

La salinité élevée de Bouchegouf peut être liée à des facteurs géologiques (présence de formations salifères), à une évaporation intense, ou encore à des infiltrations d'eaux contenant des sels, comme les engrais agricoles ou les rejets domestiques. Une salinité excessive peut altérer le goût de l'eau, rendre son usage désagréable pour la consommation humaine, accélérer la corrosion des canalisations, et représenter un risque pour l'irrigation de cultures sensibles.

Dans l'ensemble, les sources naturelles analysées présentent des niveaux de salinité acceptables, à l'exception de Bouchegouf où une attention particulière est à prévoir. Il serait judicieux de renforcer la surveillance de cette source, d'enquêter sur l'origine exacte de cette charge saline, et d'évaluer si un prétraitement spécifique est nécessaire avant distribution. La sensibilisation des agriculteurs à l'usage raisonné des fertilisants et des autorités locales à la gestion des rejets domestiques contribuerait également à la maîtrise durable de ce paramètre.

IV.2.8. Titre alcalimétrique TA (en F°) :

L'ensemble des échantillons prélevés, qu'ils proviennent des sources naturelles (Dahouara, Ain Souda, Sellaoua, Bouzitoune, Bouchegouf) ou de l'eau traitée, affichent un titre alcalimétrique nul. Cela signifie que l'eau ne contient pas ou très peu d'ions responsables de l'alcalinité (bicarbonates, carbonates, hydroxydes), ce qui traduit une absence de pouvoir tampon.

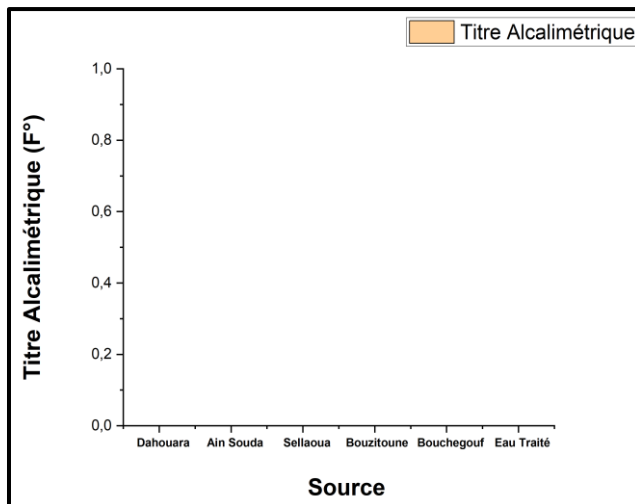


Fig.IV.8 : Graphe de TA.

Source	TA
Dahouara	00
Ain Souda	00
Sellaoua	00
Bouzitoune	00
Bouchegouf	00
Eau Traité	00

Tab.IV.8 : Résultats de TA.

La réglementation algérienne ne fixe pas de valeur limite spécifique pour le TA, mais il est généralement admis qu'une eau potable devrait avoir un titre alcalimétrique supérieur à 30 mg/L en équivalent CaCO_3 pour assurer une bonne stabilité du pH et limiter les risques de corrosion. L'absence totale d'alcalinité dans ces échantillons est donc en dehors de cette recommandation.

Un TA nul peut être lié à la nature géologique des sols traversés par les eaux, pauvres en composés carbonatés, ou à un traitement de l'eau qui élimine les éléments alcalins sans compensation minérale. Ce manque d'alcalinité rend l'eau agressive, ce qui peut entraîner la corrosion des canalisations, une instabilité du pH et un dysfonctionnement de certains traitements, notamment la chloration, dont l'efficacité dépend du pH.

La présence d'un titre alcalimétrique nul dans toutes les sources et dans l'eau traitée est un indicateur important à ne pas négliger. Il est recommandé d'envisager une reminéralisation partielle de l'eau traitée afin d'élever son pouvoir tampon et garantir une stabilité chimique. Une surveillance continue du TA est également conseillée, notamment en lien avec les variations du pH et la durabilité des installations de distribution.

IV.2.9. Titre Alcalimétrique Complet TAC (en F°) :

Analyse des résultats : Les valeurs du TAC mesurées dans les différentes sources d'eau de la wilaya de Guelma varient entre 16,9 °f pour Dahouara et 35,9 °f pour Bouchegouf. Les sources d'Ain Souda, Sellaoua et Bouzitoune présentent respectivement des teneurs de 19,5, 27,7 et 27 °f. L'eau traitée, quant à elle, montre une valeur plus faible de 13,3 °f. Ces résultats indiquent une présence modérée à élevée d'ions carbonates et bicarbonates, traduisant une bonne capacité tampon pour la majorité des sources.

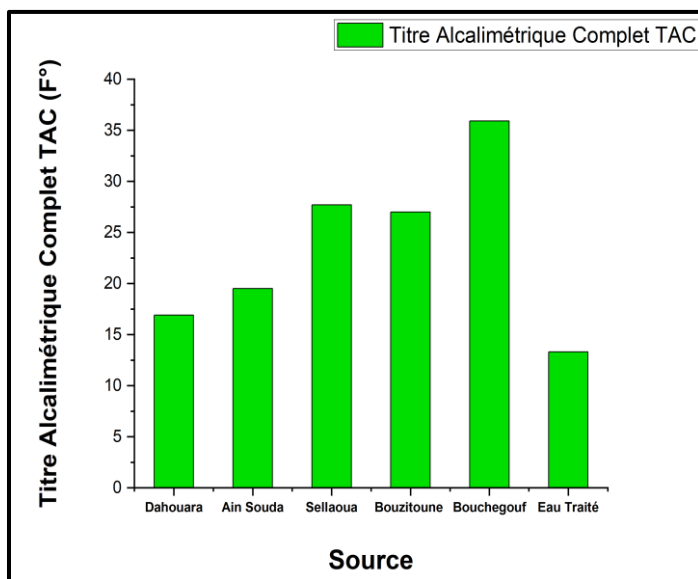


Fig.IV.9 : Graphe de TAC.

Source	TAC
Dahouara	16.9
Ain Souda	19.5
Sellaoua	27.7
Bouzitoune	27
Bouchegouf	35.9
Eau Traité	13.3

Tab.IV.9 : Résultats de TAC.

Selon la norme algérienne et les recommandations internationales, une eau potable est considérée comme ayant une alcalinité acceptable lorsque le TAC se situe entre 15 °f et 30 °f. Ainsi, la plupart des sources analysées respectent ces valeurs, voire les dépassent légèrement (comme Bouchegouf). L'eau traitée, avec un TAC de 13,3 °f, reste proche de la limite inférieure, ce qui peut être insuffisant pour une bonne stabilité chimique à long terme.

Le TAC dépend principalement de la composition géologique du sol traversé par l'eau. Les valeurs élevées peuvent s'expliquer par la présence de roches calcaires, tandis que la baisse du TAC dans l'eau traitée peut résulter du processus de traitement, notamment la dilution ou la précipitation de carbonates. Une alcalinité trop faible peut compromettre la stabilité du pH, favoriser la corrosion des canalisations et réduire l'efficacité du chlore utilisé pour la désinfection.

Résultats et Discussion

Les sources naturelles de la wilaya de Guelma présentent globalement une qualité d'eau acceptable, avec des concentrations en éléments chimiques majoritairement conformes aux normes. Le TAC, indicateur de l'alcalinité, est modéré à élevé dans toutes les sources, ce qui traduit une bonne stabilité chimique et une capacité tampon naturelle satisfaisante. Seules quelques sources, comme Bouchegouf, montrent des teneurs plus élevées en certains ions, nécessitant une attention particulière. Une surveillance régulière et des pratiques de protection des ressources sont essentielles pour garantir la qualité de l'eau à long terme, tout en veillant à ajuster les traitements lorsque nécessaire.

IV.2.10. Bicarbonates HCO_3^- (mg/L) :

Les concentrations en bicarbonates dans les sources d'eau de la wilaya de Guelma varient de manière significative, allant de 206,18 mg/L à Dahouara à 437,98 mg/L à Bouchegouf. Les autres sources affichent des teneurs intermédiaires avec Ain Souda à 237,9 mg/L, Sellaoua à 337,94 mg/L et Bouzitoune à 329,4 mg/L. L'eau traitée présente une valeur plus faible, 162,26 mg/L, ce qui peut résulter du processus de traitement visant à réduire certains ions dissous.

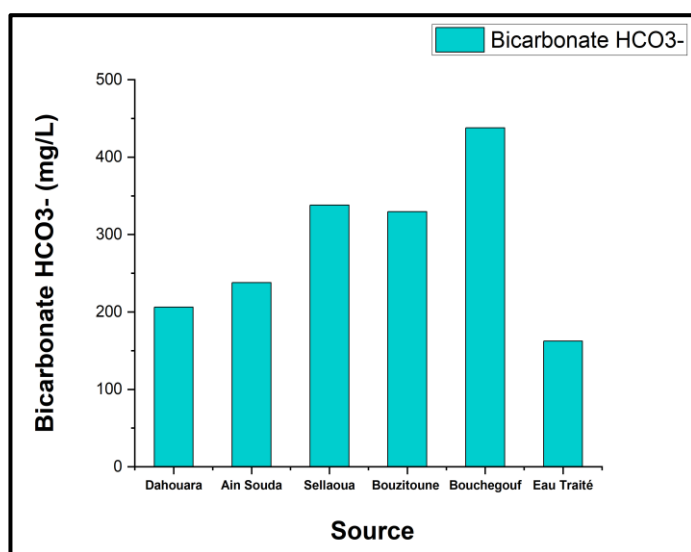


Fig.IV.10 : Graphe de Bicarbonate.

Source	HCO_3^-
Dahouara	206.18
Ain Souda	237.9
Sellaoua	337.94
Bouzitoune	329.4
Bouchegouf	437.98
Eau Traité	162.26

Tab.IV.10 : Résultats de Bicarbonate.

Selon la réglementation algérienne et les recommandations internationales, la concentration en bicarbonates ne doit pas dépasser 500 mg/L pour garantir une qualité optimale de l'eau potable. Toutes les valeurs relevées dans cette étude sont inférieures à ce seuil, indiquant une conformité globale.

Résultats et Discussion

Les différences observées dans les concentrations en bicarbonates des diverses sources d'eau de la wilaya de Guelma s'expliquent principalement par la nature géologique des terrains traversés par ces eaux. Par exemple, les fortes teneurs en bicarbonates de la source de Bouchegouf, ainsi que de Sellaoua et Bouzitoune, peuvent être attribuées à la présence importante de formations calcaires ou de roches riches en carbonate de calcium dans ces zones. Ces roches libèrent des ions bicarbonates lors de leur dissolution dans l'eau. En revanche, les concentrations plus faibles relevées à Dahouara et Ain Souda sont probablement dues à des terrains composés de roches moins calcaires ou à un moindre contact avec les formations carbonatées. Par ailleurs, l'eau traitée, qui affiche une concentration réduite en bicarbonates, reflète les effets des processus de traitement, tels que la filtration et la précipitation des carbonates, visant à stabiliser la qualité de l'eau distribuée. Ces variations naturelles, associées aux interventions humaines, expliquent les différences constatées dans les teneurs en bicarbonates des différentes sources.

Les concentrations en bicarbonates mesurées dans les différentes sources de la wilaya de Guelma révèlent une teneur variable mais toujours conforme aux normes en vigueur. Ces valeurs témoignent d'une bonne capacité tampon des eaux naturelles, principalement liée à la composition géologique locale riche en carbonates. Le bicarbonate joue un rôle clé dans la stabilité du pH et la qualité globale de l'eau. L'eau traitée présente une concentration plus faible, signe d'un traitement efficace visant à équilibrer la composition ionique. Il reste essentiel de poursuivre la surveillance régulière de ce paramètre dans toutes les sources pour prévenir tout impact négatif potentiel sur les installations et garantir une qualité d'eau optimale pour la population.

IV.2.11. Calcium Ca^{2+} (mg/L) :

Les concentrations en calcium dans les différentes sources d'eau de la wilaya de Guelma varient considérablement. La source de Bouchegouf affiche la teneur la plus élevée avec 209,86 mg/L, ce qui traduit une forte minéralisation. Elle est suivie de Sellaoua (116,14 mg/L), Bouzitoune (96,12 mg/L), Ain Souda (73,69 mg/L) et Dahouara (65,68 mg/L). L'eau traitée présente la valeur la plus faible à 62,47 mg/L, indiquant une eau modérément dure.

Résultats et Discussion

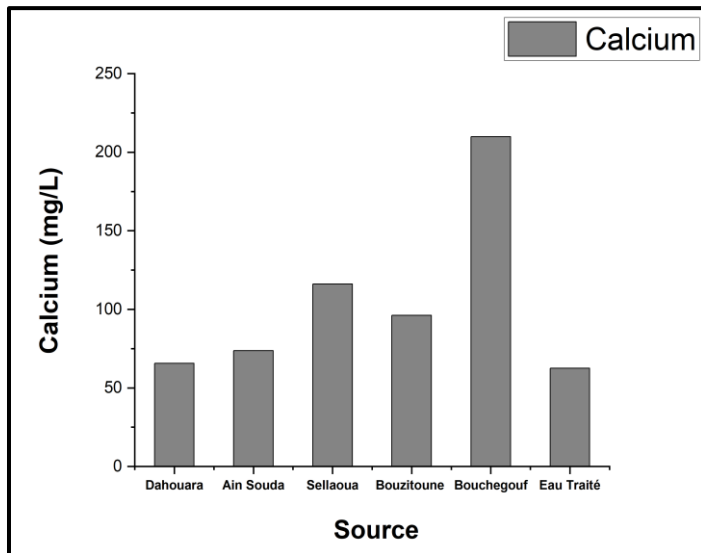


Fig.IV.11 : Graphe de Calcium.

Source	Ca ²⁺
Dahouara	65.8
Ain Souda	73.69
Sellaoua	116.14
Bouzitoune	96.12
Bouchegouf	209.86
Eau Traité	62.47

Tab.IV.11 : Résultats de Calcium.

Selon la réglementation algérienne et les recommandations de l'OMS, la teneur en calcium dans l'eau potable ne doit pas dépasser 200 mg/L. À ce titre, toutes les sources analysées sont conformes aux normes, à l'exception de Bouchegouf, qui dépasse légèrement cette limite. L'eau traitée reste bien en dessous du seuil maximal, ce qui est favorable pour une consommation quotidienne sans risque d'entartrage excessif.

La forte concentration en calcium observée à Bouchegouf peut être attribuée à une géologie locale riche en roches calcaires ou dolomitiques, qui favorise la dissolution des minéraux dans l'eau. De même, les niveaux élevés dans les sources de Sellaoua et Bouzitoune suggèrent une minéralisation marquée, probablement due à une lente percolation de l'eau à travers des formations géologiques carbonatées. En revanche, les teneurs plus modérées mesurées à Ain Souda et Dahouara traduisent une circulation de l'eau dans des terrains moins riches en calcium ou une durée de contact plus courte avec les couches minérales. La faible teneur dans l'eau traitée peut quant à elle s'expliquer par les procédés de traitement visant à adoucir l'eau ou par le mélange avec d'autres eaux moins minéralisées.

Les résultats montrent que la plupart des sources présentent une teneur en calcium conforme aux normes, témoignant d'une qualité chimique satisfaisante. Cependant, la valeur élevée enregistrée à Bouchegouf appelle à une surveillance particulière pour éviter les effets liés à une dureté excessive, tels que le tartre ou l'entartrage des canalisations. L'eau traitée, quant à elle, présente une qualité optimale à ce niveau. Il est donc recommandé de maintenir une surveillance

Résultats et Discussion

régulière, surtout dans les zones à forte minéralisation, et d'envisager des mesures de traitement local pour assurer une distribution d'eau stable et adaptée à l'usage domestique.

IV.2.12. Magnésium Mg^{2+} (mg/L) :

Les concentrations en magnésium mesurées dans les différentes sources varient notablement. Bouchegouf présente la concentration la plus élevée avec 57,6 mg/L, suivie de Sellaoua (38,1 mg/L), Bouzitoune (31,2 mg/L), Ain Souda (22,6 mg/L) et Dahouara (19,4 mg/L). L'eau traitée affiche la valeur la plus faible avec 17,8 mg/L, traduisant un apport réduit en sels magnésiens après traitement.

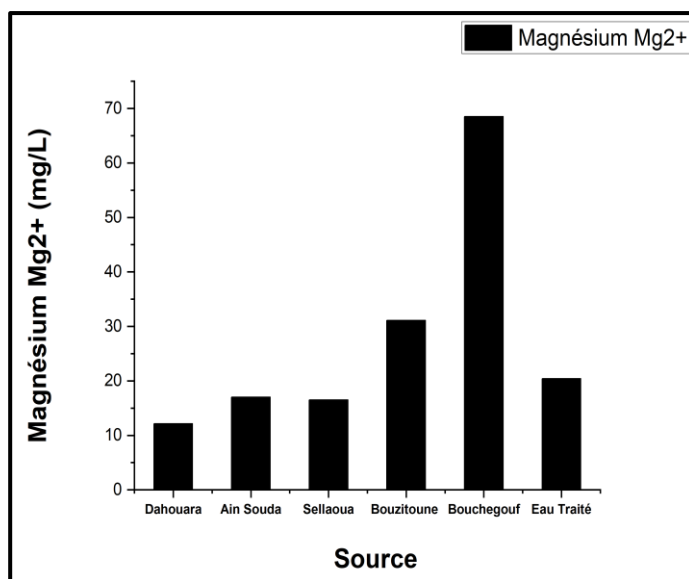


Fig.IV.12 : Graphe de Magnésium.

Source	Mg^{2+}
Dahouara	12.5
Ain Souda	17.01
Sellaoua	16.52
Bouzitoune	31.11
Bouchegouf	68.54
Eau Traité	20.41

Tab.IV.12 : Résultats de Magnésium.

Selon les recommandations de l'OMS et la norme algérienne, la teneur en magnésium ne doit pas dépasser 50 mg/L dans l'eau potable. À cet égard, seule la source de Bouchegouf dépasse légèrement cette limite, tandis que toutes les autres sources, y compris l'eau traitée, se situent dans les seuils recommandés, ce qui est rassurant pour la consommation.

La forte teneur en magnésium à Bouchegouf est probablement due à la présence de dolomie ou de roches magnéso-calcaires dans la zone de captage, ce qui favorise une dissolution importante du magnésium dans l'eau. Sellaoua et Bouzitoune montrent aussi une minéralisation notable, probablement liée à une infiltration prolongée de l'eau à travers des terrains riches en minéraux. Ain Souda et Dahouara affichent des teneurs plus modérées, suggérant un substrat géologique moins concentré en magnésium ou un temps de contact plus court avec la roche. La faible

Résultats et Discussion

concentration dans l'eau traitée peut résulter soit d'un traitement de déminéralisation partielle, soit d'un mélange avec des eaux moins minéralisées.

Globalement, les teneurs en magnésium dans les sources naturelles restent acceptables, à l'exception de Bouchegouf qui présente une légère sur minéralisation à surveiller. L'eau traitée, avec sa concentration réduite, demeure conforme aux normes et adaptée à la consommation. Il est conseillé de renforcer le suivi régulier de cette teneur dans les zones à forte minéralisation, notamment à Bouchegouf, afin de garantir un équilibre entre qualité gustative et sécurité sanitaire.

IV.2.13. Chlore Cl^- (mg/L) :

L'analyse des concentrations en ions chlorure dans les différentes sources d'eau de la wilaya de Guelma révèle une variabilité modérée selon les sites étudiés. Les valeurs mesurées sont les suivantes : 14,2 mg/L à Dahouara, 28,4 mg/L à Ain Souda, 56,8 mg/L à Sellaoua, 28,4 mg/L à Bouzitoune, 51,12 mg/L à Bouchegouf, et 71 mg/L dans l'eau traitée. Ces concentrations restent toutes largement inférieures à la norme algérienne NA 6368, qui établit la concentration maximale admissible en ions chlorure à 250 mg/L. Cela indique une qualité chimique globalement satisfaisante en ce qui concerne ce paramètre.

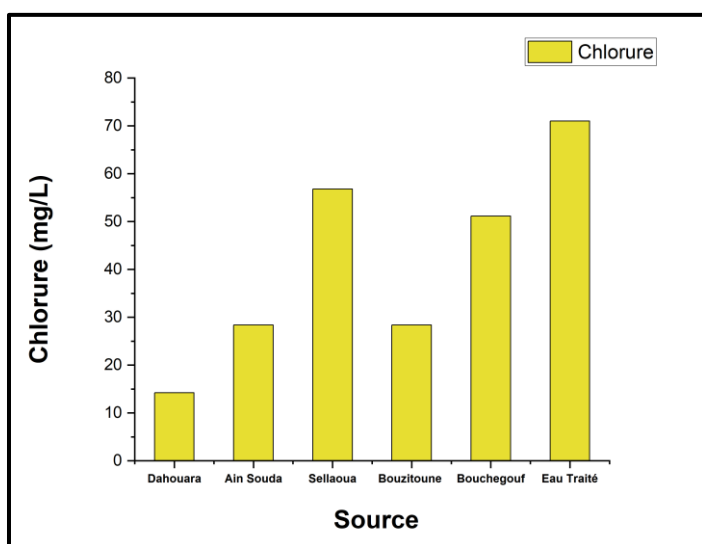


Fig.IV.13 : Graphe de Chlorure.

Source	Cl ⁻
Dahouara	14.2
Ain Souda	28.4
Sellaoua	56.8
Bouzitoune	28.4
Bouchegouf	51.12
Eau Traité	71

Tab.IV.13 : Résultats de Chlorure.

La présence des chlorures dans les eaux naturelles peut être attribuée à plusieurs facteurs. D'un point de vue géologique, elle peut résulter de la dissolution de roches sédimentaires riches en sels, notamment dans les aquifères souterrains. À cela s'ajoutent des causes d'origine

anthropique, comme l'infiltration d'eaux usées domestiques, les rejets industriels, ou encore le ruissellement agricole contenant des résidus d'engrais et de produits phytosanitaires. Dans certains cas, l'accumulation de chlorures peut également être liée à une mauvaise gestion des déchets solides, ou à des sources locales de pollution non identifiées.

L'eau traitée présente la valeur la plus élevée avec 71 mg/L, ce qui, bien que conforme aux normes, attire l'attention sur les possibles apports liés au processus de désinfection. En effet, cette concentration pourrait résulter d'un usage excessif ou mal dosé du chlore lors du traitement de l'eau. Une telle situation peut avoir des conséquences, notamment une altération du goût, une corrosion prématurée des réseaux de distribution, ou une accumulation non nécessaire d'ions chlorure. Il serait donc pertinent de revoir les pratiques de chloration pour optimiser l'efficacité sans excès, en s'appuyant sur des contrôles plus rigoureux et des protocoles bien établis.

Sur le plan sanitaire, les concentrations relevées dans les différentes sources ne posent aucun danger. Cependant, une teneur trop élevée en chlorures peut affecter le goût de l'eau, accélérer la corrosion des canalisations et des installations métalliques, et indiquer une pollution ou une mauvaise gestion des apports chimiques.

Ainsi, malgré l'absence de dépassement des seuils réglementaires, la surveillance de ce paramètre demeure essentielle, notamment pour prévenir les effets à long terme d'une chloration non maîtrisée et pour garantir une gestion durable de la ressource en eau.

IV.2.14. Matière Organique (mg/L) :

L'analyse de la matière organique n'a pu être réalisée que pour un seul échantillon, celui de la source de Bouchegouf, en raison d'un manque de réactifs et de moyens techniques au niveau du laboratoire de la station. Ni les autres sources naturelles (Dahouara, Ain Souda, Sellaoua, Bouzitoune) ni l'eau traitée n'ont pu être analysées pour ce paramètre.

La valeur obtenue à Bouchegouf est de 1,6 mg/L, ce qui reste dans une plage acceptable selon les normes algériennes, qui recommandent une teneur inférieure à 2 mg/L pour la matière organique dans les eaux destinées à la consommation humaine.

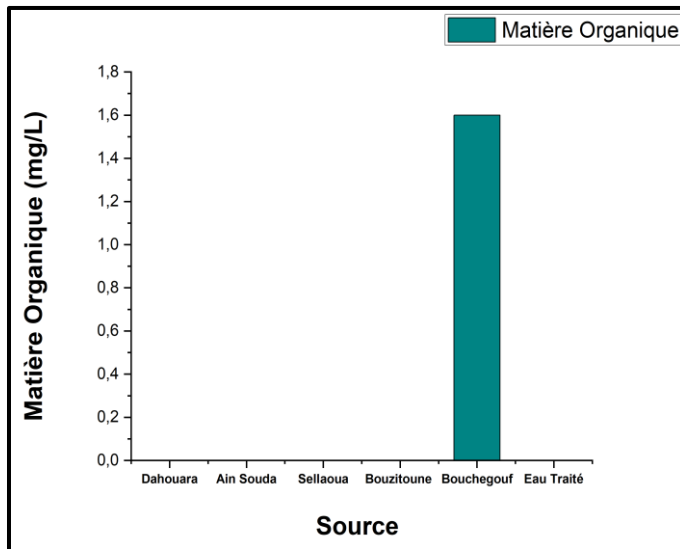


Fig.IV.14 : Graphe de MO.

Source	MO
Dahouara	/
Ain Souda	/
Sellaoua	/
Bouzitoune	/
Bouchegouf	1.6
Eau Traité	/

Tab.IV.14 : Résultats de MO.

Une teneur modérée, comme celle enregistrée à Bouchegouf, peut s'expliquer par la présence naturelle de résidus végétaux, d'activité biologique dans le milieu ou par des apports limités d'origine agricole ou domestique. Toutefois, une accumulation excessive de matière organique pourrait favoriser la croissance microbienne, altérer la qualité sanitaire de l'eau et interférer avec le processus de désinfection.

En résumé, la valeur mesurée indique une qualité organique relativement bonne à Bouchegouf, mais l'absence de données pour les autres sources et pour l'eau traitée limite l'interprétation globale. Il serait donc nécessaire, dans un souci de suivi et de prévention, de compléter ces analyses dès que les conditions du laboratoire le permettront.

IV.2.15. Matière En Suspension (mg/L) :

L'analyse des matières en suspension (MES) révèle des résultats globalement satisfaisants dans l'ensemble des sources étudiées. Les valeurs obtenues montrent une absence totale de particules en suspension dans les eaux de Dahouara, Ain Souda, Sellaoua et Bouzitoune, ce qui indique une très bonne qualité physique de ces eaux sur le plan visuel et sanitaire. Cela peut s'expliquer par l'origine souterraine de ces sources, qui agit comme un filtre naturel, retenant la majorité des particules solides au cours de l'infiltration. En revanche, la source de Bouchegouf présente une valeur de 4 mg/L, ce qui reste modéré et acceptable selon les normes algériennes (limite généralement fixée à 10 mg/L pour les eaux potables).

Résultats et Discussion

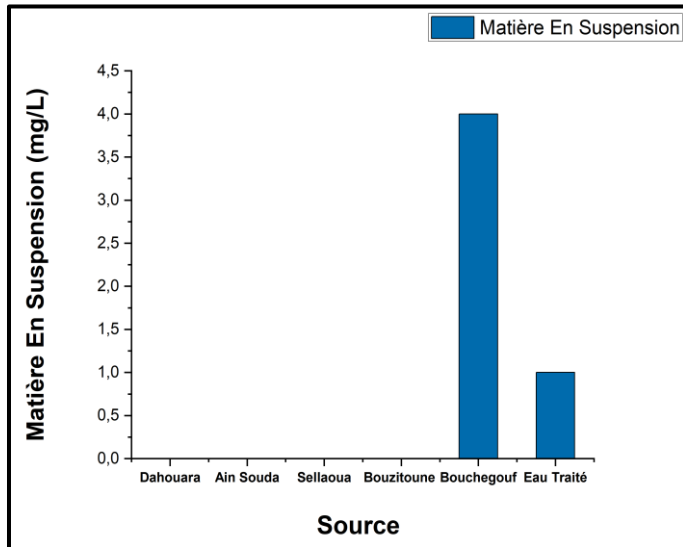


Fig.IV.15 : Graphe de MES.

Source	MES
Dahouara	00
Ain Souda	00
Sellaoua	00
Bouzitoune	00
Bouchegouf	4
Eau Traité	1

Tab.IV.15 : Résultats de MES.

Cette présence de particules en suspension peut s'expliquer par plusieurs facteurs environnementaux : ruissellement de surface lors des précipitations, présence de matières organiques ou minérales provenant du sol environnant, ou encore une légère perturbation du lit de la source. Bien que cette teneur ne représente pas un danger direct, elle peut interférer avec certains procédés de désinfection en diminuant l'efficacité du chlore et en favorisant la formation de sous-produits indésirables.

Quant à l'eau traitée, la teneur en MES est encore plus faible, estimée à 1 mg/L. Ce résultat témoigne de l'efficacité des étapes de clarification et de filtration appliquées au sein de la station de traitement. Toutefois, la présence de cette faible quantité de particules résiduelles peut être attribuée soit à des ajustements techniques dans le processus de traitement, soit à des dépôts dans les canalisations ou réservoirs en aval.

Ainsi, les faibles valeurs enregistrées, voire nulles dans certaines sources, traduisent une bonne qualité physique de l'eau en ce qui concerne les matières en suspension. La surveillance régulière de ce paramètre reste néanmoins importante pour garantir la stabilité de la qualité de l'eau, tant en amont qu'en aval du traitement.

IV.2.16. Résidus Sec (mg/L) :

L'analyse des résidus secs, réalisée à une température de 105,5°C, permet de déterminer la concentration totale en matières minérales dissoutes dans l'eau. Les résultats révèlent des écarts notables entre les différentes sources de la wilaya de Guelma. La valeur la plus faible a été enregistrée à Dahouara (295 mg/L), tandis que l'eau traitée affiche une teneur modérée de 320 mg/L. Ain Souda, Sellaoua et Bouzitoune présentent des valeurs respectives de 461, 515,5 et 539,5 mg/L. En revanche, la source de Bouchegouf dépasse largement toutes les autres avec une concentration très élevée de 1814,5 mg/L, traduisant une forte minéralisation de cette eau.

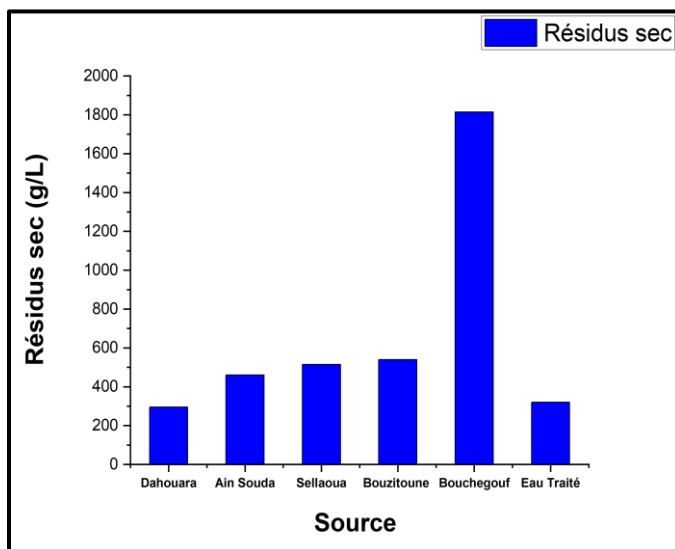


Fig.IV.16 : Graphe de RS.

Source	RS
Dahouara	295
Ain Souda	416
Sellaoua	515.5
Bouzitoune	539.5
Bouchegouf	1814.5
Eau Traité	320

Tab.IV.16 : Résultats de RS.

Selon la norme algérienne relative à la potabilité de l'eau, la valeur maximale admissible pour les résidus secs est de 1500 mg/L. Ainsi, toutes les sources et l'eau traitée respectent cette norme, à l'exception de Bouchegouf, qui enregistre un dépassement important. Cela indique que, malgré une apparente transparence ou pureté visuelle, l'eau peut contenir une grande quantité de minéraux dissous invisibles à l'œil nu, ce qui peut en compromettre la qualité selon les usages.

La forte concentration mesurée à Bouchegouf peut s'expliquer par des causes naturelles, telles qu'une géologie locale riche en sels minéraux ou une nappe souterraine très profonde favorisant la dissolution des roches. L'influence des activités humaines, comme l'irrigation intensive ou les rejets non maîtrisés, ne peut également être exclue.

Résultats et Discussion

Une telle minéralisation excessive peut altérer le goût de l'eau, provoquer des dépôts dans les canalisations et équipements domestiques, et à long terme, poser des risques pour les personnes souffrant de pathologies rénales ou cardiovasculaires sensibles aux sels minéraux.

En conclusion, bien que la majorité des sources analysées présentent des niveaux de résidus secs compatibles avec la consommation humaine, la situation à Bouchegouf mérite une attention particulière. Il est recommandé de renforcer les contrôles de qualité, d'étudier l'origine précise de cette charge minérale élevée et, si nécessaire, d'envisager un traitement partiel de déminéralisation. De plus, une surveillance régulière de la composition minérale est essentielle pour garantir la sécurité sanitaire et préserver la qualité de l'eau destinée à la consommation.

IV.2.17. Ammonium NH_4^+ (mg/L) :

L'analyse des concentrations en ammonium dans les différentes sources de la wilaya de Guelma montre une situation globalement satisfaisante, à l'exception d'un site. En effet, toutes les sources analysées : Dahouara, Bouchegouf, Ain Souda, et Sellaoua présentent une concentration nulle en ammonium, sauf Bouzitoune, où une valeur élevée de 1,26 mg/L a été enregistrée. L'eau traitée, quant à elle, affiche également une valeur nulle, témoignant d'une bonne qualité à ce niveau.

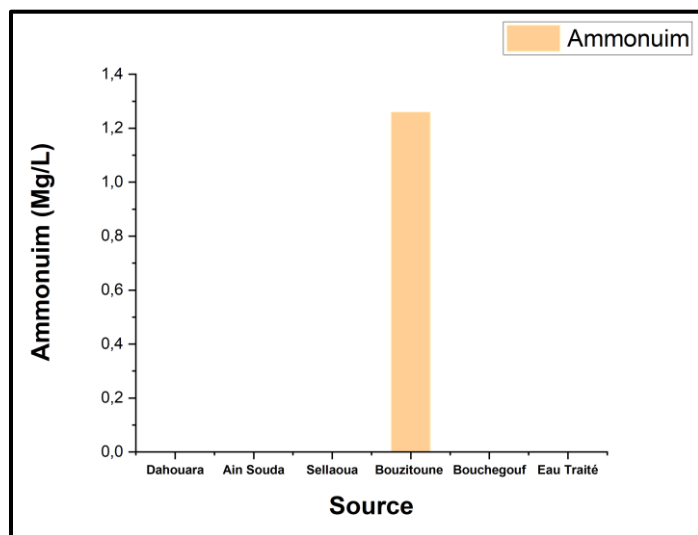


Fig.IV.17 : Graphe d'Ammonium.

Source	NH_4^+
Dahouara	00
Ain Souda	00
Sellaoua	00
Bouzitoune	1.26
Bouchegouf	00
Eau Traité	00

Tab.IV.17 : Résultats d'Ammonium.

Selon la norme algérienne relative à la potabilité de l'eau, la concentration maximale admissible en ammonium est de 0,5 mg/L. Ainsi, la source de Bouzitoune dépasse largement cette norme, ce qui constitue un signal d'alerte nécessitant des mesures de contrôle et de remédiation. En revanche, toutes les autres sources étudiées ainsi que l'eau traitée sont parfaitement conformes, ce qui reflète une gestion environnementale satisfaisante dans ces zones.

Cette contamination localisée à Bouzitoune pourrait s'expliquer par plusieurs causes. La présence d'ammonium en quantité significative dans cette source peut être liée à des rejets domestiques non maîtrisés, à la défaillance d'un système d'assainissement local (comme des fosses septiques), ou encore à une pollution d'origine agricole, notamment par l'utilisation excessive d'engrais azotés dans les environs. Contrairement aux autres sites — Dahouara, Bouchegouf, Ain Souda, Sellaoua où l'impact des activités humaines semble limité ou bien contrôlé, Bouzitoune se démarque par une vulnérabilité environnementale manifeste.

Sur le plan environnemental, une concentration aussi élevée à Bouzitoune peut entraîner des effets néfastes tels que l'eutrophisation des milieux aquatiques, une diminution de l'oxygène dissous indispensable à la vie aquatique, ainsi qu'une toxicité potentielle pour certains organismes sensibles. En revanche, les autres sources — Dahouara, Bouchegouf, Ain Souda, Sellaoua, ainsi que l'eau traitée, avec leurs valeurs nulles, ne présentent aucun risque lié à ce paramètre, ce qui constitue un indicateur positif de la qualité de l'eau.

IV.2.18. Les nitrates NO_3^- (mg/L) :

Les résultats obtenus pour les nitrates montrent une qualité chimique globalement satisfaisante des eaux analysées dans la wilaya de Guelma. Les concentrations varient légèrement d'une source à l'autre, allant de 0,534 mg/L à Bouzitoune — la plus faible valeur enregistrée — à 9,291 mg/L à Bouchegouf, qui présente la valeur la plus élevée. Les autres sites présentent des niveaux modérés : 2,243 mg/L à Dahouara, 7,553 mg/L à Ain Souda, 5,271 mg/L à Sellaoua, et 2,515 mg/L dans l'eau traitée. Ces valeurs traduisent une présence relativement faible de nitrates, signe d'une bonne qualité de l'eau en ce qui concerne ce paramètre et d'une pression anthropique limitée dans l'ensemble des sites étudiés.

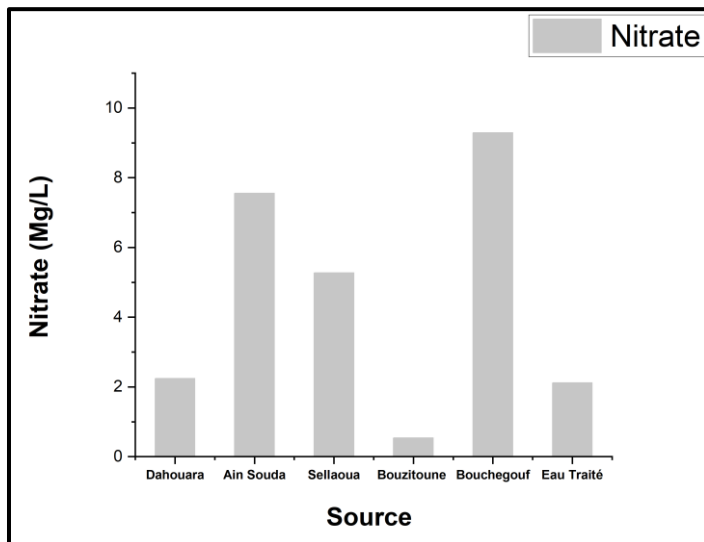


Fig.IV.18 : Graphe de Nitrate.

Source	NO ₃ ⁻
Dahouara	2.243
Ain Souda	7.553
Sellaoua	5.271
Bouzitoune	0.534
Bouchegouf	9.291
Eau Traité	2.115

Tab.IV.18 : Résultats de Nitrate.

Selon la norme algérienne de potabilité (NA 6361-1), la concentration maximale admissible en nitrates dans l'eau destinée à la consommation humaine est fixée à 50 mg/L. Ainsi, toutes les valeurs relevées dans cette étude sont bien en dessous de cette limite, ce qui indique une conformité générale des échantillons au regard de ce paramètre.

Les nitrates sont souvent d'origine agricole (engrais azotés), domestique (rejets d'eaux usées), ou proviennent de la décomposition de la matière organique. Les faibles concentrations observées suggèrent une faible pression anthropique ou une bonne gestion des ressources. Toutefois, des niveaux légèrement plus élevés à Ain Souda et Bouchegouf peuvent indiquer une influence diffuse d'activités agricoles ou un apport limité de matières organiques. Sur le plan sanitaire, une concentration élevée en nitrates représente un risque pour les nourrissons (syndrome du bébé bleu) et peut également causer des troubles digestifs. À long terme, une accumulation peut aussi affecter les écosystèmes aquatiques.

En conclusion, les teneurs en nitrates dans les sources étudiées sont largement inférieures à la norme, ce qui reflète une bonne qualité d'eau pour ce paramètre. Il est néanmoins recommandé de maintenir une surveillance régulière, surtout dans les zones agricoles, afin d'anticiper toute contamination progressive. Des pratiques agricoles raisonnées, une meilleure gestion des déchets organiques, et un contrôle périodique de la qualité des eaux souterraines restent des mesures essentielles pour prévenir toute dégradation future.

IV.2.19. Les sulfates SO_4^{2-} (mg/L) :

Les concentrations en sulfates mesurées dans les différentes sources de la wilaya de Guelma révèlent une qualité d'eau globalement satisfaisante, avec des teneurs variant selon les sites. Les niveaux restent généralement modérés, allant de 20 mg/L à Ain Souda jusqu'à un maximum de 190,5 mg/L à Bouchegouf, qui se distingue nettement par une valeur plus élevée. Les autres sources, telles que Dahouara (23 mg/L), Sellaoua (51,5 mg/L) et Bouzitoune (51,5 mg/L), affichent des concentrations intermédiaires. En ce qui concerne l'eau traitée, aucune analyse n'a pu être effectuée en raison d'un manque de réactifs dans le laboratoire de la station.

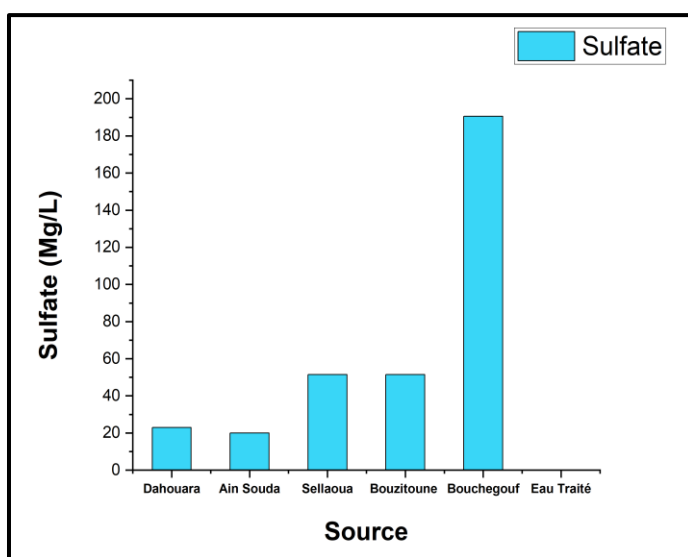


Fig.IV.19 : Graphe de Sulfate.

Source	SO_4^{2-}
Dahouara	23
Ain Souda	20
Sellaoua	51.5
Bouzitoune	51.5
Bouchegouf	190.5
Eau Traité	/

Tab.IV.19 : Résultats de Sulfate.

Selon la norme algérienne relative à la potabilité de l'eau, la concentration maximale admissible en sulfates est de 250 mg/L. Ainsi, toutes les sources analysées restent bien en dessous de ce seuil, y compris Bouchegouf malgré sa valeur élevée. Cela indique une conformité générale des eaux en termes de teneur en sulfates.

Les concentrations mesurées peuvent s'expliquer par la nature géologique des sols traversés par l'eau ou par certaines activités humaines localisées. La valeur élevée à Bouchegouf pourrait résulter de la dissolution de roches riches en sulfates, comme le gypse ou l'anhydrite, ou d'apports anthropiques tels que les effluents industriels ou agricoles. Une concentration trop importante en sulfates, bien que non problématique ici, peut dans d'autres cas entraîner un effet laxatif chez les consommateurs sensibles, particulièrement les nourrissons, et peut altérer le goût de l'eau.

Résultats et Discussion

En résumé, les eaux analysées présentent une qualité acceptable en ce qui concerne les sulfates, avec des valeurs bien en deçà de la limite réglementaire. Toutefois, une surveillance régulière, notamment pour la source de Bouchegouf, est recommandée afin de détecter toute éventuelle augmentation future. L'approvisionnement du laboratoire en réactifs est également essentiel pour permettre un contrôle complet, y compris de l'eau traitée.

IV.2.20. Les orthophosphates PO_4^{2-} (mg/L) :

Les concentrations en orthophosphates relevées dans les différentes sources de la wilaya de Guelma varient légèrement, mais restent globalement faibles. La source d'Ain Souda présente la teneur la plus élevée avec 0,135 mg/L, suivie de Dahouara et Bouzitoune avec 0,061 mg/L, Sellaoua (0,028 mg/L) et Bouchegouf (0,025 mg/L). L'eau traitée, quant à elle, affiche la valeur la plus faible (0,010 mg/L), ce qui témoigne d'un traitement efficace ou d'un faible apport initial en phosphates.

La réglementation algérienne ne fixe pas de limite stricte pour les orthophosphates dans l'eau potable, mais selon les recommandations internationales (comme celles de l'OMS), une concentration inférieure à 0,2 mg/L est généralement considérée comme acceptable. Ainsi, toutes les valeurs mesurées dans cette étude restent en dessous de ce seuil, ce qui indique une conformité et une absence de risque sanitaire direct à ce niveau.

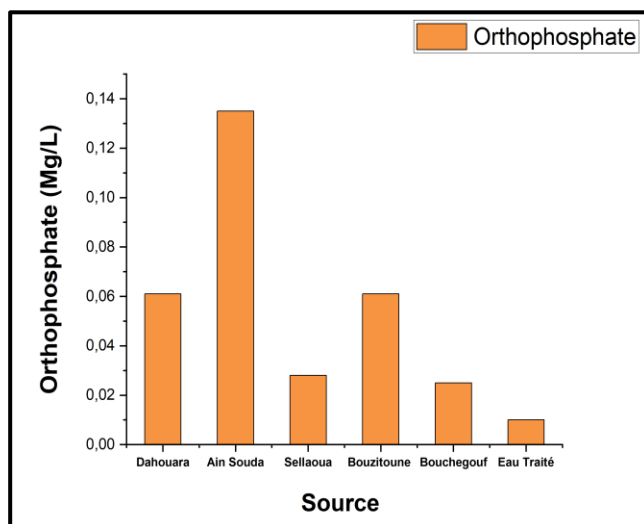


Fig.IV.20 : Graphe d'Orthophosphate.

Source	PO_4^{2-}
Dahouara	0.061
Ain Souda	0.135
Sellaoua	0.028
Bouzitoune	0.061
Bouchegouf	0.025
Eau Traité	0.010

Tab.IV.20 : Résultats d'Orthophosphate.

La présence d'orthophosphates, même en faibles quantités, peut être liée à des apports d'origine domestique (détergents, lessives), agricole (engrais phosphatés), ou à des processus naturels de dissolution des roches. Des concentrations plus élevées pourraient à terme favoriser

Résultats et Discussion

l'eutrophisation des milieux aquatiques si les eaux sont déversées dans des milieux stagnants, provoquant une prolifération d'algues et une diminution de l'oxygène dissous.

Dans le cas des sources analysées, les niveaux faibles suggèrent un impact limité de ces phénomènes.

Globalement, les teneurs en orthophosphates observées dans les sources naturelles et dans l'eau traitée sont très satisfaisantes. Toutefois, une surveillance continue est recommandée, notamment pour les zones où des activités agricoles ou domestiques intensives peuvent entraîner une augmentation de ce paramètre. Il est également conseillé de sensibiliser les usagers à l'usage modéré des produits phosphatés et d'encourager des pratiques agricoles durables pour prévenir toute contamination future.

IV.2.21. Les ions de Sodium Na^+ (mg/L) :

L'étude des concentrations en ions sodium (Na^+) dans les différentes sources de la wilaya de Guelma met en évidence une variabilité notable selon les sites. La teneur la plus élevée a été enregistrée à Bouchegouf avec 80 mg/L, suivie par l'eau traitée avec 28 mg/L, puis Sellaoua (20 mg/L), Dahouara (16 mg/L), Bouzitoune (14 mg/L), et enfin Ain Souda, qui présente la valeur la plus faible (10 mg/L). Ces résultats traduisent une composition minérale relativement stable, avec un pic significatif à Bouchegouf.

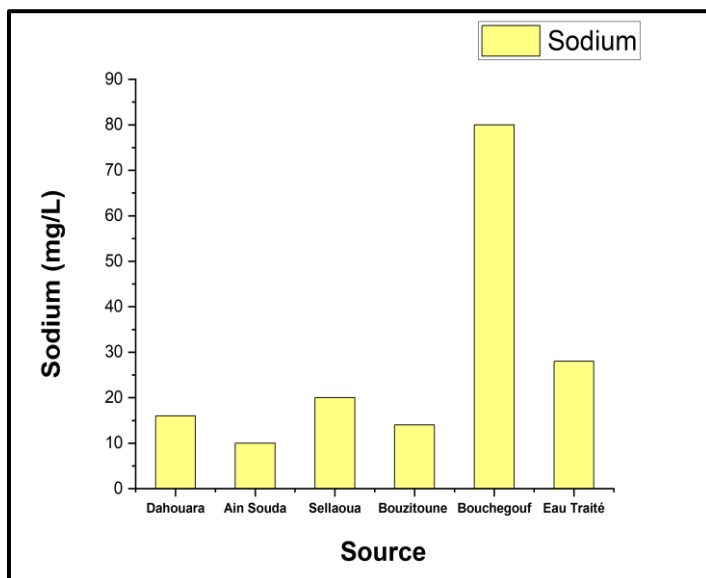


Fig.IV.21 : Graphe de Sodium.

Source	Na ⁺
Dahouara	16
Ain Souda	10
Sellaoua	20
Bouzitoune	14
Bouchegouf	80
Eau Traité	28

Tab.IV.21 : Résultats de Sodium.

Résultats et Discussion

Selon la norme algérienne relative à la potabilité de l'eau, la concentration maximale admissible en sodium est fixée à 200 mg/L. Toutes les valeurs obtenues sont donc bien en dessous de cette limite, ce qui indique une conformité générale du point de vue sanitaire. Toutefois, même si les concentrations sont inférieures à la norme, une attention particulière peut être portée aux valeurs relativement plus élevées, notamment à Bouchegouf.

La concentration élevée en ions sodium relevée à Bouchegouf (80 mg/L) peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Cette région pourrait être influencée par des affleurements géologiques riches en sels solubles, en particulier des roches évaporitiques comme l'halite, qui libèrent du sodium lors de leur dissolution naturelle. De plus, Bouchegouf est une zone où l'activité humaine est relativement dense, ce qui peut entraîner une contamination diffuse par les rejets domestiques, les eaux usées ou encore par l'utilisation d'engrais et d'amendements chimiques en agriculture. L'usage d'eaux de surface ou souterraines salinisées pour l'irrigation peut également contribuer à cette charge en sodium. Bien que cette valeur reste en dessous de la norme algérienne (200 mg/L), elle pourrait, à long terme, altérer le goût de l'eau ou impacter certaines installations si elle augmente davantage.

Globalement, les teneurs en orthophosphates observées dans les sources naturelles et dans l'eau traitée sont très satisfaisantes. Toutefois, une surveillance continue est recommandée, notamment pour les zones où des activités agricoles ou domestiques intensives peuvent entraîner une augmentation de ce paramètre. Il est également conseillé de sensibiliser les usagers à l'usage modéré des produits phosphatés et d'encourager des pratiques agricoles durables pour prévenir toute contamination future.

IV.2.22. Les ions de potassium K^+ (mg/L) :

L'analyse des concentrations en ions potassium dans les différentes sources de la wilaya de Guelma révèle des valeurs relativement faibles, globalement conformes aux attentes pour des eaux naturelles peu contaminées. Les résultats obtenus sont les suivants : 2,1 mg/L pour Dahouara, 0,8 mg/L pour Ain Souda, 0,9 mg/L pour Sellaoua, 1,5 mg/L pour Bouzitoune, 3,2 mg/L pour Bouchegouf, et 5,1 mg/L pour l'eau traitée.

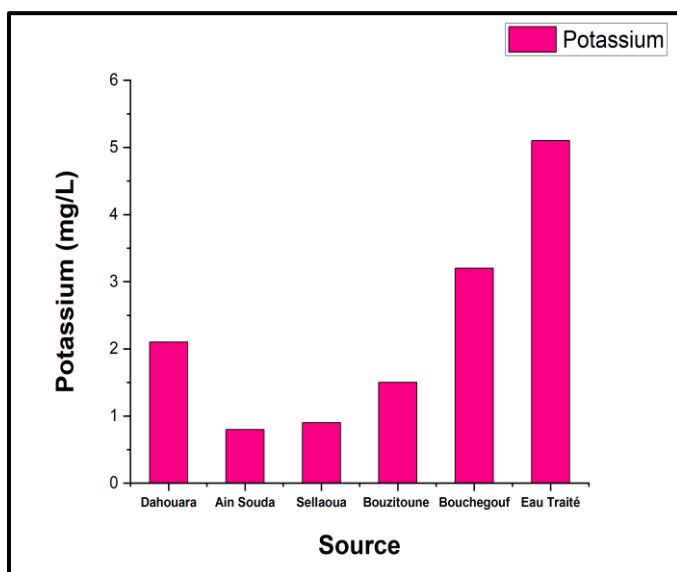


Fig.IV.22 : Graphe de Potassium.

Source	K^+
Dahouara	2.1
Ain Souda	0.8
Sellaoua	0.9
Bouzitoune	1.5
Bouchegouf	3.2
Eau Traité	5.1

Tab.IV.22 : Résultats de Potassium.

Selon la norme algérienne relative à la potabilité de l'eau, il n'existe pas de valeur limite réglementaire spécifique pour le potassium, mais des concentrations inférieures à 12 mg/L sont généralement considérées comme acceptables pour l'eau potable. Les valeurs relevées dans toutes les sources analysées ainsi que dans l'eau traitée restent largement en dessous de ce seuil, ce qui indique l'absence de risque sanitaire lié à ce paramètre.

La présence de potassium dans l'eau peut avoir plusieurs origines naturelles, telles que la dissolution des minéraux silicatés ou la décomposition de matières organiques dans le sol. Cependant, des apports anthropiques peuvent également jouer un rôle, notamment les engrais riches en potassium utilisés en agriculture, ou les rejets domestiques. La valeur la plus élevée a été enregistrée dans l'eau traitée (5,1 mg/L), ce qui pourrait s'expliquer par des résidus d'agents chimiques utilisés lors du traitement, ou par un enrichissement naturel lié au mélange des eaux sources. Bouchegouf présente également une teneur un peu plus élevée que les autres sources, possiblement à cause d'activités agricoles locales ou de la géologie du sol.

Le potassium est un élément naturellement présent dans l'eau, souvent en faibles concentrations. Les analyses effectuées montrent que toutes les sources étudiées ainsi que l'eau traitée restent bien en dessous des seuils fixés par les normes de potabilité. Toutefois, une légère augmentation est observée dans certaines eaux, notamment après traitement, ce qui pourrait être lié à des intrusions de matière organique, à des lessivages de sols riches en potassium ou à des apports involontaires durant les étapes de potabilisation. Bien que cela ne représente pas un

risque sanitaire direct, une surveillance régulière est recommandée afin d'assurer une stabilité de la qualité de l'eau sur le long terme et d'éviter toute dérive liée à l'évolution des conditions environnementales ou des pratiques de traitement.

❖ Remarque importante :

Les analyses des paramètres aluminium, nitrites et fer n'ont pas pu être réalisées dans le cadre de cette étude, en raison d'un manque de réactifs au niveau de la station d'analyse. Ces paramètres, bien qu'importants pour l'évaluation complète de la qualité de l'eau, seront pris en compte dans une étude ultérieure dès que les conditions matérielles le permettront.

❖ Conclusion :

L'analyse physico-chimique des différentes sources d'eau de la wilaya de Guelma a permis d'évaluer la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine, en la comparant aux normes algériennes de potabilité. De manière générale, les résultats montrent une qualité globalement satisfaisante pour la majorité des paramètres étudiés, avec une conformité notable pour les nitrates, orthophosphates, chlorures, pH, turbidité, conductivité et température.

Parmi les sources les plus favorables, on peut citer Dahouara, Ain Souda, Sellaoua et Bouzitoune, qui présentent des concentrations faibles en ammonium, nitrates, matière organique, MES, et une bonne stabilité chimique (TAC, pH, bicarbonates). L'eau traitée présente une composition globalement correcte, bien que certains paramètres comme la turbidité, le potassium et les chlorures soient plus élevés, suggérant la nécessité d'optimiser le traitement.

La source de Bouchegouf, bien qu'importante, se distingue par plusieurs dépassements ou valeurs élevées (résidus secs, dureté, calcium, magnésium, sodium, salinité), ce qui pourrait nécessiter des traitements correctifs ou une surveillance renforcée.

Pour garantir la qualité durable de ces eaux, il est recommandé : de renforcer le suivi régulier des paramètres sensibles, d'assurer un entretien rigoureux des stations de traitement, et de protéger les zones de captage contre les activités agricoles ou domestiques mal maîtrisées.

L'eau potable de la région reste globalement conforme, mais des efforts d'optimisation, de prévention et de surveillance sont nécessaires pour préserver durablement cette ressource essentielle.



CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale

L'eau potable représente une ressource vitale dont la qualité influe directement sur la santé publique ainsi que sur le développement socio-économique des populations. À travers cette étude, nous avons mené une analyse approfondie des propriétés physico-chimiques de l'eau distribuée dans différentes zones de la wilaya de Guelma (centre, ouest, nord, sud), en nous appuyant sur des références scientifiques de renommée telles que le Guide de qualité de l'eau potable de l'Organisation Mondiale de la Santé (**OMS, 2017**) et le manuel analytique de **Rodier (2009)**.

Le premier chapitre a été consacré aux généralités sur l'eau, en abordant son cycle naturel, ses multiples usages, ainsi que les normes internationales régissant sa potabilité. Cette base théorique a permis de mieux comprendre les enjeux liés à la qualité de l'eau.

Le deuxième chapitre a présenté la description géographique, climatique et hydrologique de la wilaya de Guelma. Ces données contextuelles sont essentielles pour appréhender les sources naturelles ou anthropiques pouvant influencer la qualité de l'eau, qu'il s'agisse de la nature des sols, du ruissellement ou des activités agricoles et industrielles.

Dans le troisième chapitre, nous avons mené une étude comparative de plusieurs paramètres physico-chimiques clés, tels que le pH, la conductivité, les nitrates, les sulfates, le fer, le sodium, les chlorures et la matière organique. Les méthodes d'analyse utilisées sont conformes aux recommandations de l'**OMS** et aux protocoles décrits par **Rodier (2009)**, ce qui a permis une évaluation fiable de la conformité de l'eau aux normes en vigueur.

Le quatrième chapitre a porté sur l'interprétation des résultats. Il a révélé des différences parfois significatives entre les zones étudiées, reflétant l'influence de facteurs géologiques, de l'état des infrastructures de traitement et de distribution, ainsi que des sources de pollution locales. Bien que la majorité des valeurs mesurées soient restées dans les limites tolérées par les normes de l'**OMS**, certains paramètres tels que les nitrates et le fer nécessitent une surveillance continue dans certaines zones.

En conclusion, cette étude met en évidence l'importance d'un suivi régulier et rigoureux de la qualité de l'eau potable à l'échelle locale. Elle souligne également la nécessité d'une gestion intégrée et durable des ressources en eau, fondée sur des outils analytiques précis et des références scientifiques solides, afin d'assurer une eau conforme aux exigences sanitaires et environnementales. Il est impératif que les autorités compétentes prennent les mesures préventives et correctives nécessaires pour garantir la protection de la santé des citoyens de la wilaya de Guelma.



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- 1. Association Française de Normalisation (AFNOR). (2011). Normes sur la qualité de l'eau (NF EN 872, T90-007, T90-012). Norme française.**
- 2. Agence Nationale de la Cartographie et du Cadastre. (2018). Caractérisation des plateaux de la wilaya de Guelma. Rapport technique.**
- 3. Agence Nationale du Climat. (2020). Rapport annuel sur le climat. Rapport institutionnel.**
- 4. Agence Nationale de l'Eau et de l'Assainissement. (2021). Stations d'épuration et gestion des eaux usées en Algérie. Rapport.**
- 5. Agence Nationale des Ressources en Eau (ANRE). (2020). Rapport sur la qualité de l'eau à Alger. Rapport officiel.**
- 6. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). (2019–2021). Études hydrogéologiques et aménagements dans la région de Guelma. Rapport technique.**
- 7. Algérie Presse Service. (2018, 12 juin). Inauguration de la station de dessalement de Boudouaou. Article de presse.**
- 8. American Public Health Association (APHA). (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.). Washington, DC : APHA.**
- 9. Boudinar, T. (2019). Technologies de traitement de l'eau en Algérie. Alger : Éditions ENAG.**
- 10. Boudjemaa, N., et al. (2019). Gestion durable des ressources en eau souterraine en Algérie. Revue Algérienne des Sciences de l'Eau, 5(2), 45–56.**
- 11. Bouras, A. (2016). Traitement des eaux : Aspects thermiques et énergétiques. Paris : Lavoisier.**

12. Cardot, C. (2013). **Traitement des eaux : Procédés physico-chimiques.** Paris : Dunod.
13. Centre Algérien de Climatologie. (2022). **Effets du changement climatique sur les précipitations en Algérie. Rapport climatique.**
14. Centre Algérien de Recherche Hydrométéorologique. (2022). **Rapport d'activité. Rapport technique.**
15. Centre de Recherche en Environnement et Aménagement du Territoire. (2019). **Bilan environnemental de la région de Guelma. Rapport de recherche.**
16. Centre National de Cartographie Hydrogéologique. (2020). **Étude des grès numidiens dans la région de Guelma. Rapport scientifique.**
17. Centre National des Ressources en Eau. (2020–2022). **Vulnérabilité des sources agricoles à la pollution. Rapport institutionnel.**
18. Ministère des Ressources en Eau. (2023). **Circulaire sur la gestion des nappes phréatiques en Algérie. Document réglementaire.**
19. Direction de l'Hydraulique de Guelma. (2023). **Projets d'aménagement de la source Sellaoua Anouna. Document technique.**
20. Direction des Ressources en Eau de Guelma. (2018). **Débit saisonnier des sources de Sellaoua Anouna. Rapport.**
21. Direction Générale des Forêts. (2022). **Reboisement et lutte contre l'érosion dans les zones montagneuses. Rapport.**
22. Direction Générale de la Météorologie. (2021). **Données météorologiques annuelles. Rapport climatique.**
23. Environmental Protection Agency (EPA). (2018). **Guidelines for drinking water quality.** <https://www.epa.gov>

- 24. Food and Agriculture Organization (FAO). (2017). Water quality for agriculture. Technical Report.**
- 25. Guerrouaz, A. (2015). Nouvelles technologies de purification de l'eau. Alger : Éditions universitaires.**
- 26. Institut Algérien des Études Hydrologiques. (2022). Rapport d'études hydrologiques. Rapport technique.**
- 27. Institut Algérien de Géosciences et Climat. (2022). Impact des vents sur l'érosion éolienne. Étude scientifique.**
- 28. Institut Algérien de Recherche en Hydrologie. (2021). Études hydrologiques en milieu rural. Rapport.**
- 29. Institut National de Cartographie et de Télédétection. (2020). Cartographie topographique de Guelma. Document cartographique.**
- 30. Institut National de la Cartographie Géologique d'Algérie. (2019). Étude géologique de la wilaya de Guelma. Rapport.**
- 31. Institut National des Études Hydrologiques. (2021). État des nappes phréatiques en 2020. Rapport.**
- 32. Institut National de l'Hydraulique. (2020). État des infrastructures hydrauliques. Rapport technique.**
- 33. Institut National d'Hydrologie et de Climatologie. (2021). Étude climatologique des sources hydriques. Rapport scientifique.**
- 34. Institut National de Géologie et Hydraulique. (2019). Stratigraphie des formations mio-pliocènes. Rapport.**
- 35. Institut National de la Recherche Forestière. (2021). Rôle des forêts dans la recharge des nappes. Étude environnementale.**

36. International Organization for Standardization (ISO). (1984). Water quality – ISO 6059, ISO 3454. Geneva : ISO.
37. Journal El Moudjahid. (2022, 5 mars). Pollution industrielle dans l'Oued Seybouse. Article de presse.
38. Journal El Watan. (2021, 15 juillet). Enjeux des sources de Bouchegouf et Dahouara. Article de presse.
39. Journal des Ressources en Eau. (2020). Problématiques de la gestion des eaux, 45(2), 123–134.
40. Khelifi, R., et al. (2020). Les risques de contamination des eaux souterraines : région de Guelma. Revue Algérienne des Sciences Hydriques, 6(1), 77–89.
41. Laboratoire National des Ressources en Eau. (2022). Analyse des nitrates dans la source Bouhamdane. Rapport technique.
42. Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables. (2017). Impact du changement climatique en Algérie. Rapport officiel.
43. Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Locales. (2020). Délimitation administrative de la wilaya de Guelma. Document officiel.
44. Ministère des Ressources en Eau. (2019, 2022). Normes et réglementations relatives aux ressources en eau. Documents réglementaires.
45. Office National de la Météorologie. (2021). Données climatiques de la station de Hammam Debagh. Données publiques.
46. Office National des Statistiques. (2021). Démographie et densité de population à Guelma. Rapport statistique.
47. Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2011, 2017). Lignes directrices pour l'eau potable. <https://www.who.int>

48. Ontario Ministry of Environment. (2020). Standards for drinking water quality in Ontario. Official Document.
49. Revue Algérienne de Climatologie et Environnement. (2020). Changements climatiques et impacts hydriques, 4(1), 91–103.
50. Revue Algérienne de Géographie et Aménagement du Territoire. (2021). Dynamique des plaines agricoles de Guelma, 7(2), 66–78.
51. Revue Algérienne de Géologie et Hydrologie. (2021). Nouvelles approches géohydrologiques, 5(1), 55–70.
52. Revue Algérienne des Sciences de l'Environnement. (2021). Pollution industrielle de l'Oued Seybouse, 6(2), 110–121.
53. Revue des Sciences de la Terre et de l'Environnement. (2022). Gestion durable des ressources naturelles, 9(1), 34–48.
54. Revue des Sciences de l'Eau. (2020). Gestion durable des ressources hydriques en zones semi-arides, 8(2), 88–99.
55. Revue Algérienne des Sciences de l'Eau. (2021). Ressources hydriques en Algérie, 7(1), 41–53.
56. Revue Algérienne des Sciences Hydriques. (2021). Qualité des eaux souterraines et enjeux environnementaux, 6(1), 61–75.
57. Rodier, J. (2009). L'analyse de l'eau (9e éd.). Paris : Dunod.
58. Sondi, I., & Klibanov, A. (2009). Advanced water filtration techniques. New York : Springer.
59. Technosup. (2018). Manuel des procédés de traitement de l'eau. Paris : Technosup Éditions.
60. United Nations (UN). (2021). Water for sustainable living. <https://www.un.org>

61. UNESCO. (2003, 2020). Rapports sur la gestion mondiale de l'eau.

<https://www.unesco.org>

62. UNICEF. (2019). Accès à l'eau potable dans les zones rurales.

<https://www.unicef.org>

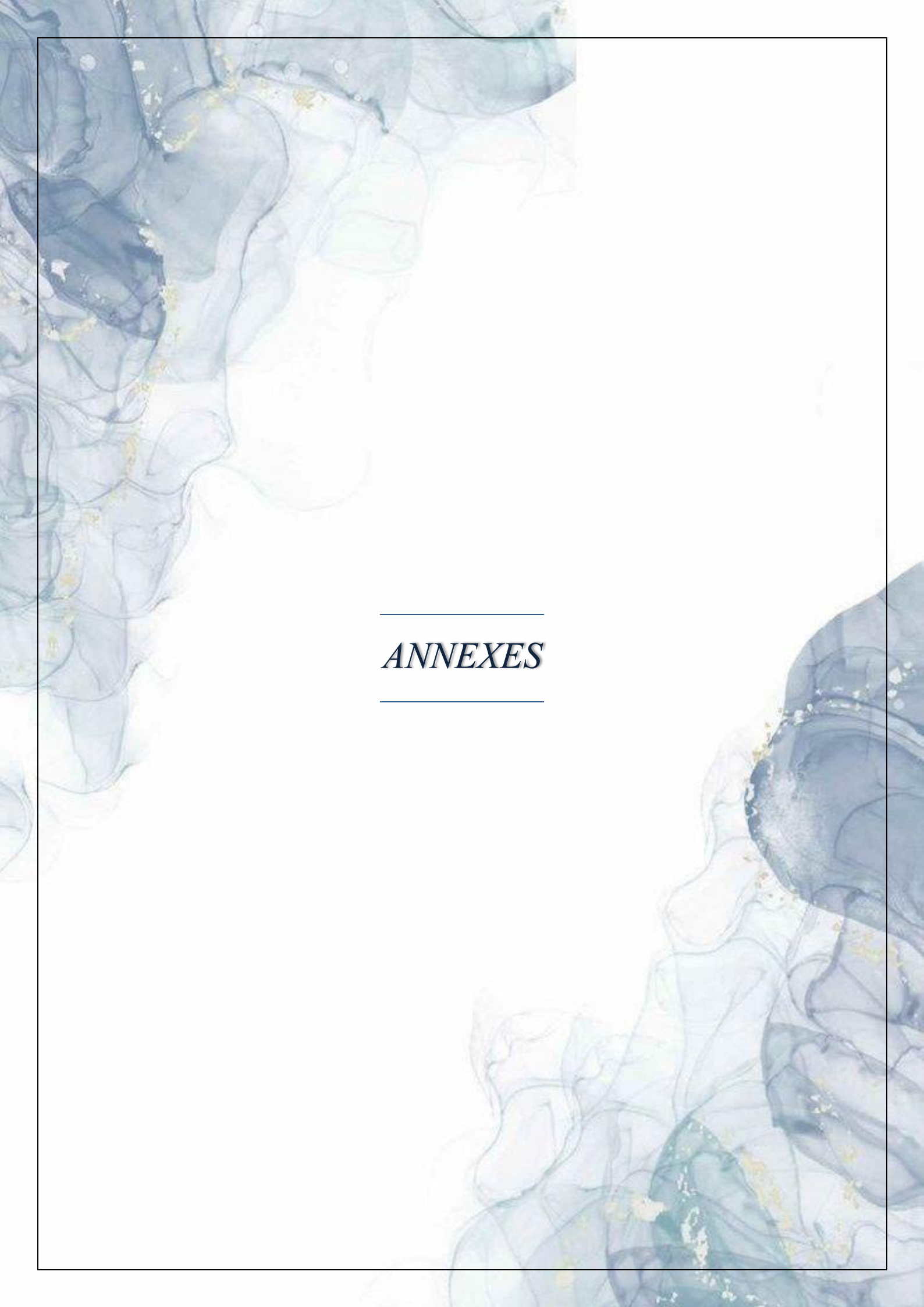
63. World Bank. (2020). Solutions innovantes pour la gestion de l'eau.

<https://www.worldbank.org>

64. World Health Organization (WHO). (2020). Guidelines for drinking-water quality. <https://www.who.int>

65. World Meteorological Organization (WMO). (2017). The state of the climate 2017.

<https://www.wmo.int>



ANNEXES

Annexes

Selon les observations effectuées au laboratoire de Hammam Debagh, les analyses bactériologiques de l'eau suivent des protocoles bien définis pour la détection des germes indicateurs et pathogènes. Ce qui suit constitue une synthèse des méthodes généralement utilisées et des critères d'interprétation adoptés pour évaluer la qualité microbiologique de l'eau. Ces étapes permettent de diagnostiquer d'éventuelles contaminations, d'en identifier l'origine (fécale ou environnementale), et d'estimer les risques pour la santé humaine. Bien que nous n'ayons pas eu accès directement aux résultats, nous avons pu comprendre le déroulement général des analyses grâce aux explications fournies.

Analyse bactériologique :

L'analyse bactériologique de l'eau est une étape essentielle pour évaluer sa qualité sanitaire. Elle permet de détecter la présence de microorganismes pathogènes ou indicateurs de contamination fécale, tels que les coliformes, les entérocoques et *Escherichia coli*. Ces analyses sont cruciales pour la surveillance de l'eau potable, des eaux de baignade et des effluents industriels. Elles reposent sur des méthodes normalisées impliquant la filtration sur membrane, l'incubation à des températures spécifiques et l'interprétation des résultats en fonction de la croissance bactérienne et des réactions colorimétriques. (**Norme ISO 9308-1:2014 – Qualité de l'eau – Détection et dénombrement d'*Escherichia coli* et de bactéries coliformes**).

3.1. Présentation des méthodes de détection des bactéries :

❖ Définition :

Les méthodes de détection des bactéries permettent d'identifier la présence de microorganismes potentiellement pathogènes dans un échantillon d'eau. Elles reposent sur la mise en culture, la filtration et l'utilisation de techniques biochimiques ou moléculaires pour confirmer la présence des bactéries.

❖ Méthodes utilisées :

- **Culture sur milieu gélosé :** Méthode traditionnelle où l'eau est filtrée puis incubée sur des milieux spécifiques favorisant la croissance de bactéries cibles.
- **Filtration sur membrane :** Permet de concentrer les bactéries sur un filtre avant incubation sur un milieu de culture.

- **Méthodes biochimiques et enzymatiques** : Utilisent des réactions enzymatiques spécifiques aux bactéries pour indiquer leur présence.
- **PCR (Polymerase Chain Reaction)** : Technique moléculaire permettant la détection rapide de l'ADN bactérien, y compris de bactéries non cultivables.
- **Immuno-essais** : Utilisent des anticorps pour détecter spécifiquement certaines bactéries pathogènes.

❖ **Mode opératoire :**

- Préparer une membrane filtrante en la stérilisant avant utilisation.
- Filtrer 100 mL d'échantillon d'eau à analyser à l'aide d'un dispositif de filtration sous vide.
- Déposer la membrane filtrante sur un milieu de culture spécifique (ex. gélose lactosée pour coliformes).
- Incuber à 35-37°C pendant 24 heures pour la croissance des bactéries indicatrices.
- Vérifier l'apparition de colonies caractéristiques sur la membrane après l'incubation.

❖ **Lecture des résultats :**

Résultat positif : Présence de colonies rouges indiquant une contamination bactérienne.

Résultat négatif : Absence de colonies colorées, l'échantillon est exempt de contamination détectable.

4.3.2. Identification des germes indicateurs de contamination :

❖ **Définition**

Les germes indicateurs sont des bactéries utilisées pour évaluer la contamination fécale et la potabilité de l'eau. Leur présence reflète un risque potentiel pour la santé publique.

❖ **Principaux germes indicateurs**

Escherichia coli : Indicateur de contamination fécale récente.

Coliformes totaux : Indicateurs généraux de contamination, incluant des espèces d'origine environnementale et fécale.

Entérocoques : Plus résistants que les coliformes, ils sont aussi des indicateurs fiables de pollution fécale.

Clostridium perfringens : Bactérie sporulée, indicatrice d'une contamination ancienne ou persistante.

❖ **Mode opératoire :**

- Utiliser un milieu de culture spécifique aux germes indicateurs (ex. gélose EMB pour E. coli).
- Incuber la membrane à 44°C pendant 24 heures pour sélectionner les bactéries thermotolérantes.
- Observer les colonies développées après incubation.

❖ **Lecture des résultats :**

Résultat positif : Apparition de colonies métalliques vertes caractéristiques de E. coli, confirmant une contamination fécale.

Résultat négatif : Absence de colonies vertes, indiquant l'absence de E. coli détectable.

3.3. Présence de germes pathogènes :

❖ **Définition :**

Certains germes pathogènes peuvent être détectés dans l'eau et présenter un risque pour la santé humaine, pouvant entraîner des maladies graves.

❖ **Principaux germes pathogènes :**

Salmonella : Responsable de salmonelloses et de fièvres typhoïdes.

Vibrio cholerae : Agent du choléra, maladie causant des diarrhées sévères.

Legionella pneumophila : Provoque la légionellose, une infection pulmonaire grave.

Pseudomonas aeruginosa : Pathogène opportuniste pouvant causer des infections, notamment chez les immunodéprimés.

Campylobacter : Responsable d'infections gastro-intestinales.

❖ **Mode opératoire :**

- Enrichir l'échantillon dans un bouillon sélectif pendant 24 heures à 37°C.
- Transférer sur un milieu sélectif pour la détection de Salmonella/Shigella (ex. gélose SS).
- Incuber à 37°C pendant 24 heures.

❖ **Lecture des résultats :**

Résultat positif : Présence de colonies noires (Salmonella) ou incolores (Shigella) sur la gélose SS.

Résultat négatif : Absence de colonies suspectes, indiquant que l'échantillon ne contient pas de germes pathogènes détectables.

3.4. Interprétation des résultats et impact sur la qualité de l'eau :

❖ Définition :

L'interprétation des résultats bactériologiques permet de déterminer si l'eau est potable ou contaminée et d'identifier les actions nécessaires pour assurer sa conformité aux normes sanitaires.

❖ Mode opératoire :

- Comparer les résultats obtenus aux seuils réglementaires définis par les normes de qualité de l'eau potable (ex. OMS, normes européennes, normes locales).
- Confirmer les résultats positifs avec des tests biochimiques supplémentaires si nécessaire.
- Évaluer l'impact de la contamination sur la qualité de l'eau et les mesures correctives à prendre.

❖ Lecture des résultats :

Absence de germes indicateurs → Eau considérée comme potable.

Présence de coliformes totaux → Peut indiquer une contamination environnementale, nécessitant une investigation.

Présence d'E. coli ou d'Entérocoques → Eau contaminée par des matières fécales, nécessitant une désinfection.

Détection de germes pathogènes → Eau impropre à la consommation, nécessitant une intervention urgente.

L'impact sur la qualité de l'eau dépend du type et de la concentration des bactéries détectées. Une contamination peut entraîner des risques sanitaires importants et nécessiter des mesures correctives comme la chloration, l'ultrafiltration ou l'amélioration des systèmes de traitement de l'eau

PERSPECTIVE

Perspective

Au vu des résultats obtenus, nous proposons un ensemble de recommandations visant à améliorer le suivi de la qualité de l'eau potable dans la région de Guelma et à renforcer la gestion durable de cette ressource :

Renforcer le réseau de surveillance et d'analyse périodique des paramètres physico-chimiques, en accordant une attention particulière aux zones présentant des dépassements ou des concentrations proches des seuils réglementaires.

Moderniser les techniques d'analyse en laboratoire, notamment en intégrant des méthodes avancées telles que la spectrométrie d'absorption atomique et la chromatographie ionique, afin d'assurer une plus grande précision dans la détection des éléments traces.

Étendre les investigations futures à l'analyse bactériologique de l'eau, en incluant des paramètres tels que les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux et *Escherichia coli*, conformément aux lignes directrices de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2022). Cela permettrait une évaluation plus complète de la sécurité sanitaire de l'eau distribuée à la population.

Entreprendre un recensement exhaustif et méthodique des sources d'eau (sources naturelles) à l'échelle de la wilaya de Guelma, en intégrant les données géographiques, démographiques et environnementales, afin d'élargir la représentativité de l'échantillonnage et d'identifier les zones à risque potentiel.

Adopter une approche spatio-temporelle dans la stratégie de suivi, à travers des campagnes d'échantillonnage saisonnières. Cette démarche permettrait de mieux cerner les variations de la qualité de l'eau en fonction des saisons et des activités humaines, et d'anticiper les éventuelles dégradations environnementales.

Améliorer les infrastructures de traitement et de distribution de l'eau, en particulier dans les zones rurales et isolées, où l'accès à une eau conforme aux normes reste un défi majeur.

Valoriser les résultats de cette étude dans l'élaboration des politiques locales de gestion de l'eau, en impliquant les acteurs institutionnels, techniques et environnementaux, dans une dynamique fondée sur des données scientifiques actualisées.

