

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Ghardaia



Faculté des Sciences de la Nature et de Vie et Sciences de la Terre

Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Ecologie

Par : ABDELALI Assia

BOUZID Kaouther

Thème

**Situation actuelle de la gestion des eaux thermales dans la
région de Zelfana (Ghardaïa)**

Soutenu publiquement, le 15 /06 /2025, devant le jury composé de :

| | | | |
|--------------------------------------|-----------|----------------|-------------------------|
| Mr. NEGAIS Hamza | M.C.B | Univ. Ghardaïa | Président |
| M ^{me} .OULAD HEDDAR Meriem | M.C.B | Univ. Ghardaïa | Examineur |
| M ^{elle} BENHEDID Hadjira | M.C.A | Univ. Ghardaïa | Directeur de mémoire |
| Mr. ACHOUR Mansour | Doctorant | Univ. Oran | Co-directeur de mémoire |

Année universitaire : 2024 - 2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ أَفَرَأَيْتُمُ الْمَاءَ الَّذِي تَشْرَبُونَ (68) لَأَنْتُمْ أَنْزَلْتُمُوهُ مِنَ الْمُزْنِ أَمْ نَحْنُ الْمُنزِلُونَ (69) لَوْ نَشَاءُ جَعَلْنَاهُ أُجَاجًا فَلَوْلَا تَشْكُرُونَ (70) ﴾

سورة الواقعة - الآية 68-70

عن عبد الله بن عمرو رضي الله عنهما أن النبي ﷺ مر بسعد وهو يتوضأ فقال:

« ما هذا السر؟ » قال: « أفي الوضوء إسراف؟ »

قال: " نعم، وإن كنت على نهر جار "

رواه ابن ماجه (425) وصححه الألباني.



« *L'eau est la force motrice de toute la nature.* »

Léonard de Vinc

Remerciements

Au nom de Dieu Celui qui fait miséricorde, le Miséricordieux

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail de recherche.

Après, Ce mémoire est l'aboutissement d'un long parcours, rendu possible grâce à l'appui et à l'accompagnement de nombreuses personnes et celui qu'il ne remercie pas les gens ne remercie pas le dieu.

*Nos remerciements les plus sincères vont à notre directeur de mémoire, Melle « **Hadjira BENCHEDID** », pour sa confiance, ses conseils avisés, sa rigueur méthodologique et son accompagnement tout au long de ce travail. Grâce à sa bienveillance et à son exigence scientifique, nous avons pu progresser dans notre réflexion et mieux cerner les enjeux de notre sujet.*

*Nos remercions notre Co directeur Mr. « **Mansour ACHOUR** » à leur aide, leur soutien, leurs conseils pour la réussite de ce travail.*

*Nos remercions en particulier Mr. « **Hamza NAGAIS** » Maître de conférence « B » à la faculté des sciences de la Nature et de la Vie, université de Ghardaïa, qui je à honorer de présider le jury.*

*Nos remercions ainsi examinateur Mme « **MERJEM OULAD HEDDAR** » Maître de conférence « B » à la faculté des sciences de la Nature et de la Vie, université de Ghardaïa. Qui a bien accepté d'examiner et évaluer notre travail.*

Nous remercions également l'ensemble des enseignants du département de biologie en générale et de spécialité écologie en particulier, pour la qualité de l'enseignement dispensé durant nos années de formation, qui nous a permis d'acquérir les connaissances nécessaires à l'aboutissement de ce mémoire.

Nous exprimons notre reconnaissance envers aux membres de A.D.E. de Ghardaïa à leur aide et toutes les personnes ressources, professionnels ou chercheurs, qui ont contribué à enrichir notre travail par leurs données, leurs témoignages ou leur expertise.

Enfin, nous adressons des remerciements particulièrement chaleureux à nos familles, pour leur soutien moral indéfectible, leur patience et leur encouragement tout au long de ce parcours exigeant. À nos parents en particulier, pour leurs sacrifices, leur amour et leur confiance, qui ont été pour nous des piliers essentiels. Ce mémoire est aussi le fruit de leur présence bienveillante.

À toutes et à tous, nous disons merci.

ASSIA et KAOUTHER

Dédicaces

﴿وَقُلْ أَنعمُوا فسيري الله أعمالكم ورسوله﴾ سورة التوبة، الآية 105

Je dédie ce mémoire, fruit d'un long parcours académique, de persévérance, de travail acharné, mais aussi de soutien moral et affectif, à toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation :

À mes chers parents, les piliers de ma vie. À mon père, source de sagesse, d'honneur et de droiture, pour ses sacrifices silencieux, sa patience exemplaire et ses encouragements constants.

À ma mère bien-aimée, lumière de mon cœur, pour son amour inconditionnel, ses prières dans l'ombre, son soutien affectueux et sa force incroyable dans les moments les plus éprouvants. Vous êtes les racines profondes de mes réussites. Que Dieu vous préserve et vous accorde longue vie et sérénité.

À ma chère grand-mère, source de tendresse et de sagesse, dont les prières silencieuses et l'amour inconditionnel m'ont toujours accompagné, même dans les moments les plus difficiles.

À mes belles sœurs, « Hafsa, Sadia et Zineb » pour leur soutiens, pour leur tendresse, leur présence inébranlable à mes côtés dans les bonheurs et dans la tristesse.

À mes chers frères, « Abdelghani et mohamed » pour leur encouragement sincère, leurs conseils fraternels, leur générosité et leur confiance en mes capacités. Leur présence m'a été d'un grand secours tout au long de ce chemin.

À mes chères amis « Maroua, Nour El Huoda, Kaouther » à leur précieux compagnons de route, pour leur soutien moral, leur compréhension dans les moments de doute, leurs mots d'encouragement. Merci pour les moments que on a passés ensemble. et surtout mon binome « kaouther » pour sa collaboration fidèle, son sérieux dans le travail, son esprit d'initiative et sa volonté de toujours aller de l'avant. Merci pour la patience partagée, les réflexions collectives et les moments de motivation mutuelle.

À « Meriem Lag » pour leur soutien leur encouragement leur aide a un grand rôle dans la réalisation et réussite de ce travail. Que dieu préserver.

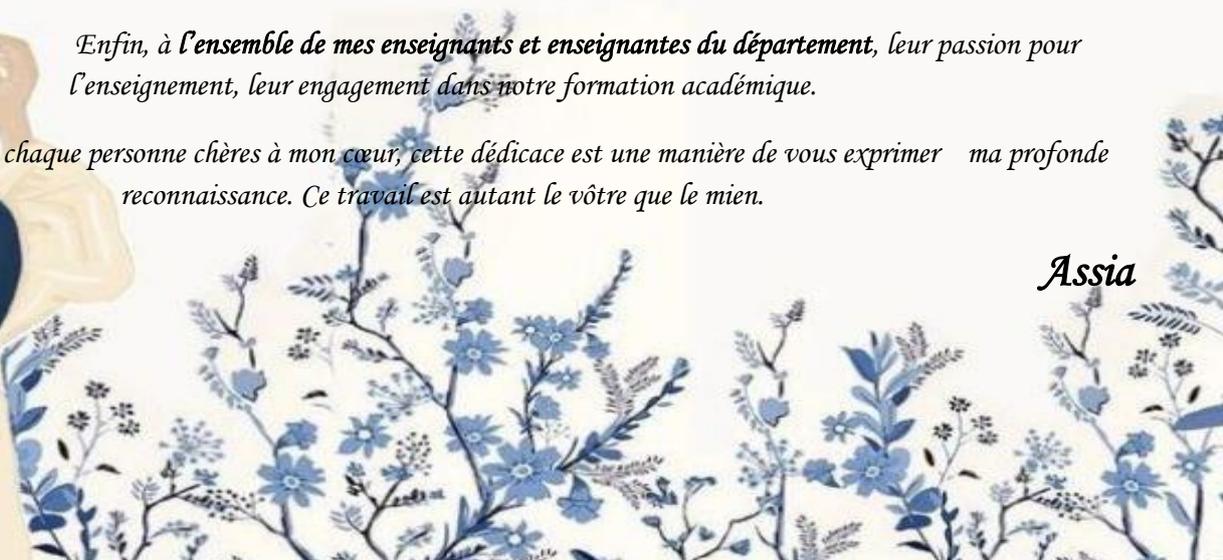
À mes tantes, pour leur soutien affectif et leur fierté exprimée avec pudeur, qui ont su m'encourager dans les moments de doute.

À mon encadrante « Melle. BENHEDID Hadjira », pour son accompagnement rigoureux, sa disponibilité, la richesse de ses conseils scientifiques, sa pédagogie et sa confiance. Votre suivi constant a été un guide précieux dans l'élaboration de ce travail.

Enfin, à l'ensemble de mes enseignants et enseignantes du département, leur passion pour l'enseignement, leur engagement dans notre formation académique.

À chaque personne chères à mon cœur, cette dédicace est une manière de vous exprimer ma profonde reconnaissance. Ce travail est autant le vôtre que le mien.

Assia



Dédicaces

"وقل رب زدني علماً" سورة طه، الآية ١١٤

Boumediene, ce pilier calme et constant, dont les sacrifices ont pavé pour moi un chemin de dignité.

Et Jamila, lumière douce de mon enfance, qui a répandu l'amour dans chaque geste, chaque mot, chaque regard.

Ce que je suis aujourd'hui n'est que l'écho de votre bonté.

À mes frères et sœurs « Ikram la sœur de grand cœur », je prie Dieu qu'Il exauce en silence chacun de tes souhaits. « Moha et Manar », que Dieu guide vos pas vers la réussite au baccalauréat, et que chaque rêve semé en vous puisse fleurir. « Souheib », ta présence silencieuse et précieuse, ton regard d'enfant fut une lumière dans mes jours les plus sombres.

À mes chères amies « Ikram, Kholoud, Assia et surtout mon binôme Assia », pour leur compagnon de route dans cette belle aventure scientifique, je te remercie pour ton esprit d'équipe, ton engagement et ton soutien constant tout au long de ce parcours exigeant, vous avez été des sourires dans mes tempêtes, et des présences réconfortantes dans mes silences les plus lourds.

À la douce Maryam, ta gentillesse fut un refuge, et ton amitié, un cadeau rare.

À ma tante bien-aimée, Fadhila, ta présence fut un soutien, et ton aide, une main tendue dans les moments les plus difficiles. Merci pour ton cœur compatissant et ton âme généreuse.

À mes tous mes enseignants du département de biologie, pour leur transmission de savoir et leur accompagnement tout au long de mon parcours.

Et tout particulièrement à mon encadrante, Melle « BENHDID Hadjira », pour sa patience, ses conseils éclairés et son appui constant qui ont grandement contribué à la réussite de ce travail.

À ceux que je ne peux nommer ici, mais qui furent comme des étoiles veillant sur mon chemin dans l'ombre,

je dédie cet accomplissement comme un poème silencieux.

Et enfin, à moi-même, à cette version de moi qui a tenu bon, qui a pleuré parfois, mais qui n'a jamais cessé de croire.

Ce Modest travail est un témoignage : que l'amour, la foi et la patience dessinent les plus beaux chemins.

Avec toute mon humilité et ma gratitude.

KAOUTHER



Résumé

Situation actuelle de la gestion des eaux thermales dans la région de Zelfana (Ghardaia)

Cette étude évalue la gestion des eaux thermales de la commune de Zelfana (Ghardaïa). Une enquête sur terrain pour 26 forages a permis de déterminer leur localisation, usages et modes de collecte des eaux usées. Huit forages ont été analysés pour leurs paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

Les résultats montrent des températures atteignant 40 °C, confirmant leur nature thermique. Les analyses révèlent une composition minérale élevée et des dépassements ponctuels en fer, calcium et sulfates dans certains forages par rapport aux normes algériennes et de l'O.M.S. Ces eaux ont une bonne qualité en terme bactériologique. Les eaux d'irrigation des trois forages analysés présentent une salinité forte à très forte, avec un danger d'alcalinisation allant de faible à moyen.

Ces résultats soulignent la nécessité d'un suivi régulier et d'une gestion durable.

Mots clés : Eaux thermales, Qualité, Physico-chimique, Bactériologiques, Zelfana.

الوضع الحالي لتسيير المياه الحرارية في منطقة زلفانة (غرداية)

تقيم هذه الدراسة واقع تسيير المياه الحموية (الحرارية) لبلدية زلفانة (غرداية). وقد أنجز مسح ميداني شمل 26 بئراً لتحديد مواقعها، استخداماتها وطرق جمع المياه المستعملة. كما خضعت ثمانية آبار للتحليل من حيث الخصائص الفيزيائية-الكيميائية والجرثومية. أظهرت النتائج تسجيل درجات حرارة تصل إلى 40°م، مما يؤكد طبيعتها الحموية. وكشفت التحاليل عن تركيبة معدنية مرتفعة، مع تجاوزات موضعية لمستويات الحديد، الكالسيوم والكبريتات في بعض الآبار، وذلك بالمقارنة مع المقاييس الجزائرية ومعايير منظمة الصحة العالمية. أما من الناحية الجرثومية، فقد تبين أن هذه المياه ذات نوعية جيدة. في حين أظهرت تحاليل مياه السقي لثلاثة آبار ملوحة مرتفعة إلى مرتفعة جداً، مع خطر قلوية يتراوح بين ضعيف إلى متوسط. وتبرز هذه النتائج ضرورة المتابعة الدورية وضمان التسيير المستدام لهذه الموارد.

الكلمات المفتاحية: المياه الحموية، النوعية، فيزيائية-كيميائية، جرثومية، زلفانة.

Abstract

Current Status of Thermal Water Management in the Zelfana Region (Ghardaia)

This study assesses the management of thermal waters in the municipality of Zelfana (Ghardaia).

A field survey of 26 boreholes determined their location, uses, and wastewater collection methods. Eight boreholes were analyzed for their physicochemical and bacteriological parameters. The results show temperatures reaching 40°C, confirming their thermal nature. The analyses reveal a high mineral composition and occasional exceedances of iron, calcium, and sulfates in some boreholes.

Complying with Algerian and W.H.O standards. These waters have good bacteriological quality. The irrigation water from the three boreholes analyzed has high to very high salinity, with a low to medium risk of alkalization.

These results highlight the need for regular monitoring and sustainable management.

Keywords: Thermal waters, Quality, Physicochemical, Bacteriological, Zelfana.

Liste des Tableaux

| N° | Titre | Page |
|------------|--|-------------|
| I | Dairates et communes de la Wilaya de Ghardaïa (D.P.S.B,2023). | 06 |
| II | Données climatiques de la willaya de Ghardaïa de l'année 2015 à 2024 (Tutiempo, 2025). | 10 |
| III | Localisations des forages des eaux analysées de la commune de Zelfana. | 25 |
| IV | Tableau récapitulatif des différents besoins d'équipements. (A.N.R.H,2012). | 46 |
| V | Localisation des Hammamet de la région de Zelfana. | 49 |
| VI | Classes de salinité des eaux thermales étudiées de la commune de Zelfana. | 78 |
| VII | Classes des eaux thermales analysées dans la commune de Zelfana. | 80 |

Liste des Figures

| N° | Titre | Page |
|--|---|-----------|
| <i>Chapitre I : Présentation de la région d'étude</i> | | |
| 01 | Répartition spatiale des sources thermales au nord Algérien (OUALI, 2015) | 02 |
| 02 | Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa (Original,2025) | 07 |
| 03 | Carte de la situation géographique de la région d'étude (Zelfana)(Original,2025) | 08 |
| 04 | Répartition de population de la wilaya de Ghardaia par commune. (D.P.S.B,2023) | 09 |
| 05 | Température Mensuelle de la région Ghardaïa (2015-2024) | 11 |
| 06 | Précipitation mensuelle de la région de Ghardaïa (2015-2024). | 12 |
| 07 | Vitesse de vent mensuelles de la région de Ghardaïa (2015-2024). | 13 |
| 08 | Humidités mensuelles de la région de Ghardaïa (2015-2024) | 13 |
| 09 | Diagramme Ombrothermique de la région d'étude. | 14 |
| 10 | Etage bioclimatique de la zone d'étude selon le Climagramme d'EMBERGER. | 16 |
| 11 | Carte géomorphologique de la wilaya de Ghardaïa (KRAIMAT, 2019 ; modifiées) | 17 |
| 12 | Carte géologique du bassin du M'Zab (Extrait de S.C.G (1952), modifiée) (DJILI, 2018) | 19 |
| <i>Chapitre II : Matériels et Méthodes</i> | | |
| 13 | Approche méthodologique. | 23 |
| 14 | Carte de localisation des forages utilisé (Google Earth). | 26 |

Chapitre III : Résultats et discussion

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 15 | Localisation des forages de la commune de Zelfana wilaya de Ghardaia (Google Earth) | 41 |
| 16 | Variation des Forages de la commune de Zelfana wilaya de Ghardaia | 42 |
| 17 | Répartition des Forages étudiée dans la zone d'étude | 43 |
| 18 | Répartition d'utilisations des eaux sur la zone d'étude. | 44 |
| 19 | Débit des forages plus utilisées. | 45 |
| 20 | Débit des équipements en différents thermes. | 47 |
| 21 | Volume de consommation des forages plus utilisées. | 48 |
| 22 | Localisation géographique des Hammams de la région de Zelfana. | 50 |
| 23 | Modes de collectes des eaux usées dans la zone d'étude. | 51 |
| 24 | Variations de température des eaux des forages analysées. | 53 |
| 25 | Variation de potentiel d'Hydrogène des eaux thermales des forages analysées. | 54 |
| 26 | Variation de conductivité des eaux thermales des forages analysées | 55 |
| 27 | Variation de turbidité des eaux thermales des forages analysées. | 57 |
| 28 | Variation de T.D.S des eaux thermales des forages analysées. | 58 |
| 29 | Variation d'ammonium des eaux thermales des forages analysées. | 59 |
| 30 | Variation de nitrite des eaux thermales des forages analysées. | 61 |
| 31 | Variation de fer des eaux thermales des forages analysées. | 62 |
| 32 | Variation de sulfates des eaux thermales des forages analysées. | 64 |
| 33 | Variation de chlorures des eaux thermales des forages analysées. | 65 |
| 34 | Variation de biocarbonates des eaux thermales des forages analysées. | 66 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 35 | Variation de sodium des eaux thermales des forages analysées. | 67 |
| 36 | Variation de potassium des eaux thermales des forages analysées. | 69 |
| 37 | Variation de calcium des eaux thermales des forages analysées. | 70 |
| 38 | Variation de magnésium des eaux thermales des forages analysées. | 71 |
| 39 | Variation de dureté des eaux thermales des forages analysées. | 72 |
| 40 | Facies chimique des eaux d'après le diagramme de PIPER pour les forages d'eau de boissons. | 74 |
| 41 | Variation de pH des eaux d'irrigation analysées. | 75 |
| 42 | Facies chimique des eaux d'après le diagramme de PIPER pour les forages d'irrigation. | 76 |
| 43 | Qualité des eaux thermales destinées aux consommation humaine de la région de Zelfana en fonction de la C.E et du S.A.R. | 81 |
| 44 | Qualité des eaux thermales d'irrigation de la région de Zelfana en fonction de la C.E. et du S.A.R. | 82 |
| 45 | Dénombrement du coliformes totaux dans les forages des eaux analysées. | 83 |
| 46 | Dénombrement des coliformes fécaux dans les forages des eaux analysées. | 83 |
| 47 | Dénombrement du Streptocoques fécaux dans les forages des eaux analysées. | 84 |

Liste des photos

| N° | Titre | Page |
|-----------|---|-------------|
| 01 | pH mètre. | 29 |
| 02 | Conductivité mètre. | 30 |
| 03 | Dosage d'ammonium (Original,2025). | 31 |
| 04 | Dosage de chlorure (Original,2025). | 34 |
| 05 | Dosage de bicarbonates (Original,2025). | 35 |
| 06 | Dosage de calcium (Original,2025). | 36 |
| 07 | Dosage de dureté totale (Original,2025) | 38 |
| 08 | Mode de collecte des eaux usées. | 52 |

Liste des annexes

| N° | Titre |
|------|---|
| I | Décret exécutif numéro 07-69 du 19 février 2007 du journal officiel. |
| II | Indications d'utilisation des différents types d'eaux thermales. |
| III | Recherche et dénombrement des Coliforme : méthode par filtration sur membrane. |
| IV | Recherche et dénombrement des Streptocoque : méthode par filtration sur membrane. |
| V | Forages de la commune de Zelfana wilaya de Ghardaia. (ADE,2025). |
| VI | Paramètres et valeurs limites de la qualité de l'eau de consommation humaine (Rodier <i>et al.</i> , 2009 ; JORA, 2011) |
| VII | Directive pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (F.A.O. 1985 in F.A.O, 2003). |
| VIII | Classification des eaux d'après leur pH (REFEA, 2003) |
| IX | Classification des eaux d'irrigation selon leurs conductivités électriques (DURAND, 1983) |
| X | Caractéristiques des eaux thermales des Hammamet de la commune de Zelfana wilaya de Ghardaia. |
| XI | Spectrophotometre emission a flame JENWAY. |
| XII | Spectrophotometre. |
| XIII | Thermomètre. |

Liste des Abréviations

- **A.D.E** : Algérienne Des Eaux.
- **A.E.I.** : Alimentation eau d'irrigation.
- **A.E.P** : Alimentation en eau potable.
- **A.N.R.H** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
- **C.E** : Conductivité électrique.
- **C.T** : Complexe terminal.
- **D.P.S.B** : Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires.
- **E.D.T.A** : Ethylène Diamine Tétra Acétique.
- **F.A.O**: Food and Agriculture Organization.
- **F**: Forage.
- **Hr** : Humidité relative.
- **J.O.R.A** : Journal Officiel de la République Algérienne.
- **O.M.S** : Organisation Mondiale de la Santé.
- **P** : Précipitations.
- **P.O.S**: Plan d'occupation des sols.
- **pH** : potentiel d'hydrogène.
- **S.A.R** : Rapport d'Adsorption du Sodium.
- **S.C.G** : Service de la Carte Géologique
- **T.D.S** : Solides Dissous Totaux.
- **T.A** : Titre Alcalimétrique.
- **T.A.C** : Titre Alcalimétrique Complet.
- **U.N.T**: Nephelometric Turbidity Unit.

Table des matières

| | |
|-------------------------------|-----------|
| Remerciements | |
| Dédicaces | |
| Résumé | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des figures | |
| Liste des photos | |
| Liste des annexes | |
| Liste des abréviations | |
| Introduction générale | 01 |

Chapitre I : Présentation de la région d'étude

| | |
|---|-----------|
| Introduction | |
| 1. Choix de la zone d'étude | 05 |
| 2. Présentation de la région d'étude | 05 |
| 2.1. Localisation géographique | 05 |
| 3. Démographie | 09 |
| 4. Climat | 09 |
| 4.1. Températures | 11 |
| 4.2. Précipitations | 11 |
| 4.3. Vents | 12 |
| 4.4. Humidité relative de l'air | 13 |
| 4.5. Synthèse climatique | 14 |
| 4.5.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN | 14 |

| | |
|---|-----------|
| 4.5.2. Climagramme d'EMBERGER | 15 |
| 5. Géomorphologie | 16 |
| 5.1. Chebka | 16 |
| 5.2. Hamada | 17 |
| 6. Cadre physique | 17 |
| 6.1. Pédologie | 17 |
| 6.2. Hydrologie | 18 |
| 6.3. Géologie | 19 |
| 6.4. Hydrogéologie | 19 |
| 6.4.1. Nappe phréatique | 19 |
| 6.4.2. Nappe du complexe terminal | 20 |
| 6.4.3. Nappe du continental intercalaire | 20 |
| 6.4.3.1. Caractéristiques de l'eau thermale de Hammam Zelfana | 21 |
| 6.5. Agriculture | 21 |
| Conclusion | 22 |

Chapitre II : Matériel et Méthodes

| | |
|--|----|
| 1. Approche méthodologique | 23 |
| 1.1. Prospection | 24 |
| 1.2.1. Localisation des forages | 24 |
| 1.2.2. Etude physico-chimique des eaux thermales | 26 |
| 1.2.3. Etude bactériologique | 27 |
| 2. Méthodes d'analyses | 28 |
| 2.1. Paramètres physiques | 28 |

| | |
|---|-----------|
| 2.1.1. Conductivité électrique, température, salinité et TDS | 28 |
| 2.1.2. Potentiel d'Hydrogène | 29 |
| 2.1.3. Turbidité | 29 |
| 2.2. Analyses chimiques | 30 |
| 2.2.1. Paramètres de pollution chimique des eaux | 30 |
| 2.2.1.1. Ammonium | 30 |
| 2.2.1.2. Nitrite | 31 |
| 2.2.1.3. Fer | 32 |
| 2.2.2. Composition ionique des eaux | 32 |
| 2.2.2.1. Sulfates | 32 |
| 2.2.2.2. Chlorures | 33 |
| 2.2.2.3. Bicarbonates | 34 |
| 2.2.2.4. Sodium et potassium | 35 |
| 2.2.2.5. Calcium | 35 |
| 2.2.2.6. Magnésium | 36 |
| 2.2.2.7. Dureté totale | 37 |
| 2.3. Analyses bactériologiques | 38 |
| 2.3.1. Coliformes totaux | 38 |
| 2.3.2. Coliformes fécaux | 39 |
| 2.3.2.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux | 39 |
| 2.3.1.2. Recherche des streptocoques fécaux | 40 |

Chapitre III : Résultats et discussion

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 1. Résultats de la prospection | 40 |
|---------------------------------------|-----------|

| | |
|--|-----------|
| 1.1. Exploitation | 40 |
| 1.2. Localisation des forages | 42 |
| 1.3. Usages | 43 |
| 1.3.1. Débit | 45 |
| 1.3.2. Volume de consommation | 47 |
| 1.3.3. Hammamet | 49 |
| 1.4. Mode de collecte des eaux usées | 50 |
| 2. Étude physico-chimique des eaux thermales | 52 |
| 2.1. Paramètres physiques | 52 |
| 2.1.1. Température | 52 |
| 2.1.2. Potentiel d'Hydrogène | 54 |
| 2.1.3. Conductivité électrique | 55 |
| 2.1.4. Turbidité | 56 |
| 2.1.5. Total dissolved solide | 58 |
| 2.2. Paramètres de la pollution chimique des eaux | 59 |
| 2.2.1. Ammonium | 59 |
| 2.2.2. Nitrites | 60 |
| 2.2.3. Fer | 62 |
| 2.2. Compositions ioniques des eaux | 63 |
| 2.2.1. Sulfates | 63 |
| 2.2.2. Chlorures | 64 |
| 2.2.3. Bicarbonates | 65 |
| 2.2.4. Sodium | 67 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.5. Potassium | 68 |
| 2.2.6. Calcium | 69 |
| 2.2.7. Magnésium | 71 |
| 2.2.8. Dureté totale | 72 |
| 2.3. Faciès chimiques des eaux | 73 |
| 2.4. Aptitude des eaux à l'irrigation | 75 |
| 2.4. 1. pH | 75 |
| 2.5. Aptitude des eaux thermales analysées | 77 |
| 2.5.1. Salinité | 77 |
| 2.5.2. Sodicité des eaux | 78 |
| 2.6. Classification des eaux thermales analysées | 79 |
| 3.  tude bactériologiques des eaux thermales | 82 |
| 3.1. Coliformes totaux et fécaux | 83 |
| 3.2. Streptocoques fécaux | 84 |
| Conclusion générale | 85 |
| Références bibliographiques | 87 |

Annexes

Introduction

Générale





L'eau c'est la vie. Préserver sa qualité et la mettre à la disposition de tous est un enjeu essentiel pour l'avenir de l'humanité (MAHAMAT *et al.* 2004).

À l'échelle mondiale, la problématique de l'approvisionnement en eau se révèle de plus en plus inquiétante au fil des jours, pour plusieurs raisons. L'une d'elles est la croissance démographique effrénée à laquelle notre planète est confrontée depuis deux cents ans (FATNA *et al.*, 2016).

L'eau est une ressource essentielle à la vie et existe sous différentes formes en fonction de son origine, sa composition et son usage ; les eaux naturelles : eaux de surface : Lacs, rivières, fleuves, mers et océans (RODIER *et al.*, 2009), eaux souterraines : Nappes phréatiques et profondes (MARGAT et VAN DER GUN, 2013), eaux météoriques : Pluie, neige, grêle : Eaux destinées à la consommation humaine : eau minérale naturelle, eau de source. Eaux industrielles et agricoles. Eaux spécifiques : eaux salines et saumâtres sont des eaux à forte concentration en sel, entre eau douce et eau de mer (BEAR, 1972). Eaux thermales : Eaux minérales naturellement chaudes, utilisées en thermalisme (KÜHN & STOBER, 2015).

Leur composition minérale varie en fonction des roches traversées, mais elles contiennent souvent du sulfate, du calcium, du magnésium et du bicarbonate, ce qui leur confère des propriétés apaisantes, anti-inflammatoires et cicatrisantes. La qualité physico-chimique des eaux souterraines est principalement déterminée par leur source, le type d'alluvions et de roches qui les stockent, ainsi que par la concentration de certains composants chimiques. (BOURDEAU *et al.*, 2019)

De plus, les bienfaits de l'eau thermale dans le traitement de diverses maladies sont connus depuis l'Antiquité. En outre, diverses recherches ont démontré que l'eau thermale a un impact sur les maladies de la peau et la régénération cutanée (LIANG *et al.*, 2015), et elle est également employée dans les préparations cosmétiques pour ses propriétés anti-irritantes (FERREIRA *et al.*, 2010).

Ces eaux sont largement utilisées en cure thermale, notamment pour traiter des affections dermatologiques, rhumatologiques et respiratoires (FIORAVANTI *et al.*, 2017). Aujourd'hui, les stations thermales jouent un rôle clé dans le bien-être et la médecine thermale, combinant soins naturels et pratiques de relaxation (MATZ *et al.*, 2020).

En Algérie, bien que de nombreuses stations thermales existent, seules huit d'entre elles sont médicalisées. Ces stations thermales sont : Hammam Bouhanifia (Maascar), Hammam Bouhadjar (Ain Temouchent), Hammam Boughrara (Tlemcen), Hammam Rabbi (Saida), Hammam Righa (Ain Defla), Hammam Guergour (Setif), Hammam Salhine (Biskra),



Hamam Meskoutine (Guelma), Hamam Berrouaghia, Hamam Salihine (Khenchela), La gestion de ces stations thermales est assurée par la Société Algérienne de Thermalisme. (BOUGHALALI, 2003)

Selon le décret exécutif n° 07-69 du Aouel Safar 1428 correspondant au 19 février 2007 fixant les conditions et les modalités d’octroi de la concession d’utilisation et d’exploitation des eaux thermales, on peut définir l’eau thermale comme suit : « Les eaux thermales sont des eaux captées à partir d'une émergence naturelle ou d'un forage et qui, en raison de la nature spéciale de leurs principes, de la stabilité de leurs caractéristiques physiques et de leur composition chimique, peuvent avoir des propriétés thérapeutiques ».

L'eau thermale est une eau dont la température est supérieure à la température moyenne des eaux de nappe de la région.

On considère que l’Algérie possède une grande richesse en eaux thermo minérales. Effectivement, le Nord de l’Algérie abrite une multitude de sources thermales, tandis qu’un grand réservoir géothermique connu sous le nom de Continental Intercalaire se situe dans le Sud de l’Algérie tel que les eaux thermales de Zelfana (la wilaya de Ghardaïa) qui sont captées à partir de Continental Intercalaire (OUALI et al., 2007).

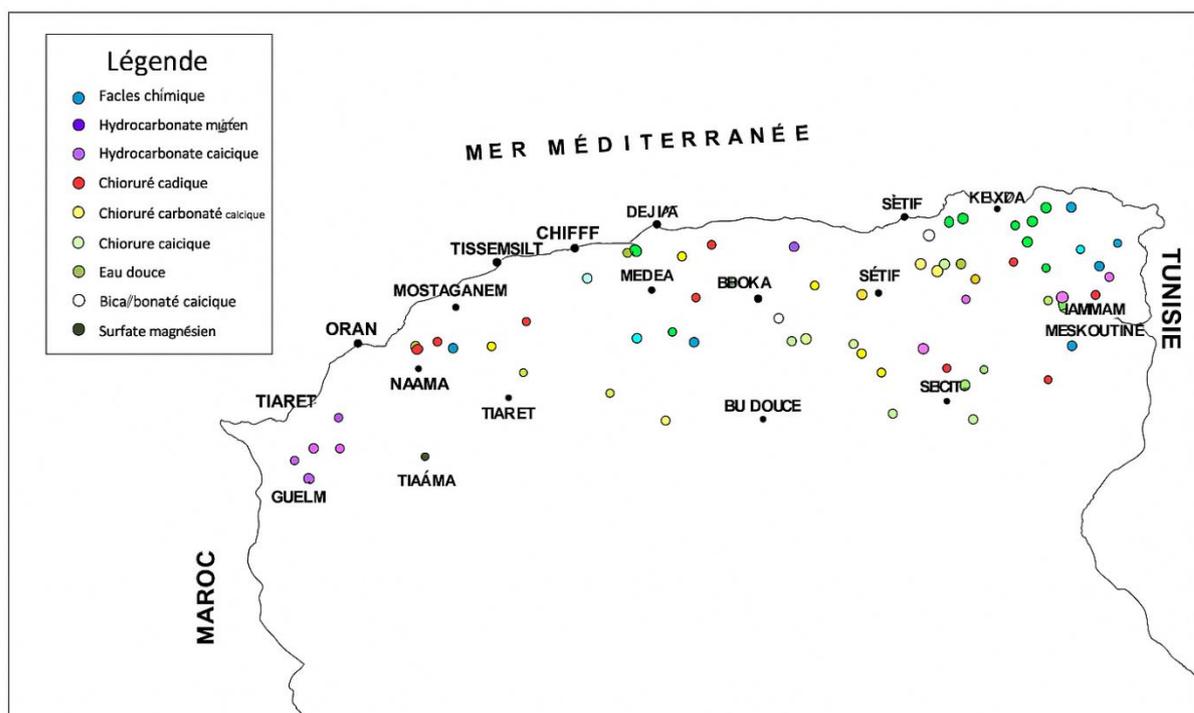


Figure 01 : Répartition spatiale des sources thermales au nord Algérien (OUALI, 2015).



La wilaya de Ghardaïa, située au cœur du Sahara septentrional, à environ 600 km au sud d'Alger. Elle est marquée par un climat saharien extrême, avec des températures estivales pouvant atteindre 50°C, de faibles précipitations inférieures à 100 mm/an (DAJOZ, 1982).

La commune de Zelfana, localisée à 100 km au sud-est du chef-lieu de la wilaya, constitue un site emblématique du thermalisme saharien.

Depuis la découverte de ses eaux chaudes en 1956, Zelfana s'est développée autour de son hammam, dont le débit autonome atteint 360 litres par seconde (OUALI, 2005). Les eaux thermales qui en jaillissent, chlorurées et sodiques, à une température moyenne de 45–46 °C, sont reconnues pour le traitement de diverses affections dermatologiques, respiratoires et nerveuses.

L'expansion agricole et industrielle, conjuguée à l'augmentation de la population, a engendré une hausse rapide des besoins en eau au Zelfana. Cela a amené les responsables de la gestion de l'eau à explorer et effectuer davantage de forages, puits et infrastructures hydrauliques (REZZAG & NAAMI, 2015).

Toutefois la gestion durable de la ressource en eau devient un défi majeur en raison de la croissance démographique, du changement climatique et de l'intensification des usages agricoles et industriels (FATNA et *al.*, 2016). Si les eaux thermales représentent une ressource limitée, elles sont également précieuses, tant pour la santé que pour le développement économique, notamment à travers le tourisme thermal.

Cependant, cette ressource souterraine est non renouvelable à l'échelle humaine, et sa surexploitation, en particulier pour les besoins croissants en eau potable, irrigation ou industrie, représente un risque majeur pour sa pérennité. Les eaux thermales de la nappe sont sodiques et chlorurées, avec une température moyenne dépassant 46°C et une salinité moyenne d'un gramme par litre. À Zelfana, huit forages profonds sont actuellement en exploitation, pompant plus de 16 hm³ par an, ce qui provoque un rabattement inquiétant de la nappe (REZZAG et NAAMI, 2015).

Dans ce contexte, la gestion durable des eaux thermales à Zelfana s'impose comme un enjeu central à la croisée de plusieurs domaines : écologie, hydrogéologie, santé publique, développement local et aménagement territorial. Cette étude vise à étudier l'état actuelle de la gestion des eaux thermales non renouvelable des forages les plus utilisées dans la région de Zelfana en s'appuyant par une prospection au terrain en raison d'estimer la situation de



pollution, la façon d'exploitation ainsi le mode d'usages. Et d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique de ces eaux.

Afin d'atteindre à notre objectif, cette recherche s'articule autour de trois chapitres, dont

- ♣ **Chapitre I** : C'est la présentation de la région d'étude et leurs principales caractéristiques.
- ♣ **Chapitre II** : Matériel employé et méthode utilisé,
- ♣ **Chapitre III** : Encadre les résultats de notre étude avec leurs discussions,
- ♣ Et une conclusion qui résume les principaux résultats obtenus.

Chapitre I :
Matériel d'étude





Introduction

L'étude de la gestion des eaux thermales dans la région de Zelfana, située dans la wilaya de Ghardaïa, nécessite une compréhension approfondie de son cadre naturel et humain. Ce chapitre présente un aperçu global de la région d'étude en abordant sa localisation géographique, ses caractéristiques démographiques, ainsi que les principaux paramètres climatiques qui influencent son environnement. Il examine également la géomorphologie, la pédologie, l'hydrologie, la géologie, l'agriculture locale et l'hydrogéologie, afin de mieux cerner les facteurs naturels et anthropiques qui conditionnent l'exploitation des eaux thermales.

1. Choix de la zone d'étude

Le choix de notre région (commune de Zelfana) comme une zone d'étude est choisie selon les critères suivant :

- La région de Zelfana est réputée à l'échelle locale et nationale pour ses sources d'eau thermale chaude à usage thérapeutique et touristique. Ces eaux sont connues par leurs propriétés minérales bénéfiques pour certaines pathologies (rhumatismes, maladies de la peau, etc.) ce qui en fait un patrimoine hydrominéral à valoriser.
- Zone saharienne caractérisée par des ressources en eau limitées et vulnérables dans un milieu aride et fragile. La gestion de ces ressources doit donc être étudiée pour éviter la surexploitation ou la dégradation de la qualité des eaux thermales.
- Risques de pollution, de gaspillage avec la surexploitation peut provoquer un risque de rabattement de la nappe souterrain.
- Peu de travaux académiques détaillés ont été consacrés spécifiquement à la gestion des eaux thermales à Zelfana, malgré son importance l'étude de cette zone permet donc d'apporter des données nouvelles et d'orienter les décideurs locaux.

2. Présentation de la région d'étude

2.1. Localisation géographique

Ghardaïa, est l'une de plus importantes wilayas du sud d'Algérie, est située au nord du Sahara algérien, et le siège de la ville de Ghardaïa est à 600 km au sud de la capitale Alger (Fig. 02). Elle totalise une superficie de 26.165 Km² avec une population de 466361 habitants, et une



densité de 17.82 hab./km². La wilaya de Ghardaïa est composée de 08 daïrates et 10 Communes (Tabl. I) (D.P.S.B, 2023).

La willaya de Ghardaïa est limitée par (D.P.S.B, 2023) :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200Km).
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300Km).
- A l'Est par la Wilaya de Ouargla (200 Km).
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayad (350Km).
- Au Sud par la Wilaya de El meniaa (270Km).

Tableau I: Daïrates et communes de la Wilaya de Ghardaïa (D.P.S.B,2023).

| NUM | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|---------|-----------|----------|----------|-----------------|---------|----------|----------|
| DAIRA | Metlili | Bounoura | Mansoura | Ghardaia | Daya Ben Dahoua | Zelfana | Berriane | Guerrara |
| COMMUNE | Metlili | Bounoura | Mansoura | Ghardaia | DayaBen Dahoua | Zelfana | Berriane | Guerrara |
| | SebSeb | El Atteuf | | | | | | |

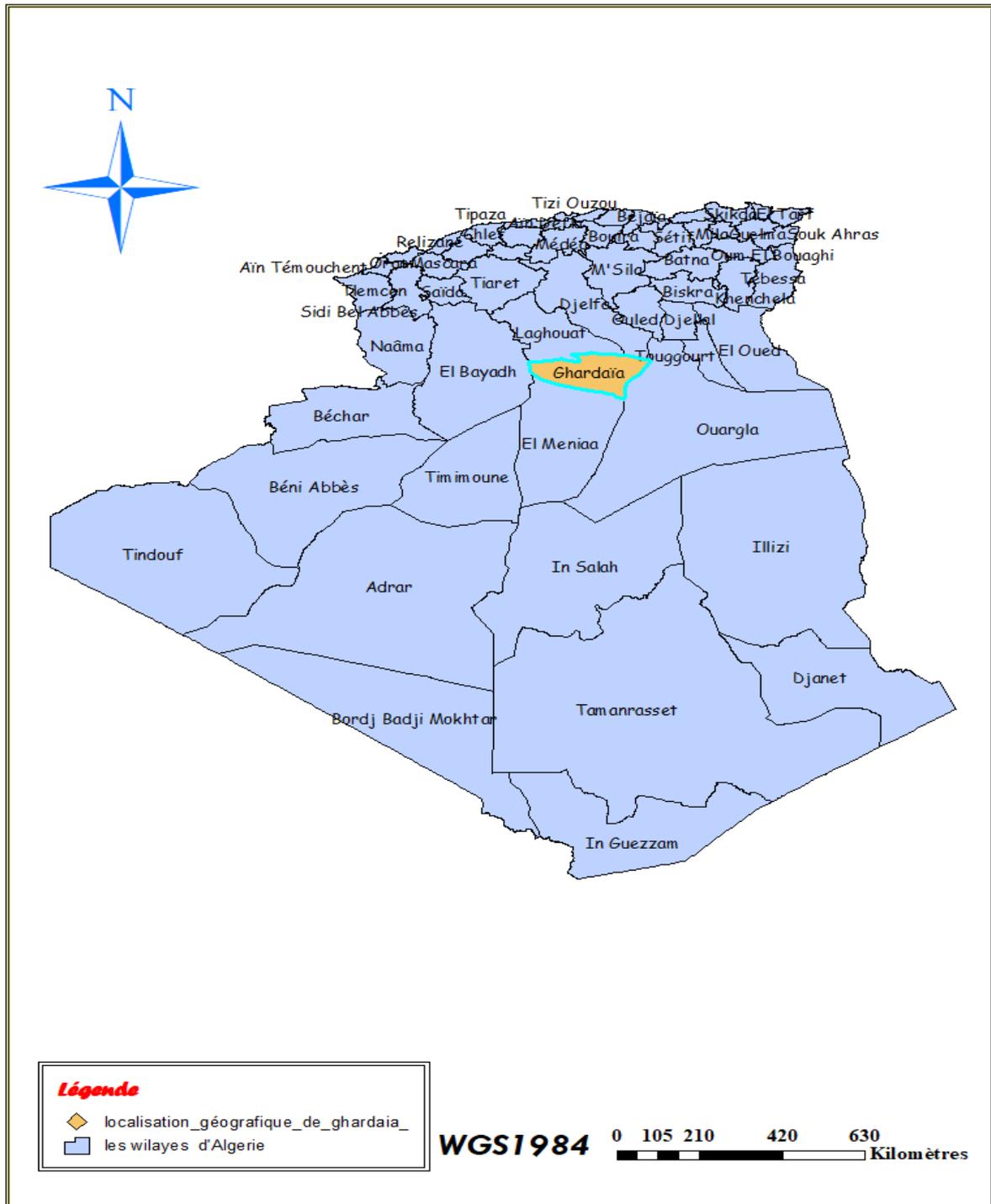


Figure 02 : Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa (Original,2025).

La région de Zelfana est située à 65 km au Nord de la wilaya de Ghardaïa et à 658 km au Sud d'Alger. Elle est à la latitude 32° 23' nord, 4° 13' Est et à une altitude de 355m. Elle couvre une superficie de 2220 km². Elle est limitée (D.P.S.B, 2020):

- Au nord : Par la commune de Guerrara.



- Au sud : Par la commune de Metlili.
- A l'ouest : Par la commune d'El Ateuf.
- A l'est : Par la commune d'Ouargla.

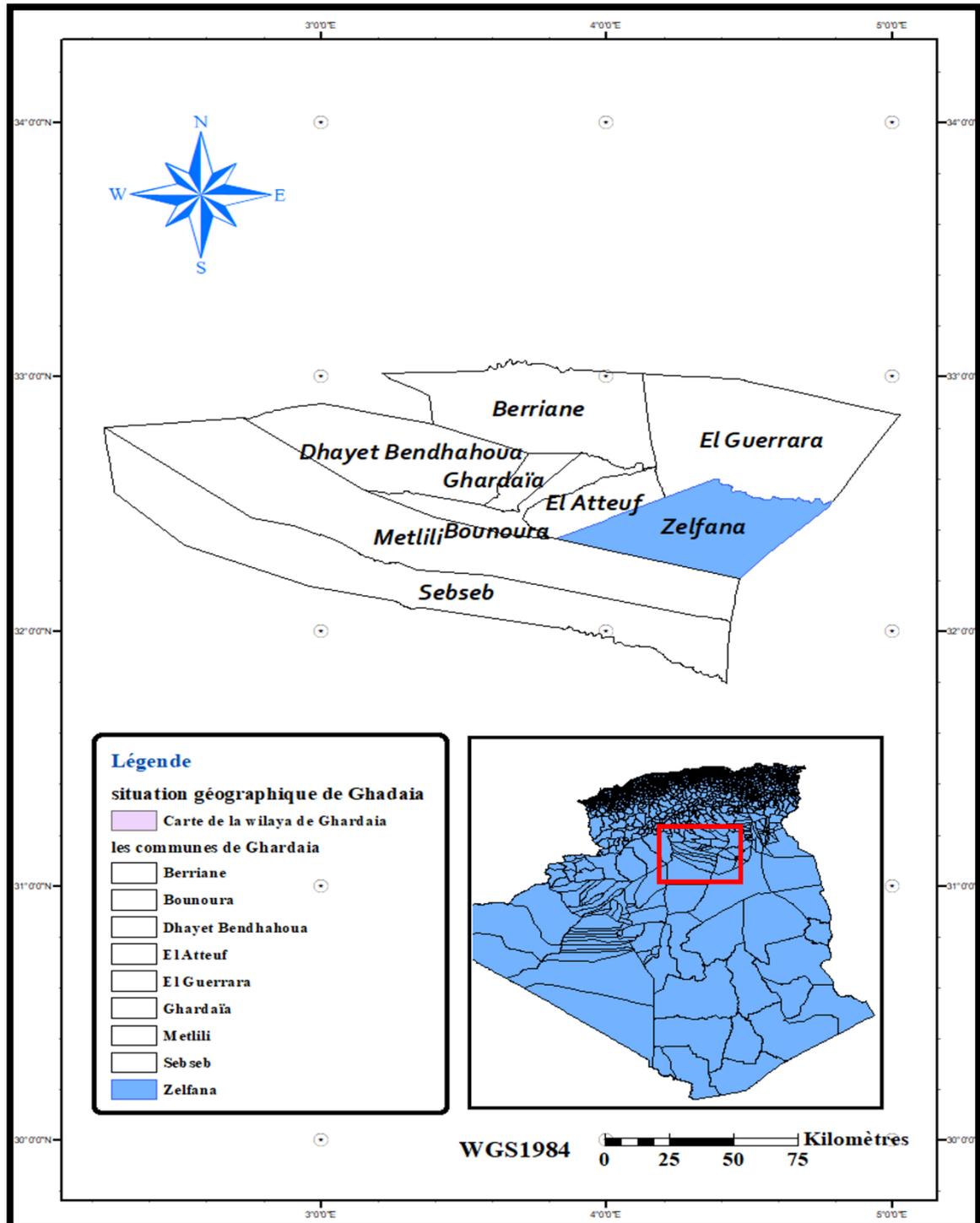


Figure 03 : Carte de la situation géographique de la région d'étude (Zelfana)(Original,2025).



3. Démographie

La population de la wilaya de Ghardaïa est estimée par 466361 habitants, soit une densité de peuplement de 17.82 habitants/ km², avec une population de 142997 habitants à la commune de Ghardaia et avec 13 011 habitants pour la commune de Zelfana (Fig.04). Cette wilaya a connu une croissance démographique de 457 513 habitants en 2022 à 466361 habitants en 2023 (D.P.S.B,2023).

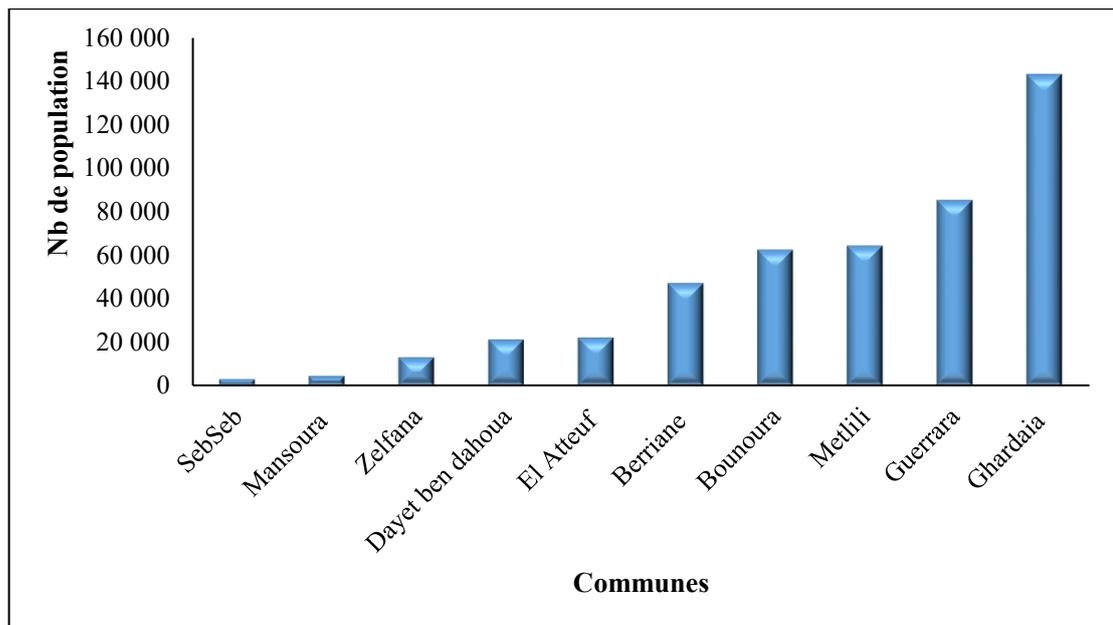


Figure 04 : Répartition de population de la wilaya de Ghardaia par commune. (D.P.S.B,2023)

Cette croissance démographique dans la wilaya de Ghardaia a engendré une intense urbanisation, avec une extension incontrôlée de l'habitat dans les palmeraies, ainsi que dans des zones inondables, parfois même dans le lit mineur de l'Oued. Cela a entraîné par la suite une multiplication des volumes des eaux exploitées par les nappes d'eau souterraines, avec l'augmentation du nombre des forages exploitant la nappe fossile du Continentale Intercalaire (C.I), utilisés pour l'irrigation, l'industrie, ainsi que pour satisfaire les besoins en eau potable de cette population grandissante (BENHDID, 2022)

4. Climat

Le climat de Ghardaïa est un climat particulièrement aride, cette aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air (BENSLAMA, 2021). De ce fait,



pour caractériser le climat de la région d'étude, les données climatiques de la wilaya de Ghardaïa ont été utilisées (Tabl. II).

Tableau II : Données climatiques de la wilaya de Ghardaïa de l'année 2015 à 2024 (Tutiempo, 2025).

| Mois | T max(°C) | Tmin(°C) | Tmoy(°C) | H (%) | PP (mm) | V(km/h) |
|-------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Janvier | 17,15 | 6,14 | 11,75 | 40,9 | 1,5 | 11,83 |
| Février | 19,02 | 9,06 | 13,54 | 37,1 | 3,02 | 15,12 |
| Mars | 22,66 | 11,21 | 17,13 | 30,75 | 3,5 | 15,38 |
| Avril | 28,04 | 15,15 | 21,42 | 28,21 | 10,49 | 16,58 |
| Mai | 32,77 | 20,11 | 26,53 | 23,32 | 2,56 | 15,6 |
| Juin | 38,27 | 25,4 | 32,02 | 18,67 | 0,89 | 14,76 |
| Juillet | 41,57 | 28,71 | 35,25 | 16,05 | 0,13 | 11,98 |
| Aout | 40,22 | 27,62 | 33,86 | 20,97 | 4,17 | 11,39 |
| Septembre | 36,08 | 23,77 | 29,73 | 30,17 | 5,59 | 10,93 |
| Octobre | 29,11 | 17,64 | 23,31 | 35,55 | 3,89 | 10,71 |
| Novembre | 22,56 | 11,55 | 17,04 | 41,66 | 2,93 | 11,29 |
| Décembre | 18,23 | 7,81 | 13,02 | 47,45 | 1,04 | 11,34 |
| Moy Annuel | 28,81 | 17,01 | 22,88 | 37,08 | 39,71* | 13,08 |

T moy : Température *moyenne* Hr : Humidité relative de l'air *: cumul annuel

Tmin : Température minimale P : Précipitations.

T max : Température *maximale* V : Vents.



4.1. Températures

Pour la région de Ghardaïa, la température moyenne annuelle est de 22,88°C, avec un maximum en juillet de 41,57°C et un minimum en janvier de 6,14°C (Tab. II ; Fig.05).

Ces caractéristiques de la température, d'un point de vue hydro-chimique, nous indiquent que pendant la période estivale, vu les valeurs élevées de la température, ces dernières vont produire une évaporation de l'eau et en même temps une augmentation de la concentration des éléments chimiques dans la nappe (DEBIECHE, 2002). De ce fait DERWICH *et al.* (2010) ; MAKHOUKH *et al.* (2011) ont noté que la température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique. Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau, particulièrement les microorganismes (BENHDID, 2022).

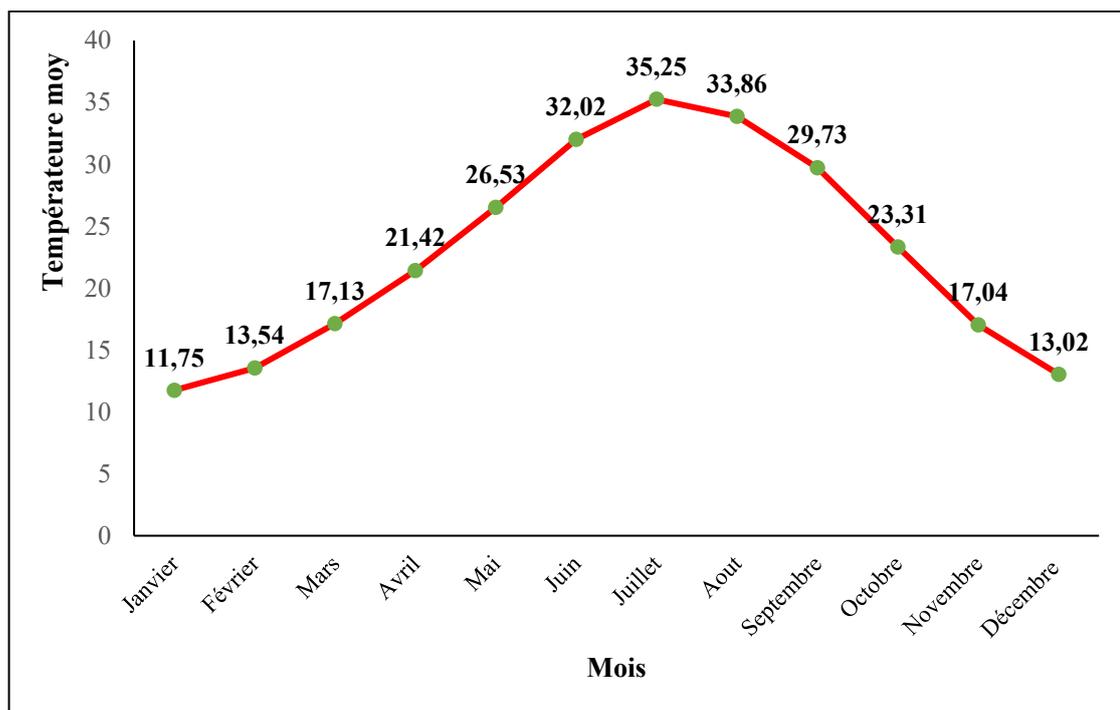


Figure 05 : Température Mensuelle de la région Ghardaïa (2015-2024).

4.2. Précipitations

Les zones arides se caractérisent par des précipitations très réduites et un degré d'aridité d'autant plus élevé que les pluies y sont plus rares, inférieures à 100 mm/an (DAJOZ, 1982).



Dans la région de Ghardaïa, les précipitations sont également rares et irrégulières, d'un mois à un autre et à travers les années. Les précipitations annuelles sont l'ordre de 39,71mm, avec un maximum en Avril de **10,49** mm (Tab. II ; Fig.06).

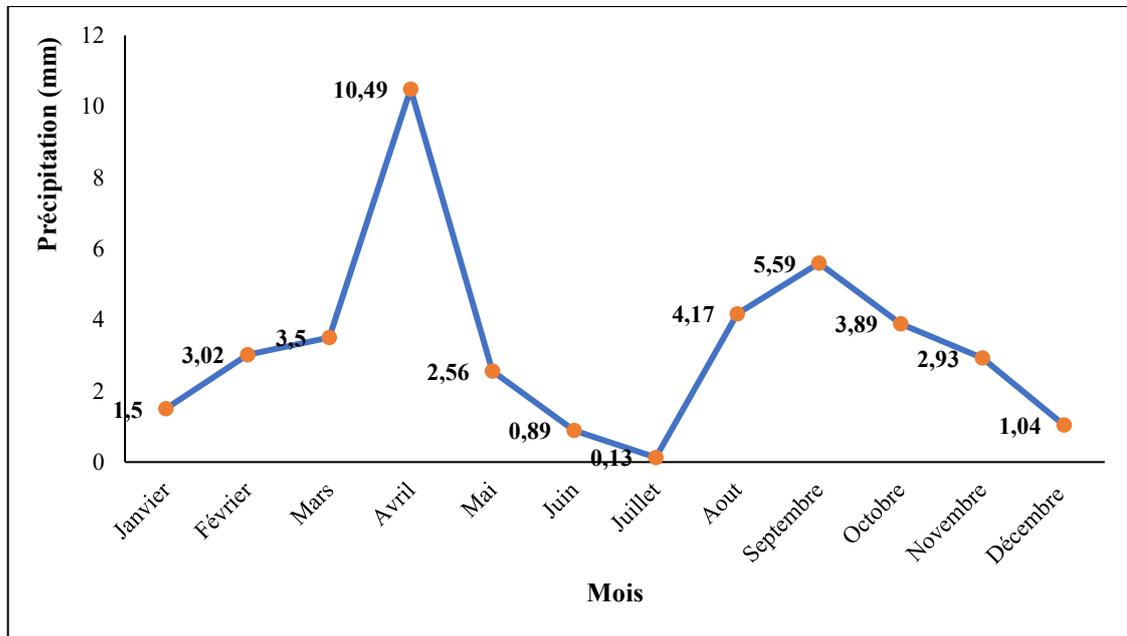


Figure 06 : Précipitation mensuelle de la région de Ghardaïa (2015-2024).

4.3. Vents

Dans les régions arides, les vents jouent un rôle primordial dans la formation des reliefs et des sols, dans la dégradation de la végétation et la destruction des sols par leurs vitesses et leurs fréquences, et sont très variables au cours de l'année (ROUVILLOISBRIGOL, 1975 ; BENHDID, 2022).

Les vents dans la région de Ghardaïa soufflent pendant toute l'année, avec des vitesses variables, allant d'un maximum de 16,58 Km/h en Avril et un minimum de 10,71Km/h en octobre, avec un moyen annuel de 13,08Km/h pour la région de Ghardaïa (Tabl. II, Fig.07).

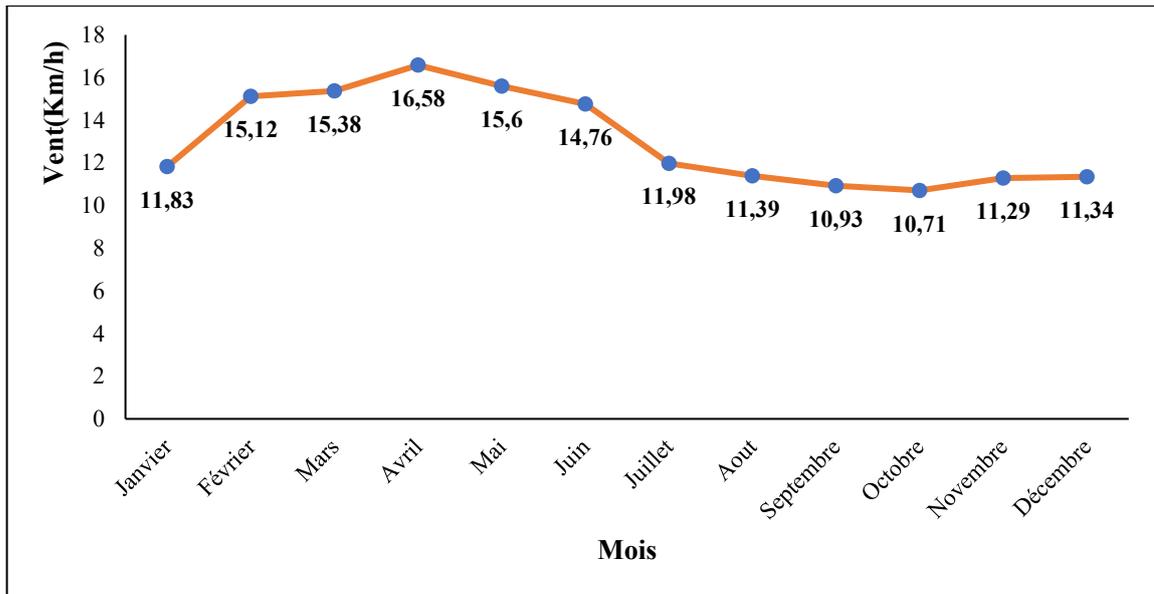


Figure 07 : Vitesse de vent mensuelles de la région de Ghardaïa (2015-2024).

4.4. Humidité relative de l'air

Dans notre région d'étude, l'humidité relative de l'air (Hr) est faible, avec une moyenne annuelle de 37,08%. Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année. En effet, pendant l'été, elle diminue au mois de juillet, sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds. Elle s'élève en hiver et atteint une moyenne maximale aux mois de décembre et (Tabl. II, Fig.08).

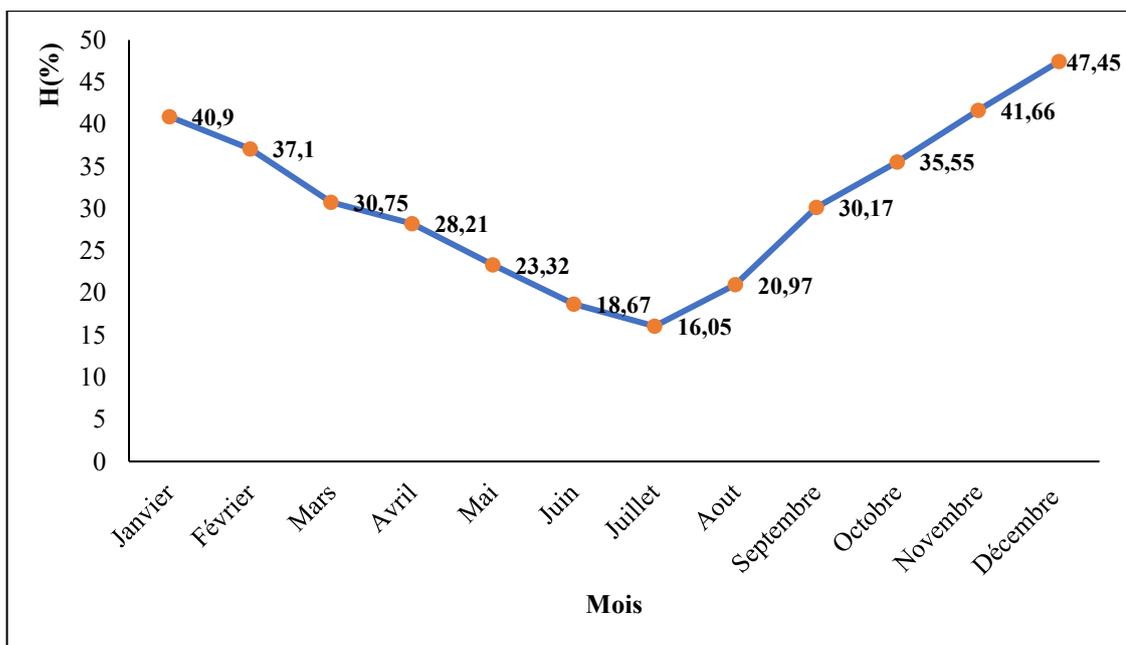


Figure 08 : Humidité mensuelles de la région de Ghardaïa (2015-2024).



4.5. Synthèse climatique

Pour caractériser le climat de notre région d'étude, nous avons utilisé le diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN et le climagramme d'EMBERGER

4.5.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Selon le tableau (Tabl. II) qui se base sur l'enregistrement des données de précipitations et des données de températures mensuelles sur une période de 10 ans, on peut établir la courbe pluviométrique dont le but est de déterminer la période sèche.

Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) permet de suivre les variations saisonnières. Il est représenté dans (Fig. 09).

Les mois de l'année sont représentés sur l'axe des abscisses.

- ♣ L'axe ordonné pour les précipitations en mm et les températures moyennes en °C.
- ♣ Une échelle de $P=2T$.
- ♣ L'aire comprise entre les deux courbes représente la période sèche. Dans la région de Ghardaïa nous remarquons que cette période s'étale sur toute l'année.

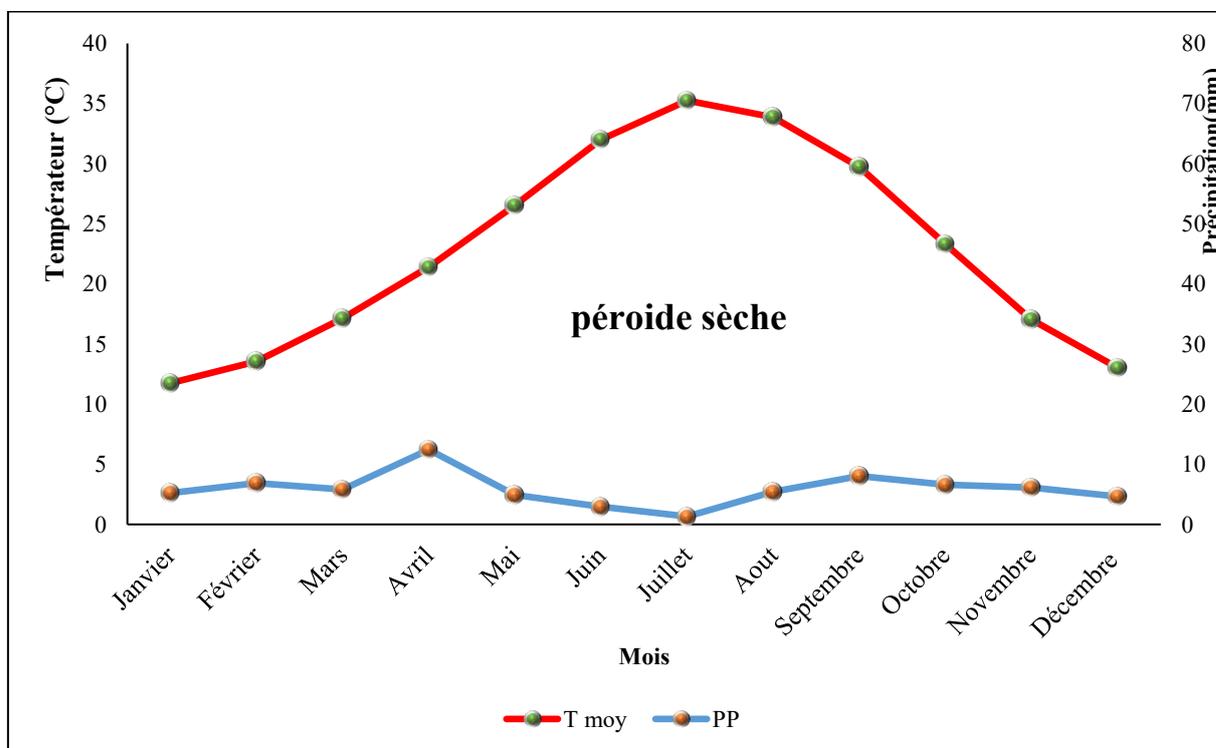


Figure 09 : Diagramme Ombrothermique de la région d'étude.



4.5.2. Climagramme d'EMBERGER

Emberger a établi quatre étages climatiques principaux en utilisant un indice climatique basé sur la pluviosité moyenne annuelle, la température minimale annuelle moyenne du mois le plus froid et la température maximale moyenne du mois le plus chaud. Ces étages sont approximativement définis en fonction des niveaux de précipitations annuelles suivants :

- Etage aride : 300-500 mm
- Etage semi-aride : 500-700 mm
- Etage subhumide : 700-1 000 mm
- Etage humide : > 1 000 mm (F. White 1986).

✚ D'après le quotient (Q_2) d'Emberger qui est développé en 1969 par la relation suivante

$$Q_2 = 3,43 \times P / (M-m)$$

Où :

- **Q** : est le facteur de précipitations d'Emberger
- **P** : Pluviosité moyenne annuelle en mm
- **M** : Moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud en °C
- **m** : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid en °C.

D'après la (Fig.10), notre zone d'étude est caractérisée par un climat saharien à hiver doux. Le quotient thermique (Q_2) pour la région de Ghardaïa est de 6,81.

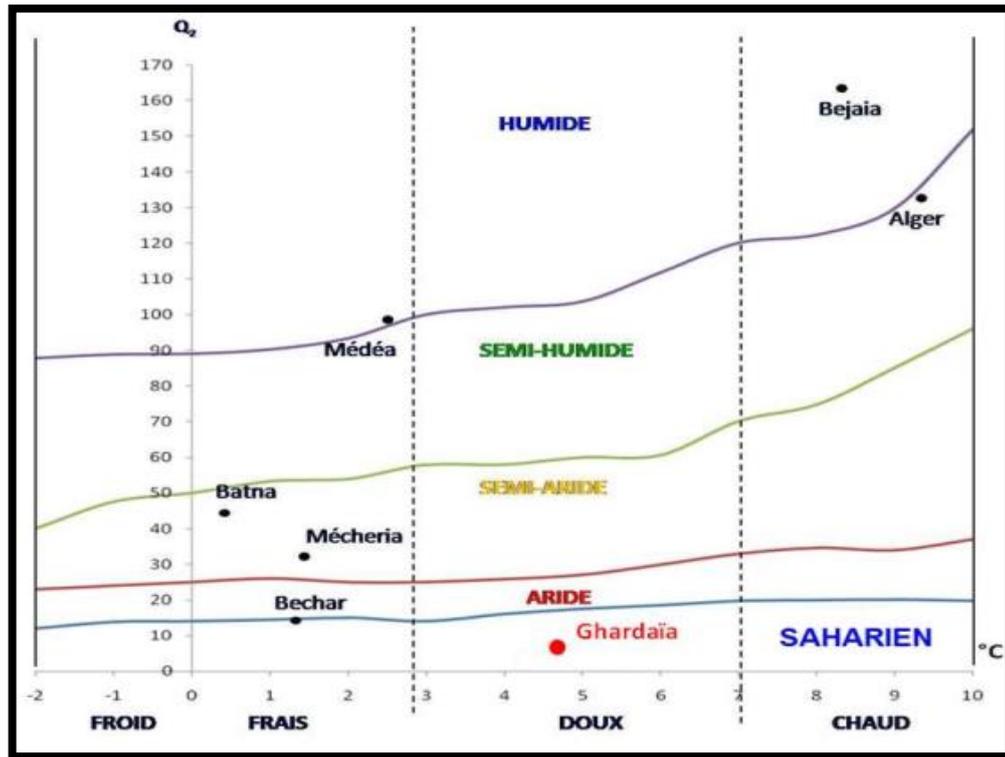


Figure 10 : Etage bioclimatique de la zone d'étude selon le Climagramme d'EMBERGER.

5. Géomorphologie

Dans la région de Zelfana, on peut distinguer deux types de formations géomorphologiques (D.P.S.B., 2020) :

- La Chabka ;
- La Hamada.

5.1. Chabka

La Chabka est un plateau crétacé rocheux et découpé en tous les sens par de petites vallées irrégulières, qui semblent s'enchevêtrer les unes des autres. Ces vallées sont plus ou moins parallèles. Leur pente est dirigée vers l'Est (D.P.S.B., 2020).

Dans la région de Ghardaïa Le plateau rocheux occupe une superficie d'environ 8000 Km², représentant 21 % de la région du M'Zab (COYNE, 1989). Vers l'Ouest, il se lève d'une manière continue et se termine brusquement à la grande falaise d'El Loua, qui représente la coupe naturelle et oblique de ce bombement.

Mis à part, Zelfana et Guerrara, les neuf autres communes (Ghardaïa, Berriane, Daïa, Bounoura, El Ateuf, Metlili, Sebseb, Mansoura) sont situées en tout ou en partie sur ce plateau (HAMEL, 2023).



5.2. Hamada

Hamada couvre la partie Est du territoire, le terrain est vaste à ondulations douces et amples et présente une légère pente vers l'Est, direction vers laquelle tendent toutes les vallées collectrices de la chebka, ici sans ramifications (HOUICHITI, 2009 ; HAMEL, 2023)

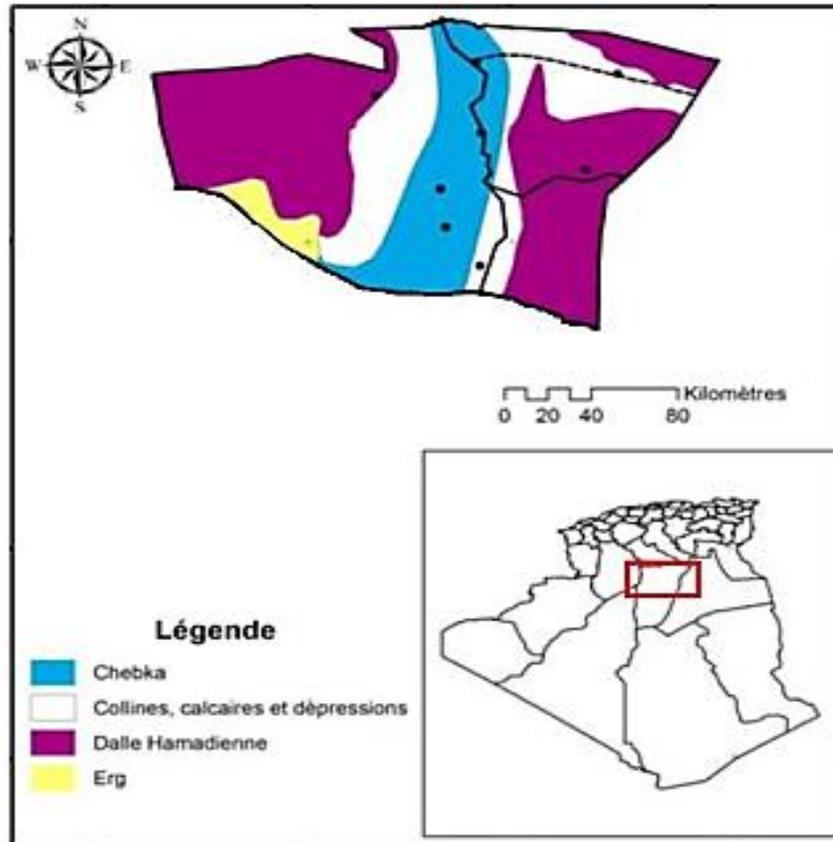


Figure 11 : Carte géomorphologique de la wilaya de Ghardaïa (KRAIMAT, 2019 ; modifiées)

6. Cadre physique

6.1. Pédologie

Dans le Sahara septentrional algérien, on trouve des sols dénudés par des mouvements éoliens violent laissant sur place des concentrations de matériaux grossiers d'ablation (reg) ou hamada.

Cet important agent morphogénétique qui est le vent, transporte les particules fines issues de l'altération mécanique des roches (fragmentation et ablation) pour former de vastes couvertures sableuses et des champs de dunes (erg) (BENSLAMA, 2021).

C'est le même processus qui se passe dans les sols des anciennes palmeraies de Zelfana qui sont des alluvions apportées par les crues de l'Oued M'Zab et mélangées avec les apports éoliens sévères. Ces sols sont peu à modérément calcaires, alcalins à fortement alcalins et présentent une faible teneur en matière organique avec une couleur jaunâtre révèle la dominance



d'un faciès gypseux et de plus ils sont le résultat des altérations géologiques du quaternaire et du mio-pliocène (BENSLAMA, 2021).

À l'issue des investigations géotechniques menées dans le cadre du Plan d'Occupation des Sols (P.O.S) de Zelfana, les principales conclusions suivantes ont été établies :

- Le secteur de Zelfana présente un sous-sol caractérisé par une propension à la fissuration progressive au fil du temps. Malgré cette particularité géologique, des projets d'urbanisation y sont envisagés.
- D'un point de vue topographique et climatique, la région se situe sur un terrain à découvert, à relief essentiellement plat, et est marquée par un climat semi-aride.
- En surface, le sol est composé majoritairement de sable mêlé à des éléments caillouteux et contient des fractions gypso-calcaires. À première vue, aucun signe manifeste d'instabilité n'a été relevé, à l'exception de l'observation mentionnée ci-après. Les forages carottés réalisés jusqu'à une profondeur de 9 mètres n'ont pas permis de détecter de nappe phréatique.
- Les résultats des analyses granulométriques indiquent une prépondérance notable de sable.
- Les analyses chimiques révèlent une teneur élevée en ions sulfatés, témoignant d'un potentiel agressif vis-à-vis des infrastructures de fondation (ZAOUI, 2018).

6.2. Hydrologie

Dans le désert non seulement les précipitations sont rares et irrégulière mais l'évaporation est considérable et plus importants que le niveau précipitations. La commune de Zelfana fait partie du bassin hydrographique du Sahara. Plus précisément à l'unité du Sahara septentrionale. (ZAOUI, 2018)

Les caractéristiques climatiques se répercutent directement sur l'hydrographie saharienne entraînant la rareté des eaux superficielles et l'importance des eaux souterraines. (ZAOUI, 2018)

Le climat dominant est-ce de Sahara qui est caractérisé par des hivers courts et rigoureux et des étés longs et chauds (ZAOUI, 2018).

Au cœur du Sahara on peut assister à des phénomènes inhabituels comme des inondations. Durant certaines années exceptionnelles, comme au début du siècle passé où en 1991 et en automne 1994 de violentes crues ont déferlé sur la vallée en causant de sérieux dégâts et aussi au dernier temps les crues d'Octobre 2008. L'oued M'Zab traverse la commune de Zelfana, il traverse la partie sud-ouest de la ville (ZAOUI, 2018).



6.3. Géologie

Du point de vue géologique, la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment "la dorsale du M'Zab" (A.N.R.H., 2009 ; HAMEL, 2023)

La région de Zelfana est à l'Est de la Chebka des M'Zab, le terrain est le résultat des formations Néogène et revente d'origine Quaternaire ou mio-pliocène, les formations Néogènes au niveau de Zelfana reposent sur des formations de calcaires et dolomies, parfois en alternance avec des formations meubles ou de marne (ZAOUI, 2018).

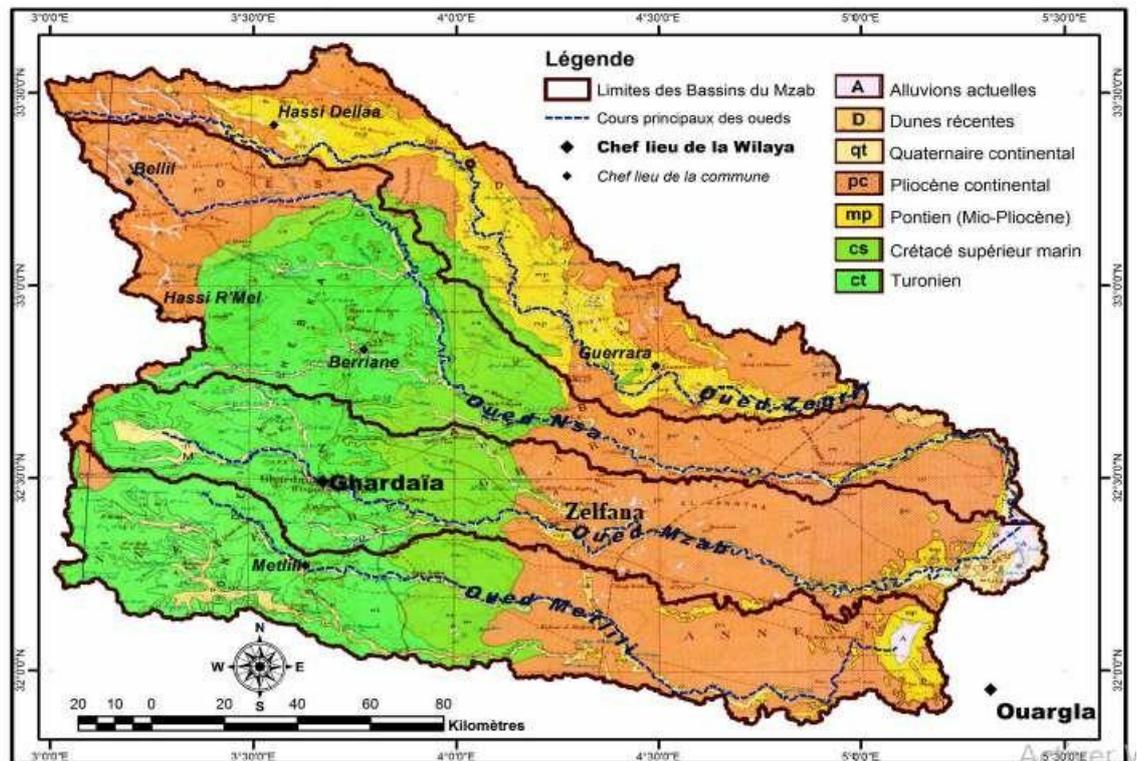


Figure 12 : Carte géologique du bassin du M'Zab (Extrait de S.C.G (1952), modifiée) (DJILI, 2018)

6.4. Hydrogéologie

Les principales ressources en eau de notre région d'étude sont d'origine souterraine. Elles sont contenues dans deux types d'aquifères, classées par leurs profondeurs : l'aquifère superficielle d'alluvionnaire quaternaire (nappe phréatique), et l'aquifère profond, Continental Intercalaire (Albien) (HAMEL, 2023).

6.4.1. Nappe phréatique

D'une manière générale, les vallées des oueds de la région sont le siège de nappes phréatiques. L'eau captée par des puits traditionnels d'une vingtaine de mètres de profondeur



en moyenne mais qui peuvent atteindre 50 m et plus, permet l'irrigation des cultures pérennes et en particulier des dattiers. L'alimentation et le comportement hydrogéologique sont liés étroitement à la pluviométrie (HAMEL, 2023).

La qualité chimique des eaux est comme suit (A.N.R.H, 2007 ; HAMEL, 2023):

- À l'amont, elle est bonne à la consommation.
- À l'aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les eaux urbaines.

6.4.2. Nappe du complexe terminal

Le complexe terminal (C.T) couvre une superficie de 665.000 km², il regroupe plusieurs aquifères à formation géologiques différentes, d'âge Turonien, Sénonien, Eocène et Mio-pliocène. Interconnectés entre eux, l'ensemble forme un même système hydraulique. Ces limites d'affleurement sont :

- Au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens.
- À l'Est, le long du flanc oriental du Dahar et du J. Nafusa en Tunisie.
- Au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït.
- À l'Ouest, sur la dorsale du M'zab (calcaires du Turonien), considérée comme une zone d'alimentation du CT (HAMEL, 2023).

La nappe est jaillissante au centre du bassin et libre sur les bordures. Elle est alimentée essentiellement par infiltrations des pluies exceptionnelles dans les sables Mio-pliocènes, ainsi que par les fréquents ruissellements le long des oueds descendant de l'Atlas saharien au Nord, et de l'Ouest, par les écoulements des oueds de la chebka du M'zab. Avec une épaisseur moyenne de 342 mètres et une porosité efficace de 5%, les réserves du CT sont évaluées à environ de 11.000 x10⁹ de m³ (OULD BABASY, 2005). Etant la limite de la nappe du CT est située plus à l'Est de la région du M'zab, cette dernière n'est pas captée avec succès dans la région de Ghardaïa. De ce fait, nous n'abordons en détail que la nappe du CI (OULED SIDI AMOR, 2016 ; HAMEL, 2023).

6.4.3. Nappe du continental intercalaire

La nappe du continental intercalaire (C.I) représente la principale ressource en eau de la région. L'aquifère est composé de sables, grès et d'argiles sableuses, d'âge Albien. Selon la région, elle est captée à une profondeur, allant de 250 à 1000 m.

La commune de Zelfana satisfait ses besoins en eau (A.E.P, A.E.I.), à partir de la nappe du continentale intercalaire (l'Albien). Les coupes géologiques et les différents sondages trouvés dans la documentation, montrent qu'on peut atteindre le toit de l'Albien à moins de



350m à l'Ouest de la commune, et entre 450m et 800m dans le reste de la commune. (ZAOUI, 2018)

Suivant l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au continental intercalaire, elle est (A.N.R.H, 2010) :

- Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage dans les zones de Zelfana, Guerrara, Hassi F'hel et Hassi Gara ;
- Exploitée par pompage dans les zones de Ghardaïa, Metlili, Berriane, Sebseb, Mansourah et certaines régions d'El Ménéea.

6.4.3.1. Caractéristiques de l'eau thermale de Hammam Zelfana

L'Algérie se distingue par son important potentiel en eaux thermo-minérales. On y recense un grand nombre de sources thermales principalement localisées dans les régions nord du pays, tandis que le sud abrite un vaste réservoir géothermique connu sous le nom de Continental Intercalaire, à partir duquel sont captées les eaux thermales exploitées à Zelfana. (ZAOUI, 2018)

Les propriétés hydrothermales telles que la profondeur, la température et la salinité des eaux dans cette région sont intimement liées à la nature géologique de cette formation. (ZAOUI ,2018)

- Le réservoir du Continental Intercalaire présente, dans les régions de Zelfana et Guerrara, un gradient de profondeur croissant du sud-ouest vers le nord-est, variant entre 400 m et 1000 m.
- Bien que la nappe soit de type artésien, elle subit un rabattement marqué sur l'ensemble de la région du M'Zab, phénomène attribué à une exploitation excessive de la ressource.
- Les eaux thermales issues de cette nappe sont de type chloruré sodique, affichant une température moyenne supérieure à 46 °C et une salinité avoisinante 1 g/l. (ZAOUI , 2018)

6.5. Agriculture

La superficie totale de la wilaya s'étend sur 2.616.522 hectares et se répartit comme suit :

- Superficie Agricole Totale (SAT) : 724.612 ha
- Superficie Agricole Utile (SAU) : 25254 ha - 100 % en irrigué
- Parcours : 700.541 ha.

L'activité agricole de la Wilaya de Ghardaïa est répartie en 02 secteurs :

- Un secteur traditionnel.
- Un secteur moderne regroupant :



- La mise en valeur des terres (APFA + concession) : 20 681 ha (D.S.A, 2021)

La superficie totale de la commune de Zelfana s'étend sur 194623 hectares et se répartit comme suit (D.P.S.B,2020) :

- Superficie Agricole Utile (SAU) : 1310 ha
- Parcours : 9830 ha.

La région de de Zelfana est caractérisé par le système oasien de l'ancienne palmeraie qui est caractérisé par une forte densité de plantation, palmiers âgés, une irrigation traditionnelle par séguias et des exploitations mal structurées et fortement morcelées (0.5 à 1.5 ha) Ce système caractérisé par des cultures étagées de palmiers dattiers, arbres fruitiers, maraîchage et fourrages en intercalaire des activités d'élevages familiaux sont souvent pratiquées avec des cheptels de petites tailles (ROUAS & BENDANIA, 2018 ;HAMEL, 2023).

Conclusion

La région de Ghardaïa, en particulier la commune de Zelfana, se caractérise par un climat saharien sec et chaud, avec des températures élevées, de faibles précipitations, des vents fréquents et une longue période sèche. Son relief plat, ses sols pauvres et sa nappe phréatique alimentant les eaux thermales définissent un cadre naturel fragile mais riche en potentiel. Ces eaux thermales, précieuses pour la santé et l'économie locale, nécessitent une gestion durable adaptée aux contraintes climatiques et hydrogéologiques de la région.

Chapitre II :
Matériels et Méthodes





1. Approche méthodologique

Notre approche méthodologique consiste à étudier la situation actuelle de la gestion des eaux thermales dans la région de Zelfana par une enquête sur terrain sur la gestion de ces eaux et des mesures physico-chimiques des eaux thermales durant quatre saisons. Ainsi que la classification de la qualité des eaux par rapport aux normes algérienne, O.M.S et les normes de F.A.O, afin de déterminer leurs aptitudes d'utilisation (Fig.13).

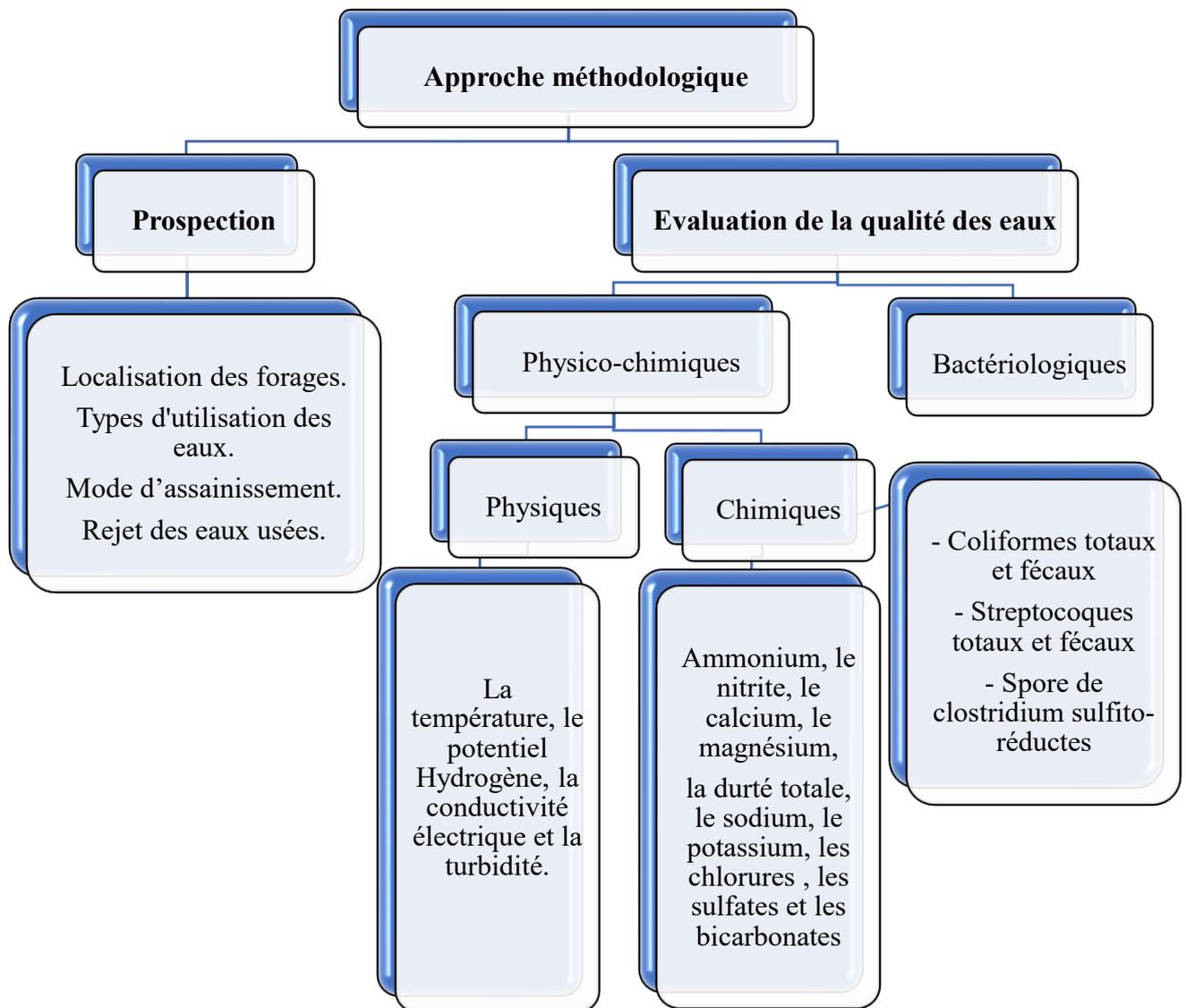


Figure13 : Approche méthodologique.



1.1. Prospection

Les enquêtes ont été réalisées parallèlement à la campagne d'échantillonnage des eaux. Elles ont pour but de collecter les renseignements sur le mode de gestion des eaux thermales dans la région de Zelfana. Notre plan d'enquête s'articule sur les paramètres suivants :

- Localisation des forages : sites agricoles, sites domestiques
- Type d'utilisation des eaux : Alimentation en eau potable, irrigation, irrigation et lavage, biennale.
- Mode d'assainissement : fosses septiques ou pas d'assainissement.

1.2. Exploitation

L'étude de la qualité eaux thermales dans la région de Zelfana consiste à effectuer pour huit forages des mesures hydro-chimiques et bactériologiques.

1.2.1. Localisation des forages

Le nombre d'échantillons dépend des moyens et des produits disponibles pour les analyses en laboratoire. Nous avons réalisé des analyses sur cinq forages les plus utilisés comme une eau potable dans la commune de Zelfana, pendant quatre saisons de (juillet,2024 à Avril,2025) une campagne d'échantillonnage pour trois forages destinés à l'irrigation pour le mois d'avril afin d'évaluer leur aptitude. Au total, huit forages ont été sélectionnés parmi les 26 forages destinées à Zelfana.

➤ Localisation des forages des eaux analysées

Les coordonnées géographiques de ces points sont mentionnées dans le tableau et la figure (Tabl. III ; Fig.14) suivants :



Tableau III: Localisations des forages des eaux analysées de la commune de Zelfana.

| N° de forage | Nom | Coordonnées | |
|--------------|-------------------|-------------|-------------|
| | | X | Y |
| 01 | Gouifla | 32°21 '28" | 04°15 '21" |
| 02 | Hay Moudjahidine | 32°23 '47" | 04°14 '10" |
| 03 | Route de Guerrara | 32°27 '19,5 | 04°10 '16,2 |
| 04 | Centre-ville | 32°23 '40" | 04°13 '17" |
| 05 | Mosalaha | 32°24 '21" | 04°13 '35" |
| 06 | Hassi nour | 32°24'39" | 04°15'21" |
| 07 | Gouifla 2 | 32°22'48" | 04°13'54" |
| 08 | Ngousset | 32°28'31" | 04°10'33" |

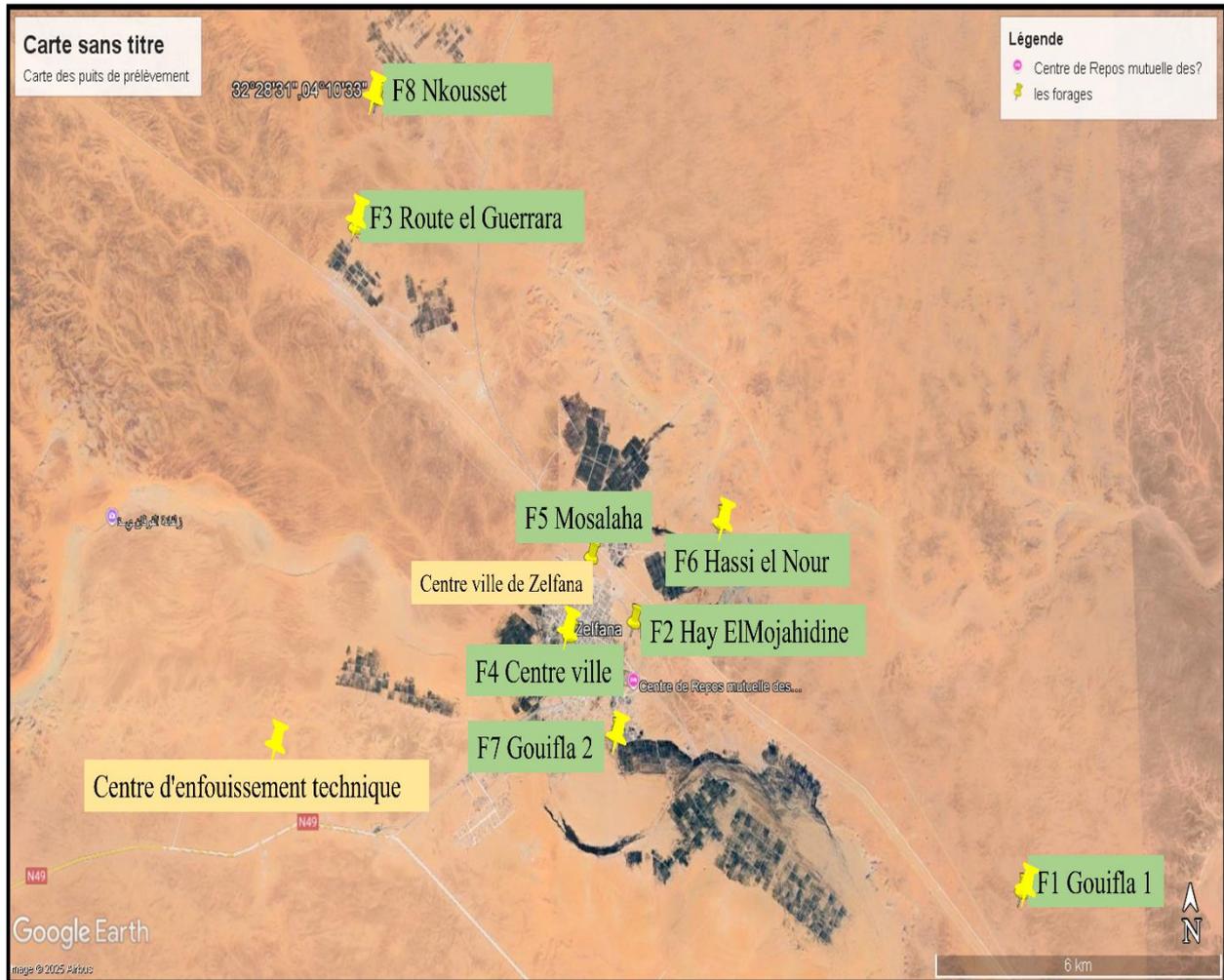


Figure 14 : Carte de localisation des forages utilisés (Google Earth).

1.2.2. Etude physico-chimique des eaux thermales

L'étude physico-chimique a été réalisée au cours de quatre campagnes d'échantillonnage des eaux, effectuées pendant quatre saisons été- automne de l'année 2024 durant les mois (juillet et novembre) et hiver- printemps de l'année 2025 durant les mois (février et avril).

A travers cette étude nous avons déterminé la qualité physico-chimique et la classification des eaux par rapport aux normes nationales (normes algériennes) et internationales (Normes de l'O.M. S et de F.A.O) (Annexe VI).

Les différentes analyses physicochimiques sont effectuées au niveau de laboratoire l'Algérienne Des Eaux (A.D.E) Ghardaïa, les paramètres étudiés sont : La température (T°), le potentiel Hydrogène (pH), la conductivité électrique (C.E), les paramètres de pollution des eaux



(la turbidité, l'ammonium (NH_4^+), le nitrite (NO_2^-), les composées ioniques (le calcium (Ca^{++}), le magnésium (Mg^{++}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^-) et les bicarbonates (HCO_3^-)).

Les prélèvements des échantillons des eaux sont effectués selon les normes de RODIER et *al.* (2009), mentionnant que cette opération est délicate, où à laquelle, le plus grand soin doit être apporté. Le mode de prélèvement conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

Pour prélever de l'eau de forage, nous avons d'abord purger le forage en laissant couler l'eau, cela permet d'éliminer l'eau stagnante et d'obtenir un prélèvement représentatif.

Les échantillons des eaux sont mis dans des flacons de 0,5 et 1,5 litre et étiquetés. Ils sont conservés dans une glacière pour assurer une conservation satisfaisante et transportés au laboratoire dans un délai court, ne dépassant pas 24 heures au maximum, selon les indications de RODIER et *al.* (2005).

Les résultats des analyses physico-chimiques obtenus ont été représentés sous forme des Graphes et des figures créés par Excel 2021.

Aussi les résultats obtenus nous permettent d'apprécier les faciès chimiques, et les risques de salinisation et de sodisation relatifs aux eaux thermales analysées.

Le faciès hydro-chimique est une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, il est évalué par le diagramme de PIPER. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes, conçu en 2009 au laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon par SIMLER Roland.

Pour classer des eaux thermales analysées, nous avons utilisé la classification de RIVERSIDE en utilisant le logiciel Diagrammes. Le diagramme de ce dernier utilise les valeurs du Sodium Adsorption Ratio (S.A.R) en combinaison avec la C.E de l'eau.

Le S.A.R s'exprime à partir des concentrations (en meq /l) des ions Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} dans les eaux selon la formule suivante, BENHEDID et *al.* (2019) :

$$\text{S.A. R} = (\text{Na}^+) / \sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) / 2}$$

1.2.3. Etude bactériologique

Les analyses bactériologiques des eaux sont effectuées dans la même période de prélèvements des eaux pour les analyses physico-chimiques pendant quatre saisons (de l'été de



2024 à l'automne de 2025) qui ont mis dans des flacons en verre de 250 ml stérilisés, sont conservés dans une glacière et transportés au laboratoire de l'A.D.E. de Ghardaia.

Selon RODIER *et al.* (2009), l'objectif de l'analyse bactériologique des eaux n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes, mais de rechercher celles qui sont susceptibles d'être pathogènes. Les paramètres bactériologiques étudiés sont les coliformes totaux et fécaux, les streptocoques totaux.

Les résultats des analyses bactériologiques obtenus sont représentés sous forme de graphes créés par Excel 2021.

2. Méthodes d'analyses

La détermination des paramètres étudiés est obtenue suivant les méthodes d'analyses suivantes :

2.1. Paramètres physiques

2.1.1. Conductivité électrique, température, salinité et TDS

La conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductimètre et ramené à la température de 25°C.

La conductivité d'une solution est un paramètre global qui dépend de la concentration totale des ions présents. Plus une solution contient de sels, d'acides ou de bases dissous, plus sa conductivité est élevée. L'unité de mesure de la conductivité est le microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Mesure de la conductance électrique d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes de platine (Pt) (ou couvertes de noir de platine) maintenues parallèles.

Si R est la résistance de la colonne d'eau en ohms.

S sa section en cm^2 et l sa longueur en cm.

La résistivité électrique en ohms-cm est :

$$P=R \frac{S}{l}$$

La conductivité électrique en S/cm est :

$$V=\frac{1}{P}=\frac{1}{R} \cdot \frac{1}{S}$$



$\frac{1}{s}$ Est appelé constante de l'élément de mesure (ISO, 1984)

2.1.2. Potentiel d'Hydrogène

La mesure électrométrique du potentiel d'Hydrogène (pH) repose sur l'évaluation du potentiel électrique généré entre une électrode en verre sensible aux ions hydrogène et une électrode de référence (de type calomel saturé en KCl), toutes deux immergées dans la même solution à analyser par un pH mètre. (RODIER et *al.*, 2009).



Photo 01 : pH mètre. (Original,2025)

2.1.3. Turbidité

La turbidité est évaluée par la méthode néphélométrique à l'aide d'un néphélomètre, qui quantifie l'intensité de la lumière diffusée à un angle de 90° par rapport au faisceau incident, en raison de la présence de particules en suspension dans l'échantillon (CEAEQ, 2016).



Photo 02: Conductivité mètre (Original,2025)

2.2. Analyses chimiques

2.2.1. Paramètres de pollution chimiques des eaux

2.2.1.1. Ammonium

Mesurage spectrométrique du composé bleu former par réaction de L'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium. Les ions hypochlorite sont générés in situ par hydrolyse alcaline du sel de sodium du dichloroisocyanurate de sodium (A.D.E, 2025)

◆ Mode opératoire :

- ☛ Dans des fioles de 50 ml mettre 40 ml l'eau à analyser
- ☛ Ajouter 4 ml réactif coloré
- ☛ Ajouter 4 ml solution dichloroisocyanurate de sodium
- ☛ Compléter le reste avec de l'eau distillée jusqu'à 50 ml
- ☛ Rester 1h et l'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de : NH_4^+
- ☛ Verser les solutions des fioles dans les cuvettes de 10 ml et mettre les dans l'appareil de spectrophotomètre U-V

Expression des résultats : Effectuer la lecture à 655 nm (A.D.E, 2025).



Photo 03: Dosage d'ammonium (Original, 2025)

2.2.1.2. Nitrites

En milieu acide, les nitrites réagissent avec l' amino-4-benzènesulfonamide par une réaction de diazotation, suivie d'une copulation avec le dichlorure de N-(1-naphtyl) éthylènediamine, conduisant à la formation d'un complexe coloré pourpre, dont la concentration peut être déterminée par spectrophotométrie. (RODIER *et al.*, 2009)

❖ Mode opératoire :

- ☛ Mettre dans une fiole 50 ml eau distillée témoin.
- ☛ Dans les autres fioles 50 ml eau à analyser.
- ☛ Ajouter 1 ml réactif mixte (dosage de nitrite NO_2^-).
- ☛ Fermer les fioles et agiter (Reste 20 min).
- ☛ L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- .
- ☛ Verser les solutions des fioles dans les cuvettes de 10 ml et mettre les dans l'appareil de spectrophotomètre
- ☛ Effectuer la lecture à 543 nm.
- ☛ Le résultat est donné directement en mg/l (A.D.E, 2025).



2.2.1.3. Fer

Une solution de 1,10-phénanthroline est ajoutée à l'échantillon, permettant la formation d'un complexe de couleur rouge-orangé avec le fer ferreux (Fe^{2+}). L'intensité de ce complexe est mesurée par photométrie à une longueur d'onde de 510 nm. Ce complexe demeure stable dans une plage de pH comprise entre 2,5 et 9, et l'absorbance enregistrée est proportionnelle à la concentration en fer présent dans la solution (A.D.E, 2025).

◆ **Mode opératoire :**

- ☛ Dans une fiole de 100 ml mettre 50 ml l'eau à analyser
- ☛ Par pipette graduée ajouter les réactifs

1- 0.5 ml H_2SO_4

2- Nettoyer la pipette par l'eau distillée, et ajouter 1 ml de chlorhydrate d'hydroxylamine

3- Ajoute 2 ml tampon acétate

4- Ajouter 2 ml phénanthroline

- ☛ Fermer la fiole et mélanger puis mettre la solution 15 min dans l'obscurité
- ☛ Après Verser la solution de fiole dans une cuvette de 10 ml et mettre la dans l'appareil

de spectrophotomètre et lire le résultat (A.D.E, 2025).

2.2.2. Composition ionique des eaux

2.2.2.1. Sulfates

Les ions (SO_4^{2-}) sont précipités à l'état de sulfate de baryum et évalués gravimétriquement (RODIER et *al.*, 2009).

◆ **Mode opératoire :**

- Mettre 100 ml d'eau à analyser dans un bicher ajouter 5 ml de Hcl de 10 %
- Laisser la solution sur plaque chauffe jusqu'à ébullition
- Dans la haute ajouter 20 ml de BaCl_2 (goûte à goûte) jusqu'à la couleur devient
- Ajouter AgNO_3 jusqu'à la solution devient transparente



- Verser la solution dans un filtre sondrie puis brûler le filtre et le peser (A.D.E,2025).

2.2.2.2. Chlorures

Les ions chlorure réagissent avec les ions argent pour former un précipité blanc de chlorure d'argent, peu soluble et déposé de manière quantitative. Un léger excès d'ions argent est ensuite ajouté, entraînant la formation d'un précipité brun-rouge de chromate d'argent en présence d'ions chromate, utilisés ici comme indicateur de fin de réaction. Le virage est ainsi détecté visuellement. Le titrage est réalisé dans une plage de pH comprise entre 5 et 9,5 afin d'assurer une précipitation optimale. (A.D.E, 2025).

◆ Mode opératoire

- Dans flacon erlenmeyer de 200 ml mettre 100 ml de l'eau à analyser
- Ajouter 3 gouttes de chromate de potassium K_2CrO_4 (coloration jaunâtre).
- Titrer la solution avec du nitrate d'argent $AgNO_3$ (0.02 mol/l) jusqu'à coloration brun rougeâtre, qui est le point de fin de titrage ;
- Effectuer un essai en blanc.
- Noter le volume d' $AgNO_3$ de la burette.

$$P_{Cl} = \frac{(V_s - V_b) \times C \times F}{V_a}$$

P_{Cl} : est la concentratio en milligramme par litre de chlorure.

C : est la concentration réelle exprimée en moles d' $AgNO_3$ par litre, de la solution de nitrate d'argent (0.02 mol/l).

F : Facteur de conversion (35453mg/mol).

V_a : est le volume, en millitres de l'échantillon por essai (maxiumum 100 ml ; les dilutions doivent etre prise en compte).

V_b : est le volume, en millitres de solution de nitrates d'argent utilisée pour le titrage de du blanc.



V_s : est le volume, en millilitres de solution de nitrates d'argent utilisée pour le titrage de du l'échantillon (A.D.E, 2025).



Photo 04 : Dosage des chlorures (Original,2025)

2.2.2.3. Bicarbonates

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaires pour neutraliser, aux niveaux de pH 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. la première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (T.A), La seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (T.A.C) (A.D.E, 2025).

◆ Mode opératoire :

- ☛ Dans flacon erlenmeyer de 200 ml mettre 50 ml l'eau à analyser et 50 ml l'eau distillée
- ☛ Ajouter 3 gouttes de vert de promocisol
- ☛ Utiliser une burette graduée de 50 ml HCl pour titrage
- ☛ Ouvrir le robinet, et faire le titrage jusqu'à la couleur de solution est change (jaune claire)
- ☛ Noter le volume de HCl qui descendre (A.D.E, 2025).



Photo 05: Dosage de bicarbonates (Original,2025)

2.2.2.4. Sodium et potassium

La détermination des concentrations en sodium et potassium est réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre à émission de flamme. L'échantillon est introduit dans une flamme alimentée au gaz, dont l'énergie thermique permet d'exciter les atomes présents, induisant l'émission de radiations spécifiques. L'intensité des signaux émis est mesurée à 589 nm pour le sodium (Na^+) et à 766,5 nm pour le potassium (K^+) (ISO, 1993).

◆ Mode opératoire :

En fonction de la teneur de l'élément à analyser dans l'échantillon aqueux, une dilution préalable peut s'avérer nécessaire afin d'assurer une mesure dans la plage de linéarité de l'appareil. Pour limiter les interférences éventuelles dues à la présence de composés exogènes, des tampons de rayonnement sont ajoutés. L'échantillon ainsi préparé est introduit par nébulisation dans une flamme air-acétylène, avec insertion d'eau permutée entre chaque solution analysée. Les concentrations en sodium sont déterminées à l'aide d'un spectromètre d'émission de flamme, à une longueur d'onde de 589 nm, après étalonnage de l'instrument et ajustement du blanc avec de l'eau déminéralisée. L'analyse du potassium est quant à elle réalisée à 766,5 nm dans une flamme légèrement oxydante, en utilisant de l'eau ultrapure entre les mesures pour éviter toute contamination croisée (RODIER et *al.*, 2009).

2.2.2.5. Calcium

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse de l'E.D.T.A à un pH compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est le HSN, qui forme un complexe rose avec le calcium. Lors du



titrage, l'E.D.T.A réagit avec les ions calcium, l'indicateur vire alors de la couleur rose à la couleur violet (A.D.E, 2025).

◇ **Mode opératoire :**

- ☛ Dans erlenmeyer de 100 ml mettre 25 ml d'eau à analyser et 25 ml eau distillée
- ☛ Ajouter 2 ml Hydroxyde de sodium NaOH
- ☛ Ajouter une pince de HSN
- ☛ Ouvrir le robinet, et faire le titrage jusqu'à la couleur de solution est change à l'aide d'une burette graduée de 25 ml titrer la solution avec l'E.D.T. A jusqu'au virage (violet) (A.D.E, 2025).

Vs : le volume d'EDTA de titrage

F : Facteur de dilution

$$CCa = V_s \times F \times 8.016$$



(Bouزيد et Abdelali, 2025)



(Bouزيد et Abdelali, 2025)

Photo 06: Dosage de calcium (Original,2025)

2.2.2.6. Magnésium

Le Mg²⁺ peut être estimé par la différence entre la dureté totale et le calcium (RODIER et al. 2009). Est exprimé par cette équation :



$TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] \Rightarrow [Mg^{2+}] = TH - [Ca^{2+}]$ Avec $[Mg^{2+}]$ en mg/l de $CaCO_3$ (A.D.E, 2025).

2.2.2.7. Dureté totale

Les ions alcalino-terreux présents dans l'échantillon aqueux forment, à pH 10, des complexes stables de type chélate avec l'acide éthylènediaminetétraacétique (E.D.T.A) sous sa forme di-sodique. L'achèvement du complexage est révélé par le changement de couleur d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome T. Dans un milieu tamponné de manière appropriée pour éviter la précipitation du magnésium, cette méthode permet la détermination conjointe des ions calcium et magnésium (RODIER et *al.*, 2009).

◆ **Mode opératoire :**

- ☛ Prendre 25 ml d'échantillon et le diluer avec 25 ml d'eau distillée dans flacon erlenmeyer de 100ml
- ☛ Ajouter 4 ml de solution tampon
- ☛ Ajouter une pince de Mordant noir puis titrier avec l'EDTA en remuant continuellement jusqu'à disparition de la couleur pourpre jaunâtre et l'apparition de la couleur bleue (fin du titrage) . Noter le volume d'E.D.T.A utilisé (ml) (A.D.E, 2025).

$$CTH = 20 \times V_s \times F$$

V_s : le volume de EDTA qui descendre

F : dilution



Photo 07 : Dosage de dureté totale (Original,2025)



◆ Mesures et calcul du résultat

Le titre alcalimétrique simple (T.A) et le titre alcalimétrique complet (T.A.C), exprimés en mg/l par litre sont donnés respectivement par les expressions (A.D.E, 2025) :

$$\text{T.A} = (V1 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des carbonates} / V$$

$$\text{T.A.C} = (V2 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des bicarbonates} / V$$

Masse molaire des bicarbonates = 61mg Masse molaire
des carbonates = 60 mg.

2.3. Analyses bactériologiques

L'évaluation de la qualité bactériologique de ces eaux repose essentiellement sur la recherche et le dénombrement des indicateurs de contamination d'origine fécale. Les plus utilisés sont les coliformes totaux, les coliformes fécaux (ou *Escherichia coli*) et les streptocoques fécaux. Ces germes indicateurs permettent d'apprécier indirectement la présence éventuelle d'agents pathogènes.

La méthode de filtration sur membrane, c'est la méthode la plus utilisée pour la détection et le dénombrement des indicateurs de contamination fécale dans les eaux (IPA, 2006). Cette technique, permet de concentrer les microorganismes sur une petite surface. L'échantillon d'eau à analyser est filtré à travers une membrane de filtration ayant une porosité de 0,45 μm et un diamètre de 47 mm. La membrane est ensuite placée sur un support de filtration. Après la filtration, la membrane est déposée sur un milieu gélosé (RODIER et *al.*, 2009).

2.3.1. Coliformes totaux

Le groupe des coliformes englobe une gamme de bactéries aérobies et anaérobies facultatives, de forme bacillaire, à Gram négatif, qui ne forment pas de spores et sont négatives pour le cytochrome oxydase. Ce groupe est caractérisé par sa capacité à fermenter le lactose, produisant ainsi du gaz, dans un délai de moins de 48 heures à une température de 35°C (DESJARDINS, 2010).



2.3.2. Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux (aussi appelés *coliformes thermotolérants*) sont des bactéries qui répondent aux mêmes caractéristiques que les coliformes totaux, mais qui fermentent le lactose à une température de 44-45 °C (RODIER et al, 2009).

2.3.2. 1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux

La détection des coliformes totaux et fécaux a été effectuée conformément aux recommandations de l'IPA (2006). Le dispositif de filtration, comprenant un entonnoir et une membrane filtrante de porosité 0,45 µm (ou 0,22 µm selon le type d'analyse), a été préalablement stérilisé à la flamme puis refroidi aseptiquement à l'aide d'eau distillée stérile. Un volume de 100 mL d'eau a ensuite été filtré sous vide. La membrane est déposée, toujours aseptiquement, sur un milieu sélectif en boîte de Petri, puis incubée à la température appropriée (36 ± 2 °C pour les coliformes totaux, 44 °C pour les coliformes fécaux). Après incubation, les colonies caractéristiques sont comptées et exprimées en UFC/100 mL

Pour confirmer l'identité des colonies, des tests biochimiques complémentaires sont réalisés sur des colonies présumées :

- **Test à l'oxydase** : effectué sur gélose TSA après 24 h d'incubation. Les coliformes sont négatifs à l'oxydase (absence de coloration violette).
- **Test à l'indole** : effectué sur bouillon tryptophane incubé à 42 °C, suivi de l'ajout de réactif de Kovacs. La présence d'un anneau rouge traduit la production d'indole, caractéristique d'*Escherichia coli*.

Les résultats sont interprétés selon les critères suivants (IPA, 2006) :

- Coliformes totaux : colonies lactose positives, oxydase négative, indole négatif.
- *Escherichia coli* : colonies lactose positives, oxydase négative, indole positif à 44 °C.
- le résultat final sera exprimé selon l'équation suivante (IPA, 2006):

$$a = (b \div A) \times C$$

Où : b : nombre de colonies caractéristiques présumées dans la boîte.



A : nombre de colonies repiquées.

C : nombre total de colonies trouvées dans la boîte.

2.3.1.2. Recherche des streptocoques fécaux

Le dénombrement des streptocoques fécaux est également réalisé par filtration sur membrane, suivie d'un double test de confirmation (IPA, 2006). Après filtration, la membrane est déposée sur un milieu sélectif Slanetz & Bartley et incubée à 36 ± 2 °C pendant 48 h. Les colonies suspectes apparaissent rouges, brunes ou roses. Pour confirmer l'identité, la membrane est transférée sur un milieu BEA (Bile Esculine Azide) préchauffé et incubée à 44 °C pendant 2 h. La coloration noire des colonies traduit l'hydrolyse de l'esculine. Enfin, l'absence de bulles d'air après ajout d'eau oxygénée (H₂O₂) permet de confirmer la présence de streptocoques fécaux (Annexe IV).

Chapitre III :
Résultats et discussion





Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats de notre étude, qui commence par la prospection de terrain menées sur le mode de gestion des eaux thermales dans la région de Zelfana. Ensuite, les analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux les plus utilisées par la commune où on a fourni les résultats suivants :

1. Résultats de la prospection

Le développement urbain progressif de la ville de Zelfana, associé à la dynamique touristique et à la croissance socio-économique de la région, place la commune face à plusieurs défis, au premier rang desquels figure la problématique de la gestion des ressources en eau. La demande en eau connaît une augmentation constante, tandis que les ressources disponibles, de même que le système actuel d'alimentation en eau, peinent à répondre aux besoins croissants de la population.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude, dont l'objectif est d'établir un diagnostic approfondi et de proposer un schéma directeur de gestion durable des ressources hydriques dans la commune de Zelfana.

1.1. Exploitation

Depuis le forage du premier puits en 1956, la commune de Zelfana a connu une dynamique d'urbanisation notable, attirant des populations issues des localités voisines telles que Metlili, Ghardaïa et Ouargla. Ces nouveaux arrivants, majoritairement constitués d'agriculteurs et d'éleveurs, se sont installés dans la région pour y exercer leurs activités traditionnelles, principalement axées sur la culture des palmeraies.

L'ensemble des forages jusqu'à aujourd'hui de la commune de Zelfana sont revenus à 26 forages (Annexe V) qui sont mentionnées dans la carte (Fig.15) suivante :

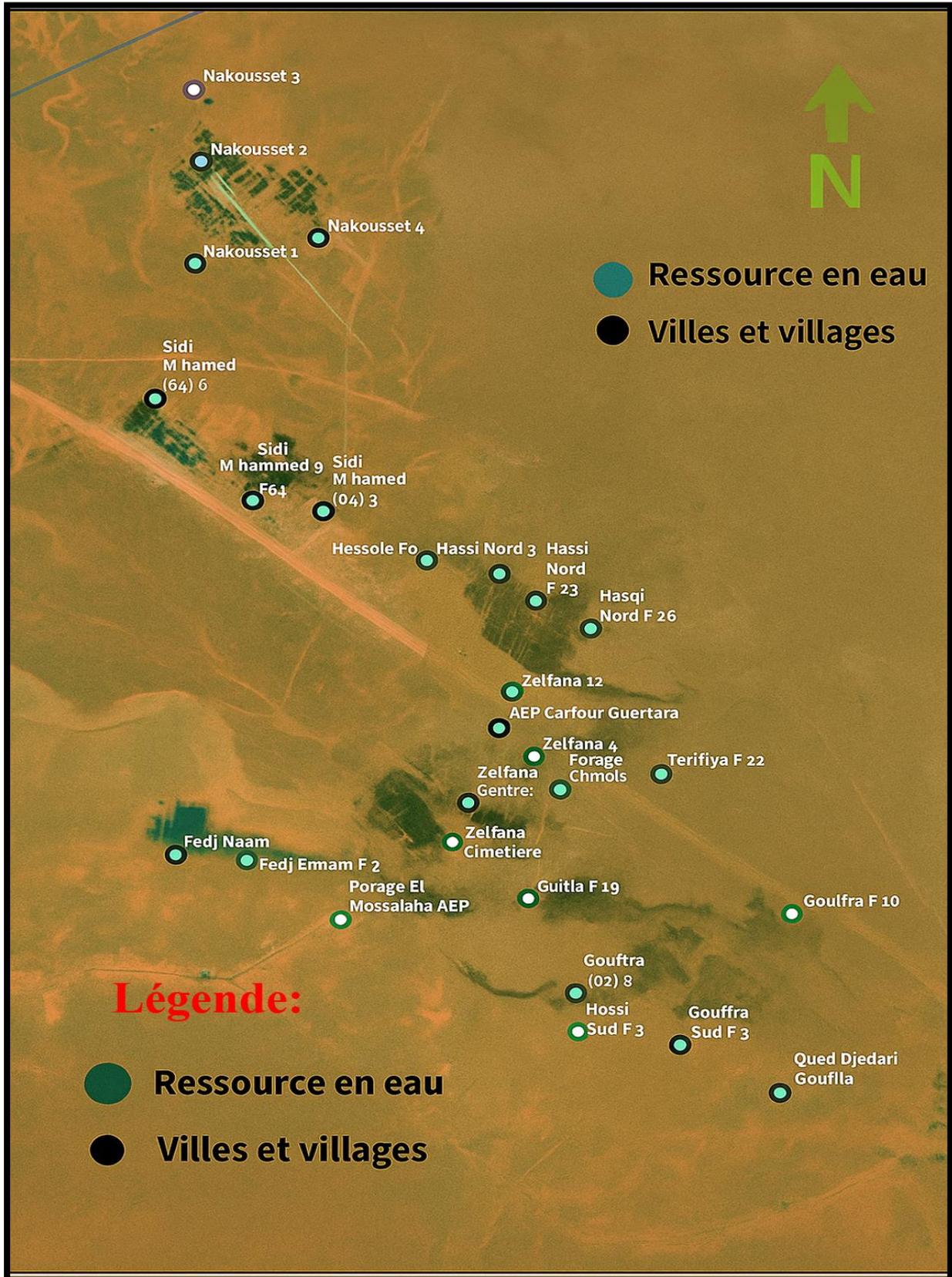


Figure 15 : Localisation des forages de la commune de Zelfana wilaya de Ghardaia (Google Earth)



Ces Forages sont variés entre deux principaux types d'exploitation humaine parmi les quelle 69% des eaux de ces forages sont destinées au l'irrigation et 31% de ces eaux sont destinées à l'alimentation d'eau potable (Fig.16)

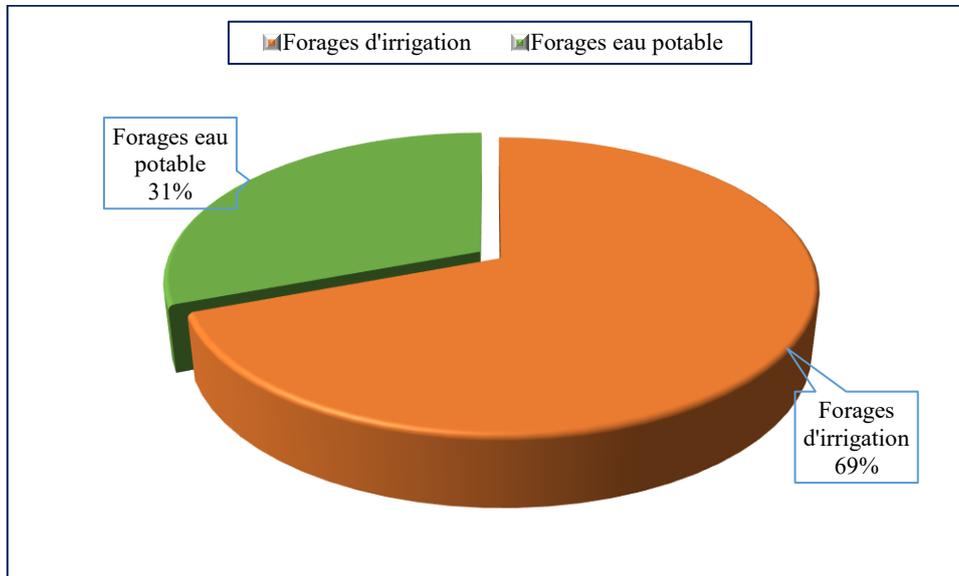


Figure 16 : Variation des Forages de la commune de Zelfana wilaya de Ghardaia.

D'après la figure (Fig.16) on remarque que la répartition des forages à Zelfana en 2025 montre que :

69 % des forages sont dédiés à l'irrigation, par contre seulement 31% pour l'eau potable. Cette répartition traduit une priorité donnée à l'agriculture, activité fortement ancrée dans l'économie locale, notamment dans un contexte saharien où la gestion de l'eau est cruciale pour la pérennité des cultures oasiennes.

Néanmoins, cette priorité accordée à l'irrigation exerce une pression considérable sur les ressources en eaux souterraines thermales, compromettant ainsi la disponibilité de l'eau destinée à la consommation domestique.

Face à cette situation, les autorités locales de la commune de Zelfana ont mis en place un dispositif de gestion spécifique des ressources hydriques allouées à l'irrigation, consistant de gérer leur utilisation d'une façon limitant l'accès à l'eau et autorisé (07) heures pour chaque (08) jours.

1.2. Localisation des forages

Pour la région de Zelfana, la cartographie des 26 forages (Fig.,15) étudiés permet de distinguer deux grandes catégories d'occupation du sol autour des points de prélèvement (Fig.17) : zones agricoles et zones agro-urbaines. Sur l'ensemble des forages, on observe que 63 % (Nakouset 1, Nakouset 2, Nakouset 3, Nakouset 4, Sidi M'hamed O3 6, Sidi M'hamed



O3 5, Sidi M'hamed O3 2, Hessiaye F6, Hassi Nord 1, Hassi Nord, Hasni Nord F26, Fedj Naam, Fedj Ennami F27, Guifla F19, Guifla F10, Hassi Sud F21, Tenfiya F22, Oued Djedari Guifla) sont situés dans des zones agricoles pures, en lien direct avec les cultures irriguées et les périmètres agricoles.

En revanche, 37 % des forages (Zelfana 12, Zelfana centre, Zelfana cimetière, AEP Carrefour Guerrara, Forage E.L. Mosalaha AEP, Forage F24, Gouifla (O3) 7, Gouifla (O3) 8) se trouvent dans des zones à usage mixte, regroupant à la fois des besoins domestiques, thérapeutiques et agricoles. Ces forages sont étroitement associés aux infrastructures urbaines et thermales, notamment dans le centre de Zelfana, où ils desservent les établissements de bains, hôtels et centres touristiques, soulignant ainsi l'importance économique du thermalisme dans la dynamique locale.

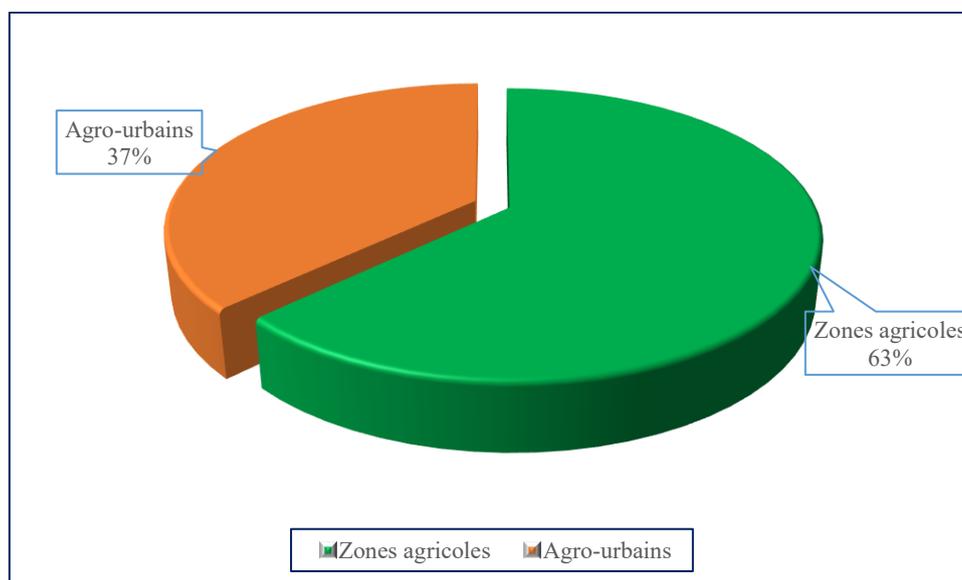


Figure 17 : Répartition des forages étudiée dans la zone d'étude.

Cette répartition spatiale permet une meilleure gestion des ressources en eau, limitant les conflits d'usages entre les secteurs agricoles et urbains, et favorisant une utilisation durable de la ressource géothermale dans un contexte aride.

1.3. Usages

L'étude des usages des eaux thermales des vingt-six forages de la région de Zelfana révèle une variabilité fonctionnelle étroitement liée à leur implantation géographique et au profil socio-économique des zones desservies. D'après les résultats des observations



cartographiques (Fig.15) et les données collectées sur le terrain, trois principaux types d'utilisation ont été identifiés (Fig.18)

- 50 % des forages (Nakousset 1, Nakousset 2, Nakousset 3, Nakousset 4, Fedj Naam F27, Sidi M'hamed (O3) 6, Sidi M'hamed (O3) 5, Sidi M'hamed (O3) 2, F25, Hessaïe F6, Hassi Nord 1, Hassi Nord, Hasni Nord F26, Guifla F19) sont affectés principalement à l'irrigation agricole, traduisant la forte dépendance de l'agriculture locale vis-à-vis des ressources souterraines.
- 35 % des forages (Guifla (O3) 7, Guifla (O3) 8, Hassi Sud F21, Forage E.L. Mossalaha AEP, AEP Carrefour Guerrara, Zelfana 9 Forage Chinois, Tenfiya F22, Oued Djedari Guifla) présentent un usage agro-domestique mixte, combinant irrigation, lavage et parfois alimentation humaine pour les besoins domestiques, bien que cette dernière fonction reste souvent secondaire et conditionnée par des préoccupations sanitaires.
- 15 % des forages, soit quatre sites (Zelfana 12, Zelfana centre, Zelfana cimetière, Forage F24), témoignent d'un usage multiple, intégrant les usages thermaux et thérapeutiques, le lavage, l'irrigation et ponctuellement la fourniture d'eau potable pour des installations spécifiques. Cet usage diversifié reflète l'importance historique et socio-économique des eaux thermales dans la région. (Fig.18)

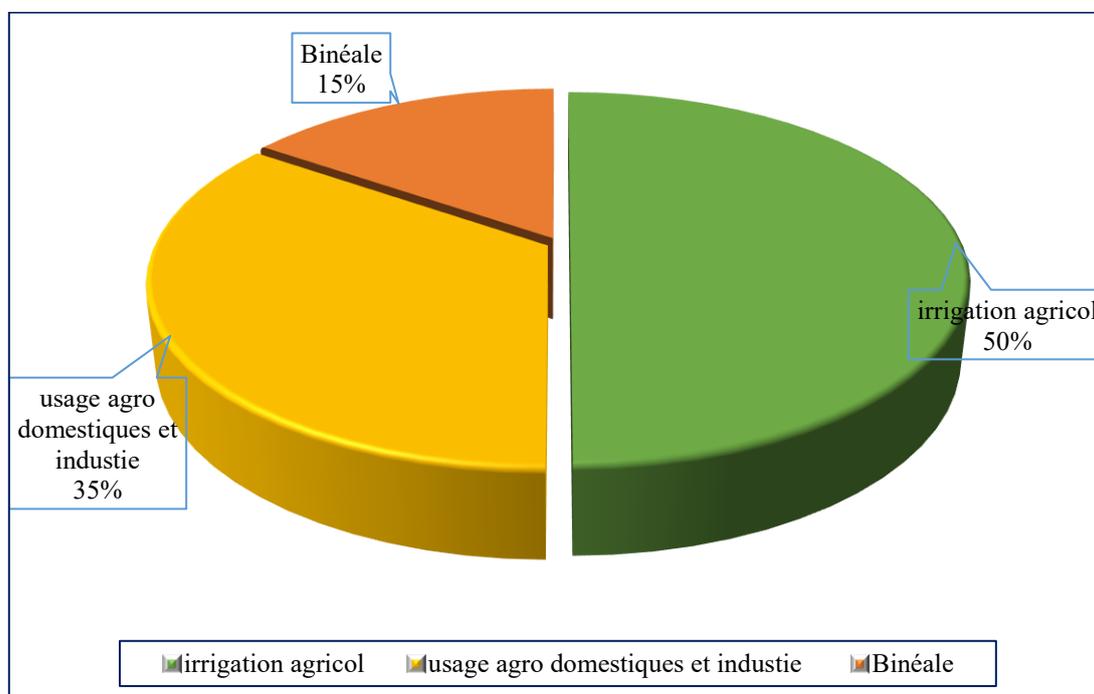


Figure 18 : Répartition d'utilisations des eaux sur la zone d'étude.



Cette répartition met en évidence la prédominance de l'usage agricole dans la région de Zelfana, notamment dans les zones périphériques où les besoins en irrigation restent prépondérants pour le développement des cultures. Les usages domestiques, quant à eux, restent souvent limités au lavage et à des usages secondaires, tandis que les usages thermaux, bien que localisés, jouent un rôle significatif dans l'économie locale et l'attractivité touristique de la région.

1.3.1. Débit

La répartition des débits horaires (en m³/h) des principaux forages exploités dans la région de Zelfana comme une eau potable sont présentées dans la figure suivante :

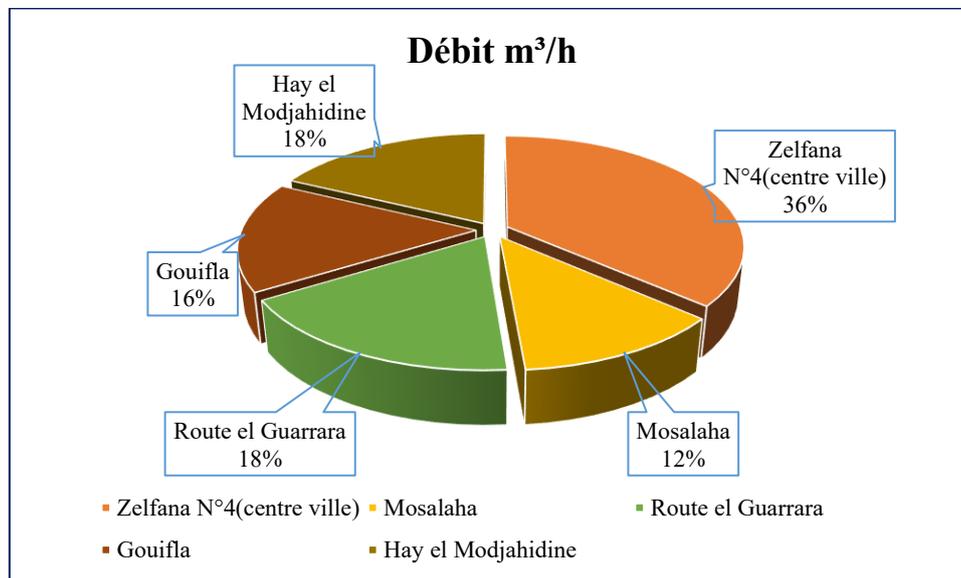


Figure 19 : Débit des forages plus utilisées.

D'après la figure (Fig.19) on remarque que le forage du centre-ville (Zelfana N°4) est de loin le plus sollicité, représentant 36 % du débit total, ce qui confirme son rôle central dans l'approvisionnement en eau de la population, des infrastructures urbaines et possiblement des activités liées au thermalisme. Cette forte pression sur un seul forage peut constituer un risque en cas de surexploitation ou de baisse de la productivité.

Les autres forages, tels que Hay el Moudjahidine et Route el Guararra (18 % chacun), jouent un rôle secondaire mais néanmoins significatif dans l'équilibre hydraulique local. Gouifla (16 %) et Mosalaha (12 %) présentent des parts de débit plus modestes, suggérant soit une demande plus faible, soit une capacité de pompage plus limitée. Cette répartition indique une concentration de la capacité de pompage sur un seul forage, ce qui nécessite une stratégie



d'aménagement pour une meilleure distribution des débits afin d'assurer la durabilité des ressources et l'équité d'accès à l'eau à travers l'ensemble des quartiers de Zelfana.

le tableau ci-dessus signifie les différents besoins des différents équipements de la région de Zelfana.

Tableau IV: Tableau récapitulatif des différents besoins d'équipements. (A.N.R.H,2012)

| Désignation | Consommation (m ³ /j) | | | Consommation (l/s) | | |
|------------------------|----------------------------------|--------|--------|--------------------|--------------|--------------|
| | A | M.T | L.T | 2012 | 2022 | 2037 |
| Scolaires | 214.9 | 300.75 | 457.65 | 2.49 | 3.48 | 5.30 |
| Sportifs | 2 | 4 | 7 | 0.02 | 0.05 | 0.08 |
| Sanitaires | 29 | 33 | 91 | 0.34 | 0.38 | 1.05 |
| Socio-culturels | 142 | 194 | 246 | 1.64 | 2.25 | 2.85 |
| Commerciaux | 1150 | 1735 | 2300 | 13.31 | 20.08 | 26.62 |
| Administratifs | 65 | 65 | 70 | 0.75 | 0.75 | 0.81 |
| Divers | 31 | 42 | 52 | 0.36 | 0.49 | 0.60 |
| Touristiques | 277.5 | 405 | 522.5 | 3.21 | 4.69 | 6.05 |
| Total | 1419 | 2478 | 2766 | 22.12 | 32.16 | 43.36 |

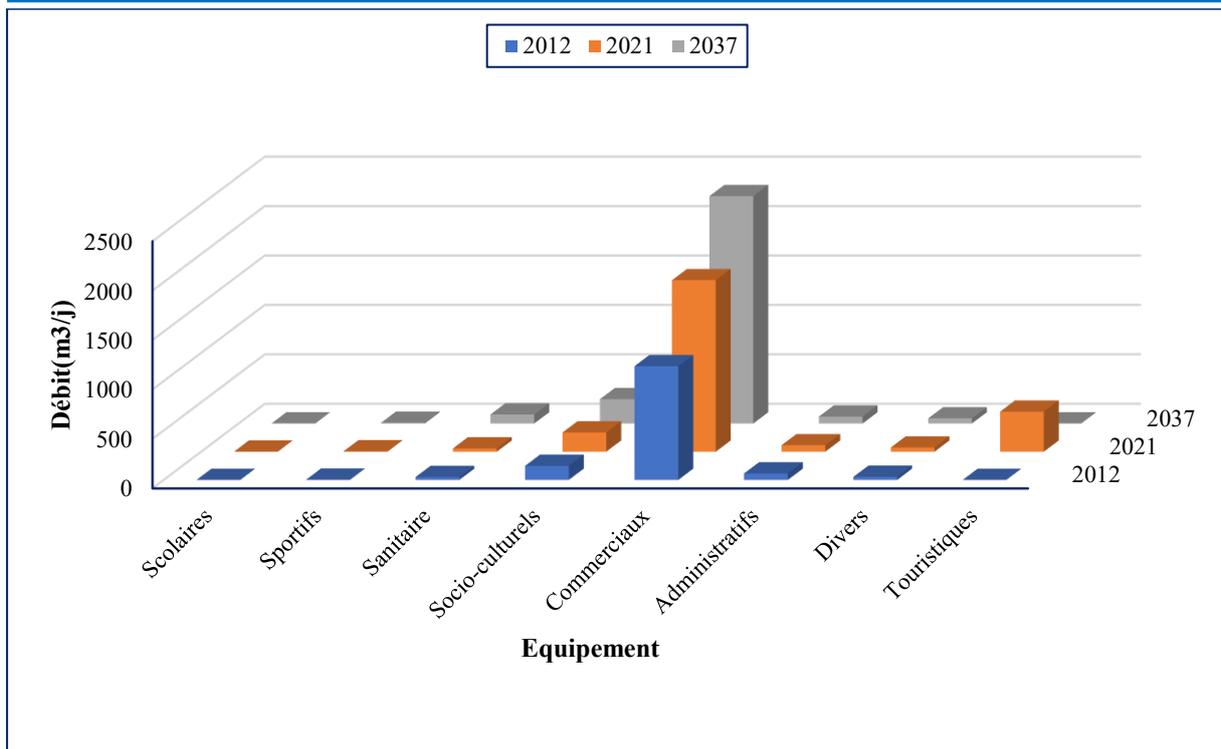


Figure 20 : Débit des équipements en différents themes.

D’après le tableau IV et figure (Fig.20). On remarque que les besoins en eau des équipements publics et économiques à Zelfana montrent une augmentation progressive entre 2012 et 2037, passant de 1419 m³/j à 2766 m³/j, soit de 22,12 l/s à 43,36 l/s. (A.N.R.H ,2012)

Cette augmentation est surtout portée par le secteur commercial, suivi du tourisme et des infrastructures scolaires, en lien avec le développement urbain et socio-économique de la commune.

1.3.2. Volume de consommation

Le graphique présente l’évolution mensuelle du volume d’eau consommé (en m³) à partir des principaux forages de la région de Zelfana tout au long de l’année 2024. (Fig.21)

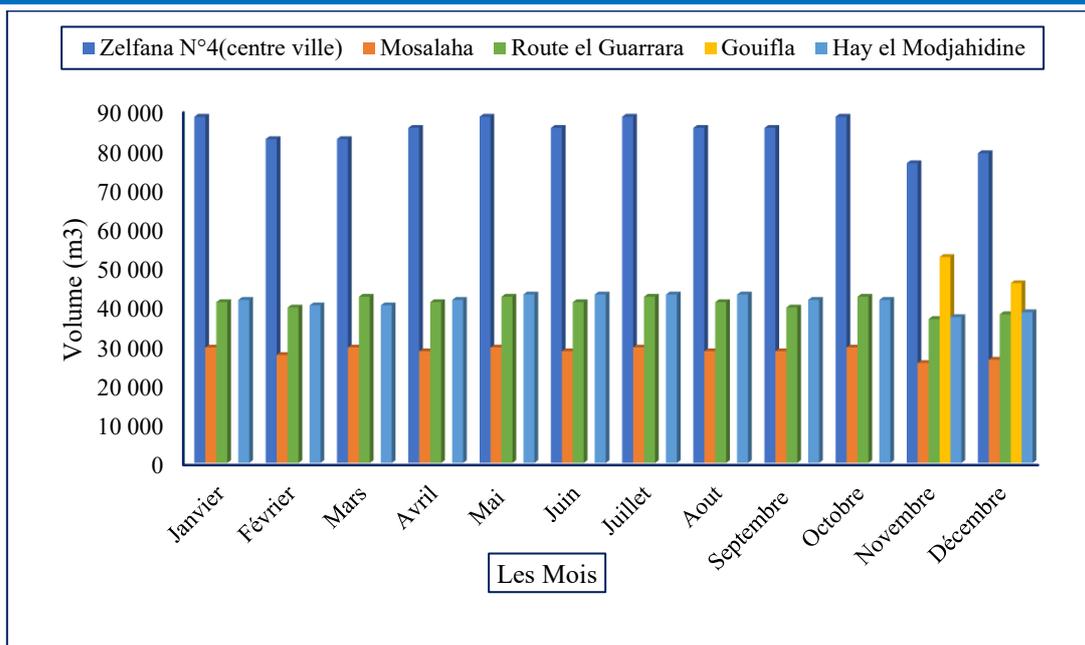


Figure 21: Volume de consommation des forages plus utilisées.

La figure précédente illustre l'évolution mensuelle du volume d'eau consommé (en m³) à partir des forages les plus utilisés dans la commune de Zelfana en 2024. Le forage de Zelfana N°4 (centre-ville) domine largement l'approvisionnement en eau tout au long de l'année, avec des volumes mensuels avoisinant ou dépassant les 85 000 m³, confirmant son rôle central dans la satisfaction des besoins urbains, thermaux et peut-être institutionnels.

Les forages de Route el Guerrara, Gouifla et Hay el Moudjahidine présentent des consommations relativement stables, situées entre 40 000 et 45 000 m³/mois, traduisant une demande constante probablement orientée vers les usages domestiques et agricoles. En revanche, les volumes issus des forages de Mosalaha et Hay el Moudjahidine restent plus faibles sur la majorité de l'année, mais montrent une hausse notable en novembre et décembre, possiblement liée à une activité touristique accrue ou à des besoins saisonniers particuliers.

Cette répartition des volumes met en évidence une concentration de la pression sur un forage unique, ce qui peut représenter un risque pour la durabilité des ressources. Elle appelle à une gestion plus équilibrée des forages, à travers un renforcement des équipements périphériques, une régulation des usages et une prise en compte des variations saisonnières pour optimiser l'exploitation des eaux souterraines et thermales de la région.



1.3.3. Hammamet

La commune de Zelfana Située à une altitude de 480 mètres, au carrefour reliant la région de Ouargla et les confins du sud algérien, a un bénéfice d'un fort potentiel naturel. Elle est particulièrement réputée pour ses sources thermales, dont les eaux, émergeant à une température supérieure à 40 °C, sont connues pour leurs propriétés thérapeutiques et parfois certains Hammamet chauffe l'eau pour devenir plus chaud.

Ce patrimoine hydraulique est renforcé par un environnement saharien attrayant, caractérisé par des dunes de sable fin aux teintes dorées, conférant à la région un attrait touristique notable.

En période estivale, Zelfana enregistre une affluence marquée de visiteurs, composée principalement de curistes et de touristes locaux, notamment en provenance des Hauts-Plateaux, témoignant de l'importance croissante du tourisme thermal dans le développement local. Elle accueille plus de 300.000 touristes par ans. Ce qui revient à leur localisation. Ce nombre revient généralement aux Hammamet qui les constituent qui sont reconnu 6 Hammamet qui ont mentionnée dans le Tableau suivant :

Tableau V: Localisation des Hammamet de la région de Zelfana.

| N° | Le Nom | Nord | Est |
|----|-------------------------|-------------|------------|
| 01 | Hammam Zelfana | 32°23'38,3 | 4°13'15" |
| 02 | Hammam Chalgi | 32°23'32" | 4°13'27" |
| 03 | Hammam el Chat eldjamil | 32°23'52,34 | 4°13'3,61 |
| 04 | Mirachet el Rim | 32°23'50" | 4°13'18,15 |
| 05 | Hammam nozel el Nakhil | 32°23'29,72 | 4°13'27,2 |
| 06 | Hammam Hotel Nouh | 32°23'43" | 4°13'2,55 |



Figure 22 : Localisation géographique des Hammams de la région de Zelfana.

1.4. Mode de collecte des eaux usées

Pour la région de Zelfana, la cartographie et la prospection sur terrain révèlent deux principaux modes de collecte des eaux usées en fonction des zones d'occupation du sol autour des forages étudiés (Fig.23) : un mode collectif structuré et un mode individuel diffus.

Sur l'ensemble des sites étudiés, il apparaît que 65 % des zones (Nakousset 1, Nakousset 2, Nakousset 3, Nakousset 4, Sidi M'hamed O3 6, Sidi M'hamed O3 5, Sidi M'hamed O3 2, Hassi Nord 1, Hassi Nord, Hasni Nord F26, Fedj Naam, Fedj Ennami F27, Guifla F19, Guifla F10, Hassi Sud F21, Tenfiya F22, Oued Djedari Gouifla) ne disposent pas d'un système d'assainissement collectif et sont principalement desservies par des fosses



septiques individuelles ou des puits perdus, ce qui accroît le risque de pollution des nappes souterraines.

En revanche, 35 % des zones étudiées (Zelfana 12, Zelfana centre, Zelfana cimetièrre, A.E.P Carrefour Guerrara, Forage E.L. Mosalaha A.E.P, Forage F24, Gouifla (O3) 7, Gouifla (O3) 8) bénéficient d'un réseau d'assainissement collectif partiel ou d'un raccordement aux égouts municipaux. Ces zones sont généralement localisées à proximité des infrastructures urbaines et des établissements thermaux, où la fréquentation touristique et les besoins sanitaires imposent un contrôle plus rigoureux de la qualité des eaux usées et une meilleure protection des ressources thermales.

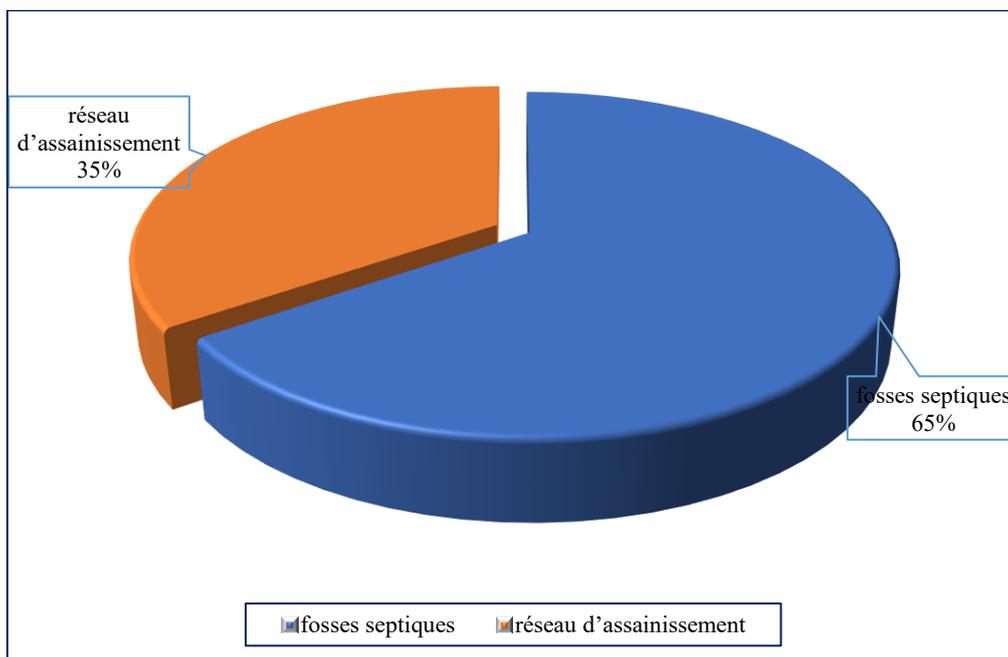


Figure 23 : Modes de collectes des eaux usées dans la zone d'étude.

Cette distribution spatiale des modes de collecte souligne la nécessité d'une approche différenciée de la gestion des eaux usées, visant à réduire la pollution diffuse dans les zones rurales et à consolider les infrastructures d'assainissement dans les zones urbaines et thermales, pour assurer la durabilité des ressources géothermales dans un contexte semi-aride.



Photo 08 : Mode de collecte des eaux usées de la région de Zelfana

2. Étude physico-chimique des eaux thermales

La qualité de l'eau est déterminée par les caractéristiques qui influencent son aptitude à une utilisation donnée, c'est-à-dire sa capacité à répondre aux besoins de l'utilisateur. Elle repose sur des critères physiques, chimiques et biologiques. Ces résultats sont des analyses de huit forages parmi les quelle cinq forages destinés à l'alimentation en eau potable et trois forages destinées à l'irrigation, le choix de ces huit forages d'origine de 26 forages à la commune de Zelfana revient au manque des moyennes et de temps pour fait les analyses de la totalité des forages disponible, cependant ces eaux des forages analysées sont les plus utilisées dans la commune.

2.1. Paramètres physiques

2.1.1. Température

La température constitue un paramètre fondamental dans la caractérisation des eaux thermales, car elle influence directement les propriétés physico-chimiques de l'eau et son efficacité thérapeutique (RODIER *et al.*, 2005). Les eaux thermales se distinguent généralement par leur température élevée par rapport aux eaux de surface, ce qui résulte de la circulation souterraine profonde à travers des formations géologiques chauffées par le gradient géothermique (BONTOUX, 1992).

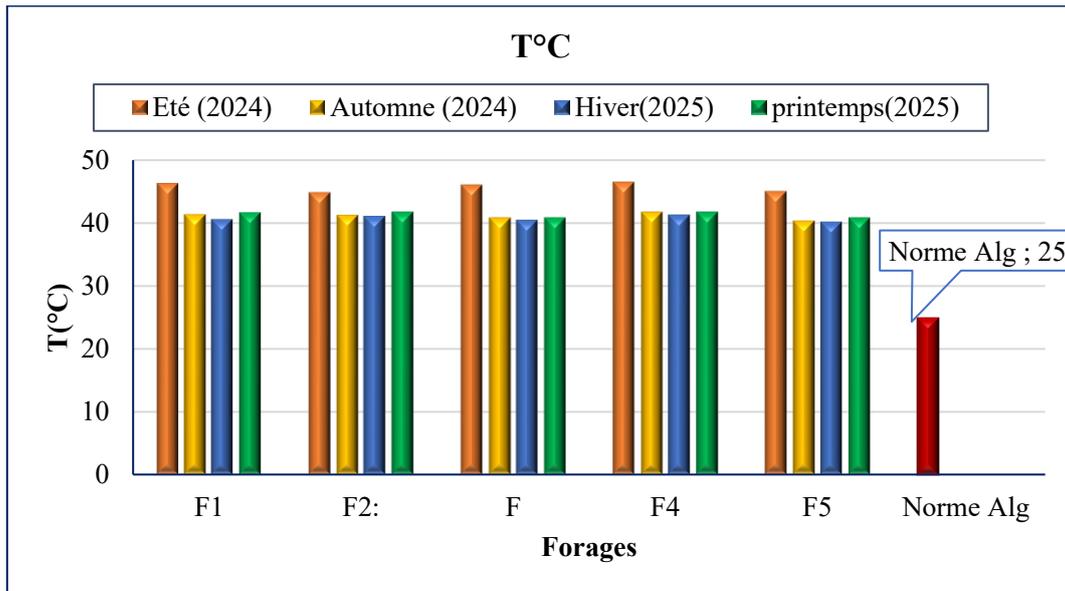


Figure 24 : Variations de température des eaux des forages analysées.

Les résultats des température enregistrés dans la figure (Fig.24) montrent que les valeurs des températures des eaux des cinq forages de la région de Zelfana variant selon les saisons, avec des pics enregistrés en été dépassant systématiquement la norme algérienne fixée pour les eaux destinées à la consommation humaine potable (25°C) (Annexe VI). Les températures mesurées atteignent notamment 46 °C pour le forage F1(Gouifla) et 47 °C au niveau de forage F4(Centre-ville), traduisant un caractère fortement thermique des eaux.

Malgré sa température élevée dépassant les normes des eaux potables, cette eau constitue la seule source disponible dans cette région. Elle est refroidie avant de distribuer afin de permettre son utilisation.

Toutefois, ces eaux thermales sont une richesse naturelle précieuse, bénéficiant tant aux habitants qu'aux visiteurs. Elles jouent un rôle clé dans le tourisme thermal, attirant un grand nombre de touristes en quête de bienfaits thérapeutiques et de détente. Ce type de tourisme confère à la région une forte identité touristique et contribue à son essor économique et culturel.

Les valeurs de températures obtenues montrent un rapprochement avec celles de l'étude de GHEFAFLIA et GHOZAL (2024) pour un prélèvement d'eau de la source d'eau thermale d'Ain Zerrara avec une valeur moyenne de 44 °C et l'échantillon prélevé à Zelfana estimé par 40 °C. Cependant, elles sont inférieures par rapport à celles de BENCHIKH (2012) sur les eaux thermales de Hammam Charef à Guelma $45,1\text{ °C} \leq T \leq 46,4\text{ °C}$, et de 53,1 °C des eaux thermo-minérale de Mila (BOUTAROUS et BOUNNECHE, 2021).



2.1.2. Potentiel d'Hydrogène

Le pH est un paramètre caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. C'est l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau (AMINOT & KEROUEL, 2004 ; RODIER *et al.*, 2005). Il influence la plupart des mécanismes chimiques et biologiques dans les eaux (DERWICH *et al.*, 2010).

L'analyse des valeurs de pH des eaux thermales prélevées à partir de cinq forages situés dans la région de Zelfana au cours des quatre saisons étudiées (automne, hiver, printemps, été) sont mentionnés dans (la figure 25)

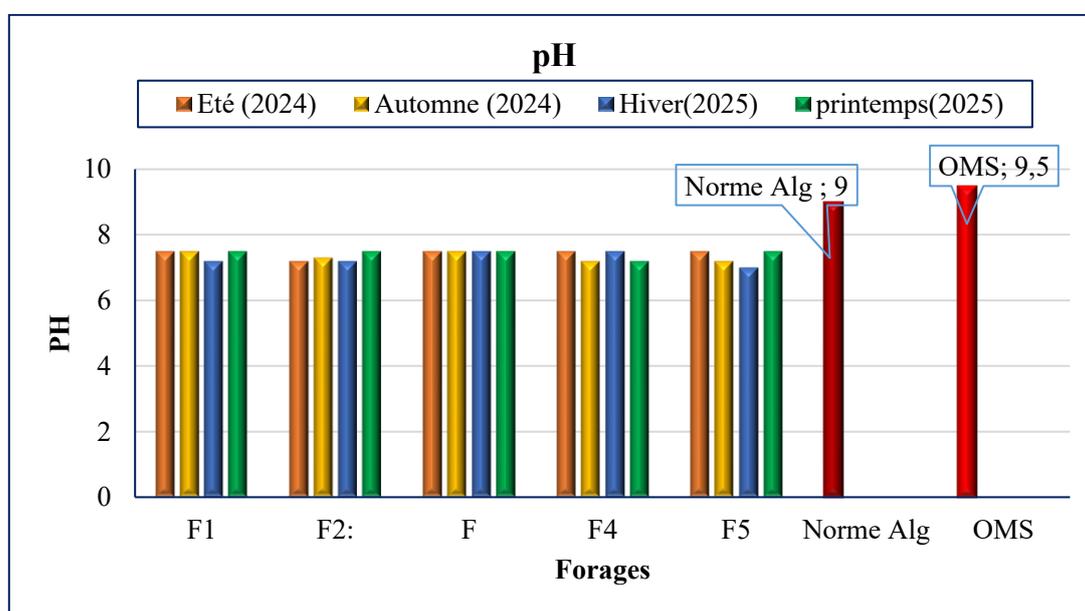


Figure 25 : Variation de potentiel d'Hydrogène des eaux thermales des forages analysées.

D'après la figure (Fig.25), : les valeurs du pH observées varient globalement entre 7,2 et 7,5 ce qui indique une eau neutre à légèrement basique. Se trouvant dans l'intervalle du pH caractéristique des eaux potables compris entre 6,5 et 9 selon l'Algérie et l'O.M. S (Annexe VI). Les résultats obtenus sont donc entièrement conformes à ces exigences tout au long de l'année pour l'ensemble des forages (F1 à F5).

D'après RODIER *et al.* (2009), la valeur du pH des eaux naturelles dépend directement des formations géologiques rencontrées lors de leur parcours. La stabilité du caractère neutre de l'eau de cette nappe pourrait ainsi découler d'un équilibre chimique impliquant le dioxyde de carbone dissous et les bicarbonates de calcium, conformément aux observations d'AÏT BOUGHROUS (2007).



Ces résultats sont inférieurs par rapport aux résultats des analyses des eaux thermales de Zelfana effectuée par GHEFAFLIA ET GHOZAL (2024) avec des valeurs comprises entre $7,54 \leq \text{ph} \leq 7,62$. Et celles de l'eau thermale de Ain Zerrara compris $7,59 \leq \text{ph} \leq 7,66$. Ainsi pour les eaux thermo-minérale de la wilaya de Mila de BOULATROUS ET BOUNNECHA (2021) qui ont trouvés un ph globalement faiblement acide compris entre 5,85 à 7.

2.1.3. Conductivité électrique

La détermination de la conductivité électrique permet d'évaluer de manière pertinente la minéralisation totale d'une eau, chaque ion contribuant à cette mesure en fonction de sa concentration et de sa conductivité propre. Ainsi, la conductivité électrique reflète la teneur globale en sels dissous, offrant ainsi une estimation de la salinité de l'eau. (N'DIAYE et al., 2013).

L'analyse de la variation saisonnière de la conductivité électrique des eaux provenant des cinq forages situés dans la région de Zelfana (wilaya de Ghardaïa) sont présentées dans la figure suivante :

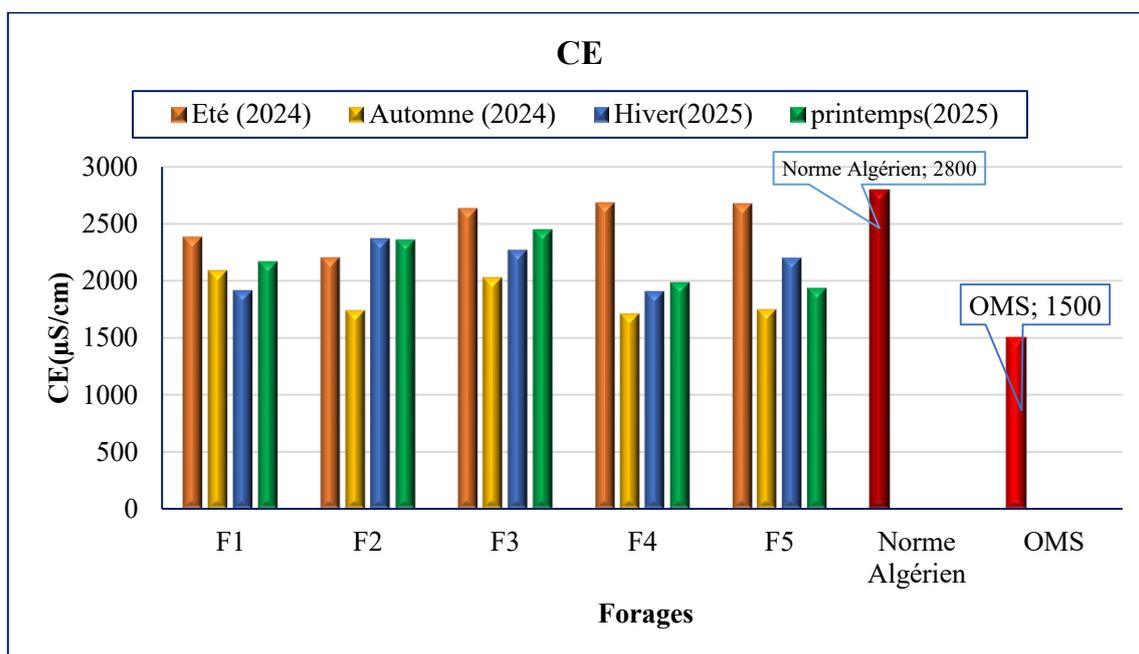


Figure 26: Variation de conductivité des eaux thermales des forages analysées.

On remarque que les valeurs de la conductivité accèdent aux pics plus élevés durant l'été estimé par 2680 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le forage 04(centre-ville) et une valeur de 2670 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le forage 05(Mosalaha), et avec une moindre mesure à l'automne estimé par une valeur de 1712 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le F4. (Fig.26)



Ces eaux thermales selon la C.E sont généralement inférieurs aux normes des eaux potables recommandée par l'Algérie (2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$), mais ils dépassant les valeurs de l'O.M. S (1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$) (Annexe VI), notamment à l'été pour tous les forages analysés (F1 à F5).

La distribution spatiale de la conductivité électrique des eaux thermales révèle une augmentation progressive de l'amont vers l'aval, en cohérence avec la direction d'écoulement des eaux. Cette élévation de la conductivité résulte notamment du lessivage des sels par l'irrigation et du rejet des eaux usées. De plus, la traversée des formations géologiques par les forages contribue à l'enrichissement en sels dissous de la nappe phréatique. (BANHDID,2022)

Les résultats obtenus sont similaires aux résultats de GHEFAFLIA ET GHOZAL (2024) pour les analyses des eaux thermales de Zelfana tandis que pour les analyses d'eau thermale de Ain Zerrara varient entre 3308,25 à 3081,50 $\mu\text{s}/\text{cm}$ qui sont des valeurs dépassent les normes algériennes. Ainsi pour les résultats de BOULATROUS ET BOUNNECHA (2021) des eaux thermo minérales de Mila qui ont trouvé des résultats excède les normes estimées par 27600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.1.4. Turbidité

La turbidité est une propriété physique qui indique le degré de transparence ou de limpidité d'un liquide, souvent altéré par la présence de particules en suspension. Sur le plan optique, elle correspond à la capacité de l'eau à dévier ou à absorber la lumière incidente, phénomène causé par des matières solides non dissoutes selon (FRANK, 2002 ; I.N.S.P.Q, 2013).

D'après la figure (Fig. 27), les teneurs moyennes de la turbidité des eaux thermales analysées sont très faibles pour tous les forages au long de l'année, variant dans un intervalle de 0,176 N.T.U pour le forage 04 (centre-ville) à l'hiver et 0,806 N.T.U pour forages F4, F5(Centre-ville, Mosalaha) à l'automne.

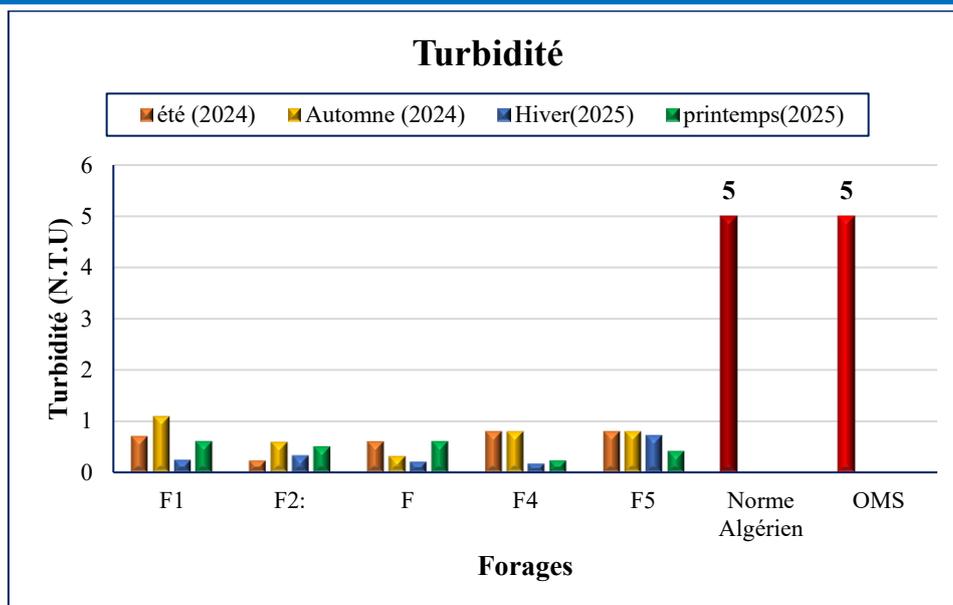


Figure 27 : Variation de turbidité des eaux thermales des forages analysées.

Selon la représentation graphique (Fig.27), les teneurs en turbidité montrent que la majorité des forages analysées renferment des eaux claires et confirment la norme de la potabilité des eaux selon l’Algérie et l’O.M. S (5 N.T.U) (Annexe VI).

La turbidité des eaux thermales de la région varie entre 0,176 et 0,806 N.TU. Cette turbidité est principalement attribuable à la présence de particules en suspension fines, telles que les argiles, les limons et divers microorganismes. Une proportion moindre peut également être due à des substances colloïdales, d’origine organique ou minérale (FRANK, 2002). Les particules à l’origine de cette turbidité peuvent provenir de sources naturelles comme les acides humiques, la décomposition des végétaux ou l’érosion des sols ou encore de sources anthropiques, telles que les effluents agricoles, industriels et urbains (I.N.S.P.Q, 2013).

Les résultats obtenus confirment donc le caractère stable, profond et protégé de ces ressources, tout en soulignant la nécessité d’un suivi régulier pour préserver cette qualité dans un contexte saharien sensible aux variations climatiques et anthropiques.

La turbidité nuit au taux de filtration et risque de diminuer l’efficacité de la désinfection, et aussi le contact entre les germes pathogènes et l’agent désinfectant étant défavorisé. L’un des buts primordiaux du traitement est de réduire la turbidité (MAIGA, 2005).



Ces résultats sont généralement similaires aux résultats de l'étude de BENCHIKH (2012) qui a trouvé la valeur de turbidité de Hammam Charef à Guelma estimé par 0,8 N.TU en moyenne et pour Zelfana 0,4 N.T.U.

2.1.5. Total dissolved solide

Le graphique ci-dessus illustre les variations saisonnières des concentrations en solides dissous totaux (T.D.S) dans cinq forages thermaux (F1 à F5) de la région de Zelfana (wilaya de Ghardaïa), mesurées durant les saisons d'été et d'automne 2024, ainsi que d'hiver et de printemps 2025. Ces valeurs sont comparées à la limite de potabilité établie par l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S), fixée à 1000 mg/l (Figure28)

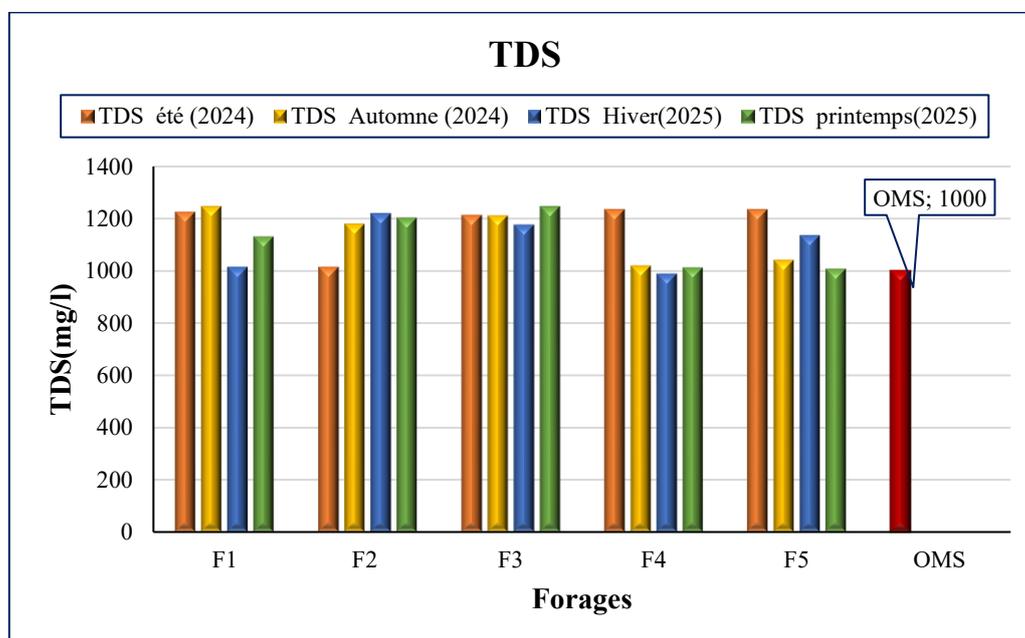


Figure 28: Variation de T.D.S des eaux thermales des forages analysées.

D'après la figure (Fig.28) on remarque que les résultats de T.D.S des eaux de cinq forages analysés à Zelfana révèlent une légère variation saisonnière, avec une valeur plus élevée indiquée chez le F3(Route el Guerrara) au printemps estimé par 1248 mg/l, et la valeur minimale estimée par 1014 est marquée pour F1 (Gouifla) à l'hiver et pour le F2 (Hay el Moudjahidine) à l'été. Ces résultats sont supérieurs par rapport aux normes de l'O.M. S fixé par 1000 mg/l.(ANNEXE VI)

Et révèlent que la majorité des échantillons dépassent cette norme, ce qui confirme la forte minéralisation caractéristique des eaux thermales. Cette minéralisation est généralement



due à des interactions prolongées entre l'eau souterraine et les formations géologiques traversées, favorisant la dissolution des minéraux. (EDMUNDS & SMEDLEY, 2000)

Ces résultats sont inférieurs par rapport aux analyses de BENBADA et BOUTI (2023), pour les mêmes points de prélèvement estime par (1540mg/l) pour le forage F4 (centre-ville).

Cette minéralisation, typique des eaux thermales des régions sahariennes, peut affecter le goût et indiquer une origine géothermale ou une dissolution naturelle des roches environnantes.

2.2. Paramètres de la pollution chimique des eaux

2.2.1. Ammonium

L'ammonium résulte de la décomposition finale des composés azotés organiques et inorganiques présents dans les eaux et les sols. Il est issu à la fois des excréments des organismes vivants et de la dégradation biologique des résidus organiques, mais peut également provenir des apports domestiques, industriels et agricoles (DERWICH *et al.*, 2010).

Les teneurs moyennes d'ammonium obtenues sont très faibles ; elles varient entre un minimum de 0 mg/l pour tous les forages analysés à l'hiver et un maximum de 0,083 mg/l pour le F2 (Hay el Moudjahidine) à l'été (Fig.29).

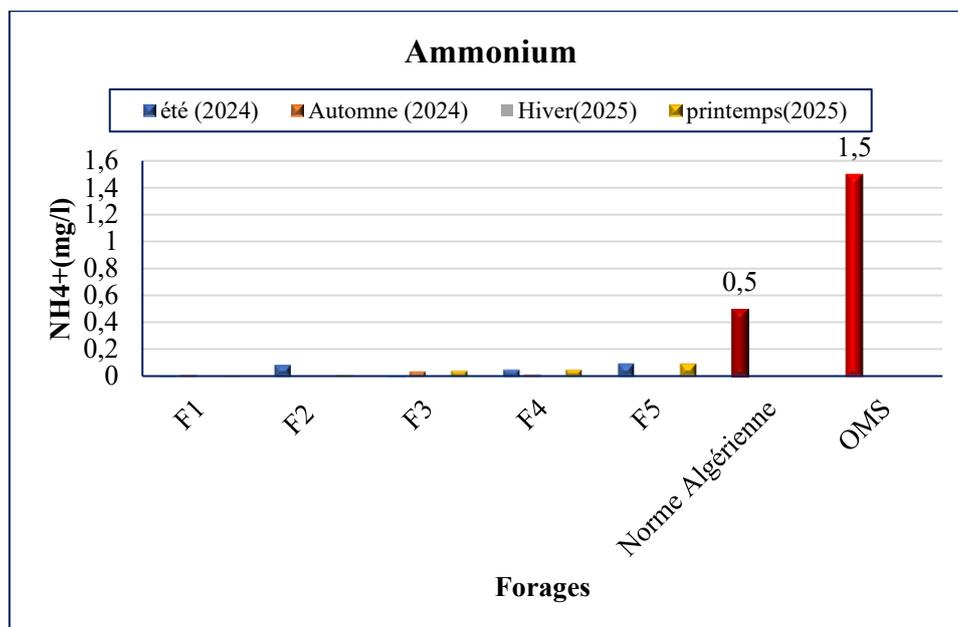


Figure 29 : Variation d'ammonium des eaux thermales des forages analysées.



D'après la figure (Fig.29) les résultats présentés montrent que toutes les valeurs mesurées dans les cinq forages et durant les quatre saisons restent bien en dessous de la concentration maximale d'Ammonium au norme algériennes qui est fixé 0,5 mg/L et de l'O.M. S (1,5mg/l) , ce qui indique une absence de pollution ammoniacale significative. Avec une valeur maximale indiqué pour le F2 estimé par 0,083mg/l à l'été.

La présence de concentrations élevées en ammonium dans les eaux constitue un indicateur d'une pollution organique récente, due à la dégradation des matières organiques. En profondeur, les eaux peuvent également s'enrichir en ammonium suite à la réduction des nitrates, processus favorisé par l'action des bactéries autotrophes ou par la présence d'ions ferreux (RODIER *et al.*, 2005 ; DIB, 2009).

Ces résultats sont inférieurs aux résultats des analyses de GHEFAFLIA et GHOZAL (2024) pour eau thermale de Ain Zerrara avec un Concentration maximale le matin (0,142 mg/L) et minimale le soir 0,092 mg/L. Ainsi pour les résultats des eaux thermo-minérales de Mila en 2021 effectué par BOULATROUS et BOUNNECHA ont trouvé une valeur maximale estimé par 5,63mg/l.

2.2.2. Nitrites

Les nitrites constituent une forme intermédiaire dans le cycle de l'azote, se situant entre les nitrates et l'ammonium, ce qui justifie les concentrations généralement faibles observées dans les eaux (BEN ABBOU *et al.*, 2014).

La représentation graphique des teneurs moyennes des nitrites des forages prospectés montre que la teneur moyenne la plus faible est pour les eaux de tous les forages (F1 à F5) à l'été et à l'hiver avec 0,00mg/l tandis que la plus haute est F4(centre-ville) avec 0,08 mg/l à l'automne (Fig.30).

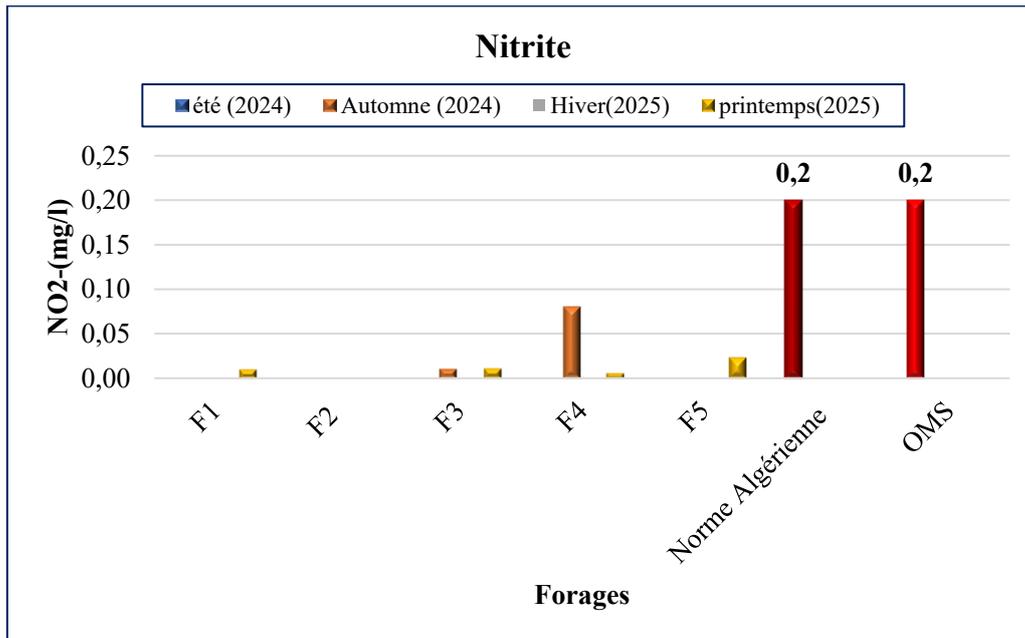


Figure30: Variation de nitrite des eaux thermales des forages analysées.

D’après la figure (Fig.30) les résultats analysés montrent que tous les forages restent largement en dessous de la limite de norme algérienne et l’O.M.S qui fixé par (0,2mg/l) pour tous les forages de (F1àF5) au long de l’année avec des concentrations variant entre 0 et 0,08 mg/L au maximum, ce qui indique une bonne qualité microbiologique de l’eau en ce qui concerne les nitrites.

Selon l’étude de BENBADA et BOUTI (2023) ont trouvé des résultats généralement similaires pour les mêmes points de prélèvement (F1, F2, F3) par l’absence de nitrite pour tous les forages. Ainsi pour l’étude de BOULATROUS et BOUNNECHA (2021) de la qualité des eaux thermo-minérales de la wilaya de Mila qui ont trouvé comme une valeur maximale estimé par 0,059 mg/l.

Ainsi, du point de vue de la concentration en nitrites, les eaux thermales de Zelfana peuvent être considérées comme saines et bien protégées contre les pollutions d’origine anthropique, bien qu’une surveillance continue reste nécessaire, notamment en zones urbanisées ou agricoles.



2.2.3. Fer

Le fer est un élément naturellement présent dans les eaux souterraines, souvent libéré par la dissolution des minéraux ferreux. Les variations de ces résultats sont mentionnées dans la figure suivant :

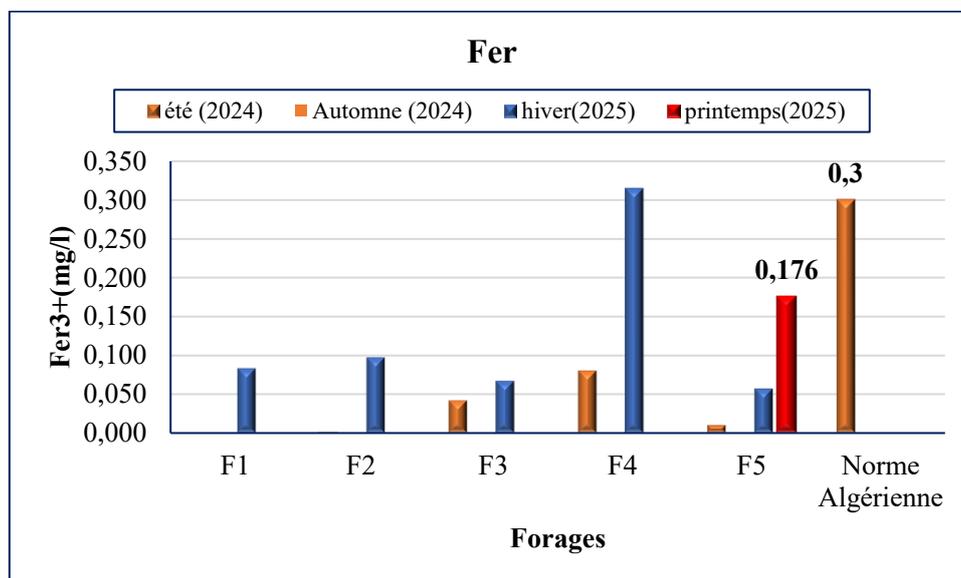


Figure 31 : Variation de fer des eaux thermales des forages analysées.

On remarque seul le forage F4 (centre-ville) est estimé par (0,31 mg/L) en hiver qui dépasse les normes algériennes fixé une concentration maximale compris 0,3 mg/L pour les eaux potables (Annexe VI) (Fig.31). Dans les autres forages et saisons, les teneurs en fer restent largement inférieures à la norme, traduisant une qualité chimique globalement acceptable. Avec une valeur plus basse indiqué dans le F2 par une valeur de (0,001mg/l).

Ces résultats sont supérieurs que les résultats de GHEFAFLIA et GHOZAL (2024), concernant les échantillons des eaux thermales de Ain Zerrara, ont trouvé des concentrations de fer varient entre 0,167 mg/l le soir et 0,180mg/l le matin. Et pour les résultats de BENCHIKH (2012) qui a trouvé pour les eaux thermales de Hammam Charef à Guelma une valeur estimé par 0,07mg/l à la moyenne. Ainsi pour les eaux thermales de Zelfana une valeur estimée par 0,06mg/l.



2.2. Compositions ioniques des eaux

2.2.1. Sulfates

Les sulfates constituent une famille d'ions minéraux fréquemment présents dans les eaux thermales, et leur origine est souvent associée à la dissolution de minéraux tels que le gypse et l'anhydrite, ainsi qu'à des processus d'altération géologique (RODIER et *al.*, 2005) la représentation graphique montre que tous les forages présentent des valeurs élevées globalement au long de l'année avec une maximale estimée par 548,7mg/l. (Figure 32)

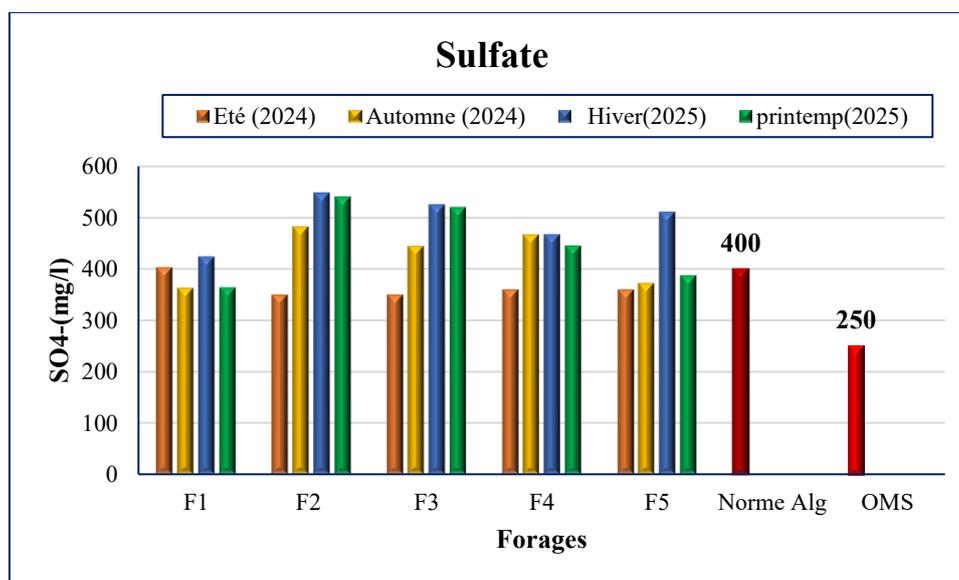


Figure 32 : Variation de sulfates des eaux thermales des forages analysées.

On remarque que les concentrations en sulfates montre des niveaux globalement élevés, avec des dépassements fréquents de la norme algérienne de potabilité (400 mg/L) et de l'O.M. S(250mg/l) (Annexe VI). Les forages F2 (Hay elMohdjahidine), F3 (Route el Guerrara) et F5(Mosalaha) affichent notamment des pics saisonniers dépassant cette limite, en particulier en hiver et au printemps. Notamment au F2 et F3 qui est présente des valeurs élevées au long de l'année avec une valeur maximale mentionnée au l'hiver estimé par 548,7 et 525,6 mg/l respectivement (Fig.32).

Les teneurs des sulfates varient dans un intervalle borné par une limite inférieure de 350,5mg/l, notée dans le forage F2(Hay el Moudjahidine) à l'été, et une limite supérieure de 548,7mg/l mesurée dans le forage F2à l'hiver.



Selon AÏTBOUGHROUS (2007), GOUAIDIA (2008) et BOUTTELI (2011), la présence d'ions sulfates dans les eaux peut s'expliquer par la dissolution des formations gypseuses ainsi que par les rejets d'eaux usées.

Ces résultats sont rapprochés aux résultats de GHEFAFLIA et GHOZAL (2024) avec des valeurs estimées par 541,58 mg/l au maximum pour les eaux thermales de Ain Zerrara, et pour les eaux thermales de Zelfana (524,48 mg/l) au maximum.

Lorsque la concentration en sulfates dépasse 300 mg/L, elle peut, sous certaines conditions, provoquer la détérioration des matériaux de construction tels que les réservoirs de stockage et intensifier la corrosion du fer (RODIER *et al.*, 2005). De plus, un taux élevé de sulfates dans l'eau peut entraîner des troubles digestifs chez l'homme, notamment des diarrhées, et altérer la flore intestinale (BENTOUATI & BOUZIDI, 2011)

Sur le plan thérapeutique, les eaux sulfatées sont reconnues pour leurs propriétés laxatives et dépuratives, notamment en raison de leur action sur la motricité intestinale et leur effet de stimulation de la sécrétion biliaire (BARBIER, 1991). Elles sont souvent utilisées dans les stations thermales pour le traitement de troubles digestifs et hépato-biliaires, en particulier les constipations chroniques et les affections hépatiques fonctionnelles (BONTOUX, 1992). Toutefois, il convient de noter que des concentrations excessives en sulfates (supérieures à 300 mg/L) peuvent avoir des effets corrosifs sur les installations (RODIER *et al.*, 2005) et provoquer des troubles intestinaux tels que des diarrhées chez l'homme (BENTOUATI & BOUZIDI, 2011).

2.2.2. Chlorures

Les résultats de chlorure des eaux analysées des cinq forages au cours de l'année sont présentés dans la figure suivante :

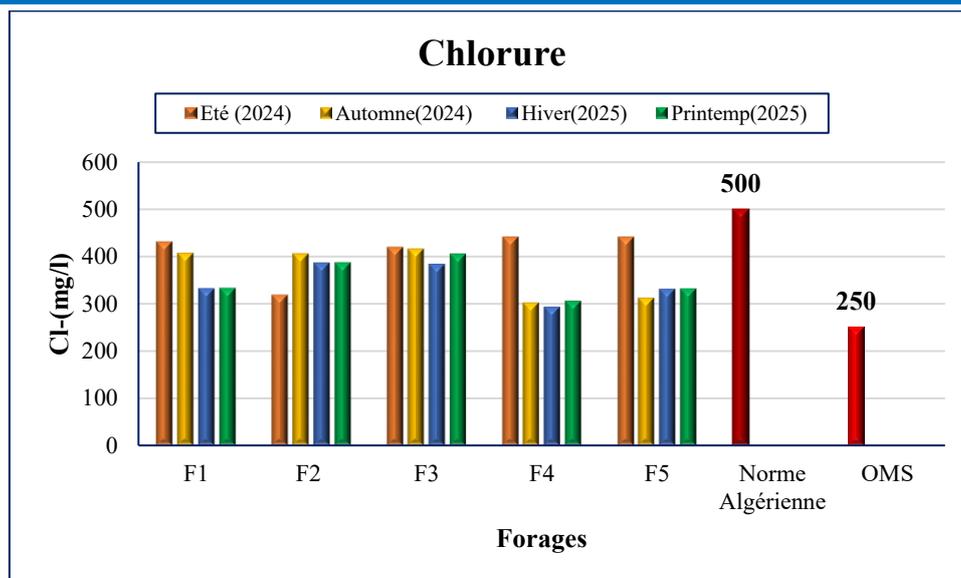


Figure 33 : Variation de chlorures des eaux thermales des forages analysées.

La figure (Fig.33) montre des teneurs du chlorure (Cl^-) généralement plus élevées et dépassent la norme de l'eau potable selon l'O.M.S (250 mg/l) mais ne dépassent pas les normes de l'Algérie (500 mg/l) (Annexe VI). Dans le le forage F4 (Centre-ville) et F5(Mosalaha) nous avons noté la teneur la plus élevée 441,035 mg/là l'été. Alors que la teneur le plus faible a été enregistrée dans F4 avec 293,55mg/l à l'hiver.

Les chlorures représentent des anions inorganiques présents à des concentrations variables dans les eaux naturelles, principalement sous forme de chlorure de sodium (NaCl) et de chlorure de potassium (KCl). Ils sont souvent considérés comme des indicateurs de pollution des eaux (N'DIAYE et *al.*, 2013)

Ces résultats sont restés similaire par rapport aux résultats de BENBADA et BOUTI (2023) sur les eaux thermales de Zelfana de même point de prélèvement, avec une valeur maximale estimé par 484.99 mg/l au F4. Ainsi pour les résultats de BENCHIKH (2012) qui a trouvé une valeur estimée par 405,7 mg/l pour les eaux thermales de Hammam de Charef à Guelma et 300,4 mg/l pour les eaux thermales de Zelfana.

2.2.3. Bicarbonates

Les bicarbonates constituent l'un des ions majeurs présents dans les eaux thermales, souvent issus de la dissolution des roches carbonatées traversées par les eaux souterraines (RODIER et *al.*, 2005). Ces ions jouent un rôle important dans la régulation de l'équilibre acido-



basique des eaux et influencent ainsi leurs propriétés thérapeutiques. la représentation graphique montre que tous les forages sont des teneurs bas au long de l'année figure34:

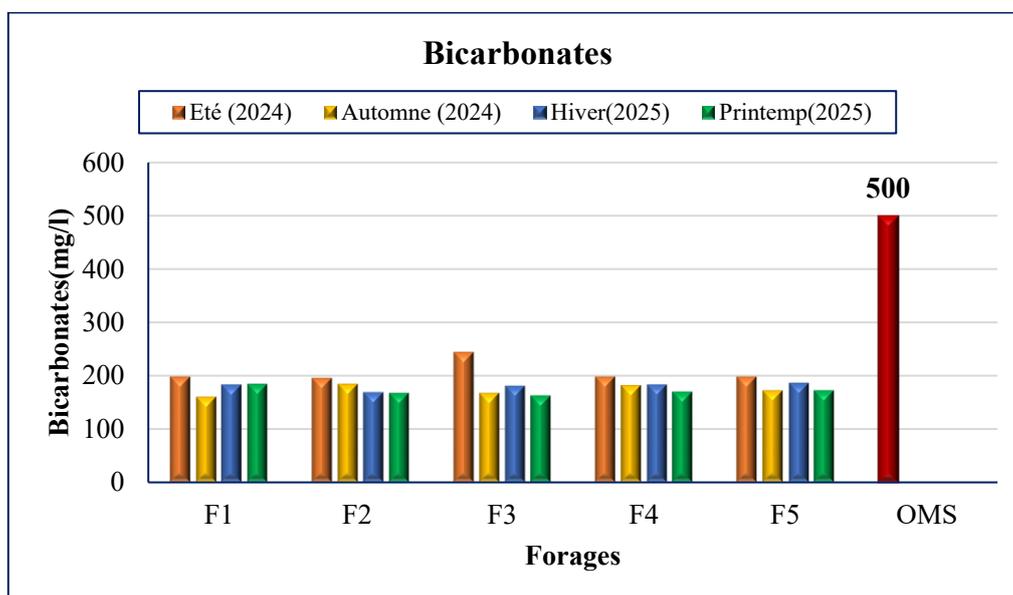


Figure 34: Variation de bicarbonates des eaux thermales des forages analysées.

L'analyse des variations saisonnières du bicarbonates des cinq forages de la région de Zelfana montre que les niveaux d'alcalinité oscillent entre 160 et 250 mg/L, le F3(Route el Guerrara) est présent le pic le plus élevé en été (~250 mg/L), les autres forages présentent des valeurs modérément stables tout au long de l'année. Ces valeurs sont globalement conformes aux normes de l'OMS de potabilité qui fixé par 500mg/l (Annexe VI) (Fig.34).

Selon DEBIECHE (2002), la présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique.

Généralement pour l'étude de BENBADA et BOUTI (2023) sont trouvées des résultats supérieurs à celle résultats en termes de concentrations des T.A.C au maximums 265.96mg/l pour le F2 (Hay Moudjahidine).

En effet, les eaux bicarbonatées sont reconnues pour leurs effets bénéfiques dans le traitement des affections digestives, notamment les dyspepsies et les troubles gastriques, en raison de leur capacité à neutraliser l'excès d'acidité gastrique (BARBIER, 1991). Elles sont également utilisées pour leurs vertus anti-inflammatoires et sédatives sur les muqueuses digestives (BONTOUX, 1992). La présence de bicarbonates peut également contribuer à la



qualité organoleptique des eaux thermales, leur conférant un goût légèrement alcalin apprécié dans certaines cures de boisson (RODIER et *al.*, 2005).

2.2.4. Sodium

Le sodium est un cation majeur fréquemment retrouvé dans les eaux thermales, généralement sous forme de chlorure de sodium (NaCl) ou associé à des bicarbonates et des sulfates (RODIER et *al.*, 2005). Il contribue de manière significative à la minéralisation totale de l'eau et joue un rôle important dans les propriétés thérapeutiques de ces eaux. Les résultats de la variation de Sodium sont enregistrés dans la figure suivante :

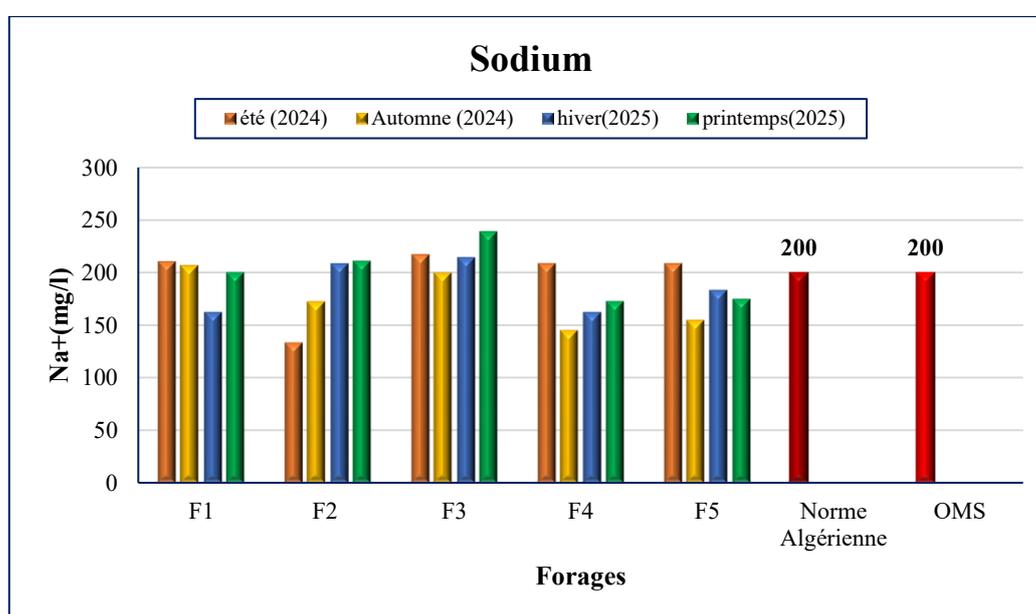


Figure 35 : Variation de Sodium (Na⁺) des eaux thermales des forages analysées.

On remarque que les concentrations en sodium (Na⁺) mesurées dans les cinq forages analysés de Zelfana varient selon les saisons, avec des valeurs souvent proches ou légèrement supérieures à la norme algérienne et l'O.M.S de potabilité fixée à 200 mg/L (Annexe VI). Les niveaux les plus élevés sont observés au printemps et en été, notamment dans les forages F2(Hay el Moudjahidine) et F3 (Route el Guerrara) présenté par une valeur maximale chez F3 estimé par 238,88 mg/l au printemps et 216,66 mg/l à l'été, d'une autre on remarque que le F 3 possède des valeurs élevées de sodium au long de l'année et dépasse les normes algériennes de potabilité. Tandis que le forage F4 reste généralement en dessous de cette limite au long de l'année (Fig.35).



Une consommation excessive de sodium peut entraîner des complications, notamment chez les individus soumis à un régime pauvre en sel pour des raisons d'hypertension ou de troubles cardiaques et rénaux (M.E.N.E, 2008). La présence de cet élément dans les eaux thermales est principalement due à la dissolution de l'halite (NaCl) (BOUTTELI, 2011). Outre le lessivage des formations géologiques riches en chlorure de sodium, le sodium peut également provenir de la dégradation de certains sels minéraux, tels que les silicates de sodium et d'aluminium (RODIER *et al.*, 2005).

Les eaux sodiques sont réputées pour leurs effets bénéfiques dans le traitement des affections dermatologiques, des troubles de la circulation veineuse et des pathologies rhumatismales (BARBIER, 1991). Sur le plan digestif, elles sont souvent utilisées pour leurs vertus légèrement laxatives et leur capacité à stimuler les sécrétions biliaires, favorisant ainsi la digestion (BONTOUX, 1992). Toutefois, une concentration excessive en sodium peut rendre ces eaux déconseillées pour les personnes souffrant d'hypertension artérielle ou de rétention d'eau (RODIER *et al.*, 2005)

Ces résultats sont supérieurs par rapport aux analyses de BENBADA et BOUTI (2023) pour les mêmes points de prélèvement de (F1, F2 et F3) qui ont trouvé la valeur maximale estimée par 12mg/l indiqué pour le F2. Tandis que ces résultats sont inférieurs que les résultats obtenus pour l'étude de BOULATROUS et BOUNNECHA (2021) sur la qualité des eaux thermo-minérales de la wilaya de Mila qui estimée par 4890 mg/l au maximum.

2.2.5. Potassium

Le potassium (K^+) est un élément naturellement présent dans les eaux souterraines, généralement en faibles concentrations. Bien qu'il soit essentiel pour l'organisme, une concentration excessive peut altérer le goût de l'eau et, dans certains cas rares, présenter des risques pour les personnes souffrant de troubles rénaux. Les résultats enregistrés pour la variation des valeurs de potassium des eaux des forages analysées sont présentés dans la figure suivante :

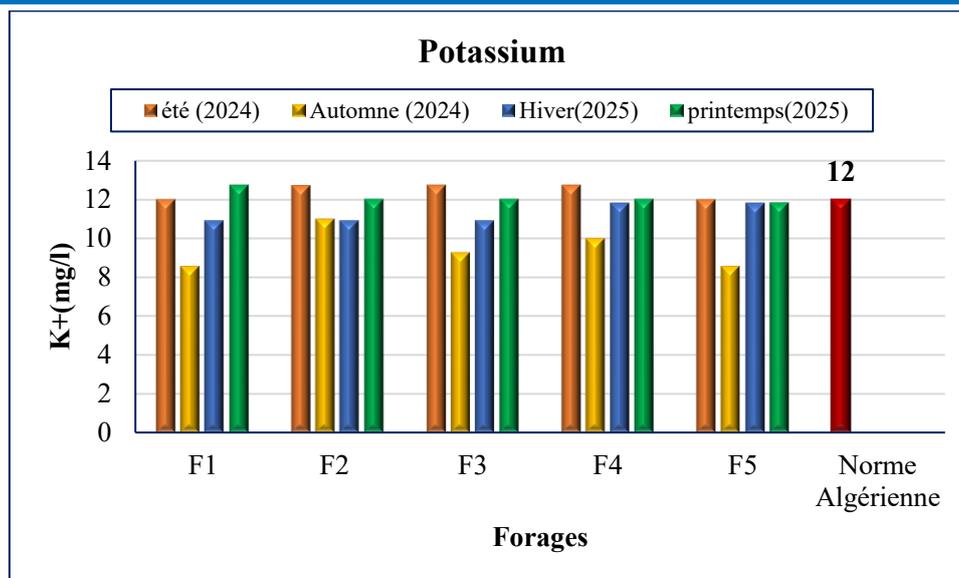


Figure 36 : Variation de potassium des eaux thermales des forages analysées.

Les analyses des résultats montrent que dans la majorité des forages, les concentrations de potassium sont proches ou légèrement supérieures aux normes algériennes de potabilité des eaux qui est fixé par (12mg/l) (Annexe VI) avec une valeur maximale estimée par (12,72mg/l) chez la plupart des forages (F2, F3, F4) en particulier en été. (Fig.36)

D'après DEBIECHE (2002), GOUAIDIA (2006) et BOUTTELI (2011), la présence du potassium dans les eaux thermales trouve principalement son origine dans la dissolution des évaporites telles que la sylvite (KCl), ainsi que dans l'altération des argiles potassiques et des formations silicatées (gneiss, schistes). Par ailleurs, les engrais chimiques de type NPK peuvent également constituer une source de potassium. Enfin, les eaux usées domestiques représentent une autre voie d'introduction de cet élément dans les nappes.

Ces résultats sont supérieurs aux résultats des analyses de BENBADA et BOUTI (2023) pour les mêmes points d'eaux analysées ont des résultats inférieurs à 12mg/l. Tandis que les résultats de BOULATROUS et BOUNNECHA (2021) sur la qualité des eaux thermo-minérales de la wilaya de Mila qui ont trouvé une valeur maximale estimée par 121 mg/l.

2.2.6. Calcium

Le calcium est un élément majeur des eaux thermales, généralement présent sous forme d'ions Ca^{2+} . Sa présence est principalement due à la dissolution des roches carbonatées (calcaires, dolomies) et à la dégradation des minéraux aluminosilicates traversés par les eaux



souterraines (RODIER et al., 2005). Les résultats obtenus de calcium sont mentionnés dans la figure suivante :

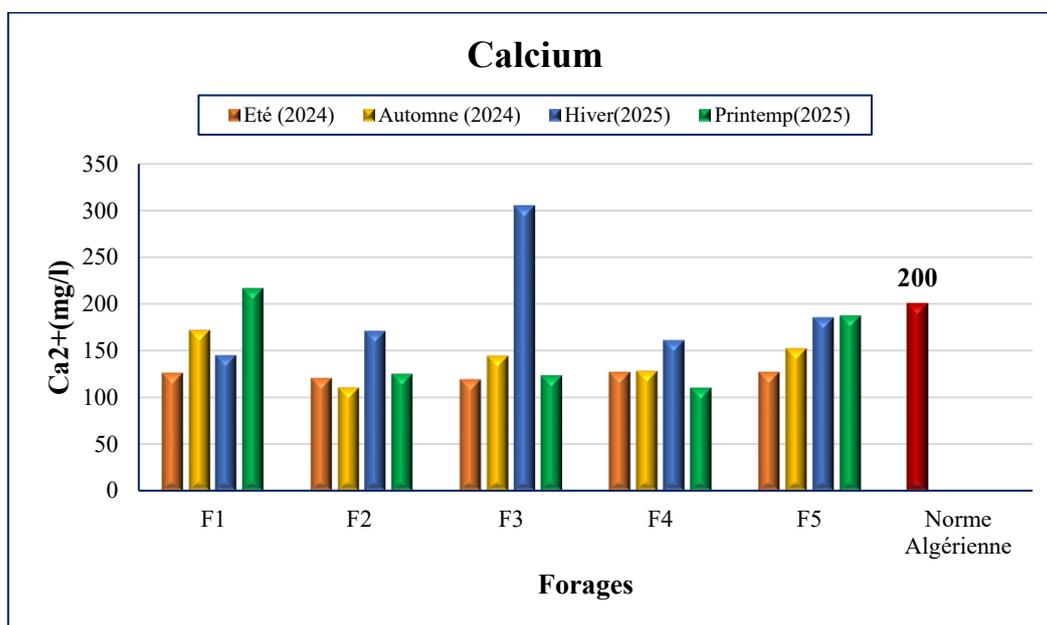


Figure 37 : Variation de calcium des eaux thermales des forages analysées.

La figure 37 illustre la variation saisonnière des concentrations en calcium (Ca^{++}) pour les eaux des cinq forages de Zelfana étudiées, comparées à la norme algérienne de potabilité, fixée à 200 mg/L (Annexe VI). Dans la majorité des forages F1(Gouifla), F2(Hay el Moudjahidine), F4 (Centre-ville), F5 (Mosalaha), les concentrations restent inférieures à cette norme, ce qui indique une bonne qualité chimique à ce niveau. Toutefois, le forage F3(Route el Guerrara) montre une valeur hivernale excédant la norme, atteignant environ 304,66 mg/L, ce qui signale une dureté accrue de l'eau en cette saison.

La présence des ions Ca^{++} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4) (DEBIECHE, 2002 ; GOUAIDIA, 2008).

Le calcium joue un rôle fondamental dans la formation des structures squelettiques et des coquilles, ainsi que dans la régulation de la perméabilité des membranes cellulaires. Les organismes l'assimilent à partir de l'eau ou des sources alimentaires. Sa présence dans les eaux thermales ne présente généralement pas de risque pour la potabilité (AÏT BOUGHROUS, 2007)

Ces résultats sont généralement supérieurs aux résultats de GHEFAFLIA et GHEZEL (2024) pour l'eau thermale de Ain Zerrara qui ont trouvé, des concentrations varient entre



108,22 mg/l à 117,76 mg/l, tandis que pour Zelfana, elles varient entre 103,65 mg/l et 108,78 mg/l qui ont inférieur aux résultats obtenus. Ainsi pour l'étude de BENCHIKH (2012) qui a trouvé pour analyse de Hammam Charef à Guelma une valeur estimé par 177,1mg/l.

2.2.7. Magnésium

Le magnésium est un élément chimique largement présent dans les eaux thermales, souvent associé à la dissolution des roches dolomitiques et des minéraux silicatés traversés par les nappes souterraines (RODIER et *al.*, 2005). Les résultats obtenus de magnésium des eaux des forages analysés de la région de Zelfana sont enregistrés dans la figure suivante :

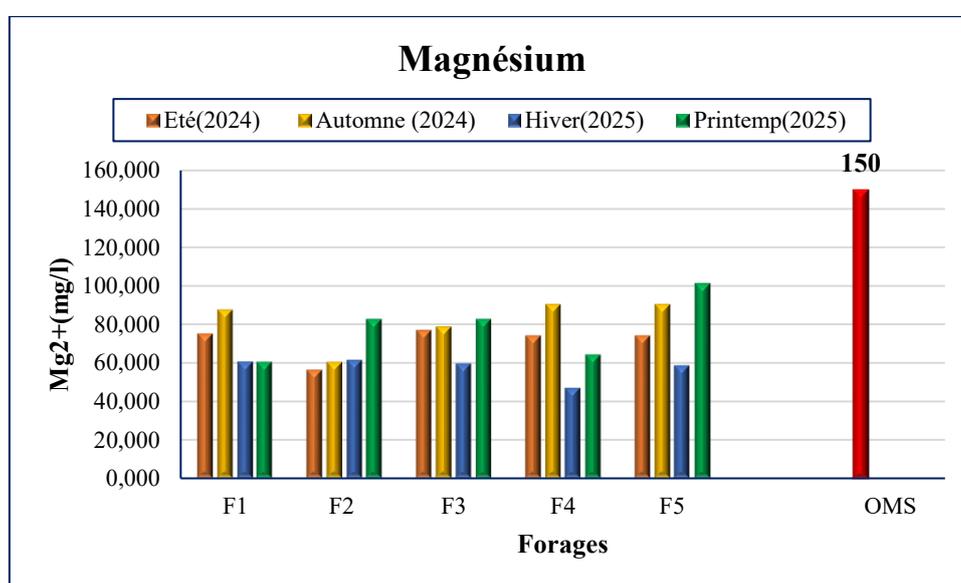


Figure 38: Variation de magnésium des eaux thermales des forages analysées.

La (Fig.38) montre une variation saisonnière du magnésium (Mg²⁺) dans les eaux des cinq forages, comparée à la norme de l'O.M.S (150mg/l). On observe que pour tous les forages (F1 à F5) au long de l'année les concentrations de magnésium sont inférieur à cette norme, avec une valeur maximale estimé par 101,08 mg/l au F5(Mosalaha) au printemps, ce qui indique une absence de dépassement des seuils de potabilité à ce niveau. (Annexe VI)

La présence des ions magnésium (Mg²⁺) dans les eaux thermales résulte, tout comme celle du calcium, de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium, telles que la magnésite et la dolomite (DEBIECHE, 2002 ; GOUAIDIA, 2008 ; BOUTTELI, 2011 ; NOUAYTI et *al.*, 2015)



Ces résultats sont inférieurs aux résultats de GHEFAFLIA et GHOZAL (2024) qui ont trouvé pour l'eau thermique de Ain Zerrara des concentrations variant de 200.56 mg/l le matin à 209.32 mg/l le soir. Et pour résultats de BENCHIKH (2012) qui a trouvé pour les analyses de Hammam el Charef à Guelma une valeur (41,9 mg/l) et (78,44 mg/l) pour les eaux de Zelfana.

2.2.8. Dureté totale

La dureté de l'eau thermique est principalement liée à la présence d'ions calcium (Ca^{++}) et magnésium (Mg^{++}) dissous, issus de la dissolution des roches carbonatées et dolomitiques (RODIER *et al.*, 2005). Une dureté élevée confère à l'eau des propriétés thérapeutiques reconnues, notamment dans le traitement des affections dermatologiques et rhumatismales (BARBIER, 1991). Cependant, une dureté excessive peut entraîner des désagréments tels que l'entartrage des installations thermales, nécessitant des précautions techniques pour éviter l'accumulation de dépôts minéraux (BONTOUX, 1992). On remarque que la plupart des eaux des forages (F1, F2, F3, F4, F5) présents des eaux dure au long de l'année (Fig. 39)

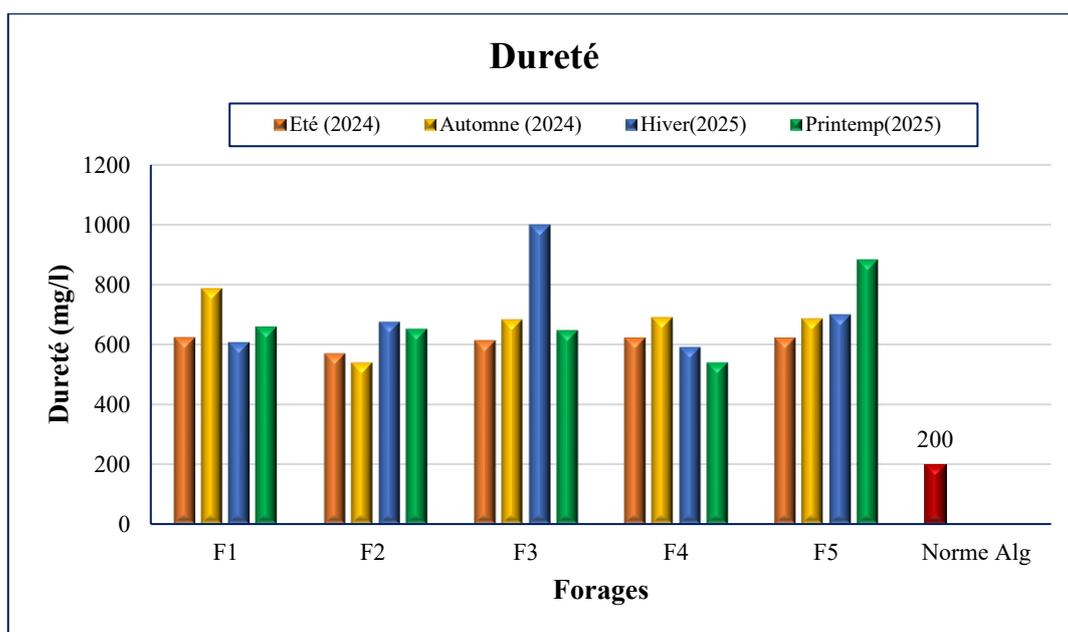


Figure 39 : Variation de Dureté des eaux thermales des forages analysées.

D'après la figure précédente on remarque que l'ensemble des forages analysées présentent des valeurs largement supérieures à la norme de potabilité pour une limite maximale recommandée est de (200 mg/L). Les valeurs varient entre environ 500 mg/L à plus de 1000 mg/L, soit jusqu'à 5 fois la norme admise qui est indiqué au F3(Route el Guerrara) à l'hiver (Annexe VI).



Cette augmentation hivernale pourrait être due à une réduction des apports en eaux de surface (pluie/infiltration), entraînant une concentration plus élevée en sels dissous. La maîtrise de la dureté est donc un paramètre essentiel dans la gestion et l'exploitation des eaux thermales (RODIER *et al.*, 2005).

Ces résultats sont supérieurs comparativement aux résultats de BENBADA et BOUTI (2023) qui ont trouvé au maximum (16,5 mg/l) pour le F1 (Gouifla) et F4(Centre-ville) et pour l'étude de BOULATROUS et BOUNNECHA (2021) des eaux thermo-minérale de la wilaya de Mila qui ont trouvé au maximum une valeur estimée par 503,3mg/l.

2.3. Faciès chimiques des eaux

Pour mieux déterminer le faciès chimique des eaux thermales de la région de Zelfana, une représentation graphique sur le diagramme triangulaire de PIPER a été effectuée à partir des résultats analytiques obtenus.

Afin de caractériser les faciès hydrochimiques des eaux thermales et d'évaluer leur qualité, le diagramme de Piper a été employé comme outil d'interprétation. Ce type de représentation graphique permet de visualiser simultanément plusieurs échantillons d'eau. Il se compose de deux triangles, représentant respectivement la répartition des principaux cations et anions, ainsi que d'un losange central qui synthétise le faciès hydrochimique global. Ce diagramme est particulièrement adapté pour la classification des types d'eau et la comparaison entre différents échantillons.

Dans le cadre de cette étude, les résultats des analyses chimiques des cinq forages destinés à la consommation humaine ont été reportés sur ce diagramme (Fig.40). Cette représentation a permis d'obtenir une vision d'ensemble des caractéristiques chimiques des eaux thermales de la région de Zelfana, en mettant en évidence les ions majoritaires et les tendances dominantes dans la composition des eaux.

En général, nous constatons un équilibre entre ces cations avec des proportions variables. De même, le faciès anionique est dominé, soit par les sulfates ou les chlorures, mais en général, il est sulfaté.

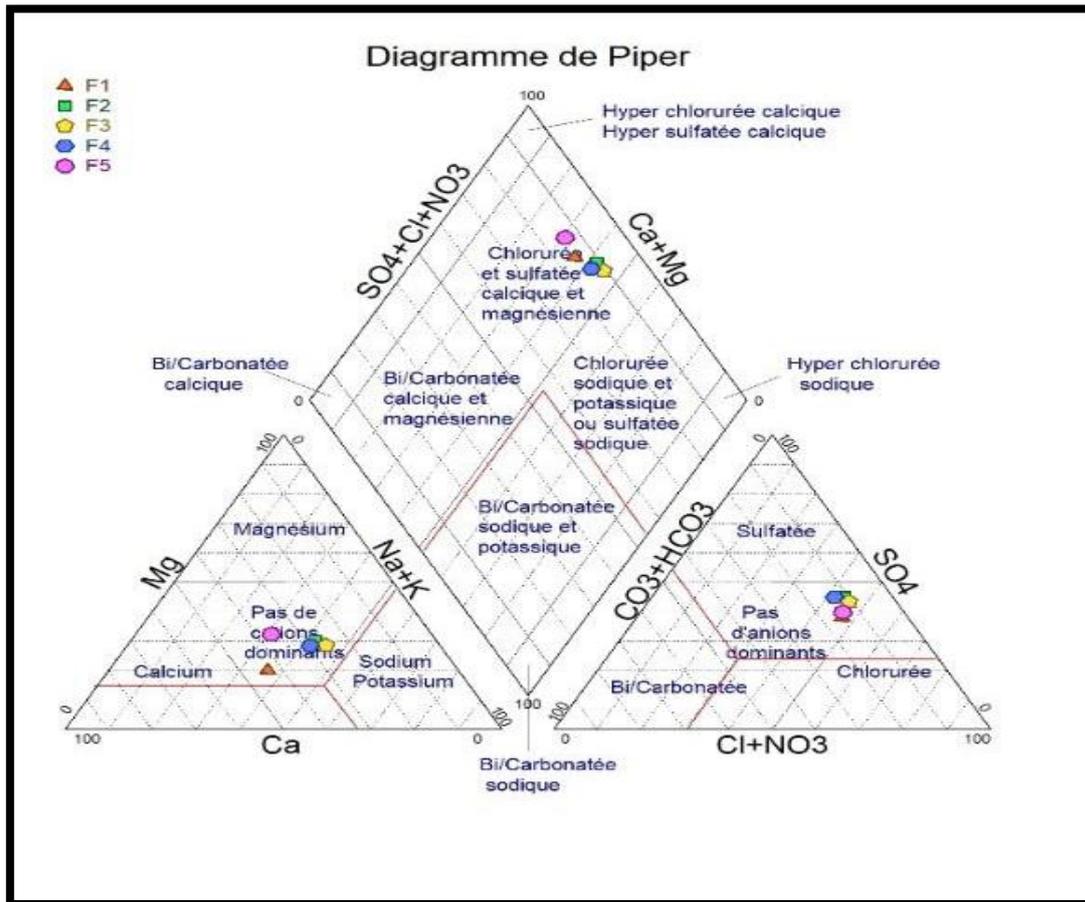


Figure 40 : Faciès chimique des eaux d'après le diagramme de PIPER pour les forages d'eau de boissons.

L'analyse des données à partir du diagramme de Piper met en évidence une composition hydrochimique relativement homogène des cinq échantillons d'eau thermique étudiés dans la région de Zelfana. Le triangle cationique révèle une répartition relativement équilibrée entre les principaux cations (calcium, magnésium, sodium et potassium), sans qu'un seul ion ne domine nettement. Cette observation suggère une origine mixte des apports en cations, probablement liée à des interactions multiples entre l'eau et les formations géologiques traversées.

Concernant les anions, les résultats montrent une prédominance des sulfates (SO_4^{2-}), bien que certains échantillons présentent également une proportion significative de chlorures (Cl^-). Cette tendance se traduit par un faciès anionique globalement sulfaté, ce qui pourrait être lié à la dissolution de minéraux évaporitiques (tels que le gypse ou l'anhydrite) présents dans le substratum géologique. La position des échantillons dans le losange central du diagramme confirme une classification des eaux comme étant 'chlorurées et sulfatées, calciques et magnésiennes', indiquant une minéralisation modérée à élever.



Pour les eaux d'irrigation en général, nous constatons un équilibre entre ces cations avec des proportions variables. De même, le faciès anionique est dominé, soit par les sulfates ou les chlorures, mais en général, il est sulfaté.

2.4. Aptitude des eaux à l'irrigation

2.4.1. pH

Le pH est un paramètre fondamental dans l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation, car il influence directement sur la solubilité et la disponibilité des nutriments essentiels des plantes ainsi que l'activité biologique du sol. un pH neutre à légèrement alcalin (entre 6,5 et 8,4) est généralement favorable à la plupart des cultures. Les résultats obtenus d'après les mesures de pH des eaux d'irrigation des trois forages analysés sont mentionnés dans la figure suivante :

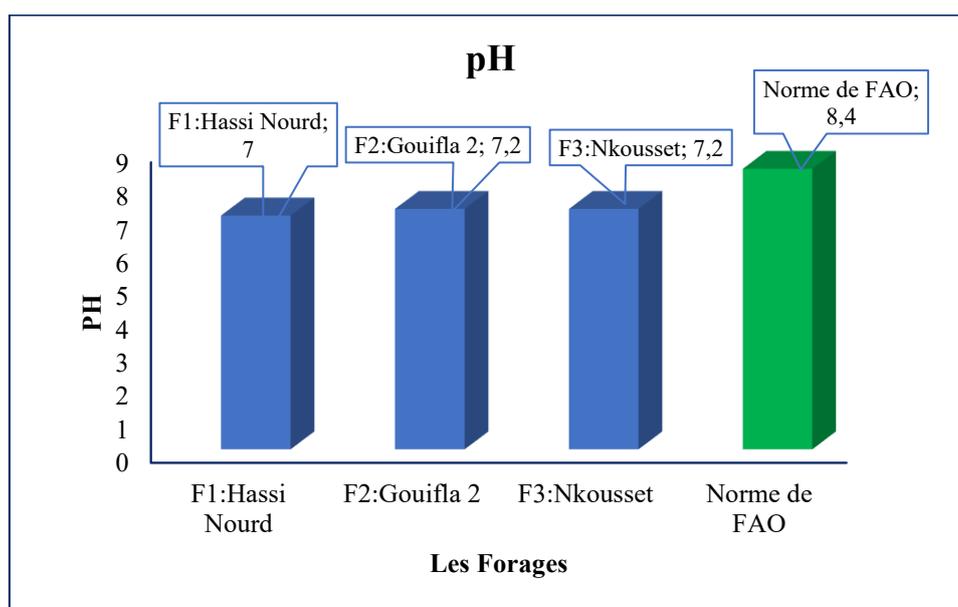


Figure 41: Variation de pH des eaux d'irrigation analysées.

On remarque que dans le cas des trois forages analysés à Zelfana F6(Hassi nourd), F7(Gouifla 2), F8 (Nkousset), les valeurs du pH varient entre 7,0 et 7,2, ce qui les place dans la plage optimale définie par la F.A.O pour les eaux d'irrigation (entre 6,5 et 8,4).

Selon le résultat obtenu par BENSLAMA (2021) sur les eaux d'irrigation de la région de Zelfana qui a trouvé des résultats supérieurs estimé par 7,5.



D'un point de vue écologique, ces résultats indiquent une eau stable et compatible avec les écosystèmes agricoles locaux, sans risque d'acidification ou d'alcalinisation excessive des sols.

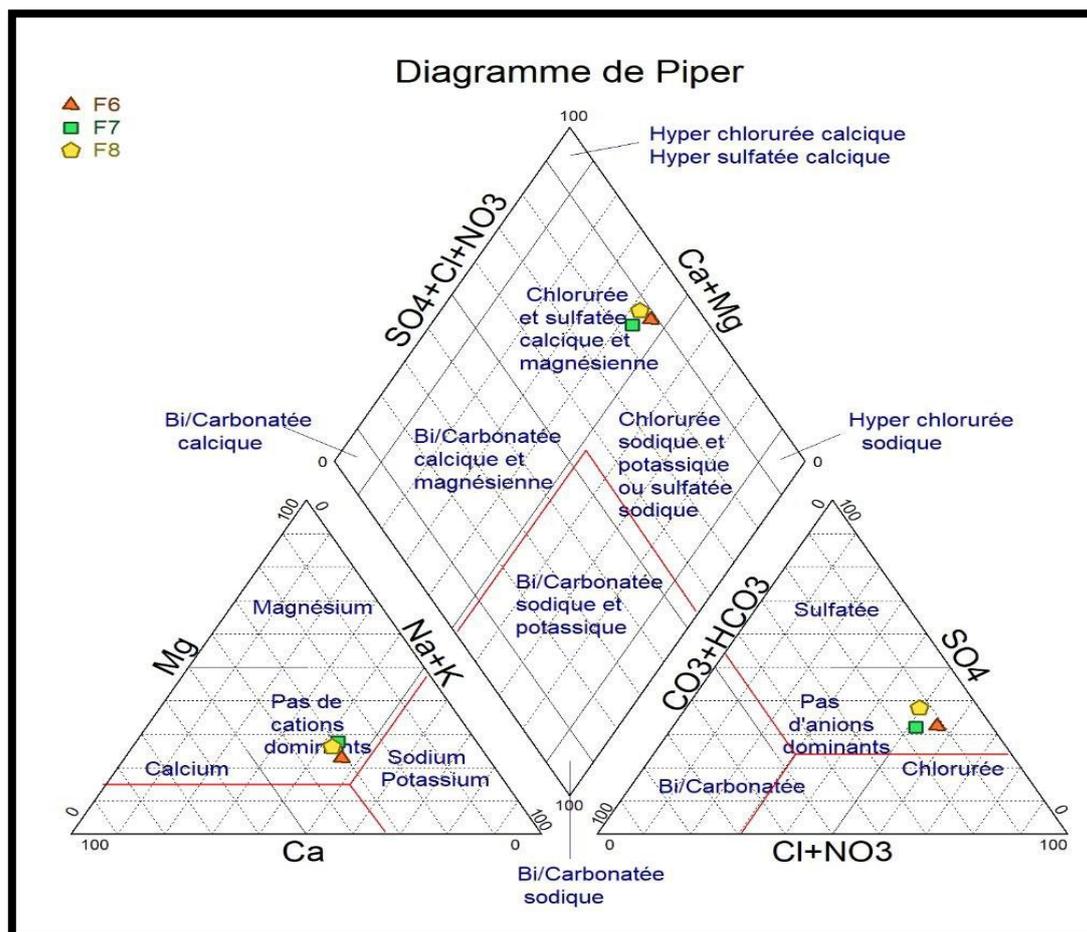


Figure 42 : Faciès chimique des eaux d'après le diagramme de PIPER pour les forages d'irrigation.

Dans le triangle cationique, les trois échantillons des différents forages étudiées pour l'irrigation se situent dans une zone où aucun cation n'est nettement dominant. Cette distribution témoigne d'un équilibre relatif entre calcium (Ca^{++}), magnésium (Mg^{++}), sodium (Na^+) et potassium (K^+), avec toutefois une légère prédominance du calcium et du magnésium dans certains cas. Cette composition suggère une origine mixte des apports minéraux, influencée par les interactions entre les eaux souterraines et les formations géologiques traversées.

Dans le triangle des anions, la majorité des échantillons montrent une dominance des sulfates (SO_4^{2-}), suivis dans une moindre mesure par les chlorures (Cl^-), positionnant globalement ces eaux dans un faciès anionique sulfaté à chloruré. Cette signature chimique est



caractéristique des zones arides à semi-arides où la dissolution des minéraux évaporitiques (comme le gypse ou l'anhydrite) est fréquente. Le positionnement des échantillons dans la zone 'chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne' dans le losange central du diagramme confirme cette tendance.

Sur le plan agronomique, cette qualité d'eau peut convenir à l'irrigation dans certaines conditions, mais la dominance des sulfates et la présence non négligeable de chlorures nécessitent un suivi attentif pour éviter les effets négatifs à long terme, tels que la salinisation des sols ou les déséquilibres nutritionnels pour les plantes.

2.5. Aptitude des eaux thermales analysées

Dans le but d'évaluer l'aptitude des eaux thermales à l'irrigation ainsi que leur impact potentiel sur les sols et les cultures dans la région de Zelfana, une analyse a été conduite en se focalisant sur trois paramètres essentiels : la salinité, la sodicité et la toxicité spécifique de certains ions.

2.5.1. Salinité

Concernant la salinité, il s'agit d'un facteur critique influençant la productivité agricole. Comme l'indique MERMOUD (2006), le phénomène de salinisation correspond à l'accumulation progressive de sels solubles dans la zone racinaire et à la surface du sol, ce qui peut nuire au développement des plantes, réduire les rendements agricoles et, à long terme, entraîner une dégradation irréversible des terres agricoles.

La classification de la salinité des eaux, établie initialement par le laboratoire de Riverside et ultérieurement adaptée par Durand (1983), distingue trois grandes catégories permettant de caractériser les niveaux de salinité des eaux destinées à l'irrigation (Fig.43) :

1- Classe C3 ($750 < C.E < 2250\mu S/cm$) : elle représente quatre échantillons (F1, F4 et F5) qui sont des forages des eaux destinées pour la boisson et un échantillon de F7 qui est un forage destiné pour l'irrigation.

Ce sont des eaux inutilisables pour les sols à drainage restreint. Même avec un bon drainage, des pratiques spéciales de contrôle de la salinité peuvent être nécessaires, et les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées ;



2- Classe C4 ($2250 < C.E < 5000 \mu S/cm$) : elle comporte quatre forages deux forages destinés aux boissons et deux forages destinés pour l'irrigation.

Ces eaux inutilisables normalement, à l'exception des sols très perméables avec un bon drainage, et l'eau d'irrigation appliquée en excès pour assurer un fort lessivage du sol. Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels.

Au total des eaux thermales étudiées de différent utilisation (boisson, irrigation) de la région de Zelfana on trouve que la moitié des forages (F1, F4, F5 et F7) sont des eaux à salinité fort, et pour les autres forages (F2, F3, F6 et F8) sont des eaux à salinité très fort.

Selon DADDI BOUHOUN (1997) et COUTURE (2004), une conductivité électrique (CE) élevée des eaux d'irrigation peut entraîner une accumulation excessive de sels solubles dans le sol. Cette accumulation provoque une élévation de la pression osmotique dans la zone racinaire, ce qui réduit la capacité des plantes à absorber l'eau. Il en résulte un ralentissement de la croissance des cultures, dont l'intensité varie selon leur niveau de tolérance à la salinité.

Tableau VI : Classes de salinité des eaux thermales étudiées de la commune de Zelfana.

| Salinité Type de forage | C3 Forte salinité | | C4 Très forte salinité | |
|-------------------------------|---------------------|-----|------------------------|-----|
| | Nombre de forage | (%) | Nombre de forages | (%) |
| De boissons | 3 | 60 | 2 | 40 |
| D'irrigation | 1 | 33 | 2 | 67 |

2.5.2. Sodicité des eaux

D'après les travaux de CHEVERRY (1972), l'adsorption du sodium par le complexe argilo-humique du sol peut entraîner un processus d'alcalinisation, avec des répercussions significatives sur les propriétés physiques du sol. Parmi ces effets, on peut citer la dispersion des particules argileuses, la détérioration de la structure du sol, la réduction de sa perméabilité et, in fine, un risque accru d'asphyxie racinaire.



Pour évaluer ce risque, la classification proposée par le laboratoire de Riverside repose sur l'analyse conjointe du rapport d'adsorption du sodium (S.A.R) et de la conductivité électrique (C.E) des eaux. Représentée sur le diagramme de Riverside cette classification distingue quatre classes principales permettant d'estimer le degré de danger lié à l'alcalinisation des sols en fonction des caractéristiques chimiques de l'eau d'irrigation (DURAND, 1983) :

- 1- **Classe S1** : la majorité des forages analysés de différent utilisation (boissons, irrigation). Ce sont des eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols avec peu de danger d'alcalinisation.
- 2- **Classe S2** : Le danger d'alcalinisation du sol est appréciable dans les sols à texture fine et à forte capacité d'échange. Cette eau est utilisable sur les sols à texture grossière ou les sols organiques ayant une bonne perméabilité ;

2.6. Classification des eaux thermales analysées

Dans cette étude, la classification de Riverside, telle que révisée par DURAND (1983) afin de mieux correspondre aux contextes agro climatiques du Maghreb, a été adoptée (BENHDID, 2022).

Le diagramme associé à cette classification combine les valeurs du Sodium Adsorption Ratio (S.A.R) avec la conductivité électrique (C.E), permettant ainsi de positionner les échantillons dans des classes qui reflètent leur aptitude à l'irrigation.

Selon GOUAIDIA (2008), cette méthode constitue un outil pertinent et fiable pour décrire les caractéristiques physico-chimiques actuelles d'une eau destinée à l'irrigation. Toutefois, elle présente une limite notable : elle ne permet pas de prédire l'évolution des risques liés à la salinisation ou à la sodisation des sols. Elle offre ainsi un état des lieux à un instant donné, sans fournir d'indications prospectives sur le comportement futur de l'eau une fois utilisée dans les systèmes agricoles. (BENHDID, 2022)

L'utilisation des diagrammes de RIVERSIDE (Fig. 43,44), en complément de l'évaluation du potentiel d'alcalinisation des sols, a permis de classer les eaux thermales étudiées de la région de Zelfana sur la base des paramètres mesurés, de la conductivité électrique (C.E) et le Sodium Adsorption Ratio (S.A.R). Cette approche a conduit à



l'identification de six classes distinctes d'eaux thermales au sein de la commune de Zelfana. Comme suit (Tabl.VII)

Les diagrammes de RIVERSIDE (Fig.43,44) parallèlement à la détermination du risque de l'alcalinisation permet de donner la classification des eaux thermales analysées en fonction des paramètres mesurés de la C.E. et du S.A.R. Ils nous ont permis de détecter trois classes d'eau dans la commune de Zelfana, comme suit (Tabl.VII) :

- 1- **Classe C3-S1** : cette classe renferme des eaux de forte salinité avec un danger d'alcalinisation faible. Elle représente la majorité des eaux analysées ;
- 2- **Classe C4-S1** : Elle représente les eaux de très forte salinité avec un danger d'alcalinisation faible ;
- 3- **Classe C4-S2** : Elle représente les eaux de très forte salinité avec un danger d'alcalinisation moyen.

De manière générale, les eaux analysées présentent un niveau de salinité modéré, susceptible d'engendrer un risque moyen de salinisation des sols. Ce constat implique la mise en place de pratiques d'irrigation appropriées, notamment un apport en eau suffisant pour favoriser le lessivage des sels accumulés, afin de limiter l'apparition de stress salin chez les végétaux. Par ailleurs, le potentiel d'alcalinisation est également classé comme moyen, avec une probabilité de toxicité sodique non négligeable, en particulier pour les cultures sensibles au sodium.

Tableau VII : Classes des eaux thermales analysées dans la commune de Zelfana.

| Classe des eaux | Nb | % |
|-----------------|----|----|
| C3-S1 | 4 | 50 |
| C4-S1 | 2 | 25 |
| C4-S2 | 2 | 25 |

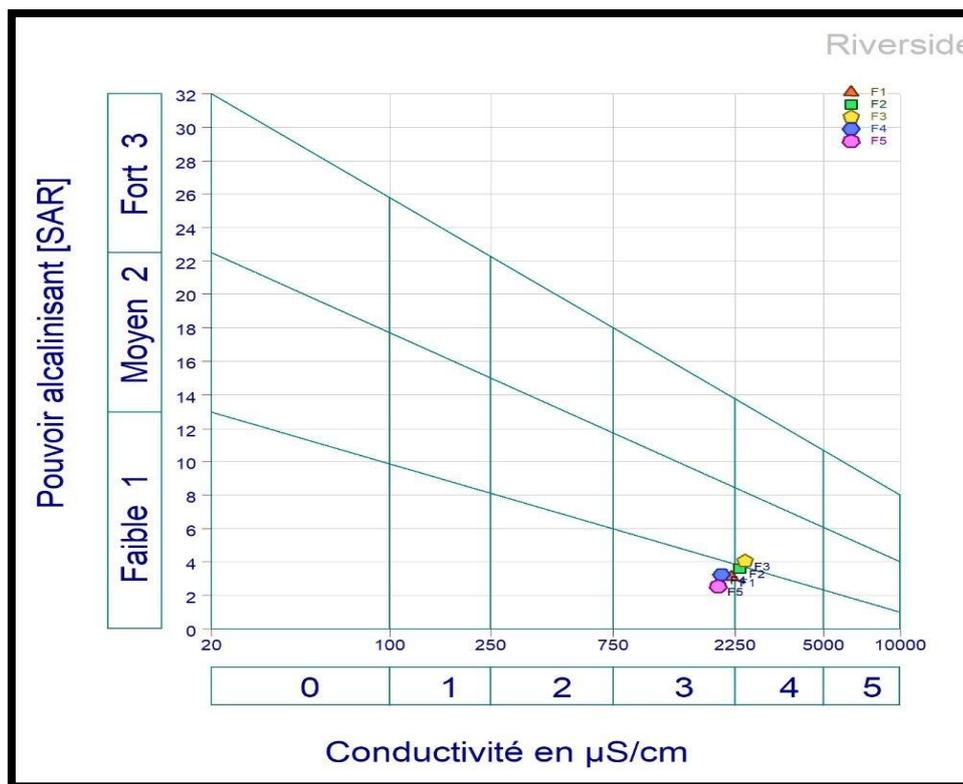


Figure 43 : Qualité des eaux thermales destinées aux consommation humaine de la région de Zelfana en fonction de la C.E. et du S.A.R.

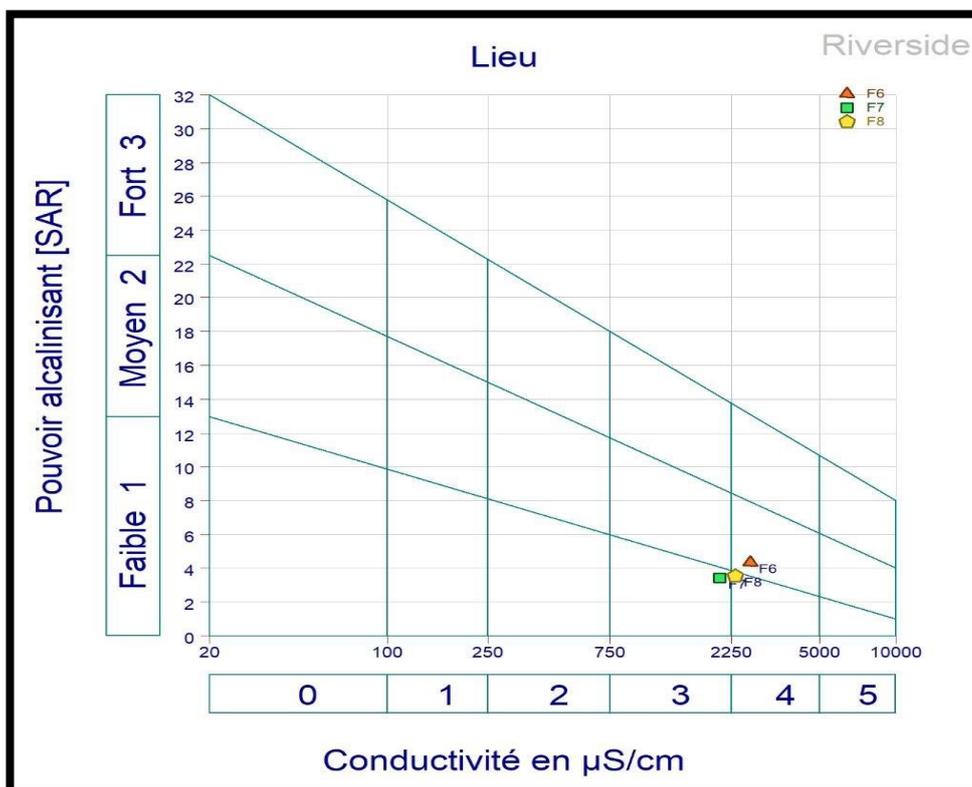


Figure 44 : Qualité des eaux thermales d'irrigation de la région de Zelfana en fonction de la C.E. et du S.A.R.

3. Étude microbiologiques des eaux thermales

L'analyse bactériologique de l'eau est une étape cruciale pour évaluer sa qualité sanitaire, notamment dans le cadre des eaux thermales. Elle permet de détecter la présence éventuelle de micro-organismes pathogènes, tels que les coliformes fécaux ou *Escherichia coli*, qui indiqueraient une contamination d'origine fécale (RODIER *et al.*, 2009). Cette surveillance est d'autant plus importante pour les eaux thermales, utilisées à des fins thérapeutiques, car leur composition minérale et leur température constituent un milieu favorable au développement de certaines bactéries opportunistes (LECLERC, 2003). Ainsi, l'analyse bactériologique permet de garantir la sécurité des usagers en s'assurant que l'eau respecte les normes sanitaires en vigueur (BARTRAM *et al.*, 2003)

Dans ce cadre, une étude bactériologique a été menée sur cinq forages les plus utilisés situés le long de la zone de Zelfana. Les résultats ont révélé l'absence d'indicateurs classiques de contamination fécale, tels que les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux.



3.1. Coliformes totaux et fécaux

La présence des coliformes thermo-tolérants, signe l'existence quasi certaine de la contamination fécale d'eau d'après (RODIER *et al.*, 2009 ; EL-HAISSOUFI *et al.*, 2011). (Fig.,45)

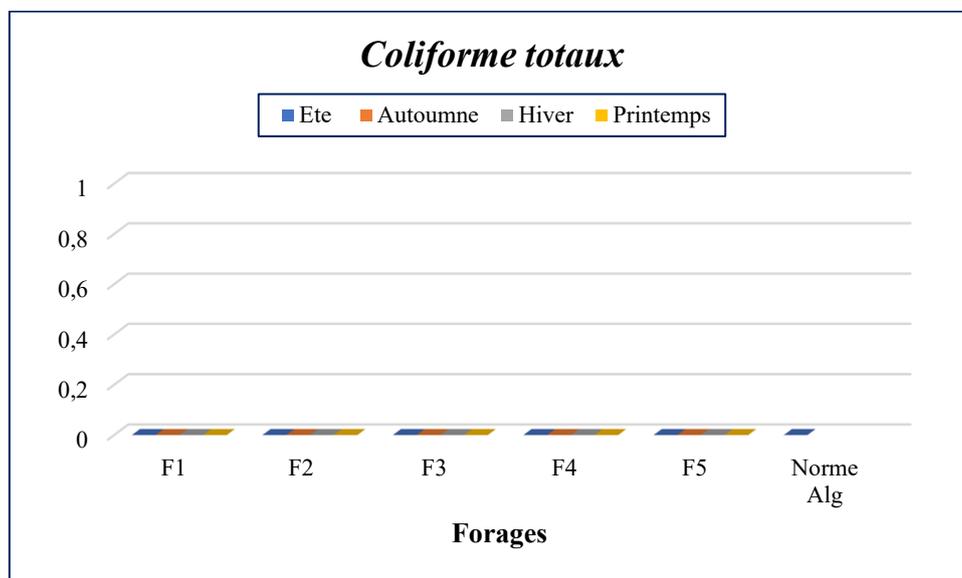


Figure 45 : Dénombrement du coliformes totaux dans les forages des eaux analysées.

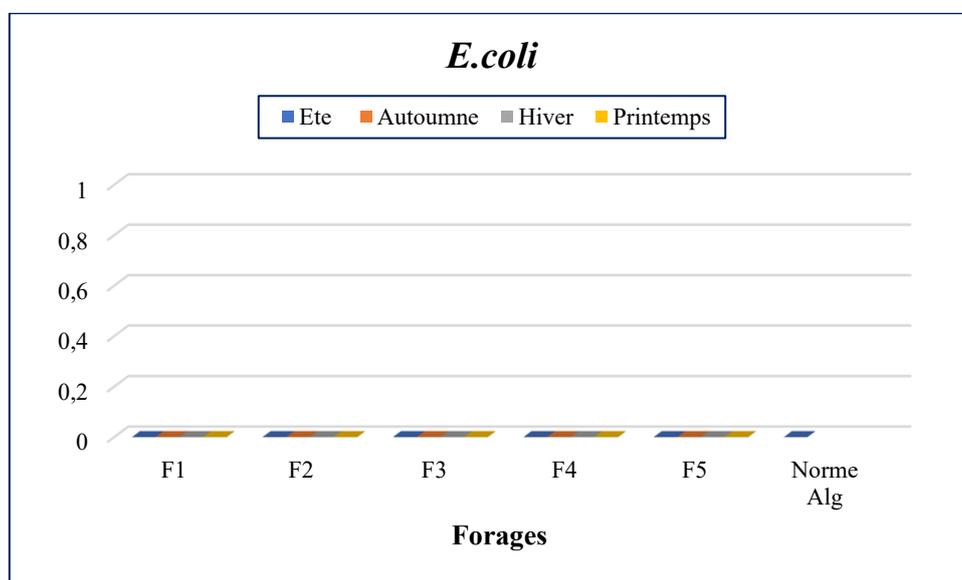


Figure 46: Dénombrement des coliformes fécaux dans les forages des eaux analysées.

Les résultats des analyses (Fig.46) bactériologiques indiquent que tous les cinq forages ne contiennent pas des coliformes totaux ni des coliformes fécaux (0/100 ml). Ce qui veut dire qu'ils sont compatibles aux normes Algériennes (0/100 ml).



Pour une étude comparative de BENCHIKH (2012) qui a trouvé l'absence des germes microbiens dans les trois eaux minérales étudiées (Hammam el Charef à wilaya de Guelma, Zelfana et Zem Zem)

3.2. Streptocoques fécaux

La mise en évidence d'entérocoques dans une nappe phréatique constitue un indicateur fort de pollution d'origine fécale, suggérant également la possible présence de micro-organismes entéro-pathogènes (CHEVALIER, 2002 ; LADJEL, 2009). Par ailleurs, d'après les travaux de FIGARELLA et LEYRAL (2002) ainsi que de RODIER *et al.* (2005), la détection simultanée de streptocoques fécaux et de coliformes fécaux renforce la confirmation d'une contamination fécale dans les eaux destinées à la consommation humaine.

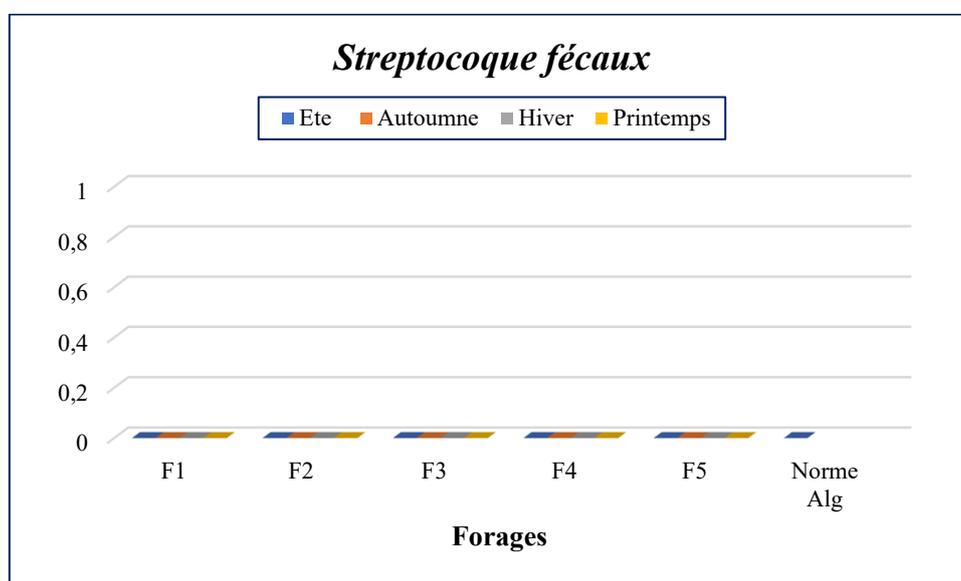


Figure47 : Dénombrement du Streptocoques fécaux dans les forages des eaux analysées.

Les analyses effectuées ont révélé que l'ensemble des forages étudiés présentent des résultats conformes aux normes algériennes de qualité microbiologique de l'eau potable (absence de streptocoques fécaux dans 100 ml). Aucun échantillon n'a montré la présence de ces micro-organismes, ce qui témoigne d'une bonne qualité bactériologique de l'eau issue des forages analysés.

Conclusion générale





Notre travail de recherche menée sur la qualité des eaux thermales de la région de Zelfana (wilaya de Ghardaïa) a permis de mieux comprendre leur état actuel à travers une analyse physico-chimique et microbiologique approfondie de huit forages, dont cinq destinés à la consommation humaine et trois à l'irrigation. Les résultats obtenus, interprétés à l'aide des diagrammes de Piper et de Riverside, mettent en évidence une composition hydro chimique caractéristique des milieux sahariens, marquée par une minéralisation variable mais globalement élevée.

Les températures mesurées, atteignant en moyenne 40°C en été, confirment la nature thermale de ces eaux. Le pH reste globalement neutre, traduisant une stabilité chimique satisfaisante. Toutefois, certains paramètres chimiques (fer, calcium, sodium, sulfates, dureté totale) enregistrent des dépassements ponctuels par rapport aux normes de potabilité algériennes, notamment dans les forages F3 et F4. Ces anomalies restent toutefois localisées et saisonnières, indiquant la nécessité d'un suivi régulier.

Sur le plan bactériologique, l'ensemble des échantillons est conforme aux exigences sanitaires, avec une absence totale de coliformes et de streptocoques fécaux, garantissant une bonne qualité microbiologique des eaux destinées à la boisson.

Les eaux d'irrigation se caractérisent par une turbidité très faible et une absence de paramètres de pollution majeurs (fer, ammonium, nitrites). Cependant, les niveaux de salinité et de sodium sont parfois supérieurs aux seuils recommandés par la FAO, ce qui suggère un risque modéré de salinisation et de sodisation des sols à moyen terme. L'interprétation via le diagramme de Riverside révèle trois classes d'eau : C3-S1, C4-S1 et C4-S2, traduisant respectivement une salinité forte à très forte, avec un danger d'alcalinisation allant de faible à moyen.

On propose comme des recommandations comme suite :

- ✓ Instaurer un programme de suivi périodique de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux thermales, notamment sur les forages F3 et F4 qui présentent des dépassements ponctuels.
- ✓ Mettre en œuvre des mesures correctives pour réduire les teneurs en fer, calcium, sodium et sulfates dans les points où elles dépassent les normes (par exemple par des procédés simples de traitement à petite échelle).
- ✓ Annoncer les citoyens les forages concernés par des dépassements ponctuels.



- ✓ Encourager l'utilisation de pratiques agricoles adaptées (cultures tolérantes à la salinité, amélioration du drainage, apports organiques).
- ✓ Assurer un entretien régulier des réseaux de captage et de distribution afin de limiter les risques de contamination et d'altération de la qualité de l'eau.
- ✓ Sensibilisation des gants sur la préservation de l'eau avec un bon gestion de ses ressources hydrique.
- ✓ Intégrer la gestion des eaux thermales dans une stratégie plus large de développement local durable qui concilie besoins sanitaires, économiques (tourisme et agriculture) et environnementaux.
- ✓ Fait une station de traitement des eaux usées pour éviter la pollution de la région.
- ❖ **Perspectives de ce travail**
- ✓ Étudier la possibilité d'installer des unités locales de traitement pour améliorer la qualité de l'eau aux normes exigées.
- ✓ Poursuivre des recherches scientifiques pour mieux comprendre la dynamique des nappes thermales et les effets des variations climatiques.
- ✓ Étudier les bienfaits de la qualité des eaux thermales de la région de Zelfana et ça compositions minérales qui contiennent et leur rôle dans la thérapeutique.

*Références
bibliographiques*





- **A.N.R.H., 2007-** Rapport de l'Agence National Des Ressources Hydriques, Ghardaïa.
- **A.N.R.H., 2009.** Note relative aux ressources en eau souterraines de la wilaya de Ghardaïa. Ed. Agen. Nati. Alg. Ress. Hydr. (A.N.R.H.), 19 p.
- **AGENCE NATIONAL DES RESSOURCES HYDRIQUE (ANRH), 2010.** Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du continental Intercalaire dans la wilaya de Ghardaia, rapport de l'Agence national ressource hydrique, Ouargla, p10.
- **ANRH, 2011.** Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe albienne dans la Wilaya de Ghardaïa. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. DRS. Ouargla ; Algérie.
- **AGENCE NATIONAL DES RESSOURCES HYDRIQUE (ANRH), 2012.** Etude du schéma de directeur d'AEP de la commune de Zelfana de l'HIMEX. Bureau d'étude .49p.
- **AÏT BOUGHROUS A., 2007.** Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc : le Tafilalet et la région de Marrakech. Mémoire de Doctorat, Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech.
- **AMINOT A. & KÉROUEL R., 2004.** Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. Éditions Ifremer, Paris, 336 p.
- **BARBIER E., 1991.** The economic value of ecosystems: 1. Tropical wetlands. Nature, vol. 350, pp. 373–374.
- **BARTRAM J., BALANCE R., 2003.** Water Quality Monitoring – A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. World Health Organization & United Nations Environment Programme. 383 p.
- **BEAR J., 1972.** Dynamics of Fluids in Porous Media. American Elsevier Publishing Company, New York, 764 p.
- **BEN ABOU A., EL HACHIMI ML., EL HACHIMI A.& EL HACHIMI H., 2014.** Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la plaine de Tadla (Maroc). Journal of Materials and Environmental Science, vol. 5, n° 5, pp. 1513–1520.
- **BENBADA S.et BOUTI I.,2023.** Évaluation des caractéristiques physico chimiques des eaux thermales, Cas de la région de Zelfana – Ghardaïa.Mémoire de Master.Université de Ghardaia.40p.



- **BENCHEIKH W., 2012.** Etude de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux thermales de Hammam El-Charef, Hammam Zelfana et l'eau minérale de Zamzam ainsi que leur activité antibactérienne et antioxydante. Mémoire de Magister. Université ZIANE ACHOUR de DJELFA. 87p
- **BENHEDID H., 2022.** Etude spatio-temporelle de la pollution azotée des eaux de la nappe superficielle à Oued M'Zab (Algérie). Thèse de doctorat. UNIVERSITE KASDI MERBAH - OUARGLA. 181p.
- **BENSLAMA A., 2021.** Qualité des eaux d'irrigation et salinisation des sols dans une palmeraie dans la région de Ghardaïa – cas de Zelfana. Thèse de doctorat, université de ghardaïa, 144p
- **BENTOUATI A. & BOUZIDI A., 2011.** Étude hydrogéologique et qualité des eaux souterraines de la région de Biskra (Algérie). Revue des Sciences de l'Eau, vol. 24, n° 2, pp. 123–132.
- **BONTOUX L., 1992.** L'eau et son environnement : pollution, traitement, épuration. Éditions Cépaduès, Toulouse, 450 p.
- **BOUGHLALI M., 2003.** Thermalisme et thalassothérapie en Algérie. Press. Therm. Climat, 140, 161-165.
- **BOURDEAU P., DUPONT L., MARTIN J., & CHEVALIER A., 2019.** Hydrotherapy and mineral water benefits. *Journal of Water Research*, 45(3), 125–139.
- **BOULATROUS B. et BOUNNECHE A., 2021.** Caractérisation physico-chimique et origine des eaux thermo-minérales de la région de Mila (NE Algérien). Master Académique. Université Mohammed Seddik Ben Yahia – Jijel. 44p.
- **Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), (2011).** Recherche et dénombrement des bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives : méthode par incorporation à la gélose, MA.700-BHA35 1.0, Rév.3, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 15
- **CHEVERRY C., 1972.** Exemple d'application des travaux de l'U.S. Salinity laboratory (1963- 1968) sur l'alcalinisation des sols soumis à l'action d'eaux bicarbonatées. Cah. O.R.S.T.O.M., Séri. Pédol, 10 (2), pp 193-203.
- **COYNE V. E., PILLIDGE C. J., SLEDJESKI D. D., HORI H., ORTIZ-CONDE B. A., MUIR D. G., WEINER R. M., & COLWELL R. R., 1989.** Reclassification of *Alteromonas colwelliana* to the genus *Shewanella* by DNA–DNA hybridization,



- serology and 5S ribosomal RNA sequence data. *Systematic and Applied Microbiology*, 12, 275–279.
- **D.P.S.B., 2020.** Direction de la programmation et du suivi budgétaires. Annuaire statistique de la wilaya de Ghardaïa.
 - **DADDI BOUHOUN M., 1997.** Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne : cas du M'Zab. Thèse Magister, El-Harrach, I.N.A, 180 p.
 - **DAJOZ R., 1982.** Précis d'écologie. Ed. Dunod. Paris, 621p.
 - **DEBIECHE T.H., 2002.** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. (Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord-Est Algérien). Thèse de doctorat. Univ. FRANCHE-COMTE, Spécialité de Sciences de la Terre (Hydrogéologie et Environnement), 199 p.
 - **DERWICH EI H., BENAABIDATE L., ZIAN A., SADKI O. & BELGHITY D., 2010.** Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec l'oued Fès. Larhyss Journal, n° 8, pp. 101–112.
 - **DESJARDINS R., 2010.** Traitement de l'eau 2 -ème édition.
 - **DJILI B., 2018.** Contribution à l'étude des sols alluviaux des bassins du M'zab : Approche morpho-analytique, organisation spatiale et intérêt environnemental. Thèse doctorat. UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, 223 p.
 - **DIB A., 2009.** Évaluation de la qualité des eaux de surface dans la région de Constantine. Mémoire de Magister, Université Mentouri de Constantine, 120 p.
 - **DSA., 2021.** Direction des services agricoles. Rapport des cultures en wilaya.
 - **DURAND J.H., 1983.** Les sols irrigables : Étude pédologique. Presse Universitaire de France. Collection. Ed. ACCT et CILF. Paris, 339 p.
 - **EDMUNDS W.M., & SMEDLEY P.L., 2000.** Residence time indicators in groundwaters: The East Midlands Triassic Sandstone aquifer. *Applied Geochemistry*, 15(6), 737–752pp.
 - **EL HAISSOUFI H., BERRADA S., MERZOUKI M., AABOUCH M., BENNANI L., BENLEMLIH M., EL OUALILAMI A. ,2011.** Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès, Maroc. *Revue de Microbiologie Industrielle, Sanitaire et Environnementale*, 5(1), 37–68pp.



- **FAO,2003.** Irrigation water quality standards and management practices. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 97 p.
- **FATNA M. L., B. M., 2016.** *Impact de l'exploitation des eaux souterraines sur la qualité des ressources hydriques dans la région de Zelfana.* Revue des Sciences de l'Eau, 29(2), 145–156pp.
- **FERREIRA MO., COSTA PC.et BAHIA MF .,2010.** Effet de l'eau thermale de São Pedro do Sul sur les irritations cutanées. Revue internationale des sciences cosmétiques, 32 (3), 205-210.
- **FIGARELLA J., & LEYRAL G.,2002.** *Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques.* Scérén – CRDP d'Aquitaine, Paris. 360 p.
- **FIORAVANTI A., et al.,2017.** Thermal water therapy in osteoarthritis treatment. Clinical Rheumatology, 36(2), 231-245.
- **FNIDES R.,2019.** Tourisme thermal et projet urbain durable. INTITULE : - L'importance des sources thermales dans le développement d'un écotourisme à la ville de Guelma - Cas de Hammam Debagh Le projet : Complexe thermal.Mémoire de Master. Université 08 Mai 1945 de Guelma.118p.
- **FRANK A. W., 2002.** At the Will of the Body: Reflections on Illness. Houghton Mifflin Harcourt, Boston.
- **GHEFAFLIA S.et GHOZAL I.,2024.** Etude de quelques caractéristiques physico-chimiques et Bactériologiques d'eau d'une source chaude" ZERRARA" de la région d'El Guerrara de la wilaya de Ghardaïa en Algérie.Mémoire de Master.Université de Ghardaia.57p.
- **GOUAIDIA L., 2008.** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est Algerien. Thèse doctorat. Université de BadjiMoukhtar Annaba, 130 p.
- **GOUAIDIA L., 2008.** Étude de la pollution des eaux souterraines par les nitrates dans la région de Sétif (Algérie). Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas de Sétif, 150 p.
- **HAMEL I.,2023.** Caractérisation et cartographie des propriétés physicochimiques des sols de la région de Ghardaïa (Cas de la palmeraie de ZELFANA) Algérie. Thèse de Doctorat. Université de Ghardaia.182p.



- **HOUICHITI R., 2009.** Caractérisation d'un agrosystème saharien dans une perspective de développement durable : Cas de l'Oasis de SEBSEB (Wilaya de GHARDAIA). Mémoire magister d'Agronomie Saharienne, Option Gestion des agrosystèmes Sahariens. Université de Ouargla, Département de Science agronomique. 105p.
- **I.S.O, 1993.** Qualité de l'eau. NA 2364, ISO 9964/3. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 20 p.
- **Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). (2013).** *Hospitalisations et complications attribuables à l'influenza : rapport de l'étude 2012-2013* (60 p.). Québec : INSPQ.
- **IPA ,2006.** *Manuel des méthodes d'analyses microbiologiques des eaux.* Institut Pasteur d'Algérie.
- **INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC (INSPQ), 2013.** Cadre de référence pour la surveillance intégrée du virus du Nil occidental au Québec. INSPQ, Québec.
- **JOURNAL OFFICIEL N° 7 ,1994.** Portant définition des eaux thermales et réglementant leur protection leur utilisation et leur exploitation. D. Ex. n° 94-41, 29 janvier, 5p.
- **JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE, N° 43 du 20 juillet 2011.** Décret exécutif n° 11-219 du 16 juin 2011 fixant les paramètres et les valeurs limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine.
- **KOUZMINE Y.,2003.** L'espace saharien algérien. Dynamique démographique et migratoire. Maitrise de Géographie, Univ. Franche-Comté, France, 202p.
- **KÜHN M., & STOBER I.,2015.** Geothermal Energy: From Theoretical Models to Exploration and Development. Springer.
- **KRAIMAT M., 2019.** Réponses adaptatives de quelques populations d'arachide locales (*arachis hypogaea* l.) à la déficience en phosphore : approches agromorphologique, physiologique et biochimique. Thèse de doctorat, université Kasdi Merbah-Ouargla, 189p.
- **LECLERC H., 2003.** Microbiologie des eaux et environnement. Éditions Tec & Doc, Paris.
- **LIANG Y., LI G. & QIAO X., 2015.** "Influences of heterogeneity on three-dimensional groundwater flow simulation and wellhead protection area delineation in



- karst groundwater system, Taiyuan City, Northern China”, *Environmental Earth Sciences*, 73: 6705–6717.
- **MAHAMAT B. et Beskri A.,2010.** Caractéristique physico-chimique des eaux souterraines dans la plaine de Khemis Miliana, Mémoire fin d’étude. Centre université de Khemis Miliana.
 - **MAIGA Y., 2005.** Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water. *Water Research*, vol. 39, n° 14, pp. 3373–3378.
 - **MAKHOUKH M., SBAA M., BERRAHOU A., & VAN CLOOSTER M.,2011.** Contribution à l’étude physico-chimique des eaux superficielles de l’Oued Moulouya (Maroc oriental). *Larhyss Journal*, 9, 149–169.
 - **MARGAT J. & VAN DER GUN J.,2013.** *Groundwater around the World: A Geographic Synopsis.* CRC Press.
 - **MATZ H., ORION E., & WOLF R.,2020.** Balneotherapy and Skin Health. *Dermatologic Therapy*, 33(1), e13251.
 - **N'DIAYE A D., EL KORY M B. & KANKOU M., 2013.** Water quality assessment of Senegal River in Mauritania by turbidity and chemical parameters analysis during rainy season. *Issues in Biological Sciences and Pharmaceutical Research*, vol. 1, n° 2. 016–021pp.
 - **OUALI B.,2005.** Etude géothermique du sud de L’Algérie. Doctoral dissertation, Boumerdès.
 - **OUALI S., Khellaf A., & Baddari K. ,2007.** Etude des ressources géothermiques du sud algérien. *Journal of Renewable Energies*, 10(3), 407-414.
 - **OUALI S., Mehmah B., & Malek A.,2007.** Etude de faisabilité d’utilisation des eaux thermales de Zelfana Dans la Production d’Hydrogène. Centre de Développement des Energies Renouvelables. Algérie.
 - **OULD BABA SY. M., 2005.** Recharge et paléo recharge du système aquifère du Sahara Septentrional, Thèse doctorat, université El MANAR de Tunis, 261p.
 - **OULED SIDI AMOR T., 2016.** Vulnérabilité a la pollution des eaux de la nappe superficielle de la vallée du m’zab. Mémoire master, université Kasdi Merbah – Ouargla, 71p.
 - **REZZAG B., NAAMI A.,2015.** Approche A La Gestion Des Ressources En Eau De La Région De Zelfana La Wilaya De Ghardaia.



- **RODIER J., LEGUBE B. & MERLET N., 2005.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. 8e édition, Éditions Dunod, Paris, 1384 p.
- **RODIER J., LEGUBE B. & MERLET N., 2009.** *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer* (9^e éd.). Paris : Dunod. 1526 p.
- **ROUAS A. et BENDANIA M.L., 2018.** Étude hydrogéologique de la région de HASSI LAFHEL bounauber (Ghardaïa). Mémoire de master académique, université Kasdi Merbah – Ouargla, 74p.
- **ROUVILLOIS-BRIGOL N., 1975.** Le pays de Ouargla (Sahara algérien) variations et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Ed. Département de Géographie, Uni v. de Sorbonne, Paris, 316 p.
- **ZAOUI H., 2018.** Apport des systèmes d'information géographiques (S.I.G) a la gestion des réseaux d'AEP : application sur le réseau du quartier de 5 juillet (ZELFANA). Mémoire de Master. 80p.

Annexes





Annexe I : Le décret exécutif numéro 07-69 du 19 février 2007 du journal officiel.

| | | |
|--|---|----------|
| <p>3 Safar 1428 21 février 2007</p> | <p>JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 13</p> | <p>7</p> |
| <p>Décret exécutif n° 07-69 du Aouel Safar 1428 correspondant au 19 février 2007 fixant les conditions et les modalités d'octroi de la concession d'utilisation et d'exploitation des eaux thermales.</p> <p style="text-align: center;">— — — —</p> <p>Le Chef du Gouvernement,</p> <p>Sur le rapport conjoint du ministre du tourisme et du ministre des ressources en eau ;</p> <p>Vu la Constitution, notamment ses articles 85-4° et 125 (alinéa 2) ;</p> <p>Vu l'ordonnance n° 76-80 du 23 octobre 1976, modifiée et complétée, portant code maritime ;</p> <p>Vu la loi n° 90-08 du 7 avril 1990, complétée, relative à la commune ;</p> <p>Vu la loi n° 90-09 du 7 avril 1990, complétée, relative à la wilaya ;</p> <p>Vu la loi n° 90-30 du 1er décembre 1990 portant loi domaniale ;</p> <p>Vu la loi n° 91-11 du 27 avril 1991, complétée, fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique ;</p> <p>Vu la loi n° 02-02 du 22 Dhou El Kaada 1422 correspondant au 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral ;</p> <p>Vu la loi n° 03-01 du 16 Dhou El Hidja 1423 correspondant au 17 février 2003 relative au développement durable du tourisme, notamment son article 16 ;</p> <p>Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;</p> <p>Vu la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau ;</p> | <p style="text-align: center;">Décète :</p> <p>Article 1er. — En application des dispositions de l'article 16 de la loi n° 03-01 du 16 Dhou El Hidja 1423 correspondant au 17 février 2003, susvisée, le présent décret a pour objet de fixer les conditions et les modalités d'octroi de la concession d'utilisation et d'exploitation des eaux thermales.</p> <p style="text-align: center;">CHAPITRE I</p> <p style="text-align: center;">DISPOSITIONS GENERALES</p> <p style="text-align: center;">Section 1</p> <p style="text-align: center;">Définitions</p> <p>Art. 2. — Les eaux thermales sont des eaux captées à partir d'une émergence naturelle ou d'un forage qui, en raison de la nature spéciale de leurs principes, de la stabilité de leurs caractéristiques physiques et de leur composition chimique, peuvent avoir des propriétés thérapeutiques.</p> <p>Art. 3. — Les eaux marines qui, après traitement et apport, peuvent avoir des propriétés thérapeutiques sont considérées comme des eaux thermales et sont soumises aux dispositions du présent décret.</p> <p>Art. 4. — Ne sont pas soumises aux dispositions du présent décret les autres eaux destinées à la consommation humaine.</p> <p>Art. 5. — Est considéré comme établissement thermal tout établissement utilisant l'eau thermale et ses dérivés à des fins thérapeutiques et de remise en forme.</p> <p>Art. 6. — Est considéré comme établissement de thalassothérapie tout établissement qui utilise l'eau de mer et les produits naturels extraits de la mer, dans le cadre de l'article 3 ci-dessus, à des fins thérapeutiques et de remise en forme.</p> <p style="text-align: center;">Section 2</p> <p style="text-align: center;">De la reconnaissance, de la classification,</p> | |


Annexe II : Indications d'utilisation des différents types d'eaux thermales (BENCHIKH,2012)

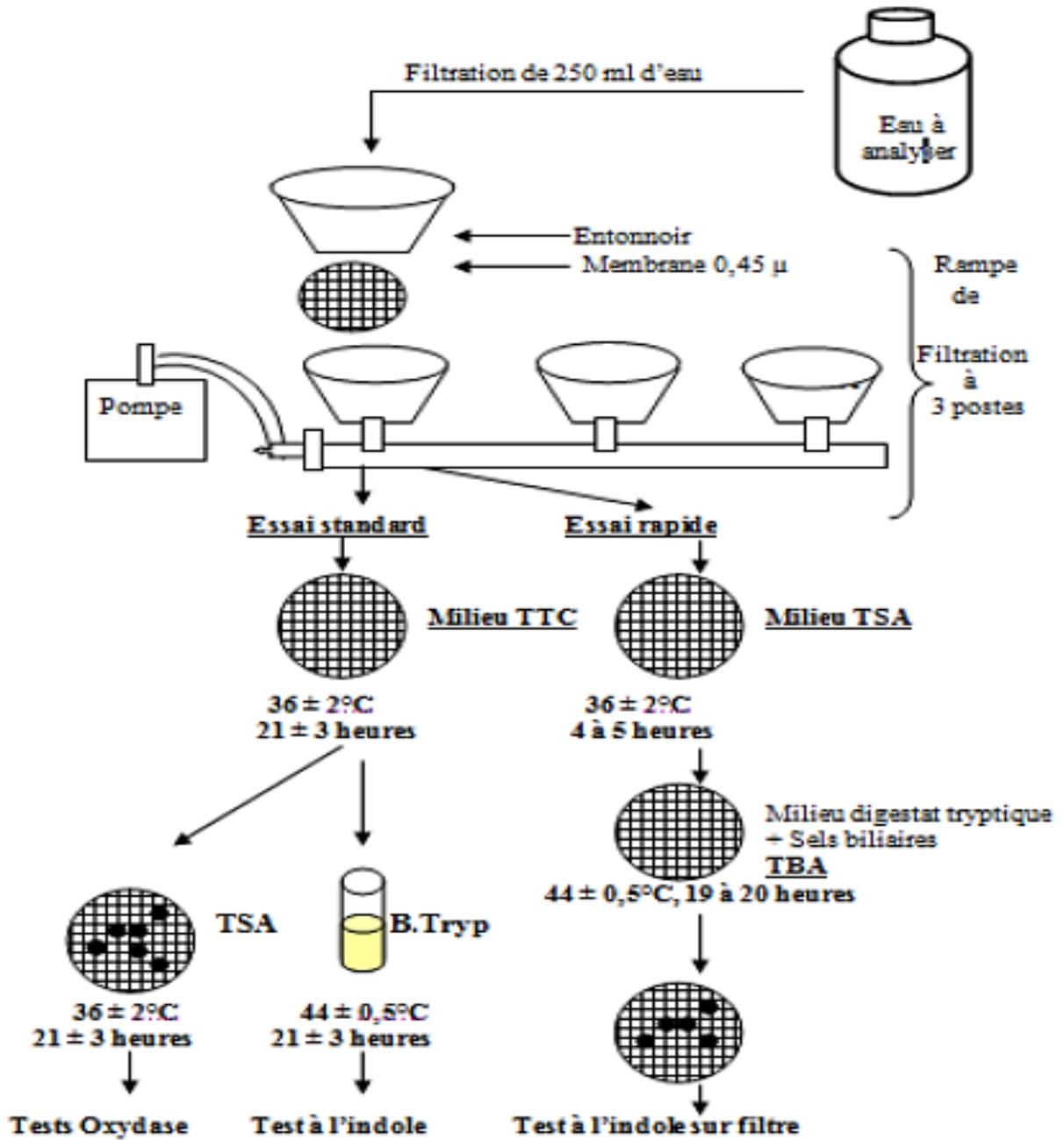
| Maladies | Mode d'utilisation |
|---|--|
| Troubles urinaires : <ul style="list-style-type: none"> •Lithiase, cystites récidivantes, prostatite •Douleurs pelvipéritonéales. •Diurèse, pyélonéphrite. | Usage interne "Absorption d'eau, douches inversées, "et externe "bains" |
| Maladies digestives : <ul style="list-style-type: none"> • Colopathie. • Trouble hépatobiliaires. | Cure de boisson : entéroclise "par contact direct de l'eau avec la muqueuse digestive" |
| Maladies de la nutrition : <ul style="list-style-type: none"> • Obésité. • Goutte, diabète non insulino-dépendant. | Usage externe |
| Maladies cardio artérielles et phlébologie : <ul style="list-style-type: none"> •Insuffisance veineuse chronique, avec ou sans troubles trophiques (ulcères variqueux) •Séquelles de phlébite, voire de lymphoedème, hypertension, artérites et troubles du rythme cardiaque | Eaux tièdes : Bains, douches, exercices de marche, massages de drainage |
| Indications gynécologiques <ul style="list-style-type: none"> • Douleurs pelviennes chroniques, infections chroniques. | Balnéation, applications de cataplasmes de boues et administration locale (douches, irrigations...). |
| Affections des muqueuses buccales : <ul style="list-style-type: none"> • Parodontopathies, stomatites chroniques et aphtoses). | Bains buccaux et douches |



| | |
|---|--|
| <p>Dermatologie</p> <p>:• Eczéma atopique.</p> <p>•dermatoses chroniques au premier rang, psoriasis et dermatite atopique chronique.</p> | <p>Douches, bains et pulvérisations</p> |
| <p>Rhumatologie :</p> <p>•Lombalgie chronique, coxarthrose et gonarthrose.</p> <p>•Arthrose (des mains, pieds) et rhumatismes inflammatoires.</p> | <p>Cure externe utilisant principalement des eaux chaudes : balnéation, d'applications de boues, de douches, de massages et d'exercices.</p> |
| <p>Affections respiratoires chroniques :</p> <p>•Asthme, trachéite, bronchite chronique.</p> <p>•Rhino- sinusite, otite chronique ou récidivante et pharyngite chronique.</p> | <p>Inhalation, humages, aérosols, douches pharyngées, gargarismes et exercices respiratoires.</p> |
| <p>Situations neurologiques :</p> <p>• Séquelles paralytiques d'origine centrale ou périphérique neuromusculaires et neurovégétative.</p> | <p>Usage externe</p> |

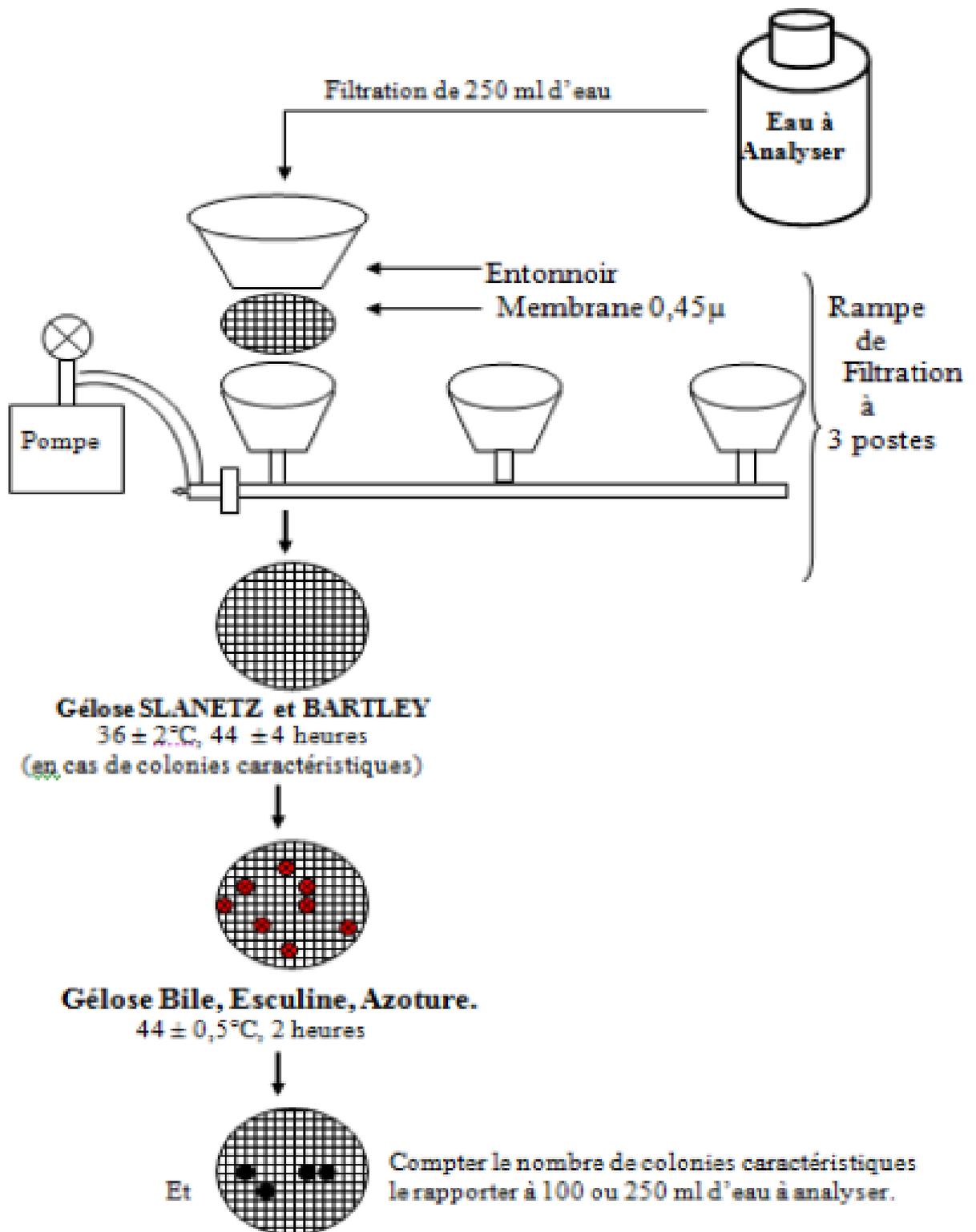


Annexe III : Recherche et dénombrement des Coliforme : méthode par filtration sur membrane.





Annexe IV : Recherche et dénombrement des Streptocoque : méthode par filtration sur membrane.





Annexe V : Les forages de la commune de Zelfana wilaya de Ghardaia. (ADE,2025).

| FID | Nom_du_for | Alti | AnR | Prof |
|------------|------------------------|-------------|------------|-------------|
| 1 | Fedj Naam | 369 | 1990 | 1000 |
| 2 | Gouifla (01) 7 | 345 | 1987 | 1000 |
| 3 | Gouifla (02) 8 | 336 | 1997 | 929 |
| 4 | Hassi Nord 1 | 368 | 1954 | 950 |
| 5 | Hessaie F6 | 376 | 1985 | 950 |
| 6 | Nakousset 1 | 366 | 2001 | 940 |
| 7 | Nakousset 2 | 370 | 2002 | 931 |
| 8 | Nakousset 3 | 377 | 2003 | 953 |
| 9 | Nakousset 4 | 335 | 2005 | 955 |
| 10 | Oued Djedari - Gouifla | 335 | 2001 | 973 |
| 11 | Sidi M'hamed (01) 6 | 368 | 1979 | 1000 |
| 12 | Sidi M'hamed (02) 5 | 380 | 1979 | 1000 |
| 13 | Zelfana 12 | 363 | 1996 | 990 |
| 14 | Zelfana 9 | 357 | 1997 | 950 |
| 15 | Zelfana centre | 351 | 1987 | 920 |
| 16 | Zelfana cimetièrè | 352 | 2004 | 1000 |
| 17 | Hassi Nord F 24 | / | 2013 | 1000 |
| 18 | Sidi M'hammed 2 F25 | / | 2014 | 1000 |
| 19 | Fedj Ennam F 27 | / | 2015 | 1000 |



| | | | | |
|----|-------------------------|---|------|------|
| 20 | AEP Carfour Guerrara | / | 2003 | 1000 |
| 21 | Forage EL Mossalaha AEP | / | 2010 | 1000 |
| 22 | Forage Chinois | / | 2016 | 1000 |
| 23 | Terifiya F 22 | / | 2009 | 1000 |
| 24 | Guifla F 10 | / | 1994 | 1000 |
| 25 | Guifla F 19 | / | 2007 | 1000 |
| 26 | Hassi Sud F 21 | / | 2008 | 1000 |

(Source :ADE ,2025)

Annexe VI : Paramètres et valeurs limites de la qualité de l'eau de consommation humaine (RODIER et al., 2009 ; JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE, 2011)

| Paramètre | Unité | Norme Algérienne | Norme OMS |
|---|------------------------|------------------|-----------|
| Température | °C | 25 | - |
| Turbidité | NTU | 5 | - |
| pH | - | ≥6,5 et ≤9 | 6,5 – 9,5 |
| Conductivité à 20°C | μS/cm | 2800 | 1500 |
| Dureté totale | mg/l CaCO ₃ | 200 | 500 |
| Ammonium (NH ₄ ⁺) | mg/l | 0,2 | 1,5 |
| Nitrates (NO ₃ ⁻) | mg/l | 50 | 50 |
| Nitrites (NO ₂ ⁻) | mg/l | 0,2 | 0,2 |
| Chlorures (Cl ⁻) | mg/l | 500 | 250 |
| Sulfates (SO ₄ ²⁻) | mg/l | 400 | 250 |
| Fluorures (F ⁻) | mg/l | 1,5 | < 1,5 |
| Fer total (Fe) | mg/l | 0,3 | < 0,3 |



| | | | |
|------------------------------------|---------------------|------|-------|
| Manganèse (Mn) | mg/l | 50 | 100 |
| Aluminium (Al) | mg/l | 0,2 | < 0,2 |
| Calcium (Ca²⁺) | mg/l | 200 | - |
| Magnésium (Mg²⁺) | mg/l | 150 | 150 |
| Sodium (Na⁺) | mg/l | 200 | < 200 |
| Potassium (K⁺) | mg/l | 12 | - |
| Zinc (Zn) | mg/l | 5 | < 3 |
| TDS | mg/l | - | 1000 |
| Oxydabilité (O₂) | mg/l O ₂ | < 5 | < 5 |
| Résidu sec | mg/l | 1500 | 1000 |
| Coliformes totaux | UFC/100 ml | 0 | 0 |
| Coliformes fécaux | UFC/100 ml | 0 | 0 |
| Streptocoques fécaux | UFC/100 ml | 0 | 0 |

Annexe VII : Directive pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (F.A.O. 1985 in F.A.O., 2003).

| Problèmes potentiels en irrigation | Degré de restriction à l'usage | | |
|---|---------------------------------------|----------------------|-----------------|
| | Aucun | Légère modéré | à Sévère |
| Salinité C.E. (dS/m) | < 0,7 | 0,7–3 | > 3 |
| Toxicités des ions spécifiques | | | |
| Sodium (Na ⁺) | < 3 | 3-9 | > 9 |
| • Irrigation de surface (S.A.R.) | < 3 | > 3 | - |



| | | | |
|--|-------------------------|---------|-------|
| • Irrigation par aspersion (meq/l) Chlorure (Cl-) | | | |
| • Irrigation de surface (meq/l) | <4 | 4-10 | > 10 |
| • Irrigation par aspersion (meq/l) | < 3 | > 3 | - |
| Bore (B) (mg/l) | <0,7 | 0,7-3 | > 3 |
| Effets diversAzote (NO ₃ -N)(mg/l) | <5 | 5-30 | >30 |
| Bicarbonate (HCO ₃ -) (meq/l) | <1,5 | 1,5-8,5 | > 8,5 |
| PH | Gamme normale : 6,5-8,4 | | |

Annexe VIII : Classification des eaux d'après leur pH (REFEA, 2003).

| | |
|---------------------------|---|
| pH < 5 | Acidité forte ; présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles |
| pH = 7 | pH neutre |
| 7 < pH < 8 | Neutralité approchée ; majorité des eaux de surface |
| 5.5 < pH < 8 | Majorité des eaux souterraines |



Annexe IX. Classification des eaux d'irrigation selon leurs conductivités électriques
(DURAND, 1983)

| Classes | C.E 25C° (µmhos/cm) | Salinité des eaux |
|---------|---------------------|---------------------------|
| C1 | C.E < 250 | Eau non saline |
| C2 | 250 < C.E < 750 | Eau à salinité moyenne |
| C3 | 750 < C.E < 2250 | Eau à forte salinité |
| C4 | 2250 < C.E < 5000 | Eau à très forte salinité |
| C5 | 5000 < C.E < 20 000 | Eau à salinité excessive |

| الموسسة العمومية للحامات المعدنية زلفانة EPTZ | |
|--|--------------------------|
| البطاقة التركيبية لهام زلفانة المعدنية | |
| Composition minerale des eaux thermales de Zelfana | |
| المنسوب: | قوي Fort |
| Potential d'Hydrogène: | 8.5 |
| طاقة هيدروجين: | 41.5 °C |
| الحرارة: | 41.5 °C |
| Résidu Sec (mg): | 18.10 |
| بقايا جافة: | 18.10 |
| Calcium: | 163 |
| كالكسيوم: | 163 |
| Magnésium: | 61 |
| مغنيزيوم: | 61 |
| Sodium: | 518 |
| صوديوم: | 518 |
| Potassium: | 22 |
| بوتاسيوم: | 22 |
| Chlorure: | 497 |
| كلورور: | 497 |
| Sulfates: | 518 |
| سلفات: | 518 |
| Bicarbonates: | 165 |
| بيكربونات: | 165 |
| Nitrate: | 15 |
| نيترات: | 15 |
| الأمراض الأساسية: | الأمراض العصبية التنفسية |
| الأمراض الثانوية: | الروماتيزم |
| | أمراض النساء |
| | أمراض الجلد |
| التمعدن الأساسي: | كلورور سوديوم |
| Affections essentielles: | Neuro-Respiratoire |
| Affections secondaires: | - Rhumatismales |
| | - Gynécologiques |
| | - Dermatologiques |
| Minéralisation principale: | Chlorure Sodique |
| مرحباً بزيارتنا الكرام... بالصحة والسلامة | |

Annexe X: caractéristiques des eaux thermales des hamamat de la commune de Zelfana wilaya de Ghardaia.



Annexe XI: Spectrophotometre emission a flame JENWAY.



Annexe XII: Spectrophotometre



Annexe XIII: Thermomètre.

البحرانية للمياه
E.P. Algerienne des Eaux
Zone de Ouargla
Unité de Ghardaja

مستوى ورقية
وحدة القياس
معلق زلفانة

معلق زلفانة

برنامج توزيع المياه لمدينة زلفانة

| رقم | الحي | ساعة الفتح | ساعة الغلق |
|-----|---|-------------|------------|
| 01 | حي حاسي نور | 07:00 ص | 11:00 ص |
| 02 | التماهي FNPOS+ 88 مسكن | 11:00 ص | 07:00 ص |
| 03 | حي نجرة 320 | 12:00 زوالا | 07:00 ص |
| 04 | حي نجرة 206 + حي نجرة 107 + 238 + 40 مسكن | 13:30 زوالا | 07:00 ص |
| 05 | حي المعاهين + 108 النصر + القويقة | 12:30 زوالا | 07:30 ص |

ملاحظة:
هذا البرنامج يتكاتف في بعض الحالات الطارئة منها:
 • انقطاع الكهرباء المتكررة للكهرباء
 • تعطل المضخة
 • كما يقع في بعض الحالات تسربات كبيرة في أوقات تزويد السكان بالماء.

زلفانة في : 2023/07/09
معلق زلفانة

نسخة إلى المسادة:
 • رئيس دائرة زلفانة
 • رئيس المجلس الشعبي البلدي بزلفانة
 • رئيس مقاطعة الموارد المائية لدائرة زلفانة

د.خلعة عبدالمقادر

Annexe XIV : Programme de distribution d'eau pour la ville de Zelfana.

Situation actuelle de la gestion des eaux thermales dans la région de Zelfana (Ghardaia)

Cette étude évalue la gestion des eaux thermales de la commune de Zelfana (Ghardaïa). Une enquête sur terrain pour 26 forages a permis de déterminer leur localisation, usages et modes de collecte des eaux usées. Huit forages ont été analysés pour leurs paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Les résultats montrent des températures atteignant 40 °C, confirmant leur nature thermique. Les analyses révèlent une composition minérale élevée et des dépassements ponctuels en fer, calcium et sulfates dans certains forages par rapport aux normes algériennes et de l'OMS. Ces eaux ont une bonne qualité en terme bactériologique. Les eaux d'irrigation des trois forages analysés présentent une salinité forte à très forte, avec un danger d'alcalinisation allant de faible à moyen. Ces résultats soulignent la nécessité d'un suivi régulier et d'une gestion durable.

Mots clés : Eaux thermales, Qualité, Physico-chimique, Bactériologiques, Zelfana.

الوضع الحالي لتسيير المياه الحرارية في منطقة زلفانة (غرداية)

تقيم هذه الدراسة واقع تسيير المياه الحموية (الحرارية) لبلدية زلفانة (غرداية).

وقد أنجز مسح ميداني شمل 26 بئراً لتحديد مواقعها، استخداماتها وطرق جمع المياه المستعملة. كما خضعت ثمانية آبار للتحليل من حيث الخصائص الفيزيائية-الكيميائية والجرثومية. أظهرت النتائج تسجيل درجات حرارة تصل إلى 40°م، مما يؤكد طبيعتها الحموية. وكشفت التحاليل عن تركيبة معدنية مرتفعة، مع تجاوزات موضعية لمستويات الحديد، الكالسيوم والكبريتات في بعض الآبار، وذلك بالمقارنة مع المقاييس الجزائرية ومعايير منظمة الصحة العالمية. أما من الناحية الجرثومية، فقد تبين أن هذه المياه ذات نوعية جيدة. في حين أظهرت تحاليل مياه السقي لثلاثة آبار ملوحة مرتفعة إلى مرتفعة جداً، مع خطر قلووية يتراوح بين ضعيف إلى متوسط. وتبرز هذه النتائج ضرورة المتابعة الدورية وضمان التسيير المستدام لهذه الموارد.

الكلمات المفتاحية: المياه الحموية، النوعية، فيزيائية-كيميائية، جرثومية، زلفانة.

Current Status of Thermal Water Management in the Zelfana Region (Ghardaia)

This study assesses the management of thermal waters in the municipality of Zelfana (Ghardaia). A field survey of 26 boreholes determined their location, uses, and wastewater collection methods. Eight boreholes were analyzed for their physicochemical and bacteriological parameters. The results show temperatures reaching 40°C, confirming their thermal nature. The analyses reveal a high mineral composition and occasional exceedances of iron, calcium, and sulfates in some boreholes. Complying with Algerian and WHO standards. These waters have good bacteriological quality. The irrigation water from the three boreholes analyzed has high to very high salinity, with a low to medium risk of alkalinization. These results highlight the need for regular monitoring and sustainable management.

Keywords: Thermal waters, Quality, Physicochemical, Bacteriological, Zelfana.