



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique  
جامعة زيان عاشور-الجلفة  
Université Ziane Achour -Djelfa  
كلية علوم الطبيعة و الحياة  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
قسم العلوم الفلاحية و البيطرة  
Département des sciences Agronomique et vétérinaire

## Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master En Agronomie

Spécialité : Eau et Environnement

Thème :

# Caractérisation des sources thermales sauvage non exploitées dans la région de Guelma

Présenté par : Melle Benzerga Arbia Imane

Melle Bousri Embarka

Devant le jury composé de :

Mr Boulknafet Zouhir	(MCB) Université de Djelfa	Président
Mme Khadri Samira	(MCB) Université de Djelfa	Promotrice
Mr Haied Nadjib	(MCA) Université de Djelfa	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023



# Remerciements

Tout d'abord, nous remercions notre Dieu, qui nous a donné le courage et patience pour terminer ce travail.

Avant tout, merci : madame

Khadri Samira, notre encadreur, qui nous a guidé et accompagné dans ce travail. Votre critique fructueuse a été un enrichissement pour nous. Son aide et sa disponibilité nous ont permis de faire avancer notre travail et de poursuivre cette étude.

Nous tenons également à remercier :

Monsieur BOULKENAFET Zouhir, qui nous a fait l'honneur de présider ce jury.

Monsieur HayedNadjib, qui a accepté de se joindre au jury et d'évaluer ce travail.

Nos remerciements particuliers au directeur de l'ONA, Unité De Djelfa, Monsieur Sebaa El Cherif et à monsieur AZEGLI Belkacem directeur de l'ADE, qui nous ont donné accès et tout le personnel qui nous a facilité places.

Merci à nos familles et tous nos proches pour leur patience et leur soutien au quotidien.

Accordez-nous une parfaite indulgence pour tous ceux dont je ne saurais nommer les noms.

Au terme de cet ouvrage, nous tenons à exprimer notre reconnaissance et notre sincère gratitude à tous ceux qui ont directement ou indirectement contribué à la réalisation de cet ouvrage.

# Dédicace

Je remercie tout d'abord, Allah, le tout puissant et clément de m'avoir aidé à réaliser ce travail.

Je dédie ensuite ce travail aux exceptionnels qui existent dans le monde, Mes parents, qu'ils trouvent ici toute ma gratitude pour leur soutien tout au long de mes études que Allah me les garde, et ma grande mère Arbia, Que Dieu prolonge sa vie.

Je dédie également à tous ceux qui m'aiment et spécialement à mes adorables Frères et sœurs et mes chères tantes.

A toute ma famille sans exception.

A mon encadreur Madame Khadri Samira, qui méritent tous mon respect et tribut.

Enfin, je dédie ce travail à toute personne qui m'a aidé de le réaliser de près ou de loin surtout mon cher grand père Benzerga Mokhtar, que Dieu lui fasse miséricorde.

*BenzergaArbia Imane*

# Dédicace

*Je tiens à remercier en premier ALLAH le tout puissant*

*Qui m'a donné le courage et la patience et qui a éclairé mon  
chemin pour achever ce travail.*

*À ma mère À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la  
flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore*

*À mon père, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son  
soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour  
toute son assistance et sa présence dans ma vie*

*A mes chers sœurset Mes chers frères*

*A toutes mes amies.*

*A l'ensemble de tous les étudiants et étudiantes de ma promotion*

***BousriEmbarka***

## Résumé

Depuis l'Antiquité, les gens s'intéressent à l'eau chaude a émergé de la terre.

Ce travail porte sur les caractéristiques des paramètres physico-chimiques de l'eau de certaines sources de la région de Guelma à l'Est algérien.

La zone d'étude fait partie du tissu structurel des monts Magrébin, le climat est semi-humide. Selon la carte néo tectonique, ces sources sont principalement créées par de grands événements tectoniques.

L'analyse physico-chimique des échantillons d'eau thermale prélevés a été réalisée notamment sur la base de certains paramètres ; conductivité électrique; Température; PH; et éléments principaux.

Les résultats obtenus pour plusieurs bouches hydrothermales de la zone d'étude ont montré les faciès chimiques selon le diagramme de Piper, Stabler-Schoeller-Berkaloff :

Bicarbonate de sodium, sulfate de calcium, chlorure de sodium et sulfate de sodium.

**Mots clés** : Sources thermales, faciès chimiques, diagramme, physico-chimie, température.

## **Abstract**

Since ancient times, people have been interested in hot water emerged from the earth.

This work focuses on the characteristics of the physico-chemical parameters of water from certain sources in the Guelma region in Eastern Algeria.

The study area is part of the structural fabric of the Magrebid Mountains, the climate is semi-humid. According to the neotectonic map, these sources are mainly created by large tectonic events.

The physico-chemical analysis of the thermal water samples was carried out on the basis of certain parameters; electrical conductivity; temperature; PH; and main elements.

The results obtained for several hydrothermal vents in the study area showed the chemical facies according to the Piper, Stabler-Schoeller-Berkaloff diagram:

Sodium bicarbonate, calcium sulphate, sodium chloride and sodium sulphate.

**Keywords:** thermal springs, chemical facies, diagram, physical and chemical element, temperature.

## ملخص

منذ العصور القديمة، كان الإنسان مهتمًا بالمياه الدافئة التي تتدفق من الأرض. يتعلق هذا العمل بخصائص المعايير الفيزيائية والكيميائية لمياه بعض الينابيع في منطقة شمال شرق الجزائر. منطقة الدراسة جزء من البناء الإنشائي لسلسلة المغرب العربي، المناخ شبه جاف. وفقًا لخريطة التكتونية الحديثة، يتم إنشاء هذه المصادر في العالم من خلال الأحداث التكتونية الكبيرة. تم إجراء التحليل الفيزيائي والكيميائي لعينات المياه الحرارية المأخوذة بشكل خاص لعدة معايير معينة؛ الموصلية الكهربائية؛ درجة حرارة؛ قيمها الحامضية؛ والعناصر الرئيسية. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها العديد من الفتحات الحرارية المائية في منطقة الدراسة السمات الكيميائية وفقًا لمخطط Piper وStabler-Schoeller-Berkaloff. بيكر بوناتا الصوديوم وكبريتات الكالسيوم وكبريتات الصوديوم وكبريتات الصوديوم.

**الكلمات المفتاحية:** الينابيع الحرارية، مؤشر التشبع، رسم بياني، العناصر الكيميائية والفيزيائية، درجة الحرارة، الشحنة الكيميائية.

# **Sommaire**

## Sommaire

---

---

Remercîments.....	
Dédicace.....	
Résumé.....	
Liste Des Tableaux.....	
Liste Des Figures .....	
Liste des abréviations.....	
Introduction General .....	i
Chapitre I : Aperçu bibliographique .....	1
I. Introduction.....	1
II. Définition et typologie.....	1
II.1. classification selon la température des sources thermales.....	1
II.2. Classification selon les caractéristiques hydrogéologiques.....	2
III. Les eaux thermales .....	3
III.1. Classification des eaux de sources thermales.....	4
III.2. Caractéristiques physico –chimiques des eaux à leur remontée.....	5
a. Le refroidissement : (précipitation minérale, changement des équilibres chimiques).....	5
b. Le mélange avec les eaux de surface (effet de dilution) .....	5
c. La recharge ou la perte en gaz (O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> ... ).....	5
III.3. Causes de la thermalité .....	6
III.4. Les bienfaits de l'eau thermale .....	8
IV. Les sources thermales de l'Algérie .....	8
.V Conclusion.....	9
Chapitre II : Cadre général.....	11
.I Situation géographique .....	11
II. Géomorphologie .....	12
III. Etude géologique :.....	13
1- Le domaine interne :.....	13
2- Le domaine des flyschs Crétacés-Paléogènes .....	14
3-le domaine tellien : .....	15
4-Le domaine de l'avant pays para-autochtone et autochtone :.....	16

## Sommaire

---

5-Le flyschs Numidien : .....	17
6-Les formations post-nappes :.....	17
6-Les formations de l’Oligo-Miocène kabyle et les Olistostromes : .....	17
IV. Géologie locale.....	18
V. Couvert végétal.....	19
VI. Contexte socio-économique .....	19
VII. Conclusion :.....	19
Chapitre III : Etude climatique .....	21
I. Etude des paramètres climatiques .....	21
II. Station de Mesure .....	21
III. Etude des paramètres climatiques .....	21
1.Précipitations .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.Précipitations saisonnières.....	22
3.La Température.....	23
4.Diagramme pluviométrique de Gausson (P = 2T).....	24
5.Bilan hydrique de Thornthwaite .....	25
Chapitre III : Etude hydrologique .....	29
I. Introduction .....	29
II. Réseau hydrographique .....	29
III. Identification des nappes .....	30
1. La nappe alluvionnaire de Guelma .....	30
2. La nappe des calcaires néritiques et sénoniens d’Héliopolis .....	32
3. La nappe des calcaires éocènes de Sellaoua Announa - Ras El Agba .....	32
4. La nappe des formations carbonatées de la région d’Ain Larbi- Bou Hachana .....	32
IV. Les sources thermales de la région de Guelma .....	32
1. Les sources thermales de Hammam Ouled Ali .....	32
2. Les sources thermales de Hammam Debagh.....	33
3. Les sources thermales de Hammam N’Bails et El Mina.....	33
4. Les sources thermales de Hammam Belhacheni et Guerfa .....	33
5. Les sources thermales Assassla et Roumia .....	33

## Sommaire

---

---

V. Conclusion .....	34
Chapitre IV : Hydrochimie .....	36
I. Introduction .....	36
II. Matériels et méthode .....	36
III. Points de prélèvement .....	38
IV. Caractéristiques physico-chimique des sources thermales .....	40
3.1. Les paramètres physiques .....	40
3.2. Les paramètres chimiques .....	43
3.3. Classification chimique des eaux .....	49
3.4. Géothermométrie .....	53
3.5. Géothermomètre Na/K/Ca.....	54
V. Conclusion .....	56
Conclusion Générale .....	58
Références bibliographiques .....	61

## Liste Des Tableaux

Tableau 1: Caractéristiques géographiques et topographiques de la station de Guelma .....	21
Tableau 2 :Précipitations moyennes mensuelles de la station de Guelma.....	22
Tableau 3: Précipitation saisonnière.....	23
Tableau 4 : Température moyenne mensuelle de la station de Guelma .....	23
Tableau 5: Bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite de la station de Guelma.....	26
Tableau 6: Eléments dominant d'après la classification de Stabler.....	53
Tableau 7: Températures estimées en °C dans les sources étudiées à la région de Guelma par différents géothermomètres chimiques.....	55
Tableau 8: Indice d'échange de base (i.e.b) .....	56

## Liste Des Figures

Figure1:Principaux types de sources.....	3
Figure2: Coupe d'un prototype géothermal (d'après U.S Géological Survey).....	4
Figure3 : Carte de situation de la zone d'étude.....	11
Figure4: Carte des altitudes.....	12
Figure 5: Carte structurale schématique de la chaîne Maghrébide montrant la disposition des zones internes et externes ; d'après Durand Delga et Fontboté (1980	14
Figure6: Carte géologique de la région de Guelma (Extraite de la carte géologique de l'Algérie 1/500000), (Belksier et Oubadi, 2022). ....	18
Figure 7: Précipitations moyennes mensuelles de la station de Guelma .....	22
Figure 8: Précipitation saisonnière.....	23
Figure 9: Température moyenne mensuelle de la station de Guelma .....	24
Figure10: Diagramme pluviométrique.....	25
Figure11: Représentation graphique du bilan de Thornthwaite de la station de Guelma.....	27
Figure12: Réseau hydrograpgique (Khadri, 2018). ....	29
Figure13 : Coupes hydrogéologiques dans la plaine de Guelma (d'après B. Gaud, 1974 in Mouchara, 2009).....	31
Figure14: Des bouteilles en verre de 02 stations (source Assasla et Roumia).....	37
Figure15: Détecteur intelligent de qualité de l'eau Tuya Wifi 7 en 1 .....	37
Figure 16: Testeur numérique de qualité de l'eau YIERYI 5 in 1.....	38
Figure 17: Carte des points de prélèvement.....	39
Figure 18: Variation spatiale des valeurs de la température. ....	40
Figure 19: Variation spatiale du potentiel hydrogène.....	41
Figure 20: Variation spatiale des valeurs de la conductivité. ....	42
Figure 21: Variation spatiale des valeurs de la salinité.....	42
Figure22: Variation spatiale des valeurs de débit. ....	43
Figure 23: Variations des teneurs Calcium de la zone d'étude.....	44
Figure 24: Variations des teneurs Magnésium de la zone d'étude. ....	45
Figure 25: Variations des teneurs Sodium de la zone d'étude.....	45
Figure 26: Variations des teneurs Potassium de la zone d'étude.....	46
Figure 27: Variations des teneurs Bicarbonates de la zone d'étude. ....	47
Figure 28: Variations des teneurs Nitrates de la zone d'étude.....	47
Figure 29: Variations des teneurs Chlorures de la zone d'étude.....	48
Figure 30: Variations des teneurs Sulfates de la zone d'étude. ....	49
Figure 31: Diagramme de Piper .....	50
Figure 32: Diagramme de Schoeller – Berkaloff.....	52
Figure 33: Diagramme de Stabler.....	53

## LISTE DES ABREVIATIONS

- **T<sub>P</sub>** : Température mensuelle en °C
- **P** : Précipitation mensuelle (mm)
- **i<sub>t</sub>** : Indice thermique
- **RFU** : Reserve Facilement Utilisable (mm)
- **CL** : Coefficient de latitude
- **ETR** : Evapotranspiration réelle (mm)
- **ETPc** : Evapotranspiration potentielle corrigée (mm)
- **Déf**: Déficit agricole (mm)
- **Exc**: Excédent (mm)
- **ADE** : Algérienne des eaux
- **CE** : conductivité électrique
- **pH** : potentiel d'hydrogène

# **Introduction Générale**

## Introduction General

L'eau chaude a toujours intéressé les gens en raison de ses propriétés curatives.

Le thermalisme a une longue histoire en Algérie, bien avant que les Romains ne créent des thermes. Les premières recherches scientifiques ont émergé vers les années 1940 avec Simone Gigue. Au fil du temps, d'autres études se sont développées d'un point de vue chimique, hydrogéologique et thérapeutique.

On connaît aujourd'hui mieux l'origine de certains courants thermiques et le mécanisme de leur formation : connaissance géologique des gisements, chimie de l'eau, relations entre structures géologiques, composition des eaux thermales, consignes de guérison. (Dib.H, 2004)

La minéralisation de l'eau est principalement déterminée par le caractère chimique et minéralogique des formations géologiques qu'elle traverse. La plupart des sources chaudes minéralisées sont directement liées à l'intersection des sédiments.

Ce travail porte sur les propriétés hydrochimiques de l'eau de deux sources thermales de la région de Guelma (sources Assasla et Roumia).

Nous avons divisé ce travail en cinq chapitres :

- Le Premier chapitre représente des généralités sur l'eau de source dans lequel nous avons tenté d'évoquer quelques notions de thermalisme, les principales caractéristiques et composants des eaux thermale et leur origines enfin un aperçu sur le thermalisme en Algérie.
- Dans le deuxième chapitre, nous donnons un aperçu sur le cadre général de la région d'étude). Nous avons insisté sur la localisation géographique, la géologie, la géomorphologie de la zone étudiée.
- Le deuxième chapitre est apporté à l'étude du climat de la zone d'étude. Au cours de ce chapitre nous avons quantifié les apports par les précipitations au niveau de la station étudiée.
- Le troisième chapitre traite de la partie hydrologique. Expliquer l'approche pour déterminer les propriétés du réseau hydrographique et recense les différentes nappes associées aux sources thermales présentes dans la zone d'étude.

- Le quatrième chapitre traite de l'hydrochimie des eaux des sources étudiées. C'est une partie essentielle de ce travail dans lequel nous allons établir :

- Répartition quantitative des principaux éléments.
- Principaux faciès chimiques de l'eau.
- La qualité de l'eau rencontrée.

Et enfin, une conclusion générale qui résume brièvement tous les résultats de cette étude.

# **Chapitre I**

## **Aperçu bibliographique**

## Chapitre I : Aperçu bibliographique

### I. Introduction

Les sources d'eau sont des eaux souterraines d'origine naturelle, qui sont protégées de toute pollution d'origine humaine et sont naturellement potables sur le plan chimique et microbiologique, mais qui doivent respecter les normes de potabilité applicables à l'eau du robinet. Elles ne sont soumises à aucun traitement, sauf pour séparer les éléments instables ou les matières en suspension par décantation ou filtration, sans modification de leur composition chimique. Les eaux de source présentent des compositions et températures très variées grâce à la diversité des terrains géologique traversés. Certaines sont très minéralisées d'autres sont très peu minéralisées, certaines sont chaudes, voire très chaudes alors que d'autres ont une température qui ne se distingue pas de celles des nappes phréatiques de leur environnement, si ce n'est par leur constance.

### II. Définition et typologie

Une source est un lieu et phénomène d'apparition et d'écoulement naturel d'eau souterraine à la surface du sol, -assez bien individualisés et à l'origine en général d'un cours d'eau de surface. Vasque d'eau formée par l'émergence (**castany et margat, 1977**). Elle est toujours liée à l'existence d'une nappe et peut être située au mur ou au toit de l'aquifère (**Ramade, 1996**).

Les sources reçoivent divers qualificatifs relatifs aux caractères de l'eau à sa température (source chaude, froide, thermale, hypotherme, orthotherme, hypotherme ; à sa composition chimique (source minérale, thermominérale, salée, incrustante, ferrugineuse, sulfureuse, ect) ; au régime et au débit de l'écoulement (source pérenne, saisonnière, intermittente, intercalaire, accidentelle, constante, variable) ; ou à l'origine et aux caractères hydrogéologiques de l'émission (Source artésienne, ascendante ou descendante, d'émergence, de déversement, de débordement, trop-plein, diaclasienne, ect.).

#### II.1. classification selon la température des sources thermales

**Verdeil E 2006** donne la classification Suivante :

- **Eau hypo thermale** : température égale à la température du lieu de l'émergence. Eau froides sa température est en dessous de 15°C.

- **Eau méso thermique** : température inférieure à 37°C et supérieur à celle du lieu d'émergence de plus de 4 °C.
- **Eau Ortho thermique** : température comprise entre 37 et 45°C.
- **Eau hyperthermale** : température supérieure à 45 °C.

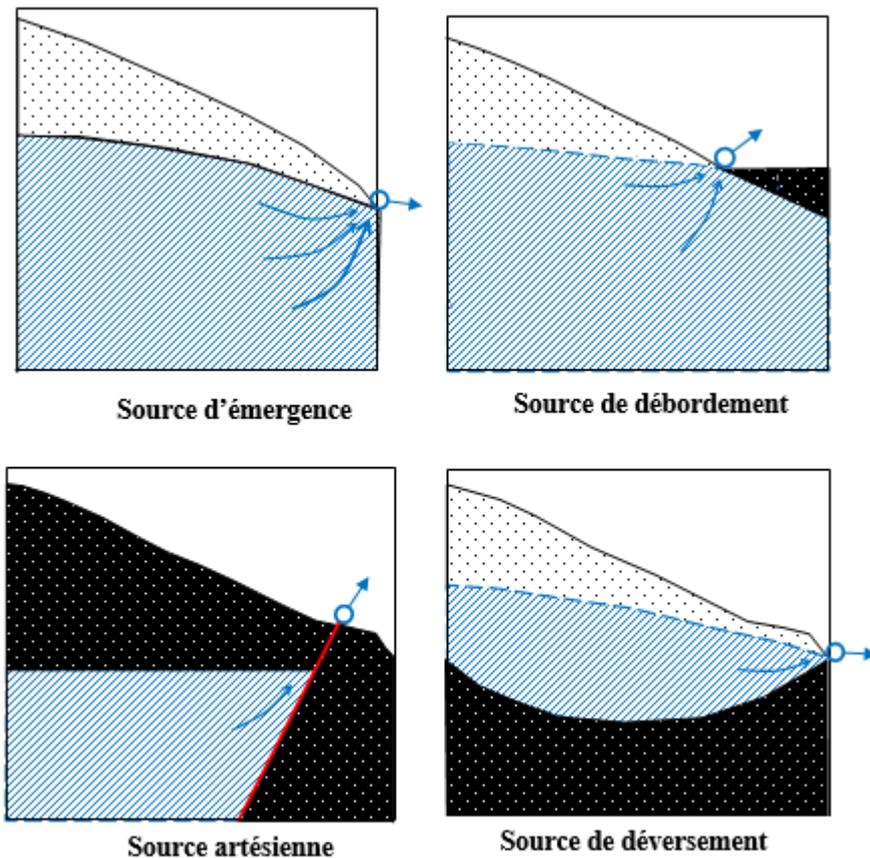
## II.2. Classification selon les caractéristiques hydrogéologiques

L'aquifère est également appelé réservoir ; la partie inférieure du réservoir doit être imperméable pour retenir l'eau et permettre la constitution d'une réserve. Suivant la perméabilité du toit de la nappe, il existe deux grands types de nappes souterraines nappe libre et nappe captive. Au niveau de la nappe libre naissent trois types de sources sont (figure 01) (**Castany et Margat, 1977**) :

- Source d'émergence : Les sources d'émergence sont issues de nappes libres et naissent au moment où la surface de la nappe d'eau souterraine rencontre la surface du sol. L'écoulement dans la nappe permet à l'eau de s'écouler à l'extérieur de l'aquifère (**castany et margat, 1977**).
- Source de débordement : Source située au contact du toit imperméable d'un aquifère, à la limite d'une nappe libre et d'une nappe captive.
- Sources de déversement : Les sources de déversement se produisent lorsque la base imperméable de l'aquifère rencontre la surface du sol. L'eau souterraine continue alors son écoulement sur la surface du sol.

Des sources artésiennes peuvent naître dans les nappes captives :

- Sources artésiennes : c'est une source jaillissante ascendante à rejeter. Ce sont des sources d'aquifères captifs, dont l'altitude du niveau piézométrique est supérieure à celui du sol. L'eau circule "sous pression" depuis l'aquifère jusqu'à la surface du sol, à travers les fissures du toit de la nappe.



A,  
aquifère ; b, formation hydrogéologique imperméable.

Figure1:Principaux types de sources

(Castany, 1982 modifier par Benzerga et Bousri, 2023).

### L'origine des sources thermales

Les sources ont une origine souterraine et naturelle. Elles proviennent de l'eau qui s'infiltré dans le sol et qui est stockée dans des couches souterraines appelées aquifères. Lorsque la pression dans l'aquifère est suffisamment élevée, l'eau peut remonter à la surface sous forme de source. Les sources peuvent être exploitables naturellement, c'est-à-dire qu'elles émergent spontanément à la surface, ou elles peuvent être forées pour en extraire l'eau. Les caractéristiques des sources peuvent varier selon leur localisation géographique, leur profondeur et la nature de la roche qui les entoure. (Site : [cnrs.fr](http://cnrs.fr) en date 11/04/2023).

### III. Les eaux thermales

Une eau thermique, dite source chaude, source hydrothermale et source géothermale, est une eau d'origine souterraine naturellement chaude à son émergence,

affectée de propriétés thérapeutiques. Nous pouvons également la définir ainsi comme un type particulier de source artésienne provenant d'un système aquifère dans lequel les gradients de température sont un facteur appréciable de l'hydrodynamisme (Margat, 1972).

C'est une eau dont la température propre est indépendante de celle du lieu de son émergence, elle est supérieure à la température moyenne annuelle de l'air  $+4^{\circ}\text{C}$  ou, à la température moyenne du sol  $+2^{\circ}\text{C}$  (Khiter, 2018). Pour un aquifère ou une source ordinaire, la température est celle de la moyenne annuelle du lieu. Cette moyenne dépend de la latitude ( $1^{\circ}$  de diminution pour un éloignement de  $2^{\circ}$  de l'Equateur), de l'altitude ( $1^{\circ}$  pour 150 à 200 m d'altitude). Aux altitudes plus fortes, remarquons que la température des eaux peut être inférieure à cette moyenne (figure 02) (Dib.H, 2008).

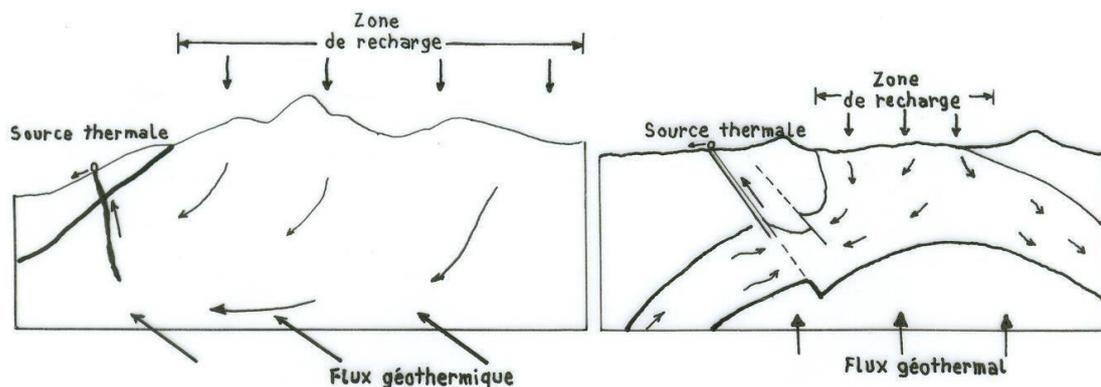


Figure2: Coupe d'un prototype géothermal (d'après U.S Géological Survey).

### III.1. Classification des eaux de sources thermales

En Algérie, les sources d'eau sont classées en trois catégories : (Labdi A.S., Hammache H. 2016)

- Les eaux chaudes des nappes profondes, qui sont des eaux sans caractéristiques particulières et qui, lorsqu'elles émergent, présentent une température liée à la profondeur de l'aquifère et des circuits liés à des systèmes de failles inactives ;
- Les eaux chaudes riches en silice, parfois en radon, qui sont liées à un volcanisme ou à un plutonisme récent. Ces eaux sont bien représentées en Sicile, en Italie, mais sont moins présentes en Algérie, où leur présence ne peut être acceptée que sur la base de données chimiques, sans preuve formelle de leur existence ;

- Les eaux chaudes thermo-tectoniques, qui sont liées aux zones de déformations actives et semblent se regrouper pour former des bandes thermiques d'extension de largeurs variables, d'orientations générales comprises entre N115° et N140°E.

### III.2. Caractéristiques physico –chimiques des eaux à leur remontée

#### a. Le refroidissement : (précipitation minérale, changement des équilibres chimiques)

Lors de leur remontée les eaux chaudes peuvent se refroidir au contact des couches géologiques plus superficielles, ces variations de température modifient les caractéristiques chimiques des eaux, en effet la solubilité des minéraux variant avec la température, les solutions peuvent se trouver sursaturées par rapport à certaines espèces minérales et précipiter, ce qui affecte leur teneur en élément dissous.

A l'opposé, elles peuvent devenir sous saturées par rapport à d'autres minéraux et les dissoudre si ces derniers sont présents dans les couches traversées, ceci peut provoquer une ou plusieurs précipitations de minéraux par effet d'ion commun. (Vincent Valles, 2002)

#### b. Le mélange avec les eaux de surface (effet de dilution)

Lorsque les eaux thermales remontent, elles peuvent se mélanger avec des eaux superficielles contenues par exemple dans les formations sédimentaires. Les caractéristiques chimiques des eaux sont alors altérées, pour remonter aux caractéristiques initiales il convient de recourir aux équations de mélanges, ce qui requiert la connaissance de la composition de l'eau de surface. Ces calculs peuvent rapidement devenir lourds et fastidieux et induire des imprécisions importantes. (Vincent Valles, 2016)

#### c. La recharge ou la perte en gaz (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ...)

Les eaux de surface peuvent plus ou moins facilement échanger des gaz avec l'atmosphère par diffusion au sein de la porosité de la zone non saturé. Les eaux sont alors considérées comme des systèmes ouverts aux gaz.

#### d. La baisse de pression

Cette baisse de pression permet aux gaz dissous de se séparer de la phase liquide dès lors que la pression totale devient inférieure à la pression partielle équilibrante de ce gaz dans la solution. (Vincent Valles, 2016)

### III.3. Causes de la thermalité

La température parfois élevée des eaux thermo minérales dépend de plusieurs facteurs qui sont successivement (**Maxime LION, 2004**) :

- Les réactions chimiques exothermiques,
- La désintégration des minéraux radioactifs,
- Le gradient géothermique,
- Les mouvements de l'écorce terrestre,

#### a. Les réactions chimiques exothermiques

Plusieurs réactions se produisent au sein de l'écorce terrestre. Certaines sont exothermiques, c'est-à-dire qu'elles dégagent de la chaleur, telles que l'oxydation, la réduction, l'hydratation et ont pu être invoquées pour expliquer la thermalité de quelques sources. Parmi les plus banales, l'oxydation de la pyrite de Fer, et spécialement de la marcassite, à l'air humide, en donnant du sulfate ferrique puis des hydroxydes ferreux et ferrique et en libérant l'acide sulfurique, élève la température de 300 à 500 degrés. (**Maxime Lion, 2004**)

L'oxydation de masses importantes de ce minéral peut donc créer des centres de chaleur susceptibles de réchauffer des circuits va doses voisins.

La réduction des sulfates et l'hydratation de l'anhydrite qui pourrait à elle seule justifié des températures inférieures à 60 °C, ont été également invoquées par F.Ehrann pour expliquer la thermalité, de même que la genèse des sources thermo minérales de la Kabylie des Babors. (**Dib.H, 2008**)

#### b. La désintégration des minéraux radioactifs

La concentration de ces corps semble a priori être plus grande dans les couches superficielles de ce flux calorifique est donc suffisant pour échauffer dans une notable proportion un courant aquifère voisin et doit être pris en considération pour expliquer la thermalité.

La désintégration des corps radioactifs dégage de la chaleur d'une façon continue. Par exemple un gramme de Radium, en équilibre avec ses produits de décomposition dégage 137 calories/Heure (**Dib.H, 2008**).

#### c. Le gradient géothermique

Qui représente nombre de degré d'augmentations de la température pour 100 m de profondeur. Il est fonction du flux de chaleur terrestre e de la conductibilité des roches. Pour

l'Algérie septentrionale, P.Verdeil admet pour le flux une valeur moyenne calculée par la formule (**Khiter Fares, 2018**) :

$$F = (5,4428 \pm 0,4187). 106- j/cm2/s$$

D'après **Dib** on a:

- dans la région du Hammam Meskhoutine le gradient géothermique est variable entre 1°C pour 16 m et 1°C pour 7 m. (**Khiter Fares, 2018**).

La région de Guelma est sans doute une zone prometteuse sur le plan de l'énergie géothermique (**Khiter Fares, 2018**).

#### **d. Les mouvements de l'écorce terrestre**

Dans l'écorce terrestre les mouvements sont multiples et multiformes, certaines déformations telles que les bombements et les failles entraînent une surrection du matériel en fusion avoisinant des couches sédimentaires, voire des circuits hydrothermaux.

Le volcanisme entre autre, joue un grand rôle dans le réchauffement de l'eau et le gradient géothermique dans les régions volcaniques est de 1° pour 10 m à 15 m. Certains circuits peuvent de ce fait acquérir une certaine température. Mais nous savons que les centres éruptifs actuels ou récents exhale des quantités importantes d'eaux juvéniles hyperthermales. Dès lors, il est permis de supposer que dans le cas de certaines sources à températures anormalement élevées pour lesquelles l'explication du gradient reste insuffisante, c'est cette eau juvénile qui, en se mélangeant aux eaux va doses des thermo – siphons, vient renforcer la température de ces eaux (origine mixte) (**Dib.H, 2008**).

La première origine de la température des eaux thermales c'est bien le gradient géothermique. D'autres origines secondaires peuvent être liés aux, volcanisme (refroidissement de magmas) et les réactions physico-chimique. Les sources thermales sont des sources d'eau souterraines qui ont été chauffées géo thermiquement.

Le processus de chauffage des sources thermales est dû à la géothermie, qui est l'étude de la chaleur provenant de l'intérieur de la Terre. La chaleur terrestre provient de la désintégration radioactive des isotopes instables présents dans le noyau terrestre et le manteau. Cette chaleur est transportée vers la surface de la Terre par conduction thermique.

De plus, les sources thermales peuvent être situées près de zones géologiquement actives telles que les volcans, les rifts et les zones de subduction. Ces zones peuvent avoir

une activité sismique élevée qui peut libérer de la chaleur et augmenter la température de l'eau souterraine.

Enfin, l'eau qui s'infiltré dans le sol et dans les roches peut se réchauffer en étant en contact avec des roches chaudes ou en étant exposée à des gaz chauds émis par la croûte terrestre. Les sources thermales ont de nombreuses utilisations, y compris comme sources d'eau chaude pour les bains et comme sources d'énergie pour la production d'électricité. La géothermie est une source d'énergie renouvelable et durable qui peut aider à réduire la dépendance aux combustibles fossile.

#### **III.4. Les bienfaits de l'eau thermale**

L'eau thermale est connue pour ses bienfaits sur la peau et la santé en général. Voici quelques-uns de ses bienfaits les plus courants :

- Hydratation et apaisement de la peau
- Réduction de l'inflammation et des rougeurs de la peau
- Amélioration de la circulation sanguine
- Réduction du stress et de l'anxiété
- Soulagement des douleurs articulaires et musculaires

Il est important de noter que les effets bénéfiques de l'eau thermale peuvent varier selon la source et la composition de l'eau.

#### **IV. Les sources thermales de l'Algérie**

Les traces trouvées dans les stations thermales remontent à l'époque romaine. En effet les romains accordaient une importance très particulière aux sources thermales, très souvent ils construisirent leurs sites autour de ces sources, comme c'est le cas pour les sites suivants : Aquae Maurétanie Césarienne (Hammam Righa) ; AquaeSirenses (Hammam Bouhanifia) ; AquaeChibilitaNae (Hammam Meskhoutine).

Les sources thermales furent aussi bien exploitées par les arabes, en effet très souvent des sources portant le nom d'un marabout Sid Ahmed Bouhadjar qui a vécu dans la tribu des OuledBouhadjar avant la colonisation française et dont le Mosolé est situé au Sud-Est de la ville de Hammam Bouhadjar.

Les Turcs aussi très amateurs des bains chauds construisirent dans les villes plusieurs bains avec les installations permettant le stockage de l'eau de source. Pendant l'époque coloniale les français construisirent des hôpitaux thermaux autour des sources pour y soigner les blessés et convalescent.

Aujourd'hui comme dans le passé les stations thermales sont très sollicitées par les algériens pour divers traitements d'ordre rhumatologique, dermatologique et psychiatrique (Hellal, 2017).

Il existe sur le territoire algérien plus de 200 sources thermales d'après les études réalisées à ce sujet, ce nombre croît régulièrement quand on se déplace vers l'Est. Les températures mesurées à l'émergence varient de 19°C à Ben Haroune à 98 °C à Hammam Meskoutine. La minéralisation des eaux est déterminée surtout par la nature chimique et minéralogique des sédiments qu'elles traversent. Les sources thermales les plus minéralisées sont en relation directe avec les sédiments gypso-salins du Trias si répandu en Algérie [1], ce cas est rencontré à titre d'exemple à Hammam Melouane 29.42 gr/l, Hammam El Biban 15gr/l, Hammam Salhine 9 gr/l.

L'Algérie septentrionale contient en abondance des sources thermo-minérales de composition très variées. La répartition des eaux thermo-minérales en Algérie, est très irréguliers. Ces sources sont augmentent en nombre au fur à mesure que l'on se rapproche de l'Est du pays. Cette répartition semble suivre celle des gites métallifères. C'est ainsi que l'on compte une vingtaine de sources dans la région ouest, environ 40 dans le centre et 150 dans l'Est.

La plupart des stations thermales De l'Algérie sont reconnus pour leur efficacité dans le traitement de diverses affections telles les affections de l'appareil locomoteur, les affections rénales et gynécologiques, les affections de la peau les affections respiratoires, les affections O.R.L, les maladies des vaisseaux et certaines maladies de métabolismes...etc(Hellal, 2017).

## V. Conclusion

En conclusion, ce chapitre sur les généralités de l'eau de source nous a permis de mieux comprendre les caractéristiques, les bienfaits potentiels pour la santé, la réglementation et l'aspect environnemental de cette ressource précieuse. L'eau de source offre une alternative naturelle et saine à d'autres types d'eau, et sa consommation peut être bénéfique dans le cadre d'une alimentation équilibrée.

# **Chapitre II**

## **Cadre général**

## Chapitre II : Cadre général

### I. Situation géographique

La wilaya de Guelma dont fait partie la zone étudiée est située au Nord-Est algérien à environ 60 Km de la mer Méditerranée avec une superficie de 3 686,84 km<sup>2</sup>, groupant le littoral des Wilayas de Annaba, El Tarf et Skikda, aux régions intérieures telles que les Wilayas de Constantine, Oum El Bouagui et Souk Ahras.

Sur le plan administratif la wilaya de Guelma forme un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum El Bouaghi, Souk Ahras et Tébessa). Elle occupe une position médiane entre le Nord de l'Algérie, les hauts plateaux et le Sud (Figure 1).

La commune de Bouhachana qui fait notre zone d'étude se trouve au sud de la wilaya de Guelma (Figure 1). Elle est limitée par au nord par la commune de Khezara, à l'est par la commune de Hammam N'bail, à l'ouest par la commune de Ain Larbi et au sud par la commune de Ain Sandel.

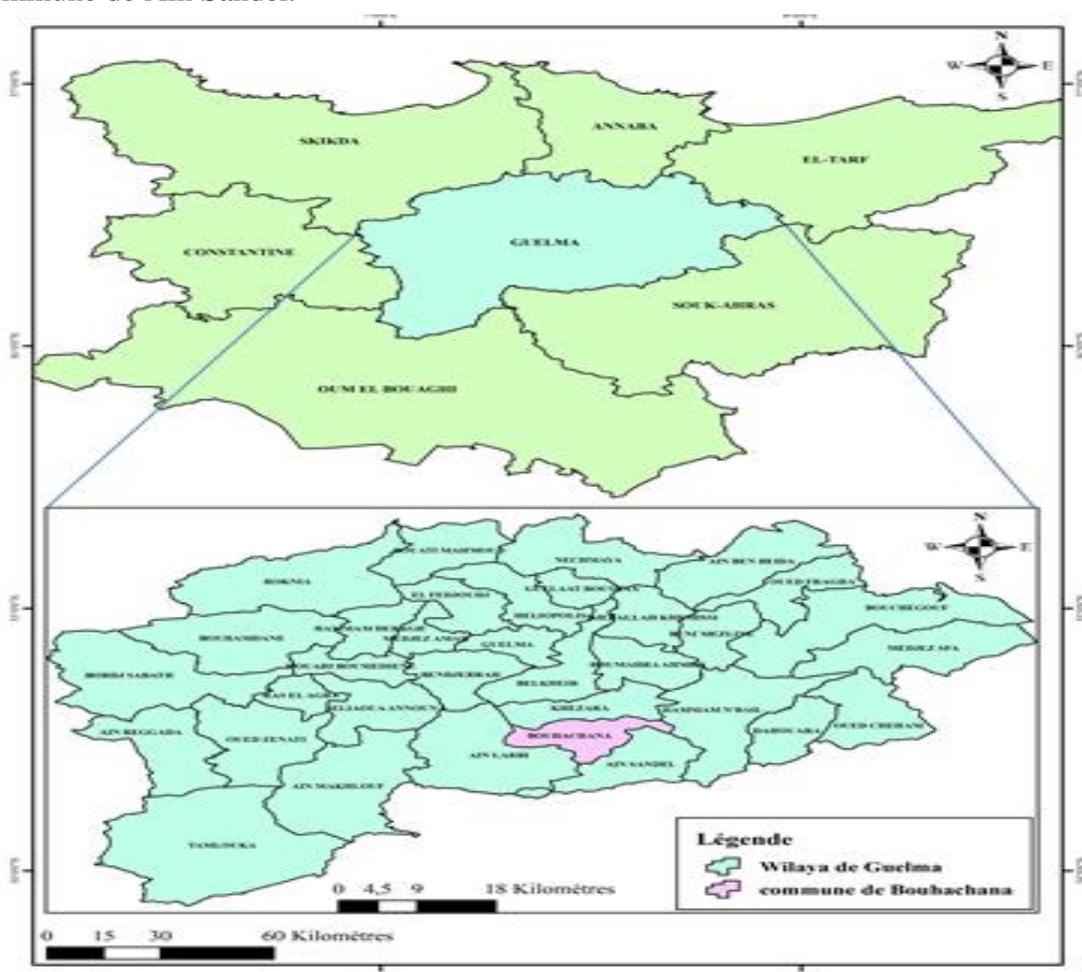


Figure3 : Carte de situation de la zone d'étude.

## II. Géomorphologie

L'orographie de la région d'étude est constituée des reliefs montagneux et collinaires créant l'extrémité orientale de la chaîne des monts de Constantine et des contreforts occidentaux de la chaîne de la Medjerda.

Le relief est composé dans sa majorité de (37,82 %) de montagnes et parmi les reliefs les plus élevés de la région d'étude, on trouve au nord une chaîne de montagne va, d'ouest en est, du Djebel Taya avec ses 1208 m constitue le point culminant de tout le tell Nord-Guelmien, en passant par le Djebel Debar (1060 m), un mont faillé, il est le plus étendu des massifs néritiques nord-guelmiens (Marre, 1987). Au sud le Djebel Mahouna qui, dans son ensemble est un vaste synclinal de grés medjaniens (Blayac, 1912), dont les strates redressées s'élèvent jusqu'à 1411 m, le grand massif de la Mahouna est coupé en deux parties par l'Oued Charef et le Djebel Houara (1292 m). Au sud-ouest l'important massif du Ras El Alia (1307 m), vers le sud-est la haute chaîne se poursuit par les massifs calcaires sénoniens du Dj. El Arous (1160m) et les calcaires éocènes du Dj. Safiet, puis par les monts d'Ain Seynour couverts par les grés numidiens tout le massif est inclut dans la chaîne centrale de la Medjerda (Figure 04),

Au-delà de la vallée de la Seybouse, et jusqu'à la frontière tunisienne, le tell présente des altitudes plus modestes où les montagnes boisées du versant septentrional des monts de la Medjerda s'abaissent rapidement par gradins vers la vallée de l'oued Seybouse, dont kef El Ramoul (797 m) et kefDjemmel (812 m), ces monts de la Medjerda constituent une barrière topographique sur le long de la frontière Algéro-tunisienne.

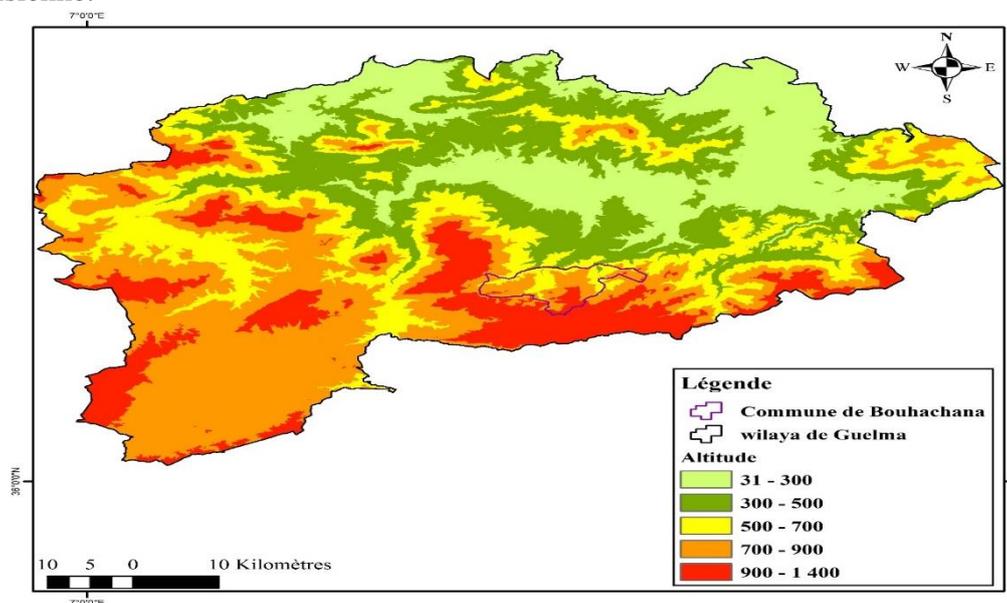


Figure4: Carte des altitudes.

Le reste du relief est composé de plaines et de plateaux (27,22%) de collines et de piémonts (26,29%), (Monographie, 2016). La plaine creusée par la Seybouse offre des pentes généralement peu accentuées entre 0 et 12.5 %, plus douces pour les versants exposés au Sud. Son fond est plat et présente une faible pente longitudinale et transversale (Bechiri, 2011).

Les sommets sont arrondis sans alignement net, les formes massives et les vallées sont peu profondes. Il en est de même pour les formations triasiques d'Ain Seymour-Nador qui s'élèvent en massif sans vigueur au-dessus de la plaine de Bouchegouf. Au nord, s'étendent les monts d'Ain Berda qui séparent la dépression de Guelma de celle du lac Fetzara, au-delà des limites septentrionales de la zone d'étude.

### **III. Etude géologique :**

Le Nord-Est Algérien fait partie de la chaîne alpine d'Afrique du Nord ou chaîne des Maghrébides, cette chaîne fait partie de l'orogène alpin péri-méditerranéen (D'après Durand Delga, 1969 in Benmarce, 2015), d'âge Tertiaire. Elle s'étend de l'Ouest à l'Est sur 2000 km, depuis le sud de l'Espagne (Andalousie) jusqu'à la Calabre (Italie) et englobe notamment ; le Rif marocain, l'Atlas littoral d'Algérie (kabylie et Tell), la Tunisie (kroumirie- Nefza) et enfin la Sicile Calabre (Italie) (d'après Lahondère, 1987 et Chouabbi, 1987 in Benmarce, 2015).

En Algérie, la chaîne des Maghrébides est constituée de plusieurs nappes charriées sur la plateforme Africaine et montre du nord au sud les domaines suivants (Figure04)

Le domaine interne.

Le domaine des flyschs (médiann).

Le domaine externe qui représente la marge téthysienne du continent africain.

#### **1- Le domaine interne :**

Il comprend le socle cristallophyllien (socle kabyle) et sa couverture sédimentaire du Paléozoïque au Tertiaire, appelée encore dorsale Kabyle ou chaîne calcaire.

##### **a- Le socle kabyle :**

Il est représenté par des formations cristallophylliennes. D'après Durand Delga (1969), Bouillin (1977) et Raoult (1974), le socle kabyle comporte de bas en haut les ensembles suivants :

- Un ensemble cristallin profond appartenant au faciès des granulites ;

- Un ensemble gneissique, admettant des intercalations de quartzites, d'amphibolites, de marbres et de pyroxénites ;
- Un ensemble phylladitique qui a subi un métamorphisme de basse pression avec une zone inférieure à biotite et une zone supérieure à chlorite ;

#### b- La Dorsale Kabyle (ou la chaîne calcaire) :

Elle constitue la couverture sédimentaire de la bordure méridionale du socle kabyle. Elle comporte des formations allant du Permo-Trias au Lutétien. Selon (Raoult (1974), Vila (1980), les termes formant cette chaîne correspondent à trois domaines paléogéographiques et qui sont du nord au sud :

- **La Dorsale interne** : caractérisée par une série complète allant du Permo-Trias à l'Oligocène.
- **La Dorsale médiane** : représentée par des dépôts constants à dominante marneuse et à microfaune pélagique du Turonien ou Lutétien, montrant une lacune du Crétacé moyen.
- **La Dorsale externe** : elle est caractérisée par des terrains du Jurassique et du Crétacé supérieur et par un Eocène détritique et lacuneux.

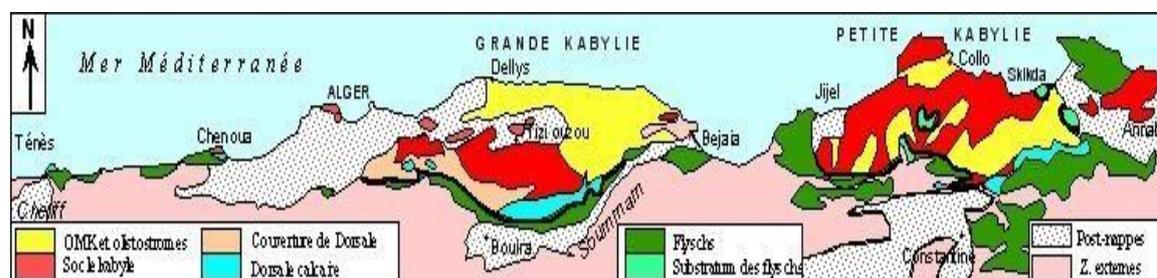


Figure 5: Carte structurale schématique de la chaîne Maghrébide montrant la disposition des zones internes et externes ; d'après Durand Delga et Fontboté (1980).

## 2- Le domaine des flyschs Crétacés-Paléogènes

Ce sont des terrains allochtones d'âge Crétacé à Eocène (Raoult, 1972). Ce domaine comporte deux types de flyschs :

### 2-1- Le flysch maurétanien :

Ce flysch montre une série allant du Malm au Priabonien. Il comporte de bas en haut :

- Des calcaires du Tithonique-Néocomien, passant vers le haut à une puissante masse de pelite et de grès (flyschs de Gerrouch) de l'Albo-Aptien.

- Des microbrèches silicifiées à ciment sparitique à quartz détritique du Cénomaniens et Turonien inférieur.
- Un ensemble complexe de marnes, de calcaires microbréchiqes et sableux, des conglomérats au sommet et enfin, des grès micacés du Turonien au Lutétien supérieur.

### **2-2- Le flysch massylien :**

Le terme de flysch massylien a été proposé par Raoult en 1969 pour caractériser les formations détritiques schisto-quartzeuses (flysch albo-aptien de Glangeaud, 1932).

Ce flysch comporte les termes lithologiques suivants :

- Argiles et grès plus ou moins quartzitiques de l'Albo-Aptien ;
- Des phanites argileuses et conglomérats avec des marnes à bancs calcaires du Cénomaniens inférieur ;
- Des marnes et des argiles schisteuses à lits de grès calcaireux et des conglomérats du Sénonien.

### **3-le domaine tellien :**

Les formations du domaine tellien sont généralement subdivisées en trois séries qui sont du nord au sud (VILA, 1980) :

#### **3-1- La série ultra tellienne**

D'après Durand Delga (1969), ces séries forment un ensemble particulièrement homogène qui contient un Crétacé marneux à Ammonites et à Rotaliporas et un Eocène caractérisé par des marnes sombres et des calcaires à silex noirs.

#### **3-2- - Les séries Telliennes sensu stricto**

Elles forment une couverture très importante qui va des chaînes côtières des Babors jusqu'au premières pentes des monts du Hodna. Ces séries telliennes peuvent être rassemblées en six groupes du nord au sud :

- Les séries de type Gouraya-Arkalon ;
- Les séries de type Barbacha ;
- Les séries de type Drâa-el-âarba ;
- Les séries de type Beni-Abdellah ;

- Les séries Bibaniques ; - Les séries de Djemila.

### 3-3- Les séries pénitelliennes et leur couverture éocène à nummulites :

Selon (Vila, 1977), les formations pénitelliennes s'étalent sur une étendue de 150 km de l'Est à l'Ouest et sur 40 Km du Nord au Sud.

Elles apparaissent de deux façons différentes :

**Au Nord** : en fenêtre sous les nappes Telliennes, comme au Djebel Hellel, Djebel Bou-cheref et Ouakissen, Massif d'Ahmed Rachedi et au Djebel ElAkhal.

**Au Sud et à l'Est** : en klippe sur les massifs néritiques constantinois, cas du Djebel Grouz, Djebel Khenag et Djebel Chataba.

### 4-Le domaine de l'avant pays para-autochtone et autochtone :

Il se situe au Sud des domaines précédents et il correspond à des séries sédimentaires d'âge mésozoïque. Dans ces séries, les formations carbonatées, souvent dolomitiques y sont largement développées. Elles constituent des môles rigides qui ont plus au moins résisté aux compressions alpines. On distingue d'Ouest en Est les structures suivantes :

#### a- Les avants pays stables :

Ils ont des comportements tectoniques rigides, généralement d'âge mésozoïque.

#### b- Les pays autochtones plissés à séries sédimentaires mésozoïques épaisses :

Ce sont les monts du Hodna, des Bélezma et des Aurès.

#### c- Les avants pays plissés et écaillés vers le sud :

Ils sont représentés par :

- **une unité sud sétifienne** : Caractérisée par un ensemble mésozoïque assez homogène, représenté par des carbonates avec un caractère de plateforme subsidente.
- **Une unité néritique constantinoise** : Le domaine néritique Constantinois qui appartient au domaine tellien a fait l'objet de nombreuses études : Deleau (1938), Delga (1969), Vila (1969/1980) et J.C.Lahondère & Magne (1983). Ce vaste domaine est caractérisé par des dépôts triasiques, jurassiques et crétacés.

Le domaine néritique Constantinois constitue l'essentiel des reliefs calcaires des monts de Tadjenanet, Oued Athménia, Constantine, Ain Mlila, Hammam Debbagh et Guelma ;

- **Une unité plissée et écaillée des Sellaoua** : Cette unité forme l'avant pays parautochtone plissé et écaillé vers le sud. Elle est issue d'un sillon subsident à sédimentation pélagique argileuse et marneuse. Elle se développe dans la région d' AinMlila, Ain Fakroune, Ain Beida et Souk Ahras.

### **5-Le flyschs Numidien :**

Pendant que l'Oligo-Miocène kabyle se déposait au Nord de la Dorsale calcaire, le flysch numidien remplissait au Sud, à partir de l'Oligocène supérieur, un bassin probablement en grande partie héritée de celui des flyschs crétacés-paléogènes mais qui débordait sur le domaine tellien. La sédimentation s'est poursuivie jusqu'au Burdigalien inférieur. Au Burdigalien moyen et supérieur, le bassin numidien a été inversé et une partie de son contenu a glissé vers le Nord dans le bassin Oligo-Miocène interne. Le flysch numidien comporte à sa base des argiles varicolores à *tubotomaculum* d'âge oligocène, surmontées par une importante masse de grés et de pélites d'âge aquitain et enfin des formations supra numidiennes constituées d'argiles et de silexites qui atteignent le burdigalien basal (rapport maradja, 2003).

### **6-Les formations post-nappes :**

Des bassins discordants, postérieurs aux grands chevauchements des zones internes, des nappes de flysch et des nappes telliennes, se sont formés sur l'ensemble de la chaîne tellienne à partir du Langhien (miocène moyen). De tels bassins se trouvent sur les zones internes de Petite et de Grande Kabylie. Ils sont peu déformés mais ont néanmoins enregistré, par la fracturation, une succession d'épisodes tectoniques. D'autres bassins s'étendent sur les zones externes : bassins de Constantine, de la Soummam, du Cheliff. Ils ont subi des déformations d'âge miocène à quaternaire (plis, petits chevauchements, fracturation) plus importantes que celles des bassins des zones internes (rapport maradja ; 2003).

### **6-Les formations de l'Oligo-Miocène kabyle et les Olistostromes :**

Le socle kabyle, auparavant émergé, a été recouvert en discordance à partir de la fin de l'Oligocène par les dépôts détritiques de l'Oligo-Miocène kabyle (OMK). Dans ce bassin de l'OMK se sont mis en place au Burdigalien moyen, par glissement gravitaire sous-marin, des olistostromes (formations tectono-sédimentaires) dont le matériel provient de la zone des flyschs et de la zone tellienne. Ce bassin est en partie postérieur et en partie contemporain d'un épisode tectonique majeur dans les zones internes. Des arguments structuraux et

chronologiques permettent d'envisager que ce bassin s'est formé par rifting à l'Oligocène terminal (Kezirian et al, 1993 ; Bouillin, 2000 in **maradja**).

Enfin des phénomènes magmatiques se sont développés tout au long du nord de l'Algérie. Ils sont particulièrement développés en Petite Kabylie, où des massifs de granitoïdes se sont mis en place à partir de 16 Ma (Bellon, 1976). Ce magmatisme calco-alcalin ne peut pas être mis en relation d'une façon simple avec une subduction active et il est envisagé qu'il résulte plutôt d'un phénomène de détachement de slab (Maury et al ; 2000 in **maradja**).

#### IV. Géologie locale

La géologie locale de la région de Guelma, fait partie en majeure partie des zones externes d'Algérie nord orientale, elle est caractérisée par des formations allant du Trias au Quaternaire (Figure \*\*), C'est un empilement chronologique de formations géologiques de lithologie plus au moins différente. Ces formations sont de haut en bas : le Quaternaire, le Mio-Pliocène, la nappe numidienne, les nappes des flyschs, la nappe ultra tellienne, la nappe tellienne, les écaïlles des Sellaoua et enfin la nappe néritique constantinoise.

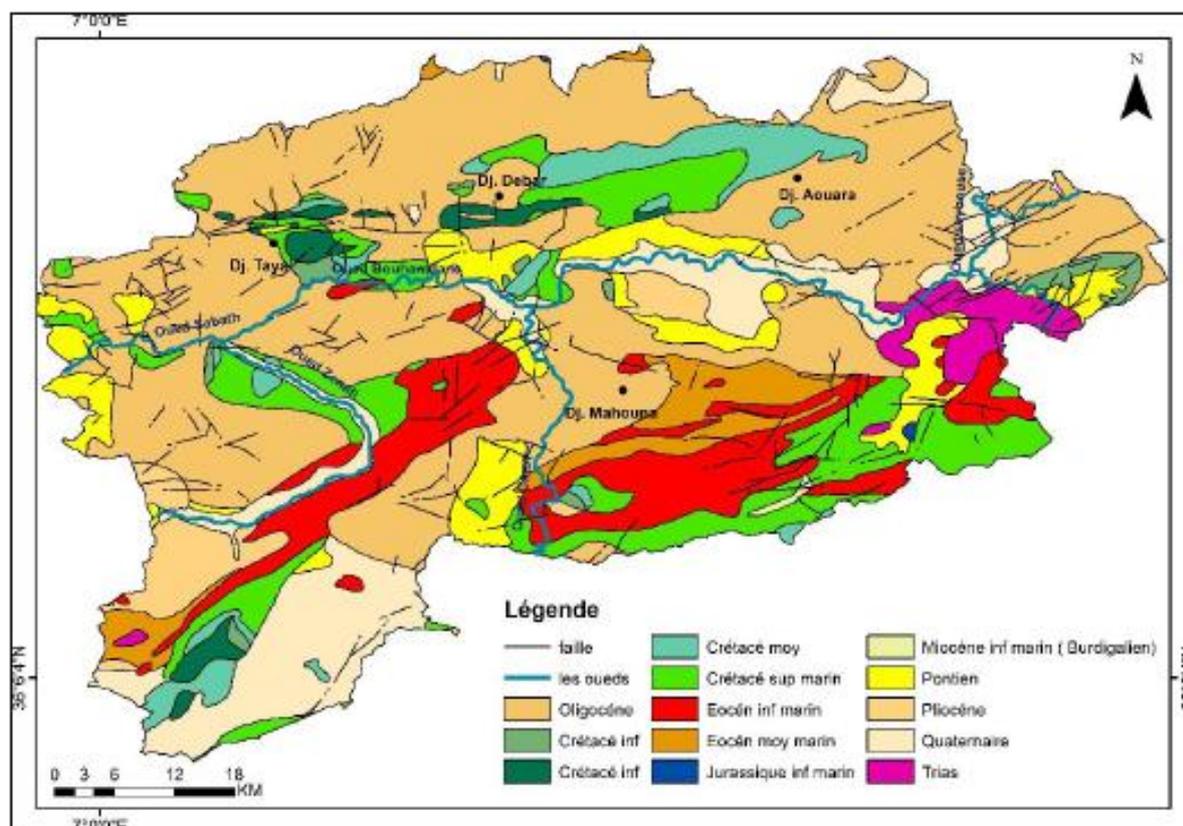


Figure6: Carte géologique de la région de Guelma (Extrainte de la carte géologique de l'Algérie 1/500000), (Belksier et Oubadi, 2022).

## V. Couvert végétal

Le couvert végétal agit directement sur l'écoulement fluvial ainsi que les facteurs orographiques et climatiques. Plus le couvert végétal est dense plus la résistance à l'écoulement est d'autant plus grande. Dans la région d'étude, les aires agricoles sont localisées essentiellement dans la plaine alluviale. Les cultures pratiquées sont dominées par des cultures maraîchères et quelques vergers d'agrumes et d'arbres fruitiers. Les forêts, les maquis et les broussailles occupent pratiquement toute la bande des monts (Monographie, 2016).

## VI. Contexte socio-économique

La région de Guelma est une zone à vocation agro-sylvo-pastorale (une Surface agricole totale de 266 000 ha et une surface agricole utile de 187 338 ha pour une superficie totale de 3 686,84 km<sup>2</sup>). Le territoire est fortement montagneux (38% de la superficie totale). Les montagnes et les régions de Houara, Mahouna, Debar et la forêt de Béni salah offrent d'importantes opportunités de développement rural. Sur une superficie forestière de 105.295 ha (28,45 %), les forêts (claires et denses) occupent une superficie de 29 950 ha dont 24 437 ha en chêne-liège d'où des opportunités de traitement, d'exploitation et de transformation de liège (DPAT, 2006). Les terres à grand potentiel agricole se situent dans le sud-ouest (plaines d'Oued Zénati et Tamlouka réputées par la céréaliculture et l'élevage). Quant à la vallée de l'Oued Seybouse qui s'étend sur près de 45 km, elle offre toutes les conditions nécessaires à la production des cultures importantes et de l'élevage bovin-ovin.

La région de Guelma est attractive, elle possède une richesse des sites naturelles (réserve de Béni Salah, forêts de Mahouna et Haouara, plans d'eau des barrages et retenues collinaires) et archéologiques (les dolmens et grottes de Roknia, les ruines romaines de SellaouaAnnouna et Kef Bouzioune et Zatarakadhima de Bouhachana, le théâtre romain de Guelma) qui sont des atouts pour l'épanouissement de la région. Elle offre de grandes possibilités de développement du tourisme thermal (thermes Hammam Debagh, de Hammam Ouled Ali, de Hammam N'bails, de Hammam Guerfa et Belhachani).

## VII. Conclusion :

Le fond du bassin occupé par une plaine alluviale d'âge allant du mio-pliocène jusqu'à l'actuel, il correspond à un synclinal comblé par des formations quaternaires, qui sont en réalité une série de petite plateaux alluvionnaire emboités les uns dans les autres formés essentiellement de gros galets, graviers à éléments grossiers, des conglomérats marno-calcaires, des argiles limono-graveleuses, des grés numidiens et des calcaires lacustres.

# **Chapitre III**

## **Etude climatique**

## Chapitre III : Etude climatique

### I. Etude des paramètres climatiques

L'analyse des données climatiques reste essentielle pour traiter bien toute étude hydrogéologique, elle permet de mettre en évidence l'importance des facteurs climatiques participant dans les écoulements et d'approcher les termes du bilan qui sont les précipitations, l'évapotranspiration, l'infiltration et le ruissellement.

L'étude des paramètres climatique est nécessaire à la compréhension des mécanismes de circulation des eaux superficielles et souterraines. Elle se base sur l'exploitation des données pluviométriques sont principalement ; la précipitation, la température, l'évapotranspiration et les différents termes du bilan hydrique.

### II. Station de Mesure

Pour réaliser notre travail nous avons utilisé les données collectées sur une période de 31 ans à la Station de Guelma, pour pouvoir utiliser le maximum des données plus récentes afin d'interpréter les paramètres climatiques mesurés au niveau de station étudié ; dont les caractéristiques sont portées dans le tableau 01.

La période d'observation s'est faite à travers la station de Guelma, allant de 1989 à 2020.

**Tableau 1: Caractéristiques géographiques et topographiques de la station de Guelma**

Station	Altitude	Longitude	Latitude	Période d'observation
Guelma	227	7°28'E	36°28'N	1989/2020

### III. Etude des paramètres climatiques

L'étude des paramètres climatiques est importante dans l'établissement du bilan hydrique, parce qu'il reflète la circulation des eaux de surface et souterraines. Nous nous intéresserons en premier aux variations des précipitations enregistrées au niveau de la station afin de bien caractériser les régimes des cours d'eaux et des nappes.

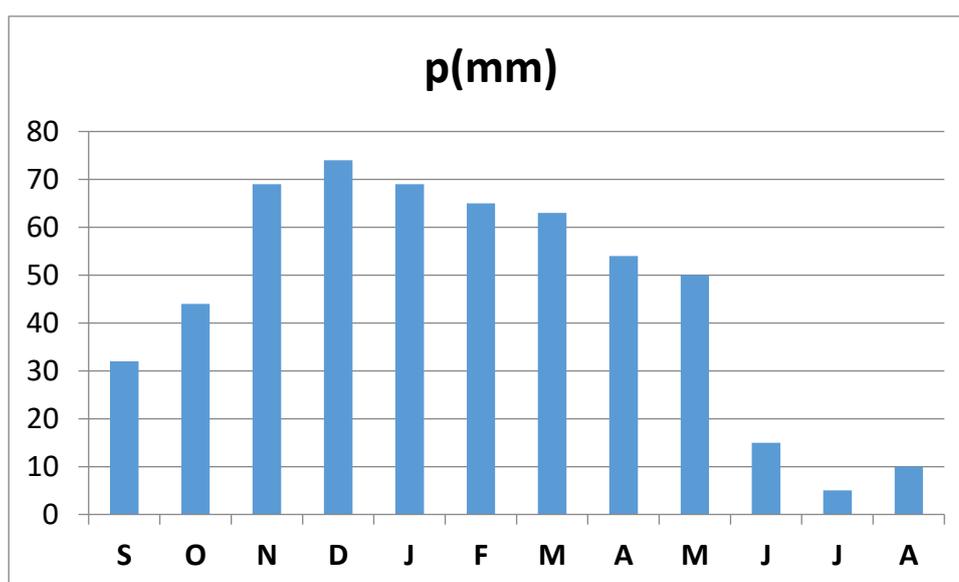
#### 1. Précipitations

Les précipitations jouent un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eaux et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines pour constituer à moyen terme des ressources mobilisables non négligeables. Le calcul de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré sur une

période de 31 ans donne un aperçu sur les variations mensuelles pluriannuelles des précipitations. Les valeurs calculées pour la station étudiée sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau 2 : Précipitations moyennes mensuelles de la station de Guelma**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Guelma	32	44	69	74	69	65	63	54	50	15	5	10



**Figure 7: Précipitations moyennes mensuelles de la station de Guelma**

On remarque au niveau de la station que le mois de juillet demeure le plus sec, par opposition le mois de décembre reste le plus pluvieux.

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations, représentées par la figure 07, montrent une variation inter mensuelle des pluies. L'histogramme montre une hétérogénéité importante des précipitations d'un mois à l'autre avec un maximum de l'ordre de 74 mm au mois de Décembre. La précipitation minimale est enregistrée pendant le mois de juillet avec une valeur de 5 mm.

## 2. Précipitations saisonnières

Il est courant que le taux des précipitations diffère d'une saison à l'autre. Le tableau 03 récapitule les valeurs des hauteurs saisonnières observées dans cette étude.

Nous remarquons que la saison la plus pluvieuse est l'hiver et la saison la plus sèche est l'été.

Tableau 3: Précipitation saisonnière

Station	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Guelma	145	208	167	30

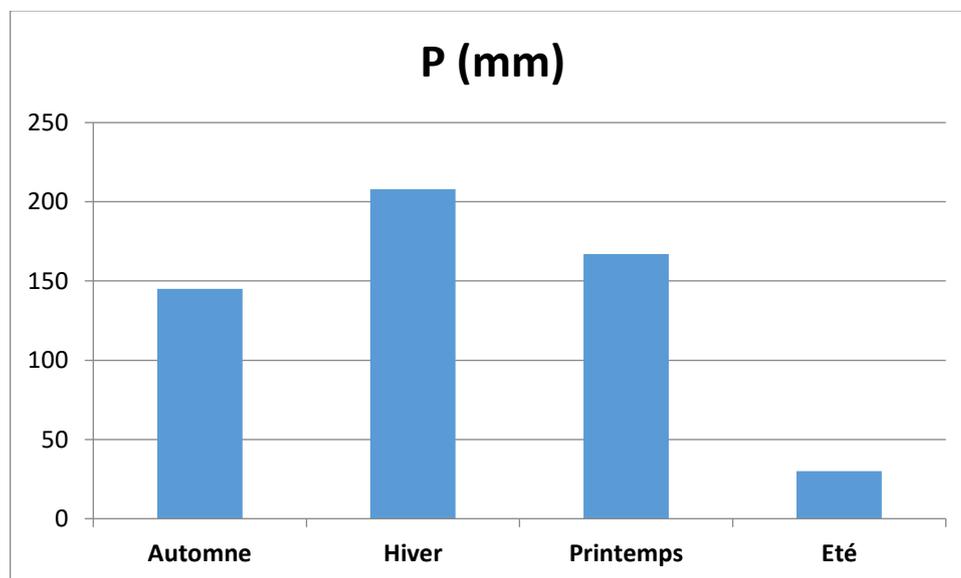


Figure 8: Précipitation saisonnière

### 3. La Température

Le second facteur le plus important dans l'étude climatique est la température qui agit sur le phénomène d'évapotranspiration influençant ainsi le ruissellement et l'infiltration dans un bassin versant. On dispose des données des températures moyennes mensuelles de la station de Guelma durant la période (1989/2020). Les valeurs sont portées dans le tableau 04.

Tableau 4 : Température moyenne mensuelle de la station de Guelma

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T(°C)	21.2	19.06	14.36	11.61	8.4	10.2	12	14	19.91	26.65	26.65	27.56

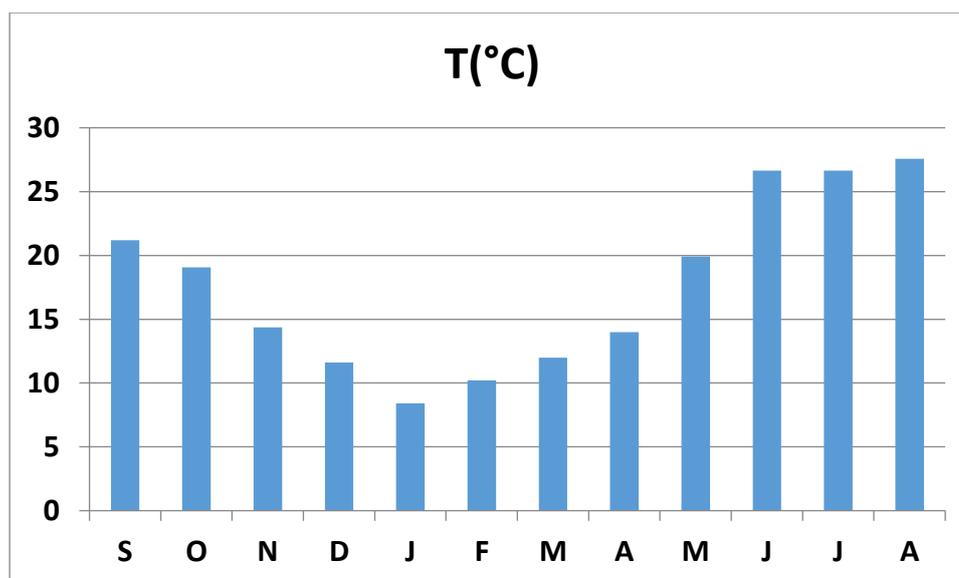


Figure 9: Température moyenne mensuelle de la station de Guelma

D'après l'histogramme de la température moyenne mensuelle, nous constatons que les valeurs de températures les plus faibles sont rencontrées au mois de Janvier de 8.4 °C tandis que les plus fortes caractérisent les mois de juin, juillet et Août avec 26,65, 26.65 et 27.56 °C respectivement. L'écart thermique entre le mois le plus chaud et le mois le plus sec est de 19.06°C.

#### 4. Diagramme pluviométrique de Gaussen ( $P = 2T$ )

L'indice d'aridité de Gaussen est encore à l'heure actuelle un des indices les plus utilisés, cet indice tient compte des moyennes mensuelles des précipitations ( $p$  en mm) et de la température ( $t$  en °C) et donne une expression relative de la sécheresse estivale en durée et en intensité (Gaussen et Bagnouls, 1952). Un mois donné est considéré comme sec quand  $p < 2t$ , c'est-à-dire quand les pertes en eau (supposées causées par une température trop forte) sont supérieures aux apports (précipitations). Inversement, quand  $p > 2t$ , le mois est considéré comme humide.

L'analyse du diagramme (Figure.10) montre l'existence de deux saisons bien distinctes :

- Une saison estivale sèche et chaude qui s'étale du mois de Mai jusqu'à le mois de Septembre et du mois de mai jusqu'au mois d'octobre.
- Une saison hivernale humide plus longue qui dure environ sept mois débutant du mois d'octobre jusqu'au mois de Mai.

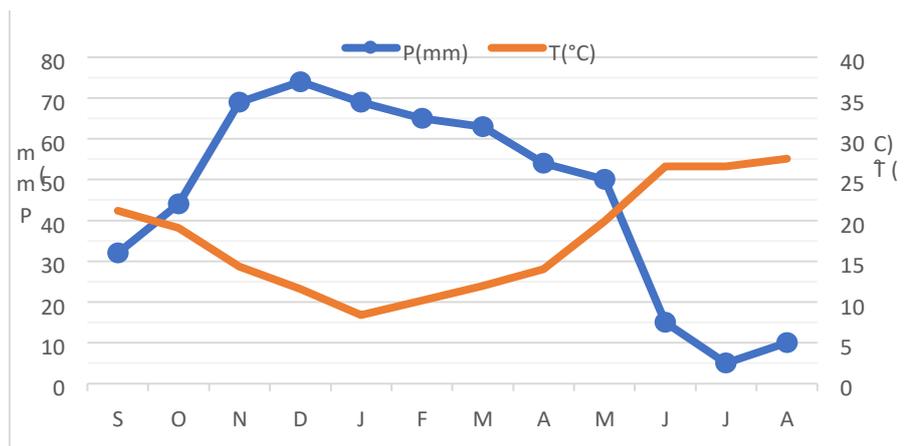


Figure10: Diagramme pluviométrique

### 5. Bilan hydrique de Thornthwaite

Le bilan de l'eau est fonction d'un certain nombre de facteur, dont les précipitations, l'infiltration et surtout l'évapotranspiration. Vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule est appliquée. Elle fait ressortir les quatre paramètres qui sont l'évapotranspiration réelle et potentielle, l'excédent et le déficit agricole (Tableau 05). L'évapotranspiration potentielle est calculée par la formule suivante :

$$ETP = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a k$$

$$i = \left[ \frac{T}{5} \right]^{1.5} ; \quad I = \sum_1^{12} i ; \quad a = \left( \frac{1,6}{100} \right) I + 0,5$$

Avec:

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

T : Température moyenne mensuelle en °C

i : Indice thermique mensuel.

I : Indice thermique annuel.

K : Coefficient d'ajustement.

Pour le calcul de l'ETR, deux cas sont considérés :

- Si les précipitations du mois sont supérieures à l'ETP, l'ETR est égale à l'ETP ;
- Si les précipitations du mois sont inférieures à l'ETP, l'ETR sera égale à l'ETP aussi longtemps que les réserves en eau du sol demeurent.

Tous ces paramètres sont directement liés à la réserve facilement utilisable (RFU), en d'autres termes dépendent de sa valeur qui est très difficile à estimer. Dans notre cas la RFU est prise égale à 100 mm (Sogreah, 1990).

**Tableau 5: Bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite de la station de Guelma**

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
S	21,2	8,9	1,03	90,1	32	-58,1	-0,6	0,0	0,0	32,0	58,1	0,0
O	19,06	7,6	0,97	69,6	44	-25,6	-0,4	0,0	0,0	44,0	25,6	0,0
N	14,36	4,9	0,86	36,4	69	32,6	0,9	32,6	32,6	36,4	0,0	0,0
D	11,61	3,6	0,81	23,1	74	50,9	2,2	50,9	83,6	23,1	0,0	0,0
J	8,4	2,2	0,87	13,6	69	55,4	4,1	16,4	100,0	13,6	0,0	39,0
F	10,2	2,9	0,85	19,0	65	46,0	2,4	0,0	100,0	19,0	0,0	46,0
M	12	3,8	1,03	31,2	63	31,8	1,0	0,0	100,0	31,2	0,0	31,8
A	14	4,8	1,10	44,4	54	9,6	0,2	0,0	100,0	44,4	0,0	9,6
M	19,91	8,1	1,21	94,1	50	-44,1	-0,5	-44,1	55,9	94,1	0,0	0,0
J	26,65	12,6	1,22	163,4	15	-148,4	-0,9	-55,9	0,0	70,9	92,5	0,0
J	26,65	12,6	1,24	166,1	5	-161,1	-1,0	0,0	0,0	5,0	161,1	0,0
A	27,56	13,3	1,16	165,4	10	-155,4	-0,9	0,0	0,0	10,0	155,4	0,0
Annuel	17,6	85,2		916,2	550,0	-366,2				423,6	492,6	126,4

Avec :

- T<sub>p</sub> : Température mensuelle en °C
- P : Précipitation mensuelle (mm)
- i<sub>t</sub> : Indice thermique –RFU : Reserve Facilement Utilisable (mm)
- CL : Coefficient de latitude –ETR : Evapotranspiration réelle (mm)
- ETPc : Evapotranspiration potentielle corrigée (mm)
- Déf: Déficit agricole (mm)
- Exc: Excédent (mm)

L'analyse du bilan hydrique permet d'observer que l'évapotranspiration réelle qui représente 77% des précipitations, le déficit agricole commence à partir du mois de juin jusqu'au mois d'octobre avec un maximum au mois de Juillet (161,10 mm). La reconstitution de la réserve utile commence en novembre et s'épuise au mois de mai.

L'écoulement se produit après que la RFU soit satisfaite (RFU=100 mm), il dure 4 mois, de janvier jusqu'à fin de mois d'avril.

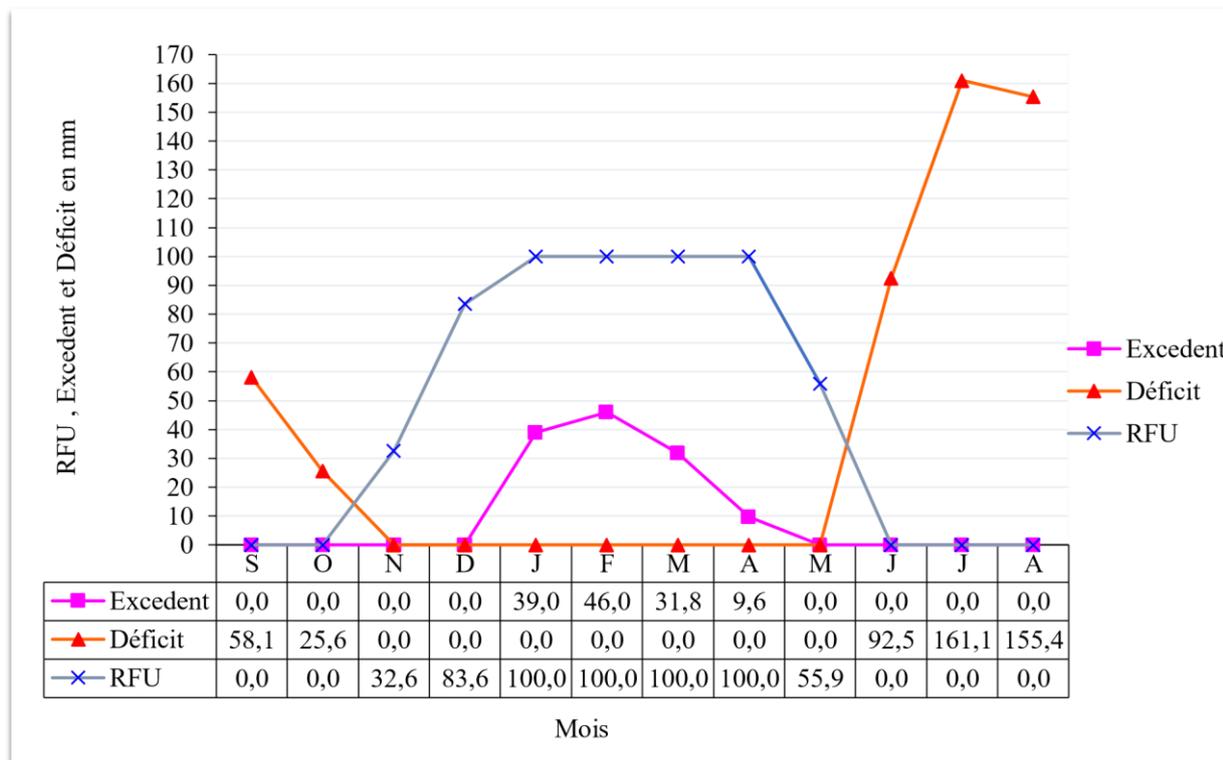


Figure11: Représentation graphique du bilan de Thornthwaite de la station de Guelma

Il en ressort de la figure que les valeurs de maximales l'évapotranspiration se produit au de mois de juillet (166,1mm) et août (155,4mm), ce qui entraine un déficit agricole (492,6 mm) et nécessite une irrigation pour les zones des cultures. Par contre, pendant les mois de novembre à mai, on observe une recharge de la nappe.

# **Chapitre III**

## **Etude hydrologique**

## Chapitre III : Etude hydrologique

### I. Introduction

L'identification des aquifères et la détermination de leurs caractéristiques hydrogéologiques permettent de reconnaître les potentialités en eaux souterraines de la région de Guelma. La disponibilité potentielle de l'eau est étroitement liée au comportement hydrologique d'un cours d'eau ou au régime pluvial. Les études géologique et géophysique du secteur d'étude ont permis une bonne reconnaissance des formations imperméables (argile et marne) et perméables susceptibles d'être le siège d'une circulation d'eau à travers les interstices ou les fissures. Les niveaux perméables ont permis de définir un certain nombre des réservoirs souterrains ou aquifères.

### II. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la région d'étude est constitué principalement du cours d'eau principal de l'Oued Seybouse (57,18 km mesuré à l'aide de l'ArcGis) et ses majeurs affluents Charef (35,94 km), dont l'écoulement général est d'Ouest en Est pour l'oued Bouhamdane (32,88 km) et du Sud vers le Nord pour l'oued Charef, L'oued Maiz (5 km), l'oued Zimba (6,66 km), l'oued Boussora (16,01 km), l'oued H'lia (24,16 km) et l'oued Mellah (12,60 km), (Khadri, 2018).

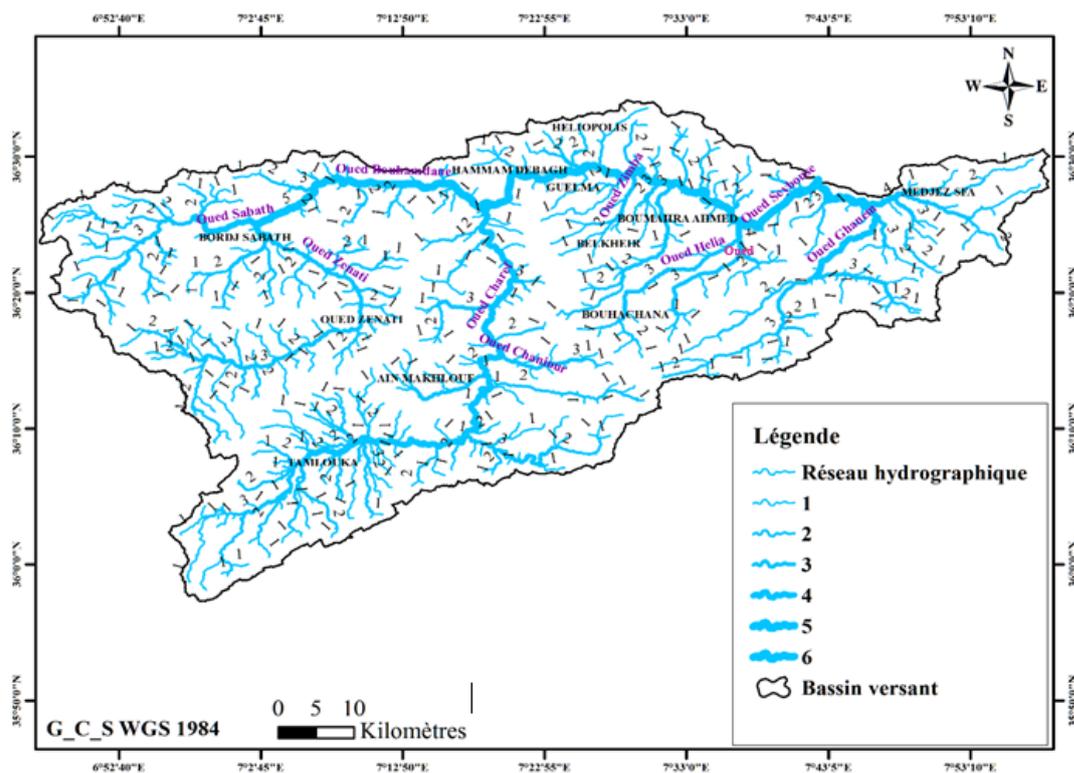


Figure12: Réseau hydrographique (Khadri, 2018).

## I. Hydrogéologie

L'étude hydrogéologique du bassin de Guelma et de Constantine est nécessaire à la Détermination des différents aquifères existants et à une bonne compréhension des

Dans le système hydrogéologique de la plaine de Guelma, l'Oued Seybouse coule entre deux seuils imperméables : les marnes du Crétacé à l'Ouest et les marnes du Trias à l'Est (au niveau du Nador).

Il s'agit d'une zone d'effondrement remplie par des dépôts du Miocène (argile et marnes à gypse) et Quaternaire (alluvions hétérogènes sous forme de terrasses). Ces alluvions souvent très perméables et surtout très épaisses contiennent une nappe importante alimentée par les infiltrations des eaux de pluies et par les apports latéraux du bassin versant de la Seybouse.

Le système hydrogéologique de la plaine de Bouchegouf est complexe du point de vue structural, lithologique, et hydrodynamique. Ce système pourrait être schématisé de la façon suivante :

- Des aquifères superficiels exploités en grande partie par des puits domestiques et dont la lithologie varie d'une zone à l'autre.
- Une nappe profonde reconnue par les forages profonds.

## III. Identification des nappes

### 1. La nappe alluvionnaire de Guelma

Elle est située dans la vallée de l'Oued Seybouse en grande partie sur sa rive droite. Elle est traversée par l'Oued Seybouse d'Ouest en Est, depuis Medjez Amar jusqu'à Nador. C'est une zone d'effondrement comblée par des dépôts Miocènes qui forment le substratum (argiles et marnes à gypses) et quaternaires (alluvions hétérogènes sous forme de terrasses).

Ces alluvions sont perméables et sont alimentés par les eaux d'infiltrations des pluies et les apports latéraux du bassin versant de l'Oued Seybouse. Elle est constituée de trois terrasses distinctes (basse, moyenne, et haute) (Bouaicha, 2018).

- La basse terrasse (terrasse actuelle) : C'est la vallée dans laquelle coule l'actuel Oued Seybouse. Elle est formée de graviers, de sable et de galets. Cette partie est exploitée par des puits ordinaires de quelques mètres de profondeur.
- La moyenne terrasse : Elle est constituée d'éléments détritiques relativement fins en alternance avec des passées argileuses. Le substratum est toujours marneux à gypseux.

- La haute terrasse : Elle est située au Sud de la moyenne terrasse et formée d'alluvions grossières Plio-quaternaires (galets, graviers, grès, sables et quelques passées argileuses) perméables.

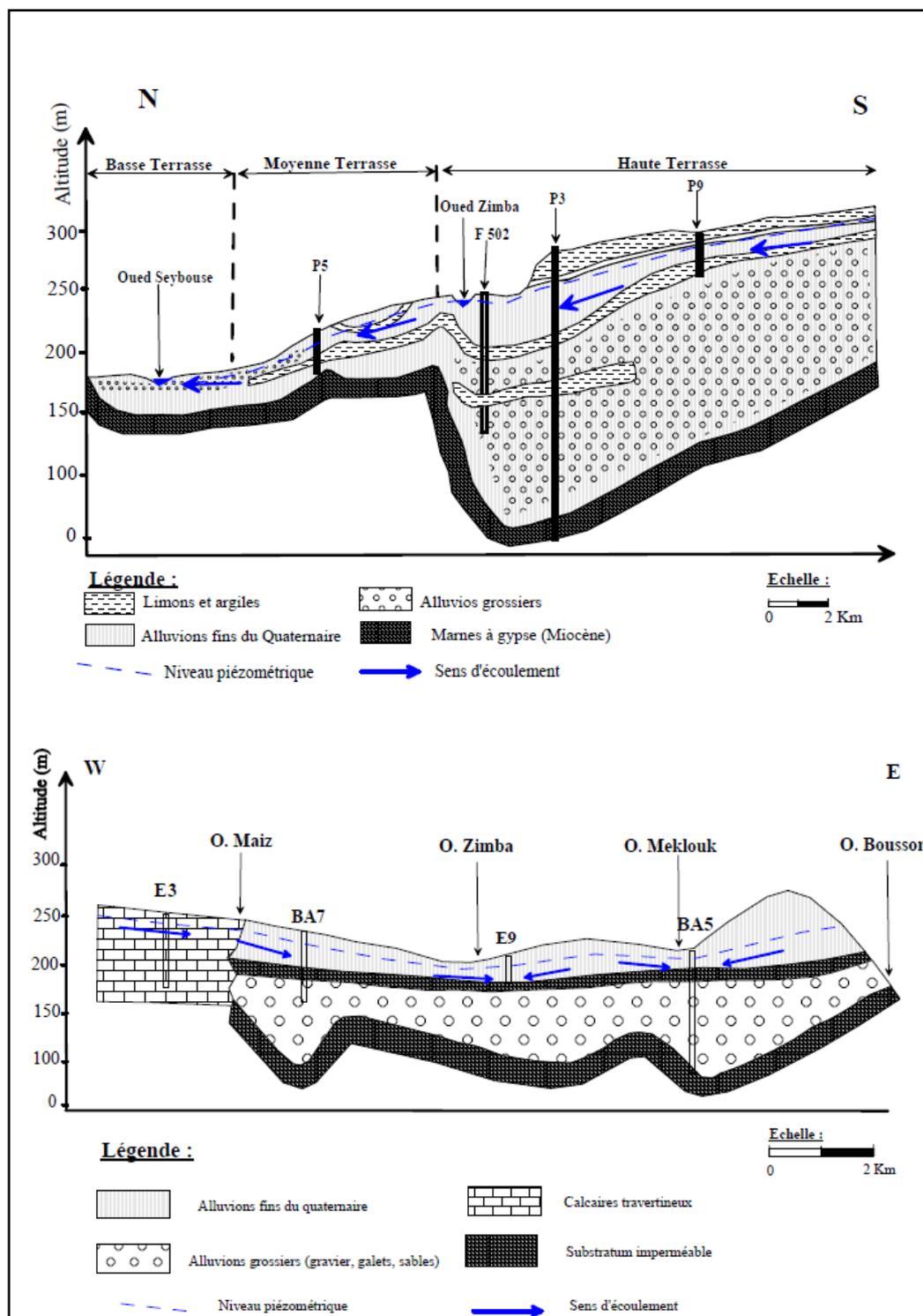


Figure13: Coupes hydrogéologiques dans la plaine de Guelma (d'après B. Gaud, 1974 in Mouchara, 2009).

## 2. La nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis

Cette nappe est recouverte par la nappe tellienne et ultra telliennes. Formé essentiellement par les calcaires. Elle recèle une karstification très intéressante (située à des profondeurs variables entre 50 et 350 m), du point de vue étude et exploitation du système, cette aquifère est exploitée à ce jour par une dizaine de forages avec un débit total de 357 l/s (Belksier et Oubadi, 2022).

## 3. La nappe des calcaires éocènes de Sellaoua Announa - Ras El Agba

Les calcaires sont les formations dominants, ils font partie des séries telliennes. En distinguant de haut en bas l'alternance :

- 1- Marnes grises d'âge Paléogène.
- 2- Calcaires massifs d'âge Eocène.
- 3- Marnes à débris d'âge Lutétien.

Cette nappe est exploitée par un ensemble de forages qui donnent un débit de l'ordre de 30l/s, il est proche de celui donné par **Gaud (1976)**, estimé à 25 l/s (Belksier et Oubadi, 2022).

## 4. La nappe des formations carbonatées de la région d'Ain Larbi- Bou Hachana

L'étude des logs stratigraphiques des forages indiquent la présence de zones fissurées et karstifiées bien développées entre 70 et 100 m de profondeur en moyenne d'après les pertes des boues et l'absence de remontée des cuttings durant l'exécution des forages. Ces formations carbonatées constituent un aquifère important, qui alimentait la ville de Guelma avant l'exploitation des eaux du barrage de Hammam Débagh (Belksier et Oubadi, 2022). Des sources assez importantes jaillissent des calcaires en contact des marnes.

### IV. Les sources thermales de la région de Guelma

La zone étudiée appartient au domaine structural alpin (instable) caractérisé par de fortes activités tectoniques et sismiques entre les périodes Mésozoïque et Cénozoïque. Les sources hydrothermales, dans la région de Guelma sont en relation directe avec la fracturation des massifs de la région.

#### 1. Les sources thermales de Hammam Ouled Ali

Les émergences se trouvent sur la rive gauche de l'Oued El Hammam au Nord de Dj. Debar dans les formations néritiques Nord-orientales. Dans le lit de l'Oued El Hammam on note la présence d'un affleurement marno-calcaires et de schistes noirs, d'âge Sénonien transgressif.

## 2. Les sources thermales de Hammam Debagh

L'ensemble des sources thermales de la région de H. Debagh émergent dans les travertins déposés par les sources thermales. Les eaux jaillissent à la faveur d'une faille, qui traverse les formations calcaires de l'Aptien et les marno-calcaires du Sénonien jusqu'au Jurassique dolomitique en profondeur.

## 3. Les sources thermales de Hammam N'Bails et El Mina

Les sources thermales de Hammam N'Bails et El Mina émergent sur la rive droite de l'Oued El Mellah. On peut noter la présence d'un complexe gypsifère important (Trias-Crétacé supérieur) (Dib, 1986), en réalité le hammam existe naturellement sous forme de griffons qui remontent en surface à la faveur d'un important accident tectonique.

## 4. Les sources thermales de Hammam Belhacheni et Guerfa

Les sources de Hammam Belhacheni située à 10 km d'Ain Makhoul et à 10 km d'Ain El Arbi, émergent dans un terrain de travertins et de tufs Quaternaires. Ces derniers couvrent des calcaires blancs d'âge Yprésien – Lutétien inférieur. L'eau chaude sort à travers les fissures de massifs calcaires à la faveur d'une faille ou pli-faillé marquée par la présence de marnes noires et d'argiles grises à gypses parfois rougeâtre à conglomérats. Cette source est caractérisée par un régime constant durant toute l'année avec un débit de 15 l/s, les eaux sont incolores avec une odeur de soufre (Belksier et Oubadi, 2022).

La source de Hammam Guerfa sort dans des travertins et des tufshydrothermaux du Quaternaire avec une pente importante. Lors des séismes, l'eau sort avec une couleur rouge pendant quelques jours, ce qui indique que l'émergence se fait à travers une zone active au niveau des formations tendres de gypses à conglomérats, les eaux de cette source présentent des caractéristiques organoleptiques (sont les mêmes que celles de Hammam Belhacheni), le débit est de l'ordre de 11 l/s.

## 5. Les sources thermales Assasla et Roumia

La source est émergée sur la rive de l'oued, géologiquement, ce sont des marnes noires et des calcaires massifs, de l'autre côté du massif, la source Roumia émerge à la base d'une falaise, qui fait partie du môle néritique constantinois. La source Assasla est apparue à côté de l'oued, distant environ 1 kilomètre de celle de Roumia.

## V. Conclusion

Le réseau hydrographique dans la région de Guelma présente une hiérarchisation moyenne, il possède des caractéristiques favorisent ainsi aux eaux superficielles le temps de s'infiltrer.

L'étude hydrogéologique de la région a identifié et localisé les trois aquifères suivants : l'aquifère alluvial de l'âge Mio-plio-quatenaire ; situées au centre de la zone d'étude, les couches calcaires néritiques et sénoniennes dans la région d'Héliopolis, les couches calcaires éocènes de Ras El Agba-Sellaoua Announa et les formations carbonatées de la région de Ain Larbi-Bou Hachana d'âge Yprésien, qui sont situés au Sud-Est de la zone d'étude.

# **Chapitre IV**

## **Hydrochimie**

## Chapitre IV: Hydrochimie

### I. Introduction

L'hydrochimie est un moyen d'investigation qui permet de connaître les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, donc sa qualité et son faciès chimique. L'objet de l'hydrogéochimie est de transposer au milieu ce qu'étudie la chimie des solutions au laboratoire, en d'autres termes de définir les processus affectant la répartition et la circulation des composés chimiques dans les eaux naturelles (Stumm et Morgan, 1981). Ce passage du laboratoire à la nature implique cependant la prise en compte de dimensions géologiques et biologiques, ainsi les temps mis en jeu dans le milieu naturel sont généralement beaucoup plus longs et conduisent plus souvent qu'au laboratoire à des équilibres stables (Michad, 1989).

Dans ce chapitre, qui représente les résultats de notre travail, nous allons déterminer caractéristiques de certaines sources thermales.

### II. Matériels et méthode

Pour réaliser ce travail nous avons suivi plusieurs étapes, qui permettra de répondre aux objectifs de l'étude, l'échantillonnage ; l'analyse et l'interprétation des résultats.

Les prélèvements ont été faite dans des bouteilles en verre, chaque bouteille est étiquetée avec un numéro, et la date de prélèvement. Au temps de l'échantillonnage les bouteilles sont lavés avec l'eau à analyser pour empêcher toute contamination des échantillons, puis remplis complètement en évitant la formations des bulles d'air (Rodier, 2005), (Photo 01), ensuite nous avons met les échantillon dans une glacière à une température de 4°C pour entreposer les échantillons d'eau afin de les transporter aux laboratoires dans un délai qui ne dépasse pas 24 heures.

Nous avons utilisé également un GPS (Global Positionning System) et un appareil photo pour la prise de vues et des coordonnées géographiques des points des sources thermales.

Les paramètres physico-chimique (Température, potentiel d'hydrogène, conductivité électrique et la salinité) sont mesurés in situ à l'aide des multi-paramètres de qualité de l'eau (un Détecteur intelligent de *qualité de l'eau Tuya Wifi 7 en 1* et un testeur un *testeur* numérique de qualité de l'eau de marque YiERYi 5 en 1), (Photo 02).

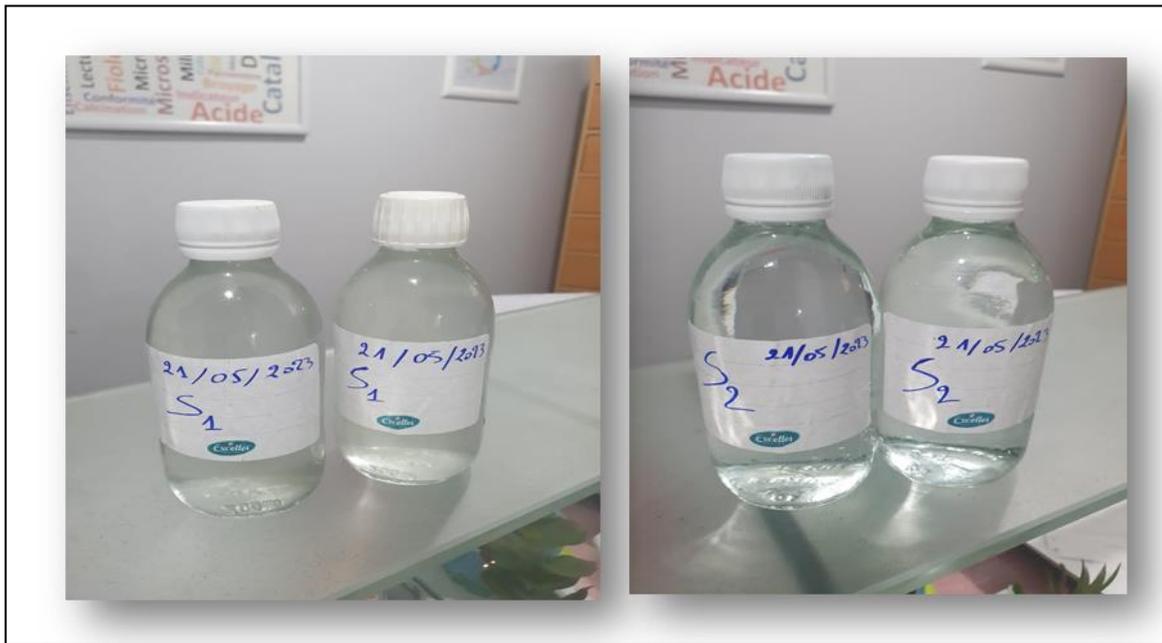


Figure14: Des bouteilles en verre de 02 stations (source Assasla et Roumia).



Figure15: Détecteur intelligent de qualité de l'eau Tuya Wifi 7 en 1



Figure 16: Testeur numérique de qualité de l'eau YIERYI 5 in 1

Les analyses chimiques aussi bien des éléments majeurs ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ), nitrate, nitrite et l'ammonium ont été réalisées au niveau du laboratoire Catalyse à Constantine.

Nous avons procédé à la détermination des propriétés physico-chimique des eaux des sources, en intégrant l'outil SIG (Arcgis) qui permet de donner automatiquement des informations caractérisant la morphologie et relief de la région d'étude à partir d'un modèle numérique du terrain. Le logiciel hydro chimique Diagramme et l'Excel pour bien présenter les résultats.

### III. Points de prélèvement

Pour avoir la qualité de certaines source thermale abandonnée nous avons effectué une campagne de prélèvement au niveau des deux sources d'eau thermale ; source Assasla et source Roumia. Les prélèvements ont été réalisés au mois de Mai (21/05/2023), (Figure 17 Ces prélèvements ont pour objectif de connaître la composition physico-chimique de ces sources à l'émergence. Nous avons basé sur les paramètres physico-chimiques qui sont habituellement mesurés lors des campagnes expérimentales classiques.

Les deux sources sont situées à la commune de Bouhachana Wilaya de Guelma. La source de l'Assasla se trouve à côté de l'oued El Hammam et à environ de 800 m la source Roumia émerge à la base d'une falaise.



Figure 17: Carte des points de prélèvement.

## IV. Caractéristiques physico-chimique des sources thermales

### 3.1. Les paramètres physiques

#### 3.1.1. Température (T)

La température de l'eau, est un élément climatique et écologique très important, elle influence sur la dissociation des sels dissous, sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons et la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. La température est mesurée par un testeur sur site et les valeurs obtenues sont estimées en °C.

L'appareil est rincé par eau désilée puis plongé dans l'échantillon, et nous avons laissé l'appareil se stabiliser, ensuite la valeur de la température est notée.

D'après l'histogramme des températures (figure 18), nous pouvons constater que la source Roumia est la source la plus chaude avec une température 35°C par rapport à celle Source Assasla 33,1 °C.

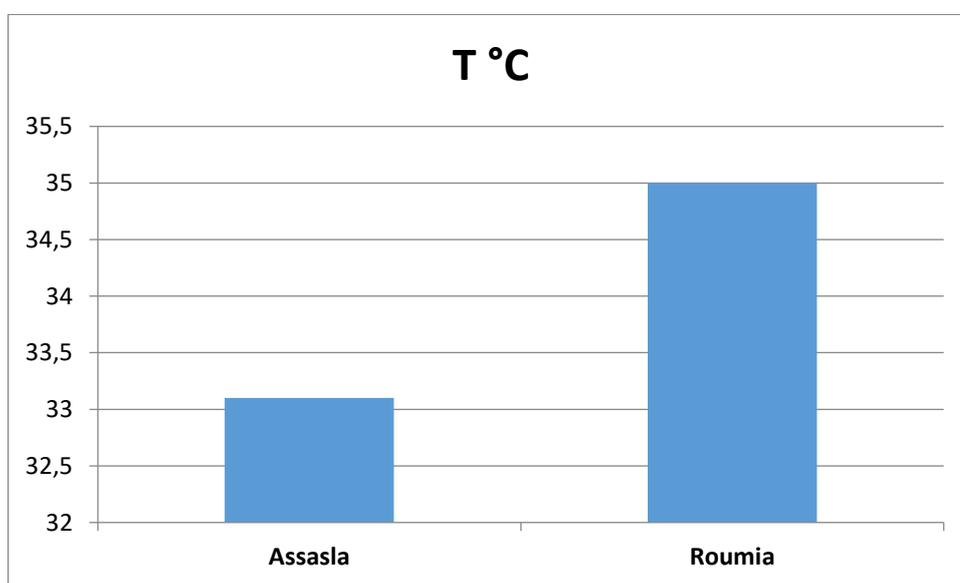


Figure 18: Variation spatiale des valeurs de la température.

#### 3.1.2. Potentiel Hydrogène (pH)

Le potentiel d'hydrogène (pH) mesure la concentration en ions  $H^+$  de l'eau et traduit ainsi la balance entre acides et bases sur une échelle logarithmique de 0 à 14. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Ses

valeurs se situent entre 6 et 8.5 dans les eaux naturelles (Chapman&Kimastach, 1996). Dans notre zone d'étude, Le pH varie entre 6,19 à l'Assasla et de 6,03 à Roumia. C'est une eau thermale qui est acide.

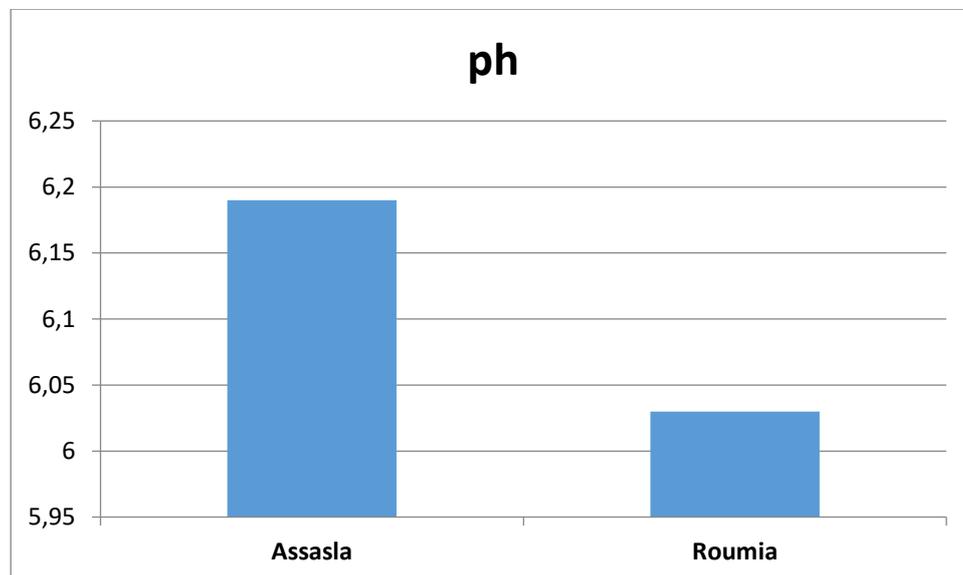


Figure 19: Variation spatiale du potentiel hydrogène.

### 3.1.3. Conductivité électrique

La conductivité électrique est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Elle est directement liée à la teneur en minéraux dissous ionisés. Elle augmente avec la température. Elle est l'inverse de la résistivité ( $\sigma$ ). La conductivité électrique standard s'exprime généralement en milli siemens par mètre (ms/m) à 20°C. Ce paramètre permet aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Pescod, 1985 ; Rodier, 1996)

Les résultats des mesures effectuées sur le terrain, montrent que la plupart des stations thermales ont des conductivités moyennement élevées à importantes.

La valeur de la conductivité maximale est de l'ordre de 1026  $\mu\text{s}/\text{cm}$  est mesurée à la station Roumia et de 765  $\mu\text{s}/\text{cm}$  à la station Assasla.

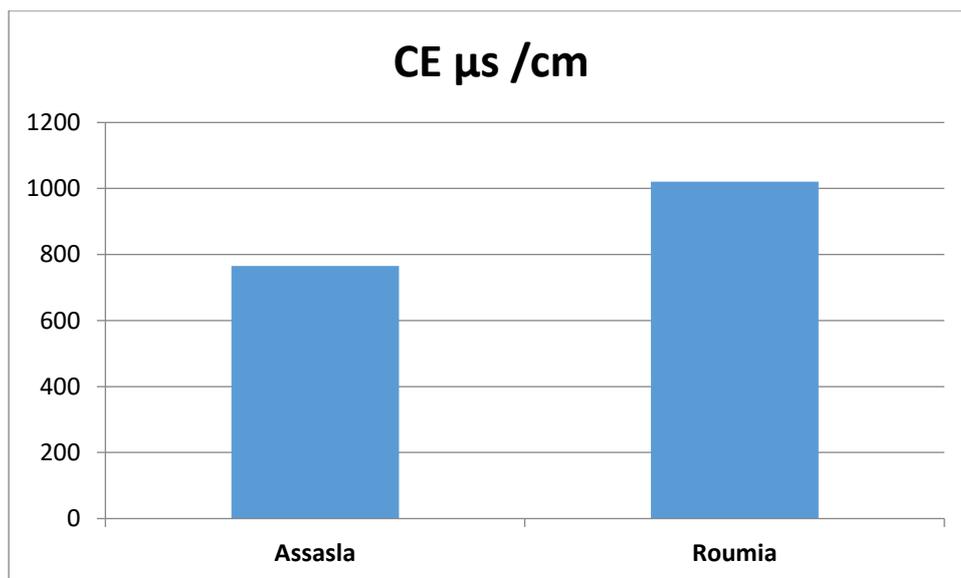


Figure 20: Variation spatiale des valeurs de la conductivité.

### 3.1.4. Salinité

La salinité est la mesure de la quantité de sels dissouts dans un volume donné d'eau (National Centres For Environnemental Information. (2009). World Océan Atlas ). Les résultats montrent que les valeurs de salinité dans la source Assasla et Roumia sont respectivement 0.03% et 0.05%.

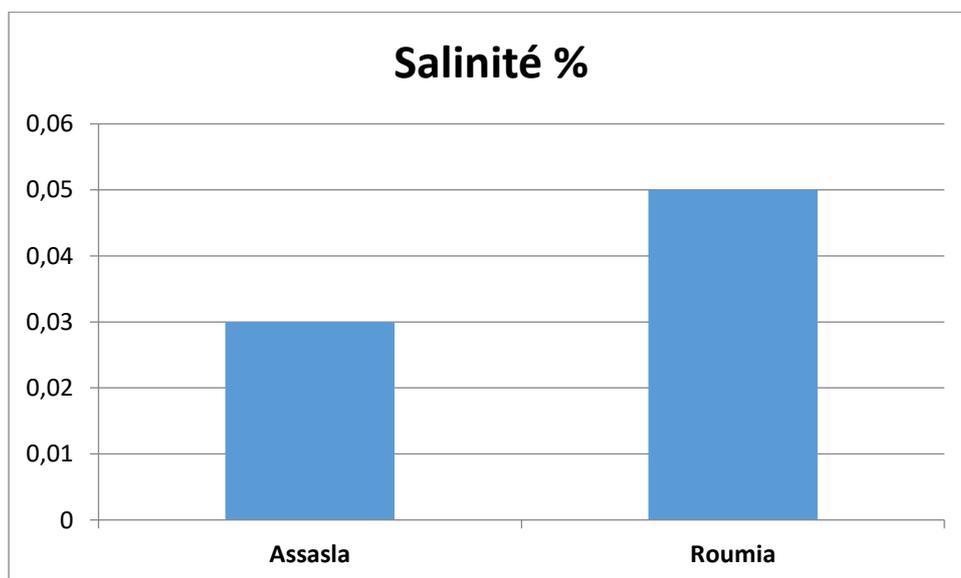


Figure 21: Variation spatiale des valeurs de la salinité.

### 3.1.5. Débit

La source Roumia débite un volume d'eau de 20 l/s, et la station de Hammam Assasla varie de 15 à 20 l/s. Certaines stations réputées et très fréquentées n'ont pas cette capacité.

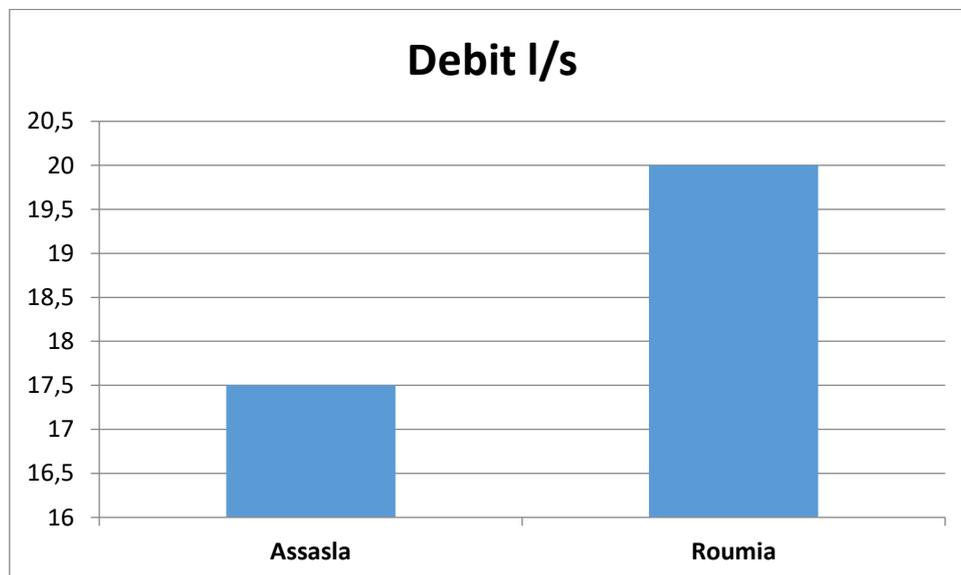


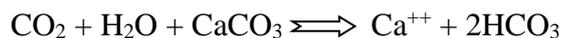
Figure22: Variation spatiale des valeurs de débit.

## 3.2. Les paramètres chimiques

La composition chimique des eaux thermales est liée au type de réservoir, la vitesse d'écoulement et au temps de contact eau-roche. Les concentrations des cations et des anions dans les eaux de sources de notre étude sont présentées suivants

### 3.2.1. Calcium (Ca<sup>2+</sup>)

Le calcium est un élément de la dureté, il est généralement l'élément dominant dans les eaux naturelles. Sa dissolution résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations carbonatées et même lors de leur séjour à l'intérieur de ces formations. Cette dissolution est due à la présence du gaz carbonique dans l'eau, le gaz provient de l'atmosphère, et des couches superficielles du sol, en raison de l'activité bactérienne selon la réaction :



Le calcium peut provenir aussi des formations gypsifères (CaSO<sub>4</sub>, 2H<sub>2</sub>O), il est aussi prédominant dans les eaux thermo minérales circulant en milieu calcaire. Il peut exceptionnellement atteindre des teneurs élevées dans des eaux thermo minérales carbogazeuses au contact des roches cristallines basiques (Benhamza, 2009).

Les résultats des analyses montrent que les concentrations en calcium varient de 135,47 mg/l (Roumia) à 88,79 mg/l (Assasla). Nous remarquons que les deux valeurs de concentration de calcium est inférieur à la norme (200 mg/l).

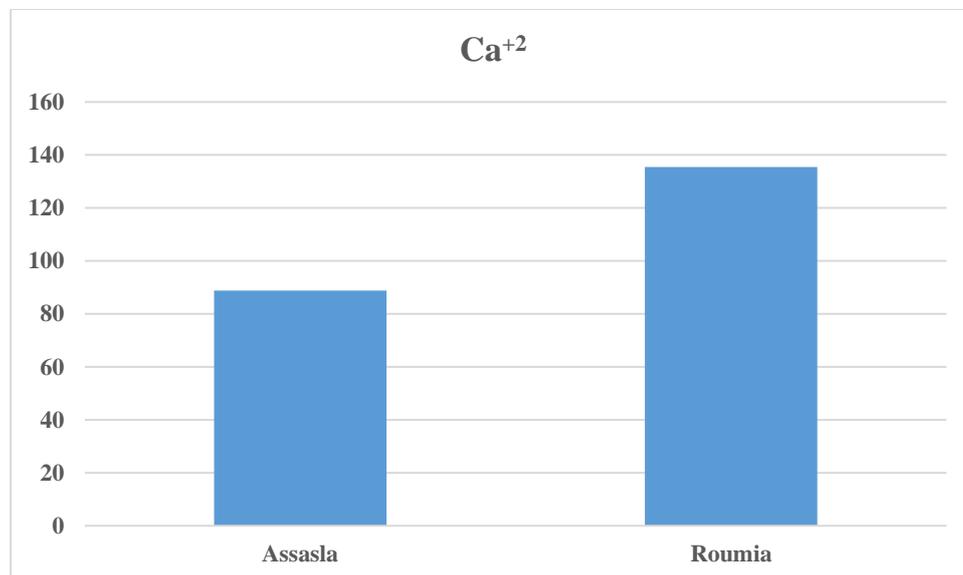


Figure 23: Variations des teneurs Calcium de la zone d'étude.

### 3.2.2 Magnésium ( $Mg^{+2}$ )

C'est un élément aussi de la dureté totale, résultant principalement de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques et des marnes dolomitiques soit des roches cristallines ou métamorphiques par hydrolyse des minéraux silicatés ferromagnésiens (olivines, micas...) toujours exacerbée dans les eaux carbogazeuses. (Benhamza, M 2009).

La mise en solution du Magnésium dans l'eau nécessite un temps de séjour important. D'après les résultats observés dans le graphe suivant, on remarque que les teneurs en magnésium sont pratiquement similaires pour les deux sources thermales, pour la source Roumia 17.01 mg/l et pour la deuxième présente une concentration de 21.38 mg/l.

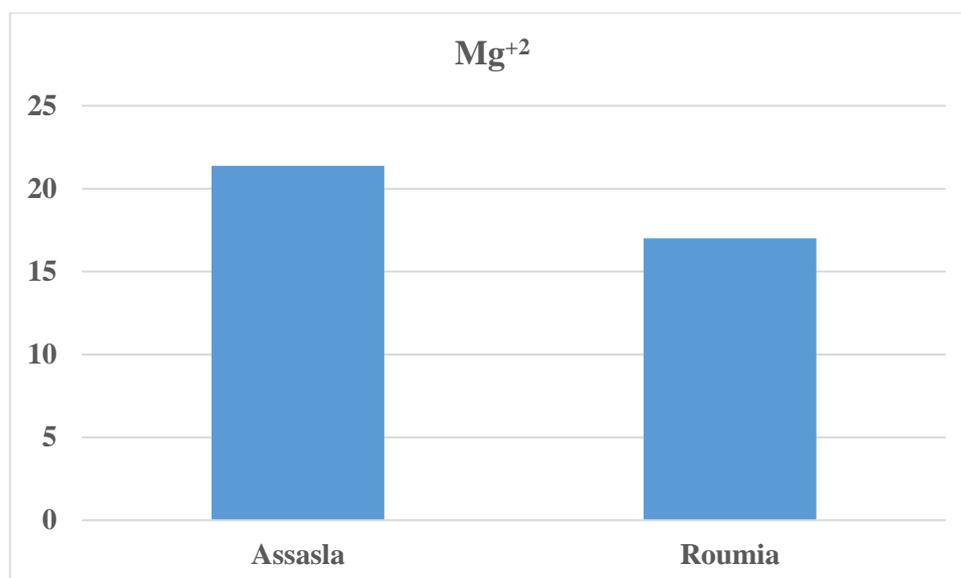


Figure 24: Variations des teneurs Magnésium de la zone d'étude.

### 3.2.3. Le Sodium (Na<sup>+</sup>)

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères très solubles tel que l'halite (NaCl), les teneurs dans la région varient de 10,9 mg/l au S1 à 54 mg/l au S2.

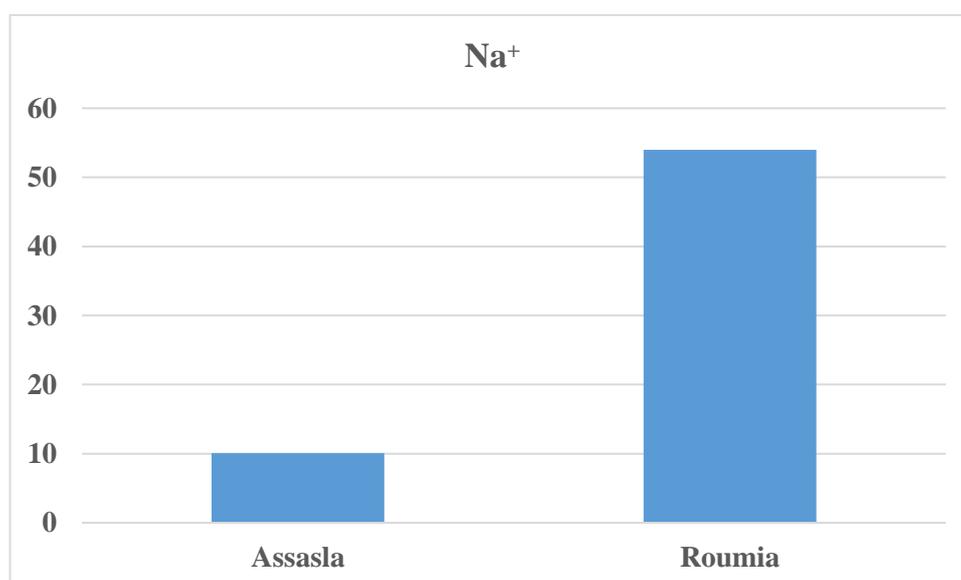


Figure 25: Variations des teneurs Sodium de la zone d'étude.

### 3.2.4. Potassium (K<sup>+</sup>)

Le Potassium est un élément principalement rencontré dans les roches ignées et les argiles.

D'après les résultats Obtenus, Le minimum de la concentration en ( $K^+$ ) observé à la source thermale Assasla est de l'ordre de 3,4 mg/l alors que le maximum est enregistré à la source thermale Roumia avec une valeur de 22 mg/l.

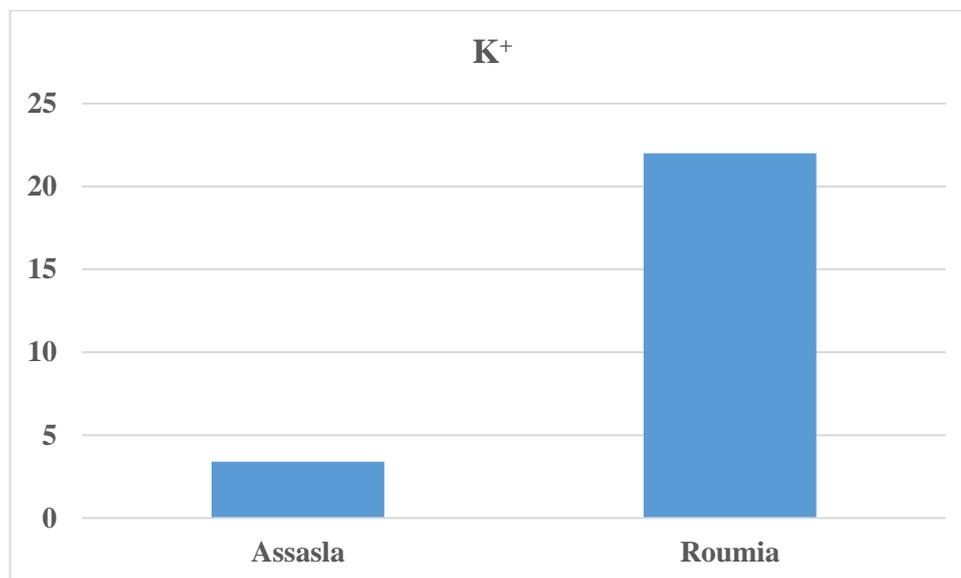


Figure 26: Variations des teneurs Potassium de la zone d'étude.

### 3.2.5. Bicarbonates ( $HCO_3$ )

Ils s'acquièrent communément par la dissolution, d'une part du  $CO_2$  du sol produit par la minéralisation de la matière organique, d'autre part des carbonates du sol et des roches (calcaire, dolomie,...). Dans ces conditions, les Hydrogènes carbonatés ne peuvent guère dépasser des concentrations de 10 milli moles d'ions. Au-delà de ces valeurs, on doit envisager la production de  $CO_2$  profond in situ par fermentation ou l'arrivée de  $CO_2$  profond magnétique ou métamorphique qui rend l'eau à un niveau agressive vis-à-vis de son encaissant. La concentration des Bicarbonates dans l'eau est fonction des paramètres suivants :

Le pH de l'eau ;

- La concentration du  $CO_2$  dissous ;
- La température de l'air.
- La concentration de l'eau en sels et la nature lithologique des terrains traversés.
- Notons que les teneurs en  $CO_3$ .

Les teneurs en bicarbonates dans les eaux thermales de la zone d'étude varient de 305 mg /l au Station 1 à 295 mg/l au Station 2.

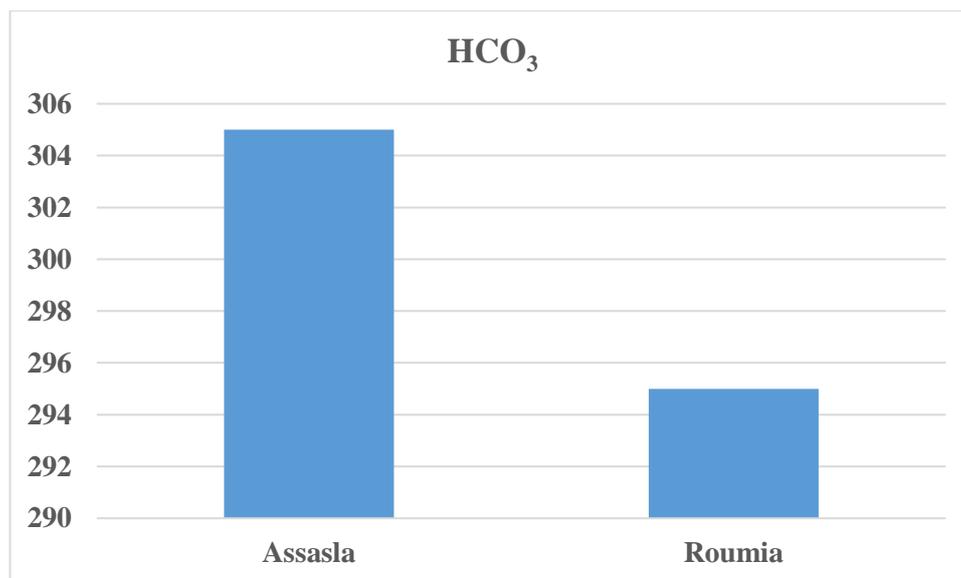


Figure 27: Variations des teneurs Bicarbonates de la zone d'étude.

### 3.2.6 Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

L'ion nitrate est la forme oxydée de l'azote, les sources naturelles de nitrate sont principalement la pluie et les interactions avec le sol et la végétation (Jacques, 2008), l'origine artificielle des nitrates sont les contaminations par des engrais et les rejets domestiques. La concentration des nitrates dans les deux sources thermales sont faibles, elle varie de 1,6 mg /l aux Station1 à 2 mg/l au Station 2.

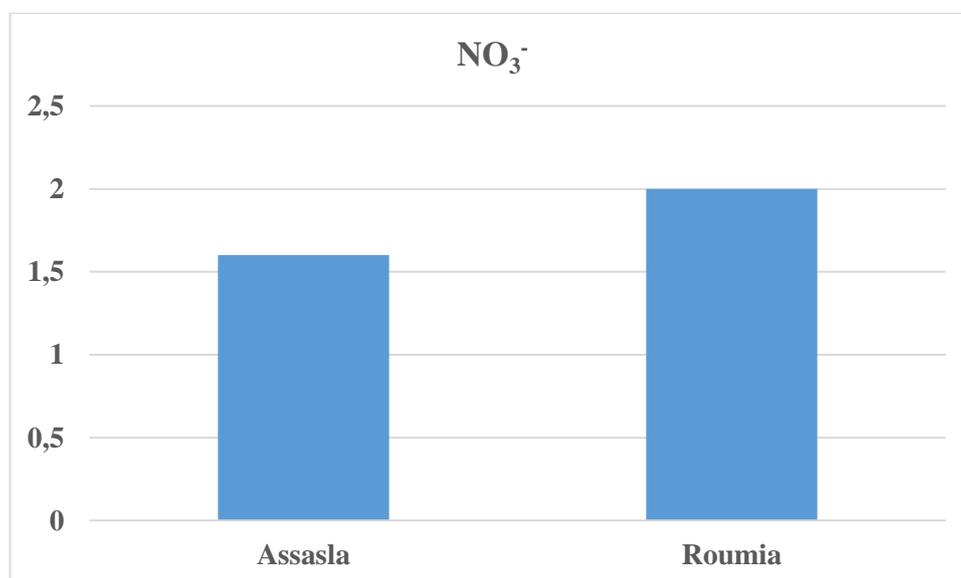


Figure 28: Variations des teneurs Nitrates de la zone d'étude.

### 3.2.7. Nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

Les nitrites représentent la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium. Ils s'agit d'une forme toxique, dans l'ensemble, les teneurs en nitrites de la source thermale sont inférieures à 0.1mg/l et dans ce cas les nitrites égal 0.

### 3.2.8. Ammonium(NH<sub>4</sub>)

L'Ammonium est la forme d'azote la plus toxique, sa présence dans l'eau est liée à une contamination urbaine ou industrielle, les teneurs en ammonium dans les eaux thermales de la zone d'étude sont dans l'ensemble ne existe pas.

### 3.2.9. Chlorures (Cl<sup>-</sup>)

Les teneurs en Chlorures des eaux naturelles sont extrêmement variées, elles peuvent provenir du lessivage d'anciens dépôts évaporitiques contenant du sel- gemme et sont alors associés au sodium. Les Chlorures en concentrations plus modestes peuvent avoir une origine magmatique. Ils sont présents dans les eaux minérales des régions à volcanisme récent mais aussi dans les eaux très profondes du socle cristallin. (Benhamza, 2009)

Les sources thermales de la zone d'étude présentent des concentrations en chlorures variant de 35,5 à 60,35 mg/l. Le minimum de la concentration est observé à la source thermale Assasla, alors que le maximum est enregistré à la source thermale Roumia.

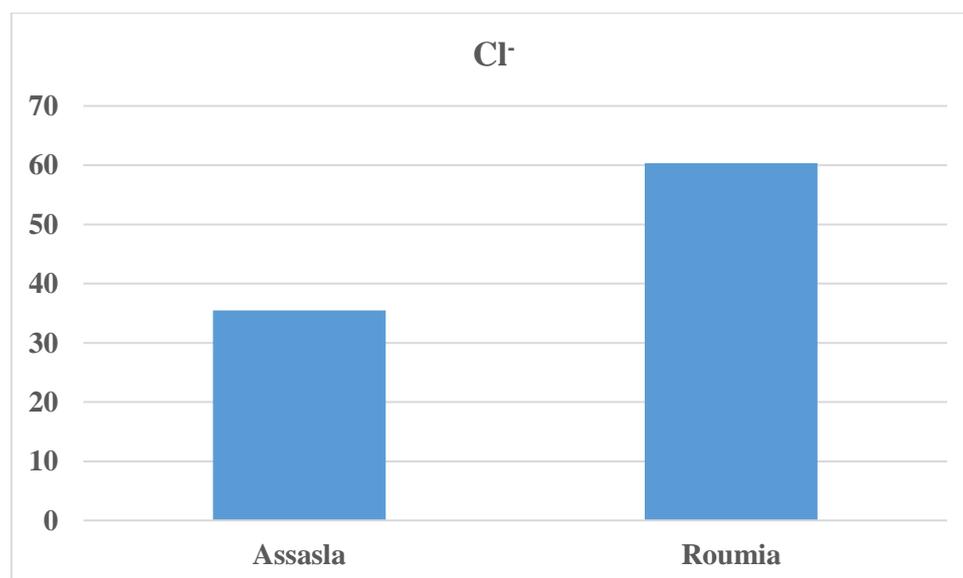


Figure 29: Variations des teneurs Chlorures de la zone d'étude.

### 3.2.10 Sulfates ( $\text{SO}_4^-$ )

L'eau contient toujours des sulfates en proportion très variables, leur présence dans l'eau résulte :

- De la légère solubilité du Sulfate de Calcium ( $\text{CaSO}_4$ ) des roches gypseuses ( $\text{Ca SO}_4 2\text{H}_2\text{O}$ ),
- De l'oxydation des Sulfates (pyrites...),
- De l'oxydation des sulfures d'hydrogène et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère puis entraînés lors des précipitations. (Benhamza, 2009).

Les concentrations en Sulfates peuvent être très élevées. Les Sulfates présents dans les eaux sulfurées sont le résultat d'une réaction biochimique des sulfates dissous.

Les sources thermales de la zone d'étude présentent des concentrations de sulfates oscillant de 96 mg/l à la source Roumia et de 60 mg/l à la source Assasla.

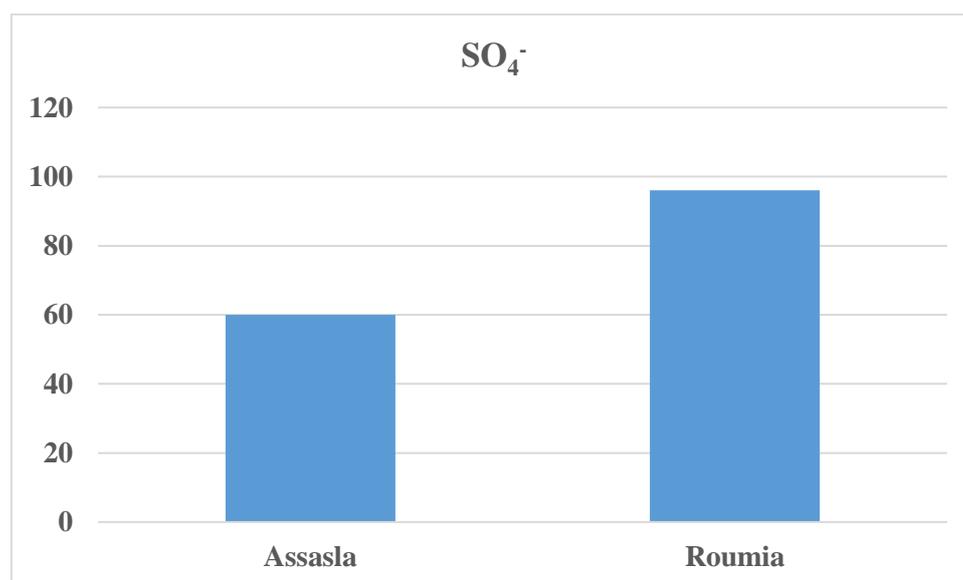


Figure 30: Variations des teneurs Sulfates de la zone d'étude.

### 3.3. Classification chimique des eaux

Pour classer et connaître les différents faciès chimiques auxquels appartiennent les eaux, plusieurs méthodes ont été définies par divers auteurs. Dans le cadre de notre étude, nous faisons appel aux principales et aux plus utilisées de ces classifications :

- La classification et la représentation de Piper (diagramme triangulaire)
- La classification de Stabler.
- La représentation de Schoeller- Berkaloff (diagramme vertical).

### 3.3.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper (Figure 31) permet de caractériser les faciès géochimiques des eaux. Cette caractérisation est basée sur des calculs de proportions relatives des différentes espèces cationiques et anioniques analysées. Ce diagramme est formé de deux triangles, un à gauche pour les cations et le deuxième triangle à droite pour les anions. Un losange découpé en famille d'eau. Les éléments considérés sont calcium, magnésium, sodium et potassium pour les cations et les bicarbonates, les chlorures-nitrates et les sulfates pour les anions. Dans le diagramme les concentrations relatives en méq/l de chaque élément calculé permet de placer les points sur les triangles qui sont ensuite projetés sur le losange. Cette concentration est définie par la proximité des points de projection par rapport aux différents sommets ou pôles. La projection dans le parallélogramme des points placés dans les triangles des anions et des cations, classe la solution en faciès suivant les ions prédominants (Allassane, 2004), (Figure 31).

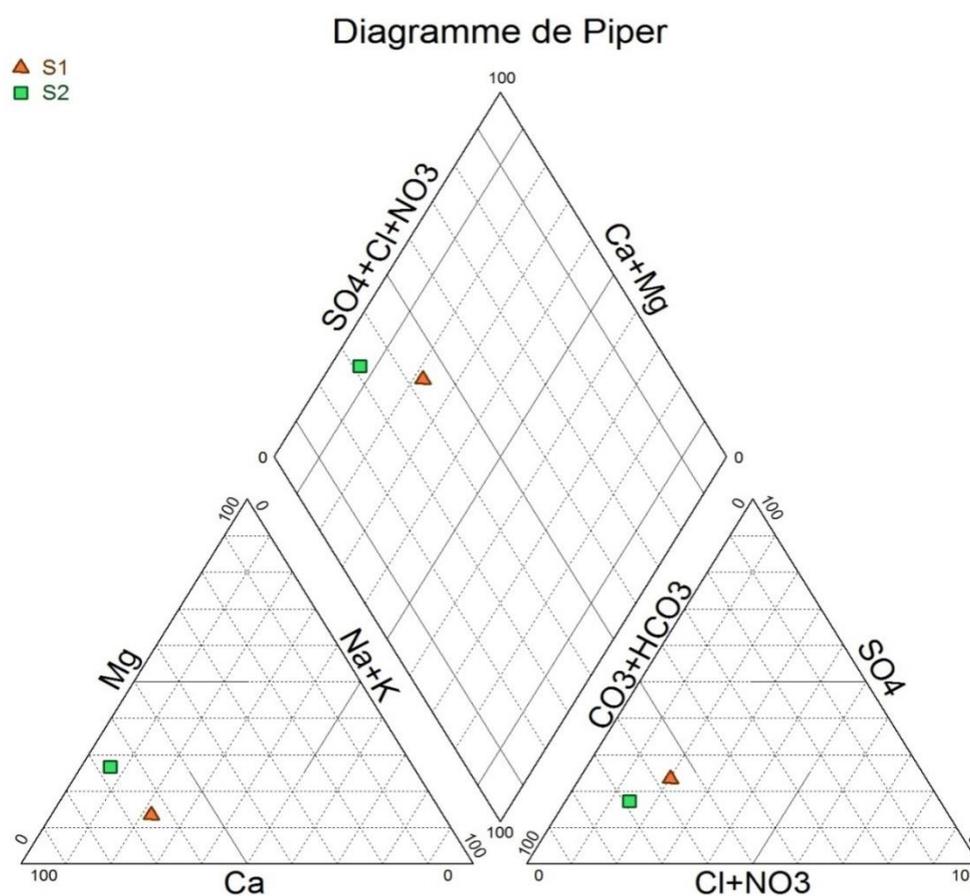


Figure 31: Diagramme de Piper

Le diagramme de piper ci-dessus montre une variabilité du faciès chimique. Ces derniers apparaissent comme suit :

Le faciès dominant au niveau des deux sources (Assasla et Romia) est le faciès Bicarbonate calcique et magnésien. Cela est dû à la dissolution des roches carbonatées dans la région.

### 3.3.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme semi-logarithmique de Schoeller-Berkaloff (figurer32) permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques. L'allure du graphique obtenu permet de visualiser le faciès de l'eau et facilite sa comparaison. Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence. Il est ainsi possible de visualiser à la fois le faciès chimique, comme pour le diagramme de Piper, mais aussi la minéralisation de l'eau (sa charge dissoute), ce qui est appréciable définit (Gouaidia, 2008).

Pour la représentation des analyses des sources thermales, on remarque la dominance suivante:

- Assasla bicarbonate calcique
- Romia bicarbonate calcique

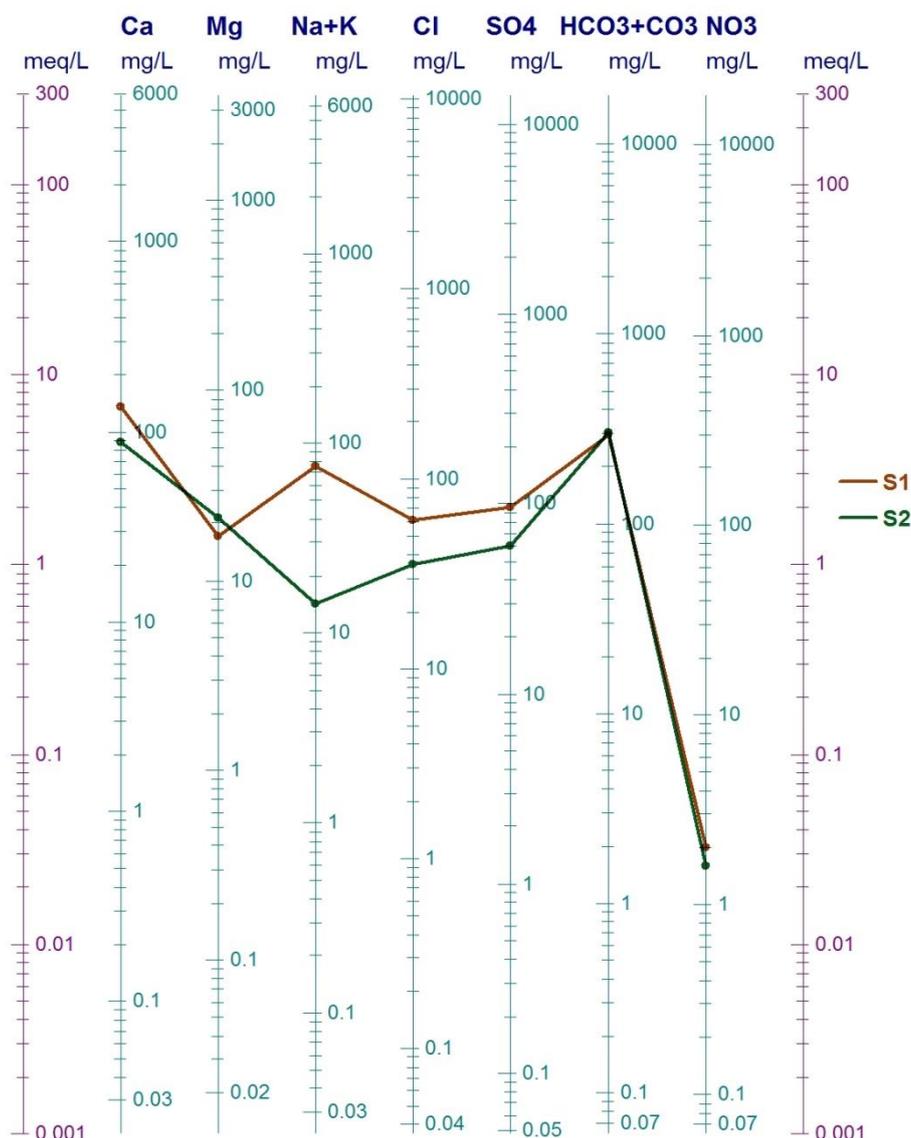


Figure 32: Diagramme de Schoeller – Berkloff

### 3.3.3. La classification de Stabler

Dans cette classification les concentrations exprimées en (még/l) sont réduites en quantité en réaction pour cent (r %) calculées par rapport à la concentration totale en (még/l) et sont exprimées par la formule caractéristique ou formule ionique. En se basant sur la prédominance de tel ou tel ion, la formule ionique est obtenue en classant de gauche à droite par ordre décroissant les quantités en réaction pour cent des anions ensuite des cations. (Benhamza, 2007)

D'après cette classification de Stabler (figure 33), les faciès caractérisant les sources thermales de la zone étudié sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6: Eléments dominant d'après la classification de Stabler

Sources thermales	Observations	Facies chimique
Assasla	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> Ca <sup>+</sup> > (Na <sup>++</sup> + K <sup>+</sup> ) > Mg <sup>+</sup>	bicarbonate calcique
Romia	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> Ca <sup>+</sup> > Mg <sup>+</sup> > (Na <sup>++</sup> + K <sup>+</sup> )	bicarbonate calcique

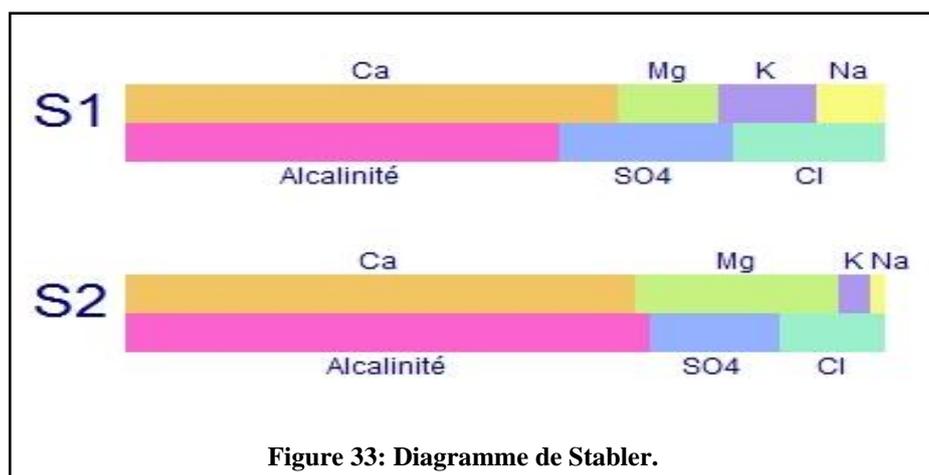


Figure 33: Diagramme de Stabler.

### 3.4. Géothermométrie

Le géothermomètre chimique est un outil important pour estimer les températures des réservoirs des systèmes hydrothermaux. Les géothermomètres à silice et à cations sont des géothermomètres chimiques classiques utilisés dans l'exploration géothermique. Ils sont basés sur la solubilité des minéraux et/ou des réactions d'échange (Kharaka et Mariner, 1989). Plusieurs auteurs ont inventé la Géothermomètres chimique (Ellis, 1970 ; Fournier et Truesdell, 1973 ; Truesdell, 1976), ces auteur ont proposé des méthodes et des formule qui nous aidons à découvrir la température profonde à partir de la composition chimique de ces sources. Il existe plusieurs sortes de géothermomètres chimiques :

- Le géothermomètre silice ;
- Le géothermomètre K-Mg ;

➤ Le géothermomètre Na/K/Ca

Dans cette étude, les géothermomètres suivants ont été appliqués pour estimer les températures souterraines des eaux collectées dans les deux sources étudiés : Na – K (Truesdell 1975), Na – K (Fournier 1979), Na – K – Ca (Fournier et Truesdell 1973), K/Mg (Giggenbach 1988). Le géothermomètre silice ne peut pas nous contribuer dans ce travail car nous n'avons pas défini les concentrations de Silice de l'eau à cause de manque des réactifs.

### Géothermomètre Na/K

Ellis (1970) a mis empiriquement en évidence la relation entre le rapport Na/K et la température profonde de l'eau, les teneurs en Na et K des eaux thermales proviennent de la mise en solution de ces éléments dans les feldspaths constituant les roches cristallines, l'équation correspondante

$$T^{\circ}C = \frac{908}{\log\left(\frac{Na}{K}\right) + 0,7} - 273 \quad (\text{A.J. Ellis.})$$

(Concentrations en mol/l)

$$t^{\circ}C = \frac{4410}{14 - \log(K^2/Mg)} - 273,15 \quad (\text{Fournier.R.O,})$$

$$t^{\circ}C = \frac{933}{\log Na/K + 0,933} - 273,15 \quad (\text{Tonani, 1980})$$

$$t^{\circ}C = \frac{933}{\log Na/K + 0,933} - 273,15 \quad (\text{Arnórsson, 1983})$$

$$t^{\circ} = \frac{1390}{\log (Na/K) + 1,75} - 273,15 \quad (\text{Nieva \& Nieva, })$$

$$t^{\circ} = \frac{1217}{\log (Na/K) + 1,483} - 273,15 \quad (\text{Giggenbach, 1988})$$

### 3.5. Géothermomètre Na/K/Ca

Ce géothermomètre est proposé par Fournier et Trusdell (1973), il est basé principalement sur la solubilité de Na, K, Ca qui provenant lors des réactions qui affectent les minéraux des roches cristallophylliennes et spécialement les feldspaths.

Avec :

$$T^{\circ}C = \frac{1647}{2,24 + \log (Na/K) + \beta \log \left(\frac{\sqrt{Ca}}{Na}\right)} - 273,15$$

$\beta = 1/3$  si la température de l'eau est supérieur à 100 °C.

$\beta = 4/3$  si la température de l'eau est inférieur à 100 °C.

Les géothermomètres précédemment cités sont calculés et les valeurs sont portées dans le tableau 07.

**Tableau 7: Températures estimées en °C dans les sources étudiées à la région de Guelma par différents géothermomètres chimiques.**

source	Géothermomètre Na-K-Ca	Géothermomètre Na/K					
	R.O. Fournier et A.H. Trusdell (1973)	A.J. Ellis (1970)	Truesdell (1976)	Tonani (1980)	Arnorson (1983)	Nieva & Nieva (1978)	Giggenbach (1986)
Assasla	280,463	560	78,356	432,060	432,060	376,38	376,60
Roumia	153,644	480,52	54,48	375,21	375,21	343,13	388,71

- les températures calculés à partir de géothermomètre Na-K-Ca (Fournier et Trusdell, 1973), donnée des températures du réservoir qui varient entre 153,644 °C et 280,463 °C cette température et plus grande que l'émergence.
- Les températures calculées à partir de la géothermométrie Na/K montrent des valeurs élevées de la température du réservoir (de 560 °C à l'Assasla et de 480,52 °C à Roumia) aux niveaux des deux sources sauf pour la formule de Truesdell (1976) qui donne des valeurs de température proche à celle à l'émergence.
- la géothermométrie Na/K de (Tonani, 1980) et (Arnorson, 1983) avoir les mêmes valeurs dans tous les sources.

### 3.5.1. Indice d'échange de base (i.e.b)

L'utilisation de l'indice d'échange de base (i.e.b.) permet de mettre en évidence les modifications du chimisme de l'eau au cours de son trajet souterrain. Par définition, l'i.e.b est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau. Il est obtenu par la relation suivante (Dib, 2010 ; Scholler, 1956) :

Au cours de son trajet souterrain, l'eau rentre en contact avec différentes substances qui ont la propriété d'échanger leurs ions contre ceux contenus dans l'eau. Parmi ces substances, nous avons les minéraux argileux : l'hydroxyde ferrique et les

substances organiques. (Dib, 2005). *Schoeller* 1934 a précisé que l'indice d'échange de base (i.e.b) comme étant le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants, lorsqu'il y'a échange de  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  de l'eau, contre les alcalino-terreux des argiles alors :

$$\text{i.e.b} = \frac{r\text{Cl}^- - r(\text{K}^{++} + \text{Na}^+)}{r\text{Cl}^-}$$

Si  $\text{i.e.b} < 0$   $\longrightarrow$  l'eau est d'origine cristalline,

Si  $\text{i.e.b} > 0$   $\longrightarrow$  l'eau est d'origine sédimentaire.

**Tableau 8: Indice d'échange de base (i.e.b)**

Sources	Indice d'échange de base (i.e.b)
Assasla	0,013
Roumia	0,59

Les résultats présentés dans le tableau au-dessus montrent des valeurs d'indice d'échange de base (i.e.b), supérieurs à 0 ce qui indique l'existence des échanges entre les ions sodium et potassium et les ions calcium et magnésium. D'après les valeurs trouvées l'origine des sources thermales de la zone d'étude est d'origine sédimentaire.

## V. Conclusion

D'après les valeurs mesurées des paramètres physique, nous pouvons constater que les eaux de la source Roumia est plus chaude que celle de l'Assasla avec une température de  $35^\circ \text{C}$ . elles sont également plus chargées avec une conductivité de  $1021 \mu\text{S}/\text{cm}$ , à un potentiel d'hydrogène mesuré est de 6,03 indique une eau légèrement acide.

L'interprétation des résultats des analyses chimiques nous a permis d'en déduire que les eaux des deux sources ont un faciès bicarbonatées calcique et magnésien cela est dû à la dissolution des roches carbonatés.

L'estimation de la température du réservoir est effectuée à l'aide des géothermométries avec différentes méthodes. Les calculs par géothermométrie chimique ont donné les valeurs des températures estimées dans les réservoirs. Les températures calculées présentent des valeurs variées respectivement entre  $54,48^\circ \text{C}$  et  $480,52^\circ \text{C}$  à Roumia, et de  $78,356^\circ \text{C}$  à  $560^\circ \text{C}$ . L'indice d'échange de base pour les eaux de sources thermales a prouvé une origine sédimentaire.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

Ce travail a tenté d'étudier les sources thermales Assasla, source Roumia (Wilaya de Guelma), et d'attribuer une origine géologique à l'eau de ces sources.

La recherche dans notre région a permis de connaître les sources hydrothermales (phénomènes, lien avec la tectonique, composition chimique de l'eau, etc.).

Sur le plan climatique, c'est une zone au climat méditerranéen, caractérisée par deux saisons : une saison froide et humide et une saison sèche et chaude. La pluviométrie annuelle moyenne est de 550 mm par an et la température moyenne est de 17,6 °C.

Le bilan hydrique a été calculé par la méthode de C.W. interprété. Thornthwaite, les résultats placent l'évapotranspiration réelle à 423.6 mm/an, une valeur de ruissellement de 64,14 mm/an ici la valeur est 126.4 mm, l'infiltration a été estimée à partir de l'équation du bilan hydrique à 77%.

Selon la classification des formations géologiques et selon leurs caractéristiques hydrogéologiques, trois types de formations ont été distingués : les formations favorables au développement des aquifères poreux, les formations favorables au développement des aquifères poreux et formations favorisant le développement d'aquifères karstiques.

Les températures des eaux de source recensées à l'émergence sont proches, avec une valeur de 33,1°C à Assasla et de 35 °C à Source Roumia. Elles sont considérées, selon la classification proposée par Pierre Verdeil comme une eau mésothermale. L'observation de la conductivité électrique montre que les valeurs enregistrées dans la source de l'Assasla est 765  $\mu\text{s/cm}$  et pour Source Roumia 1026  $\mu\text{s/cm}$  les deux sont supérieures aux valeurs normales (400  $\mu\text{s/cm}$ ) de (400  $\mu\text{s/cm}$ ). Cela indique que l'eau thermique des deux sources est chargée.

Ensuite, La concentrations de plus par des cations et des anions dans les eaux de sources de notre étude sont des valeurs s'inscrivent pleinement dans l'intervalle des valeurs normales, Sauf la concentration d'élément potassium dans la source Roumia supérieure à la valeur normale 12 mg /l même remarque pour les bicarbonates sont supérieur dans les deux sources par rapport aux normes.

Nous avons remarqué que les valeurs de l'ammonium et de nitrite égale 0 veulent dire l'absence d'une pollution d'origine humaine dans la région.

L'interprétation des résultats des analyses chimiques nous a permis d'en déduire que les eaux des deux sources ont un faciès bicarbonatées calcique et magnésien cela est dû à la dissolution des roches carbonatés .

L'estimation de la température du réservoir est effectuée à l'aide des géothermométries avec différentes méthodes. Les calculs par géothermométrie chimique ont donné les valeurs des températures estimées dans les réservoirs. Les températures calculées présentent des valeurs variées respectivement entre 54,48 ° C et 480,52°C à Roumia, et de 78,356° C à 560°C. L'indice d'échange de base pour les eaux de sources thermales a prouvé une origine sédimentaire.

Les eaux thermales constituent une mémoire qui apporte en surface des indications sur le réservoir profond. Leur étude géochimique représente un outil de reconnaissance qui, de manière complémentaire aux autres approches (géologiques, géophysiques, hydrodynamiques, etc.), permet de mieux déterminer leur origine, le circuit souterrain emprunté et les mélanges éventuels avec les eaux froides superficielles.

# **Références bibliographiques**

### Références bibliographiques

- Abdelbaki-C. BoukliHacène-F. (2007). Etude Du Phénomène De Dégradation Des Eaux Souterraines Du Groupement Urbain De Tlemcen ; Revue Des Energies Renouvelables Vol. 10 N°2 (2007) 257 – 263.
- Baghdali-L. (2007). La Réutilisation Des Eaux Usées Epurées Pour L'irrigation En Algérie Exposé A Rabat, 9-12 Juillet 2007.
- Bahmed-L. Djebabra-M. Abibsi-A. (2004). Démarche D'intégration Du Concept Qualité – Sécurité - Environnement Aux Systèmes D'alimentation En Eau Potable. Larhyss Journal, N° 03. 115-128.
- Bechiri N., 2011 « Evolution du chimisme des eaux de surface et Souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Nord-Est Algérien) », Mémoire de magister, IST, Université de Badji Mokhtar Annaba, 129 p.
- Bender, T., Nagy, G., Barna, I., &Tefner, I. K. (2020). The effects of balneotherapy on osteoarthritis: A systematicreview. Physical TherapyReviews, 25(1), 7-17.
- Benmarce K., 2015, "Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines dans la région de Guelma, Nord-Est Algérien", Thèse de doctorat en sciences, IST, Université de Badji Mokhtar Annaba, 156 p.
- Benmarce-K. (2007).Caractéristiques Physico-chimiques Et Isotopiques Des Eaux Souterraines Dans La Région De Guelma (NE algérien). Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba.
- Blayac J., 1912, «Esquisse géologique du bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines", 480 p.
- Boudjadja-A. Messahel M. Et Pauc K. (2003). Les Ressources Hydriques En Algérie Du Nord. Revue Des Sciences De L'eau, 16/3. 285-304.
- Cardot-C. (1999). Les Traitements Des Eaux (Procédés Physicochimiques; Cours Et Problèmes Résolus), Ellipses. 247p.
- Castany G. et Margat T. (1977). Dictionnaire Français D'hydrogéologie, Géologie Minière. 249 p.
- Chadha D.K. (1999). A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data. Hydrogeol. J., 7: 431-439.
- Chauve et al. (1989). Qualité physico-chimique des eaux de la nappe alluviale de Franche Comté . Laboratoire de géologie structurale et appliquée 206 p.

## Références bibliographiques

---

- Chen, K., Jiao, J.J., Huang, J., Huang, R. (2007). Multivariate statistical evaluation of trace elements in groundwater in a coastal area in Shenzhen, China. *Environ. Pollut.* 147, 771–780.
- Chilton, J., & Foster, S. (1995). Hydrogeological characterization and water supply potential of basement aquifers in tropical Africa. *Hydrogeology Journal*, 3(1), 36-49.
- Coulibaly-K. (2005). Etude De La Qualité Physico-Chimique Et Bactériologique De L'eau Des Puits De Certains Quartiers Du District De Bamako. Thèse De Doctorat. Université De Bamako, 55 P.
- Dajoz-R. (2000). Précis d'écologie: Cours Et Exercices Résolus. 7<sup>ème</sup> édition. Paris: Dunod
- DIB.H, 2004. Le thermalisme de l'extrême Est Algérien : Guelma, Souk Ahras, Skikda et Tarf. Encadrement d'un Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Faculté des Sciences de la Terre et de l'Aménagement du Territoire. Université de Constantine. P, 5, 6, 7, 8, 63, 55 15.
- DIB.H, 2008. Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien. Publication du service Géologique National, 12, 14, 15, 42, 41, 40, 39
- DIB.H, 2008. Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien. Publication du service Géologique National, 12, 14, 15, 42, 41, 40, 39
- Djabri L. (1993). Etude des caractéristiques d'une nappe côtière de l'Est algérien (cas de la nappe alluviale de Guelma-Boucheougouf-Annaba)-revue hydrogéologia n°10, PP13-29.
- Doneen L.D. (1962). The influence of crop and soil on percolating water. Proc 1961 Biennial conference on Groundwater Recharge, p. 156-163.
- Drever J.I. (2002). The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments. 3rd Ed. Prentice- Hall, p. 24-26.
- Drissi-S. (2008). Qualité Des Eaux De Quelques Sources Dans La Région De Souk-Ahras. Mémoire De Magister. Centre Universitaire De Souk Ahras. 69 P.
- Faby-J.A. (1997). Utilisation Des Eaux Usées Epurées En Irrigation, Edit Fnad.
- Faruqi- N. (2003). La Gestion De L'eau Selon L'islam. Éditions Karthala, Paris, P144.
- Fournier, R.O. & Truesdell, A.H., (1973). An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 37: 1255–1275.

## Références bibliographiques

---

- Fournier. R. O., (1979). A Revised Equation for the NA/K Geothermometer. GeothermalResources Council.3, 221-224p (Davis, Calif.).
- Gleick, P. H., & Palaniappan, M. (2010). Peak water limits to freshwater withdrawal and use. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(25), 11155-11162.
- Granger, C., & Dupuy, P. (2017). Thermal spring water in dermatology. Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology, 10, 199-206.
- HELLAL Saadia, 2017, Etude de la nature de l'eau de source de Aïn Franine (Kristel, wilaya d'Oran) et son utilisation. Mémoire de Magister Spécialité : biologie, Option : biodiversité et conservation des zones humides, Université Djillali Liabes De Sidi Bel Abbes.
- Kettab-A. (1981). Traitement Des Eaux Potables. Edition Opu. Algérie.
- Kettab-A. (1992). Traitement Des Eaux : Les Eaux Potables ; Office Des Publications Universitaires, Ben Aknoun, Alger.
- KHITER Fares , 2018, Caractérisation hydrochimique de quelques sources thermales de la wilaya de Guelma nord-est ALGERIEN, Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers Filière : Géologie , Université 8 Mai 1945 Guelma.
- LABADI A.S., Hammache H. 2016, Etude Comparative Des Eaux Minerales Et Des Eaux De Sources Produites En Algerie, Larhyss Journal, Issn 1112-3680, N°28, Dec 2016, Pp. 319-342
- LABADI A.S., Hammache H. 2016, Geochemistry Of Water And Ground Water In The Nhecola^ Ndia, Pantanal Of Mato Grosso, Brazil: Variability And Associated Processes , Wetlands, Vol. 22, No. 3, September 2002, Pp. 528–540
- Les eaux souterraines, en date 11/04/2023 à 12:37 AM dans le lien : <https://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/cycle/eauxSouterr.html>
- Margat , 1972, les etudes hydrogéologiques d'infrastructure. Objectifsetb Méthodes d'un service public hydrogéologique 42.
- Marre A., 1987. Le Tell Oriental Algériens de Collo à la frontière Tunisienne. Etude géomorphologique, volume 1 et 2 O.P.U. Alger. Algérie.
- Maxime LION , 2004, Influence De La Température Sur Le Comportement Poromécanique Ou Hydraulique D'une Roche Carbonate Et D'un Mortier. Etudes Expérimentales, THESE Pour L'obtention Du Titre De DOCTEUR De L'universite Des Sciences Et Technologies De Lille Discipline : Génie Civil.

## Références bibliographiques

---

- Meddour-R. (2010). Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie. Thèse doctorat, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2019). Review of the Desalination and Water Purification Technology Roadmap. The National Academies Press.
- Ph. Baele, 2002, Le transport de l'Oxygène par le sang, Cliniques Universitaires Saint-Luc, Université Catholique de Louvain (UCL), Belgique.
- Ramade F. (1982). Eléments D'écologie, Ecologie Appliquée, L'action De L'homme Sur La Biosphère. 2ième édition. Masson. Paris. 422 p.
- Ramade F., (1996). Dictionnaire encyclopédique des éléments de l'écologie des sciences de l'environnement. Ed. Science internationale. 822 pages.
- Rapolienè, L., & Savickienè, N. (2019). Mineral waters and health spas: Benefits and risks. *Medicina*, 55(6), 243.
- Roux-J. C. (1990). Les Secrets De La Terre : L'eau Source De Vie. Eéditions De Brgm, Orléans Et La Compagnie Du Lierne, Paris. 64 P.
- Rouyrre-C. (2003). Guide De L'eau,
- Smirnova, A., Kudryavtseva, I., Ivanova, J., Kamnev, A., & Tarasova, E. (2018). Biomedical applications of thermal and mineralsprings water. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 133(3), 1643-1653.
- Tamrabet-L. (2011). Contribution A L'étude De Valorisation Des Eaux Usées En Maraichage. Thèse De Doctorat, Option Hydraulique. Université Hadj Lakhdar – Batna.
- Teixeira-J. (2006). Les Mystères De L'eau. Dans : Techniques De L'ingénieur W1 : Technologie Des Eaux. Techniques De L'ingénieur. Chap. Re 53, Pp : 1-8.
- Tonani, F.B., (1980). Some Remarks on the Application of Geochemical Techniques in geothermal exploration. In: Strub, A.S. & Ungemach, P. (eds): *Advances in European Geothermal Research*. Springer Netherlands (Dordrecht): 428–443.
- United Nations. (2019). World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind. UNESCO.
- Vincent VALLES, 2016, Cours sur les eaux thermals sur internet en date de 12/04/2023 <http://lesoufflecestmavie.e.l.f.unblog.fr/files/2016/12/cours-sur-les-eaux-thermales.pdf>

## Références bibliographiques

---

- "Géothermie : une énergie propre et durable" (ADEME) :  
<https://www.ademe.fr/geothermie-energie-propre-durable>
- "Les sources d'eau chaude naturelles" (National Geographic) :  
<https://www.nationalgeographic.fr/nature/les-sources-deau-chaude-naturelles>
- "The Geysers Geothermal Field, California" (U.S. Department of Energy) :  
<https://www.energy.gov/eere/geothermal/geysers-geothermal-field-california>