

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE «ABBES LAGHROUR KHENCHELA»
INSTITUT DE SCIENCE DE LA NATURE ET DE LA VIE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES PRESENTEE
POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER II EN ÉCOLOGIE ET ENVIRONNEMENT
OPTION : PROTECTION DES ECOSYSTEMES
2018/2019

Thème

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET THERAPEUTIQUES
DES EAUX THERMALES DE HAMMAM ESSALIHINE WILAYA DE KHENCHELA

Par

Bakhouche Omar

Devant le jury

Président **Mme . DALLI Naouel M.C.B**
Encadreur **Mme. BERKANI Cherifa M.C.B**
Examineur **Mme. MEZHOUD Amel M.A.A**

Université Abbes LAGHROUR Khenchela
Université Abbes LAGHROUR Khenchela
Université Abbes LAGHROUR Khenchela

Promotion : 2018/2019

Remerciement

Je remercie en premier lieu dieu de m'avoir donné la force et la patience de terminer ce modeste travail.

Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier tous ceux qui ont contribué à sa réalisation et en particulier :

Mme. Berkani Cherifa, qui a accepté de diriger

Ce travail, je lui exprime ici toute ma gratitude.

Mme.Dalli Naoual, qui a en la bienveillance d'accepter de juger ce travail et de présider le jury de soutenance.

Mme. Mezhoud Amel, d'avoir accepté de juger ce travail.

Mes remerciements vont également à :

Mes Enseignants, et doctorants du département d'écologie et environnement, pour leur soutien moral et leur accueil chaleureux.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents, qui sont à l'origine de mon existence, que DIEU les protège, ils m'ont soutenu le long de l'élaboration de ce travail.

*A mon très chère père **Ahmed** mon modèle suivre qui m'a entouré d'amour et de tendresse et m'a appris la patience et le défit.*

*A ma très chère mère **Warda** qui m'a encouragé et conseillé pendant mes plus Pénibles moments et qui m'a guidé vers le chemin droit.*

*A Ma Très Chère Epouse **Ilham***

Ton encouragement et ton soutien étaient la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments pénibles

*A mes très chers frères, **Belgacem, Said** et **bilal** qui s'inquiètent autant ou même plus que moi pour que j'arrive au but désiré*

*A mes chères soeurs **Samiha** et **Marwa**, qui ont toujours été là pour moi.*

*A Ma Nièce Le joyau de mon cœur **Rawan***

Résumé

L'Algérie est l'un des pays qui compte le plus de sources thermale au niveau mondial, Le recours à l'action curative des eaux thermales est une tradition plus que millénaire en Algérie. Autrefois mise en valeur par les Romains, elles sont aujourd'hui pour la plupart d'entre elles laissées à l'abandon. Les plus réputées en termes de qualité et de beauté à l'Est de l'Algérie.

L'objectif de cette étude est de caractériser l'hydrochimie des sources thermale d'**Hamam El Salihine** de la wilaya de **khenchela** par la mesure des paramètres physico-chimique des eaux pour caractériser le faciès chimique, afin de valoriser ces sources pour les utiliser dans la thérapeute , très utile pour les pays en voie de développement comme l'Algérie.

A partir de la représentation graphique du diagramme de Piper l'eau de **Hamam El Salihine** est de nature **Chlorurées sodiques**, sont fiable pour Rhumatologie, Enfants, Respiratoire, Rhumatologie, Dermatologie, Stomatologie, Neurologie, les techniques thermales sont très nombreuses. Il peut s'agir de cures de boisson, de cures externes, de bains, de douches, d'applications locales thermales, d'utilisation de vapeur ou de gaz thermal, de boues .

Mots clés :Hamam Elssalihine - -eau thermale-khenchela hydrochimie -faciès chimique-cure thermale-vertus thérapeutique.

Abstract

Algeria is one of the countries with the largest thermal sources in the world, The use of curative thermal waters is a tradition over a thousand years in Algeria. they are today for most of them abandoned. The most famous in terms of quality and beauty to the east of Algeria.

The objective of this study is to characterize the hydrochemistry of thermal sources by measuring physico-chemical of water to characterize the chemical profile in order to develop these sources for use in the therapist, useful for countries development such as Algeria.

From the graphical representation of the Piper diagram of water steam in hammam El Salihine are likely sodium chloride are reliable for Rheumatology, Children, respiratory, Rheumatology, Dermatology, Dentistry, Neurology, and thermal techniques are numerous. It may be drinking cures, cures external baths, showers, hot local applications, use of steam or thermal gas, mud.

Keywords: Hammam Elssalihine-thermal water- Khenchela- hydrochemistry- chemical facies-spa-therapeutic virtues.

ملخص

تعتبر الجزائر واحدة من البلدان التي لديها أكبر مصادر المياه الحرارية في العالم، واستخدام المياه الحرارية العلاجية هو تقليد له أكثر من ألف سنة في الجزائر. اكتشفها سابقا الرومان، لكن معظمها الان مهجور. الاكثر شهرة من حيث الجودة والجمال في الشرق الجزائر

والهدف من هذه الدراسة هو تحديد خصائص الكيمائية للمصادر الحرارية عن طريق قياس خصائص المياه الفيزيائية والكيميائية من أجل تطوير هذه المصادر لاستخدامها في العلاج الطبيعي وتطوير السياحة المائية في الجزائر

من تمثيل مخطط بايبر نلاحظ مياه حمام الصالحين سوديك بالكلور يمكن الاعتماد عليها لأمراض الروماتيزم، الأطفال، الجهاز التنفسي، وأمراض الروماتيزم، والأمراض الجلدية، طب الأسنان، طب الأعصاب، تقنيات حرارية كثيرة. هذا قد يكون بالشرب، او الاستعمال الخارجي، والاستحمام، والتطبيقات المحلية الساخنة، واستخدام البخار أو الغاز الحرارية، والطين.

كلمات مفتاحية: حمام الصالحين، المياه الحرارية، خنشلة، هيدروكيميا، الوجهاث الكيميائية، التدليك العلاجي، الفضائل العلاجية.

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| DEDICACE | |
| REMERCIEMENT | |
| RESUME | |
| LA LISTE DES ABREVIATIONS | |
| LISTE DES TABLEAUX | |
| LISTE DES FIGURES | |
| INTRODUCTION GENERALE..... | 01 |
| I.1 - Cadre de l'étude..... | 03 |
| I.1.1- Présentation de la zone d'étude..... | 03 |
| I.1.2- La station thermale Hammam El Salhine..... | 05 |
| I.2-Cadre géomorphologique et structural..... | 07 |
| a) Une zone de hautes plaines..... | 07 |
| b) Une zone de montagnes | 08 |
| c) Une zone de plaines steppiques et présahariennes | 08 |
| I.2.2- Cadre structural | 08 |
| I.2.3 – Localisation et âge de mise en place du trias..... | 09 |
| I.4- Cadre géologique | 09 |
| I.4.1- Litho stratigraphie | 09 |
| I.4.1.1. Le Mésozoïque | 11 |
| Trias | 11 |
| Le Crétacé | 11 |
| b1)Crétacé inférieur | 11 |
| b.1.1. Barrémien- Aptien | 12 |
| b.1.2. Albien | 12 |
| b.2. Crétacé supérieur | 12 |
| b. 2.1. Cénomaniens | 13 |
| b. 2.2. Turonien | 13 |
| b.2.3. Sénonien | 13 |
| I.4.1.2 .Le Cénozoïques | 13 |
| a) Le Néogène..... | 13 |
| I.4.1.3. Quaternaire | 14 |
| I.4.2 Les caractères pédologiques..... | 15 |
| a)Les sols calcaires humifères..... | 15 |
| b)Les sols insaturés humifères | 15 |
| c)Les sols calciques | 15 |
| d) Les roches mères | 15 |
| I.5- Végétation, activité humaine et réseau hydrographique | 16 |
| I.5.1- Végétation et activité humaine..... | 16 |
| I.5.2- Réseau hydrographique..... | 17 |
| I.6 Conclusion..... | 19 |

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

| | |
|-------------------------------|-----------|
| II.1 INTRODUCTION..... | 20 |
|-------------------------------|-----------|

| | |
|--|----|
| II.2 La station de mesures..... | 20 |
| II.3 ETUDE DES FACTEURS CLIMATIQUES..... | 21 |
| II.3.1 La température | 21 |
| II.3.1.1 Variations des températures moyennes annuelles | 21 |
| II.3.1.2 Variations de la température moyenne mensuelle..... | 22 |
| II.3.2 La pluviométrie | 23 |
| II.3.2.1 Variations interannuelles des précipitations | 23 |
| II.3.2.2 Variations moyennes mensuelles des précipitations | 24 |
| II.4 CARACTÉRISATION DU CLIMAT..... | 25 |
| II.4.1 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen..... | 25 |
| II.4.2 Indice d'aridité | 26 |
| II.4.2.1 Indice de Martonne | 26 |
| II.4.3 Le régime saisonnier | 28 |
| II.5 ESTIMATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION..... | 29 |
| II.5.1 ETP (Évapotranspiration potentielle)..... | 29 |
| II.5.2 ETR (Évapotranspiration réelle)..... | 30 |
| II.6 CALCUL DU BILAN HYDROLOGIQUE PAR LA METHODE DE THORNTHWAITE | 31 |
| II.6.1 Interprétation du bilan hydrologique | 33 |
| II.7 LA CONCLUSION | 34 |

CHAPITRE III : HYDROCHIMIE

| | |
|--|----|
| III.1. Introduction..... | 35 |
| III.1.1 Les sources thermales de Khenchela | 35 |
| III.1.2 La thermalité | 36 |
| III.1.2.1 Définition | 36 |
| III.1.2.2 Définition proposée..... | 36 |
| III.1.2.3 Classification thermique des eaux..... | 37 |
| III.2 Origine de la thermalité des eaux de Hammam El Salihine..... | 37 |
| III.3. Caractérisations Chimique Des Eaux Et Processus Responsables De La Qualité..... | 39 |
| III.3.1 Introduction..... | 39 |
| III.3.2 Données utilisées dans ce travail | 40 |
| III.3.3 Qualité des mesures et des prélèvements..... | 40 |
| III.4. Caractéristiques physico-chimique des eaux thermales..... | 41 |
| III.4.1. Etude des Paramètres physiques..... | 41 |
| III.4.1.1 La température de l'eau..... | 41 |
| III.4.1.2 Le pH..... | 41 |
| III.4.1.3 La conductivité électrique..... | 42 |
| III.4.2. Hydrochimie des ions majeurs et faciès des eaux | 43 |
| III.4.2.1. Origine et variation des éléments majeurs | 43 |
| 4.2.1.1 Le calcium..... | 43 |
| 4.2.1.2 Le magnésium..... | 44 |
| 4.2.1.3 Le sodium..... | 44 |
| 4.2.1.4 Le potassium..... | 45 |
| III.4.2.2 Les Anions..... | 45 |
| III.4.2.2.1 Les chlorures..... | 45 |
| III.4.2.2.2 Les sulfates..... | 46 |
| III.4.2.2.3 Les bicarbonates..... | 46 |
| III.4.3. Faciès chimique..... | 47 |
| III.4.3.1 Diagramme de Piper..... | 47 |

| | |
|--|----|
| III.4.3.2 Diagramme de Schoeler Berkaloff..... | 48 |
| III.5 Conclusion..... | 49 |

CHAPITRE IV : THERAPEUTIQUE

| | |
|---|----|
| IV.1. Le thermalisme à travers l'histoire | 50 |
| IV.2. Définition | 51 |
| IV.4.3. Les orientations thérapeutiques des eaux thermales..... | 52 |
| a. Les eaux sulfurées..... | 52 |
| b. Les eaux sulfatées..... | 52 |
| c. Les eaux chlorurées.. .. | 52 |
| d. Les eaux bicarbonatées | 52 |
| e. Les eaux à minéralisation spéciale..... | 52 |
| f. Les gaz thermaux..... | 53 |
| IV.5. Les techniques des soins thermaux..... | 53 |
| IV.5.1. les boues thermales. | 53 |
| IV.5.2. Les bains thermaux. | 54 |
| IV.5.3. Le bain d'eau thermoménérale | 54 |
| IV.5.4. Le bain avec douche en immersion | 55 |
| IV.5.5. Le bain avec douche sous-marine | 55 |
| IV.5.6. Le bain local | 55 |
| IV.6. Les douches thermales..... | 56 |
| IV.6.1. La douche au jet | 56 |
| IV.6.2. La douche de vapeur | 57 |
| IV.6.3. La douche sous immersion à haute pression | 57 |
| IV.6.4. La Piscine..... | 58 |
| IV.7. Les différentes qualités des eaux thermales | 59 |
| IV.7.1. Les eaux sulfurées..... | 59 |
| IV.7.2. Les Eaux sulfatées..... | 59 |
| IV.7.3. Les eaux bicarbonatées..... | 59 |
| IV.7.4. Les eaux radioactives..... | 59 |
| IV.7.5. Les eaux riches en calcium..... | 60 |
| IV.7.6. Les Eaux riches en Magnésium..... | 60 |
| IV.7.7. Les Eaux riches en silice..... | 60 |
| IV.8 Conclusion | 61 |
| CONCLUSION GENERALE | |
| REFERENCES | |

LISTE DES ABREVIATIONS

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

CE : Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

CW chemin de Wilaya

D.H.W.K: direction d'hydraulique de la wilaya de khenchela, service des statistiques mais

DA : Déficit Agricole (mm)

DHWK :Direction hydraulique Wilaya de Khenchela

Direction De L'agriculture de la wilaya de khenchela (2014).

DPAT : direction de planification et d'aménagement des territoires avril,

DPAT : Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire.

DPSI : Direction de planification statistique

DRE :Direction des Ressources en Eau.

DSA : Direction des Services Agricoles

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm)

ETR : Evapotranspiration Réelle (mm)

EX : Excédent en eau du sol (mm)

Ha :Hectare.

I : Indice d'aridité

P : Précipitations (mm)

PAW :Plan d'Aménagement de La Wilaya.

RFU : Réserve Facilement Utilisable (mm)

T : Température ($^{\circ}\text{C}$)

LESTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 01 : Les Coordonnées géographiques de la station de mesure | 21 |
| Tableau 02 : les températures de la wilaya de Khenchela durant la période (2008-2018)..... | 23 |
| Tableau n 03 : Précipitations moyennes mensuelle durant la période (2008-2018)..... | 24 |
| Tableau 04: Précipitations moyennes mensuelles et températures moyennes mensuelles de la période (2008-2018)..... | 25 |
| Tableau 05 : Le régime pluviométrique saisonnier à la d'El Hamma pour la période (1996/1997-2009/2010)..... | 28 |
| Tableau 06 : Valeurs de l'ETP estimées par la formule de Thornthwaite..... | 30 |
| Tableau 07 : Bilan hydrologique moyen (2008/2009-2017/2018) à la station d'El Hamma par la méthode de Thornthwaite..... | 32 |
| Tableau 08: Caractéristiques physico-chimique..... | 40 |
| Tableau 09 : Classification Des Eaux Etudiées, Selon Leur Température..... | 41 |
| Tableau 10 : Valeurs de la conductivité électrique mesurées..... | 43 |
| Tableau 11 : Spécifié curatives des eaux thermales d'Hammam El salhine..... | 60 |

Liste Des Figures

| | |
|--|-----|
| Figure 01: Situation géographique de la zone d'étude..... | 04 |
| Figure :02 la Carte D'inventaire Hammam Salihine..... | 05 |
| Figure 03 : Carte de situation géographique de Hammam Essalihine, Khenchela « extrait de la carte géologique de khenchela au 1/50000..... | 06. |
| Figure 04: la station thermale hammam El Salhine..... | 06 |
| Figure 05 : Vue panoramique de la station thermale de Hammam El salhine..... | 07 |
| Figure 06 : Schéma illustrant les variations de faciès dans le Crétacé inférieur de L'Aurès.. | 10 |
| Figure :07 :Coupe interprétative dans le bassin de Rémila..... | 10 |
| Figure 08 : Carte géologique de Hammam Essalihine, Khenchela..... | 15 |
| Figure 09 : Carte pédologique des sols de la wilaya de Khenchela..... | 16 |
| Figure 10 : Ressources hydriques de la wilaya de Khenchela..... | 18 |
| Figure 11 : Evolution de la température moyenne annuelle à la station de El Hamma pour la période (2008/2009-2017/2018)..... | 21 |
| Figure 12 : Variation de la température moyenne mensuelle El Hamma pour la période (2008/2009-2017/2018)..... | 22 |
| Figure 13 : Evolution des précipitations annuelles à la station d'El Hamma pour la période (2008/2009-2017/2018)..... | 23 |
| Figure 14 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station d'El Hamma pour la période (2008/2009-2017/2018)..... | 24 |
| Figure 15 : Diagramme Ombrothermique de la station d' El Hamma..... | 26 |
| Figure 16 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne..... | 27 |
| Figure 17 : Le régime pluviométrique saisonnier à la station d'El Hamma pour la période (2008/2009- 2017/2018)..... | 29 |
| Figure 18 : évaporation et évapotranspiration potentielle et réelle..... | 31 |
| Figure 19 : Diagramme variation mensuelle des éléments climatique..... | 32 |
| Figure 20 : Variation mensuelle des résultats du bilan hydrique..... | 33 |
| Figure 21 : Carte du gradient géothermique de l'Algérie du Nord..... | 38 |
| Figure 22 : Représentation sur diagramme de Piper..... | 47 |
| Figure 23 : Diagramme de Schoeler Berkaloff..... | 48 |
| Figure 24 : Application locale de boues thermales..... | 54 |
| Figure 25 :Le bain d'eau thermoménérale..... | 55 |
| Figure 26 : Le bain local..... | 56 |
| Figure 27 :La douche au jet..... | 57 |
| Figure 28 :La douche sous immersion à haute pression..... | 58 |
| Figure 29 : La piscine des thermes..... | 58 |

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Le Hammam a, de tout temps, fait partie de notre vie quotidienne, que ce soit comme lieu d'hygiène ou de purification à travers l'eau, mais aussi comme un endroit de détente et parfois de fêtes familiales. (Bekkouche M. F, 2009)

L'eau thermale est une eau minérale souterraine, naturellement chaude, enrichie en sels minéraux et en oligo-éléments. La majorité des établissements thermaux se situent en milieu montagnard, où l'eau thermale coule au milieu des roches. Ces eaux sont reconnues pour leurs caractéristiques uniques et leurs vertus.

L'étude des vertus des eaux thermo-minérales est basée sur des diverses disciplines scientifiques (géologie, biologie, chimie, économie, physique....)

L'objectif de cette étude est de caractériser les paramètres physico-chimiques des eaux thermo-minérales de Hammam Essalihine de la wilaya de Khenchela pour montrer les vertus thérapeutiques très importants de ces eaux.

Les caractéristiques Hydrochimiques sont d'un très grand intérêt, dans l'explication des caractéristiques thérapeutiques des eaux de Hammam Essalihine.

Problématique de l'étude et objectif

Les ressources thermales de Hammam Essalihine est un exemple, pour lequel l'exploitation de la ressource permet d'avoir à disposition un jeu de données relativement conséquent.

Les éléments de compréhension, amenés par cette étude, serviront de bases pour répondre aux questions de ces acteurs.

Ces questions concernent non seulement des aspects pratiques :

Envers les curistes et la population locale et qui peuvent se résumer ainsi :

Quelle est l'origine de ces eaux ?

Quel est le mécanisme qui permet leur réchauffement ?

Quelle est le rôle facies chimique des eaux dans l'identification du traitement ?

Quel est le mécanisme qui permet de définir le traitement des maladies ?

Quelle est les techniques de traitement qu'on peut appliquer dans hammam el sallihine Khenchela ?

Introduction générale

Pour pouvoir répondre à cette problématique, notre démarche a été fondée sur

- Le premier chapitre consiste à présenter la zone d'étude et les caractéristiques géomorphologiques, géologiques.
- Le deuxième chapitre traitera la partie climatique, Nous avons qualifié le climat de la région en fonction des paramètres climatiques, à savoir les précipitations, la température et l'évapotranspiration, et enfin d'établir le bilan hydrique.
- Le troisième chapitre est consacré à l'étude de l'Hydrochimie des eaux thermo-minérales de Hammam Essalihine. Cette partie reposera sur les résultats des différentes analyses chimiques des points d'eau concernés. L'interprétation et l'exploitation des données d'analyses chimiques pour identifier le faciès chimique des eaux et remonter aux sels dissous responsables de la minéralisation des eaux.
- Le dernier chapitre explique Les Vertus Thérapeutique l'utilisation thérapeutique des propriétés de certaines eaux minérales thermales pour guérir ou soulager des personnes souffrant d'affections diverses.

Chapitre I

Cadre général

Introduction

Il est indispensable d'étudier le cadre géologique, géomorphologique et structurel pour avoir des idées approfondies sur la nature du terrain afin de comprendre la relation qui existe entre la géologie et les faciès chimiques des eaux thermales de Hammam Essalhine et d'un autre côté de comprendre le pouvoir thérapeutique de ces eaux.

I.1 - Cadre de l'étude

I.1.1- Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Khenchela est située à l'Est de l'Algérie, au contrefort des monts des Aurès, dans l'aire géographique comprise entre 6° 32' et 7° 34' de longitude Est et entre 35° 7' et 35° 38' de latitude Nord. Elle est limitée géographiquement au :

- Nord : par la wilaya d'Oum el Bouaghi.
- Sud : par la wilaya d'El Oued.
- Est: par la wilaya de Tébessa.
- Ouest: par la wilaya de Batna.
- Sud- Ouest : par la wilaya de Biskra.

La superficie de la wilaya est estimée de 9715.6 km², composée de 8 daïra et 21communes. (figure 01). (**KHABTHANE , 2010**)

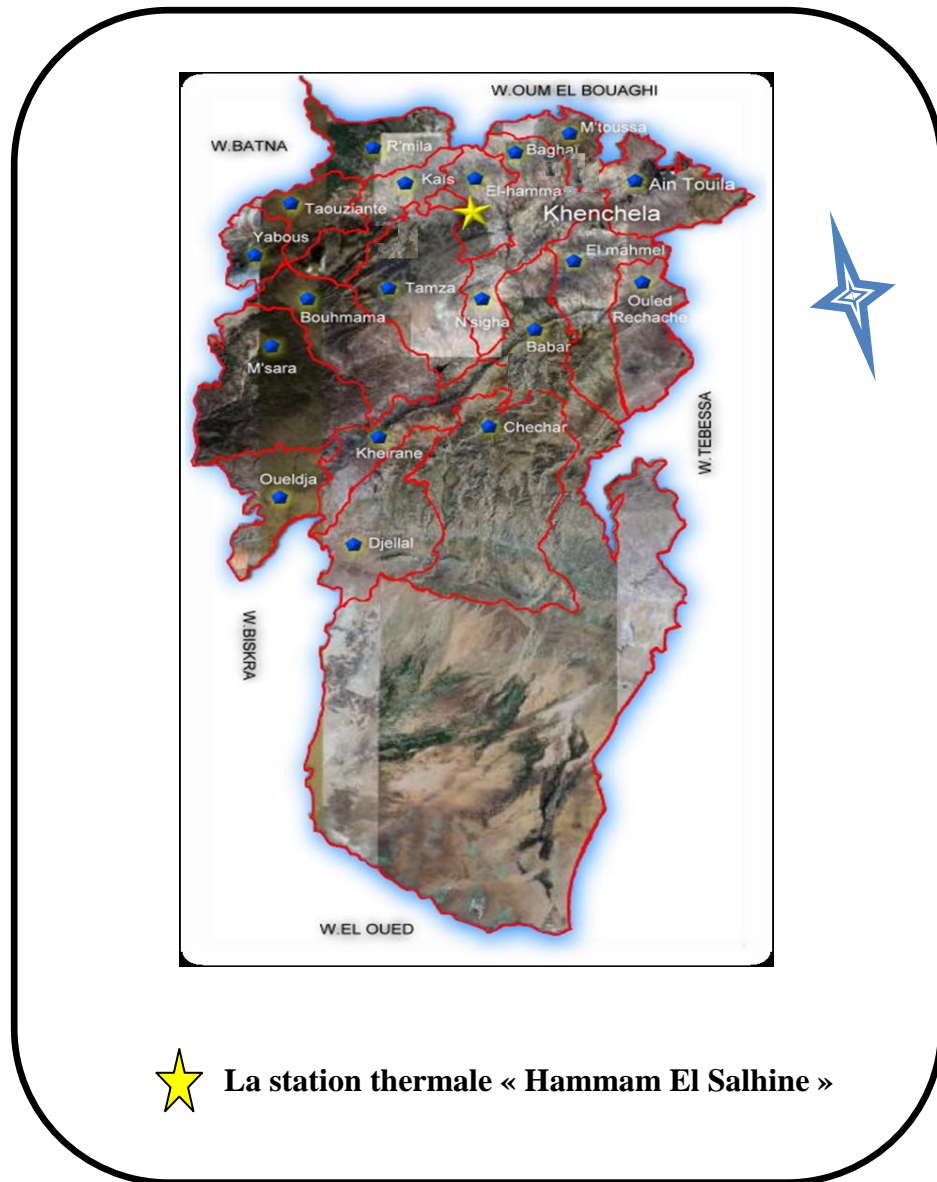


Figure 01: Situation géographique de la zone d'étude.

I.1.2 Ia station thermale Hammam El Salhine

La station thermale de Hammam Elsalhine (Khenchela) est situé dans la commune d'El Hamma, à 7 km au Nord-Ouest de chef lieu de la wilaya de khenchela (Figure 02).dans une dépression montagneuse.(**Derction de tourisme,2007**), Sur une altitude de 1063 m Aux coordonnées suivantes :

7°05 00.85 "Est

35°26' 32.78" Nord (Figure 02).

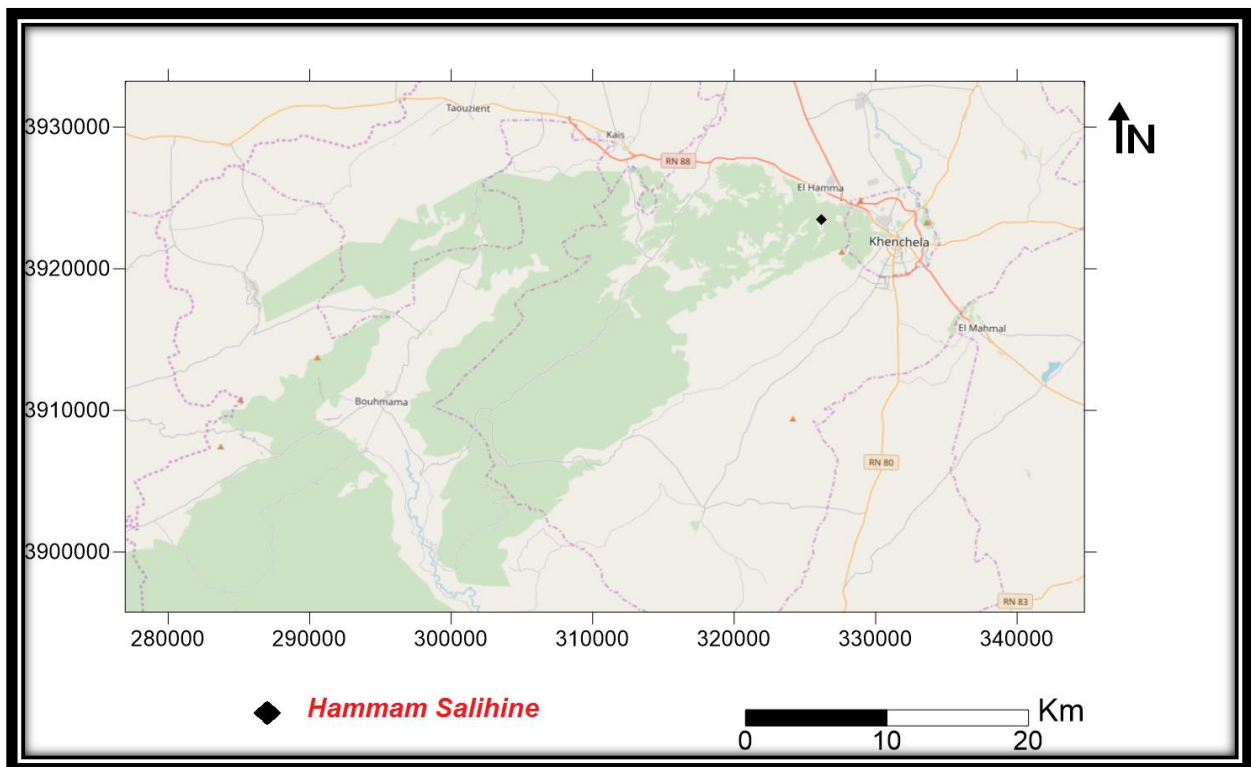


Figure :02 la Carte D'inventaire Hammam Salihine

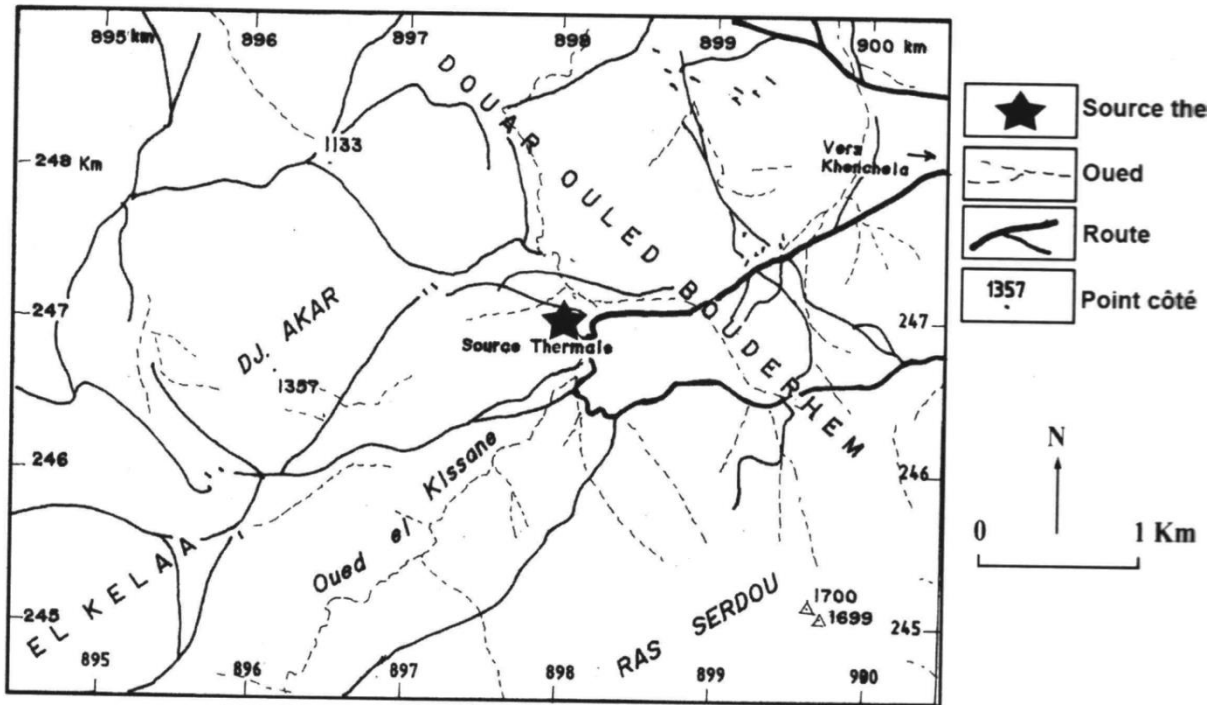


Figure 03 : « la carte topographique de khenchela au 1/50000 (sonatrach., 1997) »



Figure 04: la station thermale hammam El Salhine, (Derction de tourisme, 2007)

La station est facilement accessible grâce à deux chemins de wilaya. Trois sources thermales (Griffons) alimentent hammam El Salhine avec différentes températures à l'émergence dont la plus élevée est 70°C mesurée à l'émergence.

Les eaux sont recommandées pour des cures thermales de certaines affections et le traitement des maladies rhumatismales, dermatologiques et respiratoires.

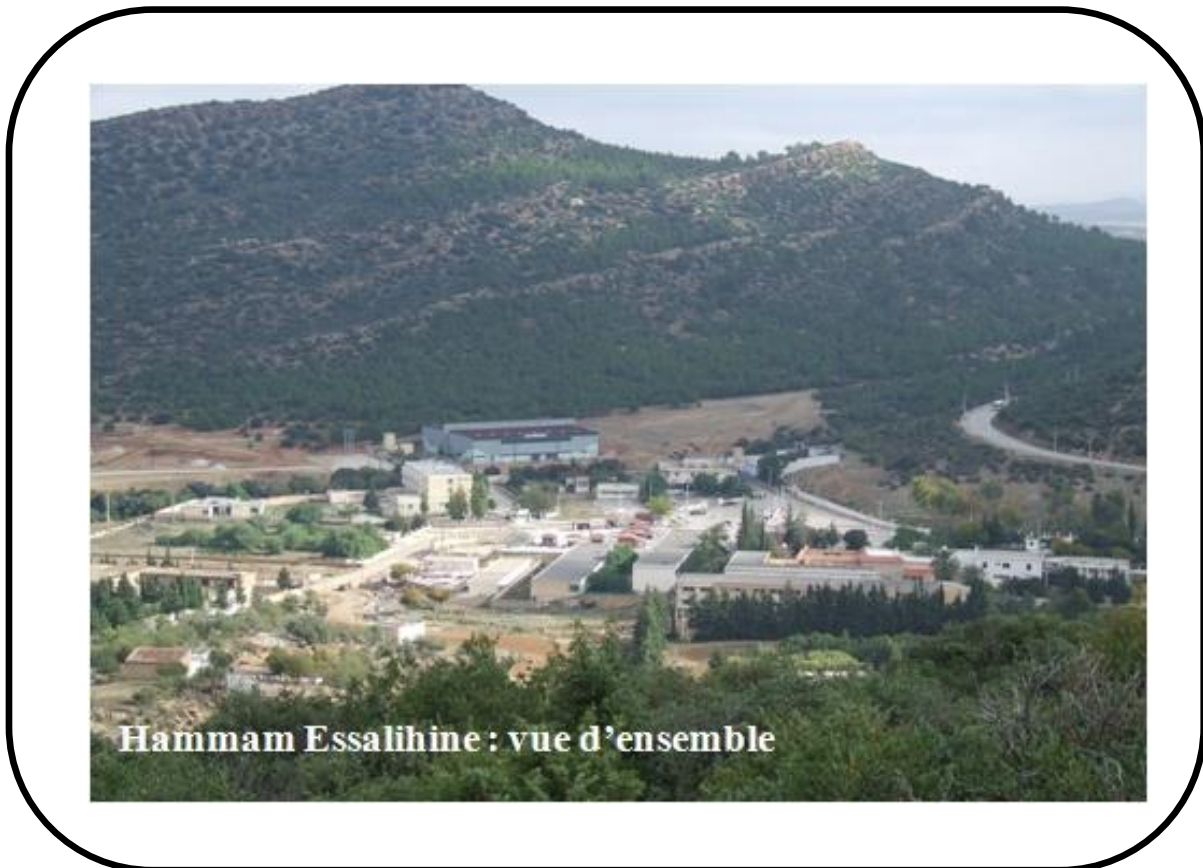


Figure 05 : Vue panoramique de la station thermale de Hammam El Salhine, (Derction de tourisme, 2007).

I.2-Cadre géomorphologique et structural

Le relief est la résultante de la combinaison entre deux facteurs: l'altitude et la pente. le relief de la Wilaya de Khenchela est composé de quatre (04) grands ensembles géographiques (DPAT,2012)

Le relief de la zone d'étude présente, d'une manière générale, trois compartiments distincts :

a) Une zone de hautes plaines, au nord, qui se singularise par une altitude d'ensemble oscillant entre 825 et 900 mètres et une pente généralement faible (inférieure à 3%). Ces

hautes plaines, sorte de belvédère, constituent un prolongement Nord aux affleurements calcaires du site naturel du Hammam et occupée par la plaine de Rémila.

b) Une zone de montagnes

La montagne, selon la définition classique donnée par Larousse, est une «forme de relief (mont) caractérisée par son altitude relativement élevée (élévation) et, généralement, par la forte dénivellation entre sommets et fonds de vallées (AGAGUENIA, 2010).

On les retrouve au Nord-Ouest sur le massif des Aurès représentés par : Djebel -Aidel (2092 m), Djebel -Chentgomma (2115 m), Djebel –Bezez (2141 m) et à l’Est dans les massifs de Nememcha représentés par Djebel -Bouzendag (1390 m), Djebel -Sguiguine (1453 m), Djebel -Tedliste (1507 m). On retrouve les massifs de Djebel -Djahfa (1707 m) (GAAGAI, 2009)

c) Une zone de plaines steppiques et présahariennes

Au sud, dont une partie se situe au-dessous du niveau de la mer (Oglat El Djerabaa : moins 26 m). De topographie relativement plane, elle appartient à la grande cuvette du bassin de chott Melghir où se situe le grand Erg oriental. (DPAT. Khenchela, 2012)

I.2.1- Géomorphologie de la dépression de Hammam El Salhine

La station thermale Hammam El Salhine se situe dans un étroit graben, entouré par des reliefs de tout bord. Dont on peut citer Dj. Aidel au Sud, Dj. Aurès et son prolongement dj Feraoun à l’Ouest de La commune d’El-Hamma au Nord et une chaîne de collines à l’est.

I.2.2- Cadre structural

Nos connaissances géologiques sur la région d’étude sont largement inspirées des travaux et des études régionales et des synthèses sur le massif des Aurès sur les hautes plaines steppiques et sur les zones humides. La plupart de ces études ont été axées sur les caractères stratigraphiques, géomorphologiques, sédimentologiques et structuraux (HOUHA. B , 1996 ; et 2007; LAFFITTE. R, 1939 ;, GUIRAUD, 1973; Vila, 1977 ; BENKOUMCHI. R et al, 1996).

La zone d’étude est caractérisée par un anticlinal naissant sous forme de replis à 70 Km à l’ouest de khenchela, dans des terrains numilitriques du synclinal des Rassira, mais il est à peine sensible, il se continue vers le Nord-Ouest au milieu des terrains de crétacé supérieur en s’accroissant légèrement.

A partir du djebel Tanout à 45 Km à l'ouest de khenchela, l'anticlinal subit un abaissement d'axe et un faible décrochement correspondant à l'accident du djebel Chélia. Plus loin, à partir d'Ain Giuiguel, un relèvement d'axe rapide fait apparaître le crétacé inférieur, où le synclinal du djebel Aidel fait apparaître la base du barrémien. Au sommet de l'antevien. Sur le plan sud du djebel Aidel, au sein des quartzites particulièrement durs du barrémien, on voit un repli synclinal très aigu, contrastant avec l'allure tranquille de l'ensemble de l'anticlinal, ce repli est particulièrement visible lorsque, de Chentagoum au sud-ouest de khenchela (2119 m), on regarde le versant sud-est du djebel Aidel. Ce dispositif semble un cas particulier.

Vers le nord-ouest, l'anticlinal subit un abaissement d'axe et les terrains crétacés inférieurs disparaissent aux environs de khenchela.

Dans cette région, l'anticlinal est accidenté de failles qui précipitent la disparition du crétacé inférieur sur son plan nord.

La présence de ces failles est marquée par la présence de thermes (Aqua-Flavianus), situés à 7 Km à l'ouest de khenchela, dont l'eau riche en chlorure de sodium et sulfate de calcium, sort à la source à une température de 70 °C. L'origine de cette eau doit être recherchée dans le trait qui forme en effet, le prolongement de cet accident à 4 Km vers le nord-est. (Berkani. C, 2011)

I.2.3 – Localisation et âge de mise en place du trias

Le pointement triasique se trouve dans les marnes et calcaires du cénomaniens supérieur du turonien. L'absence du relief et la présence d'un manteau d'alluvions quaternaires assez épais, rendent difficile l'observation des contacts précis du trias et des terrains encaissant. (Berkani. C, 2011)

I.4- Cadre géologique

I.4.1- Litho stratigraphie

La puissante série stratigraphique du bassin étudié est composée à sa base par un socle mésozoïque sur lequel repose, en discordance, une couverture sédimentaire allant du Trias supérieur jusqu'au Quaternaire (figure 06), (Figure 07), (HOUHA. B, 2007).

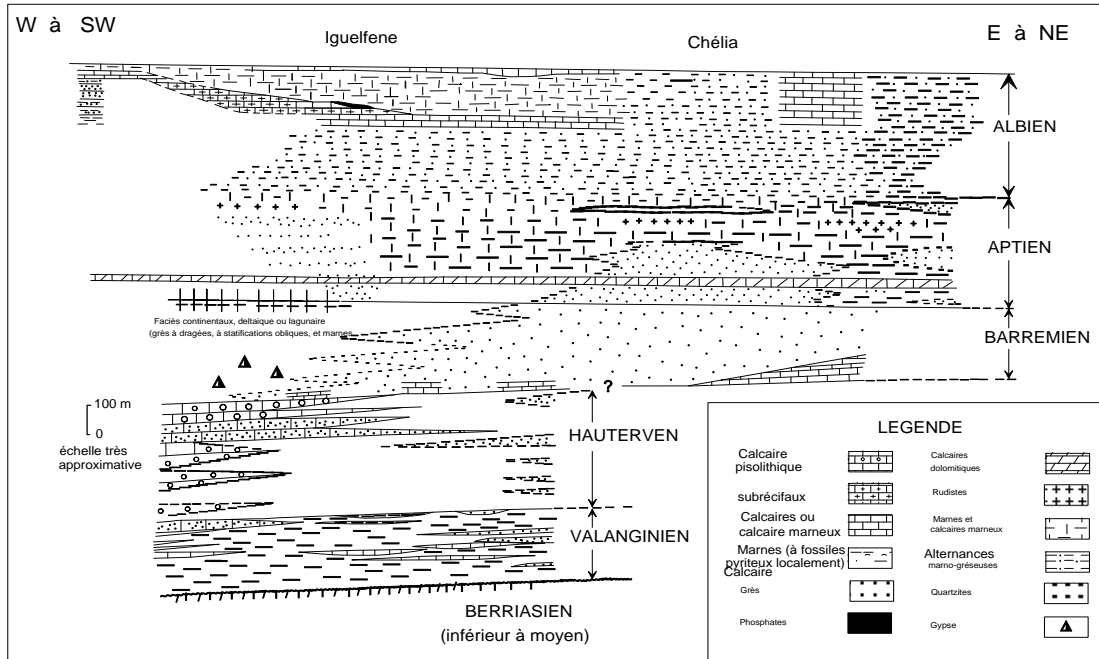


Figure 06 : Schéma illustrant les variation de faciès dans le Crétacé inférieur de L'Aurès d'après R. Laffitte (1939) et modifié par R.Guiraud (1973).

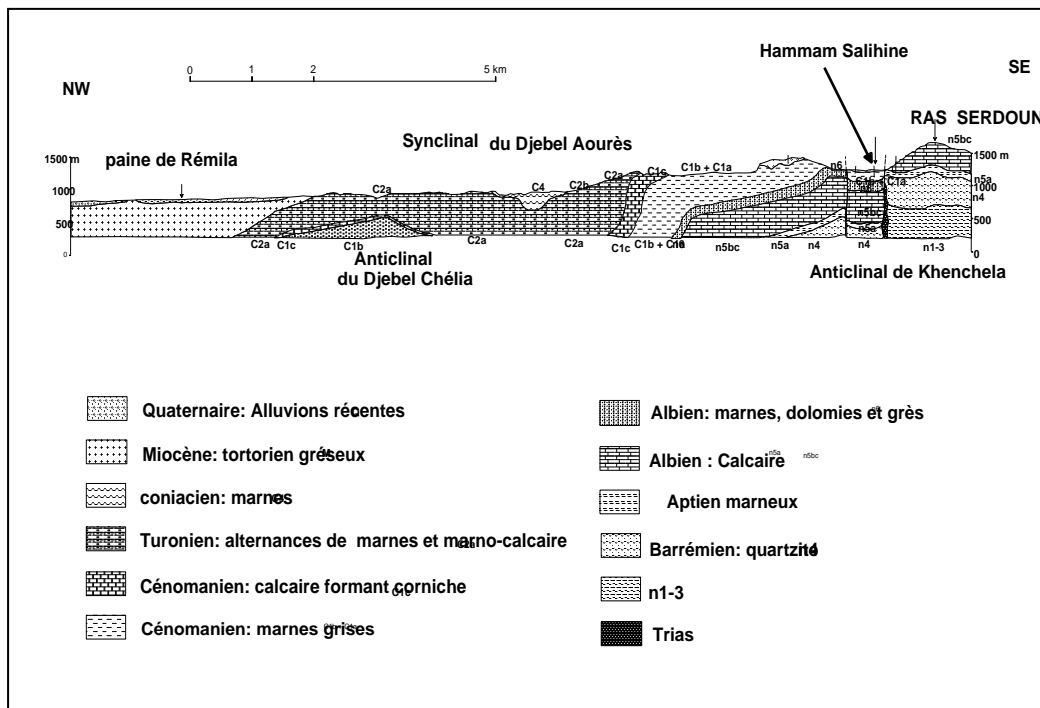


Figure 07: Coupe interprétative dans le bassin de Rémila (VILA ,1977)

I.4.1.1. Le Mésozoïque (Figure 07)

a) Trias

Dans les régions qui entourent la dépression de Hammam El Salhine les affleurements triasiques sont assez nombreux et très localisés à proximité de Khenchela (fig. 1-8), où il isole le Miocène du Crétacé, suivant une bande de 4 à 5 km de long et de 300 à 400 m de large et, du côté de Ain Silen en contact anormal avec l'Albien,

La série triasique comportait probablement à l'origine, de la base vers le sommet : une formation évaporitique épaisse, en particulier sous la forme d'amalgames intensément replissés, représentent les indices les plus sûrs de la présence du Trias.

Le gypse est le plus fréquent, en amas saccharoïdes blanc grisâtre, durs, ou sous forme de grands cristaux. (HOUHA , 2007).

L'abondance du sel caractérise cet affleurement, visible dans les diapirs de Khenchela et Ain Silen, mais cela tient, non pas à un caractère original particulier au Trias de cette région, mais au fait que ce pointement étant récent (post-miocène), le sel n'a pas eu le temps d'être dissous, tandis que dans les autres pointements, qui sont anté-miocènes, il a disparu depuis longtemps.

Les argiles et marnes bariolées, de couleur verdâtre, rougeâtre à violacée, constituent les roches les plus abondantes à l'affleurement, des passées calcaro-dolomitiques, de couleur gris bleuté à noirâtre, généralement bien stratifiés et présentant parfois quelques passées marneuses, sont fréquemment emballés dans les complexes triasiques

b) Le Crétacé

b1. Crétacé inférieur

Dans le vaste massif de l'Aurès, le Crétacé inférieur constitue l'essentiel des reliefs les plus élevés : Dj. Chelia et Dj. Aidel

R. Laffitte (1939) a soigneusement décrit la plupart des faciès et c'est à partir de ses descriptions, modifiés ou complétés en quelques points, que R. Guiraud (1973) a établi la (figure 07) qui résume de façon schématique les principales variations observables.

On notera dans l'Aurès le développement important des dépôts gréseux aux dépens des dépôts carbonatés.

b.1.1. Barrémien- Aptien

Dans le sud-ouest du massif de l'Aurès, le Barrémien est représenté par un faciès continental net grès à dragées, marnes rouges, montant jusque dans l'Aptien. Lorsque l'on se déplace vers le Nord-Ouest, les couches passent à des marnes fossilifères (Aptien inférieur) au sommet.

Dans le S.E présentent, surtout à la base de l'étage, des intercalations de calcaires marins (Djebel Aidel), l'épaisseur de l'étage varie de 400 m environ (Sud) à 250 m (Nord).

Les couches précédentes sont surmontées par des marnes puis par des masses calcaires avec rares intercalations marneuses. Une barre de calcaire dolomitique roux, reconnus à ce niveau dans le massif de Khenchela. Viennent ensuite des calcaires à Orbitolines, pouvant alterner avec des marnes et surtout des grès. (HOUHA, 2007)

Enfin R. Laffitte a remarqué la présence assez constante, au-dessus des calcaires à Orbitolines d'un niveau peu épais (quelques dizaines mètres au maximum) de marnes ou calcaire marneux.

b.1.2. Albien

L'Albien débute dans l'Aurès, selon la description de R. Laffitte, par des alternances de grès et de marnes atteignant le plus souvent 150 à 200 m d'épaisseur.

Puis les calcaires, assez rares jusque-là, tendent à se substituer aux grès, sur une cinquantaine de mètres environ. Au-dessus de ces assises viennent des alternances de calcaires et de marnes (40 m environ)

L'Albien affleure dans les anticlinaux de l'Aurès, en bordure Sud du bassin de Rémila au cœur de Djebel Aidel dans l'anticlinal de Khenchela où l'on distingue un ensemble à dominante marneuse surmonté par des grès fins. le passage aux marnes cénomaniennes étant assez progressif.

b.2. Crétacé supérieur

Le Crétacé supérieur forme l'essentiel des affleurements mésozoïques dans les confins de l'Aurès.

b. 2.1. Cénomanién

Le Cénomanién comporte une série de marnes grises dans lesquelles s'intercalent des calcaires fins argileux, une partie médiane formée de marnes grises, vertes ou ocres, contenant parfois du gypse diffus ainsi que des passées argileuses.

Le Cénomanién est présent dans tous les anticlinaux de l'Aurès. Il est essentiellement calcaro-marneux. La partie inférieure est surtout marneuse. La partie supérieure est constituée de bancs calcaires massifs mais peu épais. L'épaisseur de cette formation est très variable. Elle peut atteindre 500 à 600 mètres au cœur de l'Aurès.

b. 2.2. Turonien

Le Turonien comporte, en effet, au-dessus des marno-calcaires de base, un ensemble de marnes beige et calcaires. Dans le Djebel Amrane, le Turonien est schisteux à la base, calcaire dans la partie moyenne, et Marno-calcaire au sommet. L'épaisseur du Turonien peut atteindre 800 mètres dans les faciès Marno-calcaires du cœur de l'Aurès, mais varie de 1000 à 300 mètres dans les calcaires.

b.2.3. Sénonien

Le sénonien est présent au Sud de la plaine de Rémila, sur le flanc Nord de l'Anticlinal du Djebel Chélia avec un faciès principalement marneux. Son épaisseur peut être très importante et atteindre 1000 à 2000 m.

I.4.1.2 .Le Cénozoïques**a) Le Néogène**

Le Néogène est assez bien conservé au Nord de l'Aurès dans un bassin qui s'étend approximativement de Batna à Khenchela .

Reposant en discordance sur le Crétacé on observe généralement à la base de la série des conglomérats et calcaires à Algues, dont la puissance dépasse rarement une vingtaine de mètres. Au-dessus viennent des alternances de marnes gréseuses gris-brun et de grès calcaireux qui, d'après R. Laffitte (1939), peuvent se poursuivre aux environs 250 m entre Lambèse et Timgad et 300 m entre Khenchela et Kais sur la bordure Nord du massif de l'Aurès, où elles sont surmontées par 150 m de marnes gréseuses grises. Il convient de préciser que ces formations Miocènes marines, classées fréquemment sous le terme de « grès», ne comportent en réalité que quelques bancs de grès noyés dans une importante

épaisseur de marnes gréseuses Ce qui fait que ces marnes gréseuses, paraissant très friables à l’affleurement, constituent en réalité une roche assez dure et probablement peu perméable.

I.4.1.3. Quaternaire

Le Quaternaire ne comporte que des formations continentales généralement épaisses par endroits, souvent en présence de croûtes calcaires.

CGG (1970), Laffitte (1939), Lessard (1951), Gasmi (1989) et Durozoy (1948) (VILA J.M., (1977)) ont eu le mérite de présenter successivement de courtes synthèses dans lesquelles les principaux problèmes étaient abordés.

Mais la seule analyse stratigraphique, Tectonique et morphologique assez poussée publiée est celle de R. Laffitte (1939) qui est, malheureusement, limitée au voisinage de l’Aurès et ses confins.

Les formations quaternaires sont particulièrement bien développées dans les régions comprises entre les reliefs créacés des monts des Aurès au sud et la dépression centrale du bassin de Rémila, établie principalement sur le Néogène.

Les piémonts sont ici généralement modelés en glacis à couverture détritique peu épaisse, dont le plus visible est situé au sud de El Hamma et Kais, à matériel grossier. Ces glacis sont constitués au voisinage immédiat des reliefs par des alternances de couches de cailloutis et blocailles et de colluvions avec un enrichissement en calcaires dans les horizons superficiels. **(HOUHA, 2007)**

Lorsqu’on s’éloigne du piémont l’épaisseur des couvertures de glacis diminue rapidement. Les formations anciennes sont constituées par des alternances de conglomérats et de sables surmontés par des sédiments fins argilo sableux, rouge au sommet desquels apparaît une croûte calcaire blanche.

Des alluvions récentes constituent la plaine de Rémila ainsi que les bas-fonds des principales vallées provenant des reliefs environnants.

L’examen de quelques coupes de forges, montre que la sédimentation est en majeure partie argileuse et marneuse, avec une proportion importante de gypse et présente un maximum d’épaisseur au centre de la plaine et au voisinage du Chot.

Au Sud du bassin, dans la région de Kais a El hamma, le Plio-Quaternaire est constitué d’alluvions récentes formé de graviers et galets roulés à éléments gréseux sur une épaisseur de 3m 50cm. En dessous on trouve des alluvions marneuses d’épaisseur inconnue d’une épaisseur de 7m50cm.

Les éboulis sont constitués par des blocs de grès toutes tailles. Un cône de déjection torrentiel qui occupe la partie Sud-Est et est formé de cailloux gréseux et d'argile sableuse d'une épaisseur de 3m, (HOUHA, 2006).

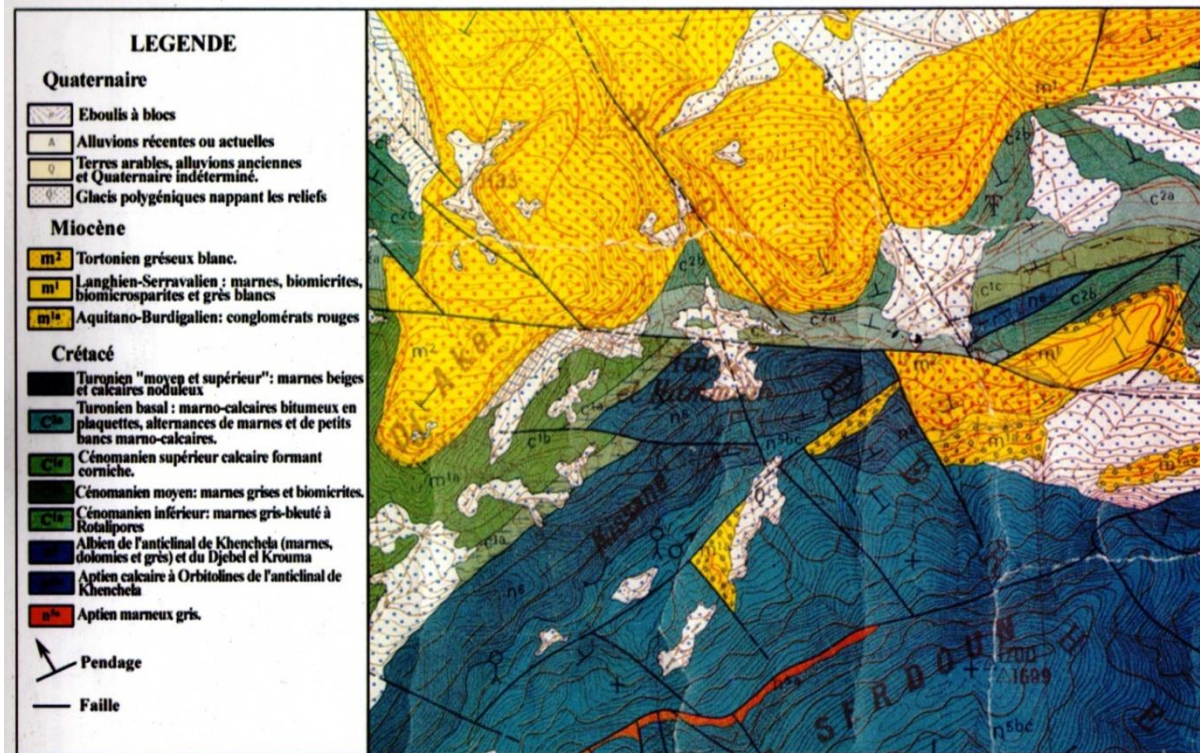


Figure 08 : carte géologique de Hammam Essalhine, Khenchela, « extrait de la carte géologique de khenchela au 1/50000 (sonatrach.1997) ».

I.4.2 Les caractères pédologiques

On a dénombré six classes de sols, auxquelles il convient d'ajouter la classe des sols minéraux bruts (affleurement de la roche mère) et la classe des sols halomorphes (sols salés) :

- a) **Les sols calcaires humifères** : Ils sont rencontrés sur les monts et les piémonts de l'Aurès, à une altitude comprise entre 1 000 et 1500 mètres;
- b) **Les sols insaturés humifères** : Ces sols sont rencontrés sur les reliefs les plus élevés (plus de 1500 mètres d'altitude) de l'Aurès. Ils sont occupés par des forêts;
- c) **Les sols calciques** : Ces sols sont rencontrés sur les bas piémonts, et sur les hautes plaines longeant la route qui mène de Khenchela à Faïs en passant par Kaïs et Remila. Ils s'étendent à l'Est jusqu'à Ain Touila et au Sud jusqu'à Babar en partant de Khenchela;

d) Les roches mères : Ces roches, résultat d'une érosion intense due à une conjugaison de facteurs négatifs (relief montagneux, intensité des pluies, substratum tendre et à une absence de couvert végétal pérenne) affleurent notamment les monts des Nemenchas (**CENEAP, 2009**).

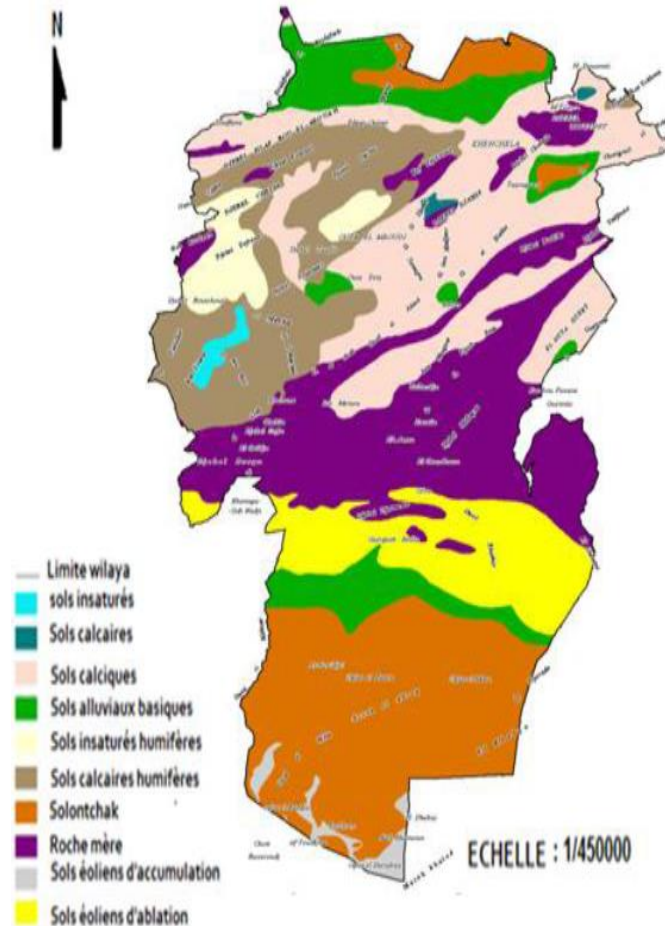


Figure 09 : Carte pédologique des sols de la wilaya de Khenchela (CENEAP, 2009).

I.5- Végétation, activité humaine et réseau hydrographique

I.5.1- Végétation et activité humaine

Les zones forestières occupent les reliefs montagneux des communes de la zone. La commune d'El Hamma est dotée d'une zone forestière assez dense dans laquelle se trouve la forêt de Tarbat, qui est considérée comme l'une des plus grandes forêts de la zone, ainsi que la forêt de Ras Serdoune située à l'Est et qui s'étend dans la commune de Khenchela, limitant ainsi la ville à l'Ouest.

On trouve au niveau des montagnes entourant la station thermale, culmination de 1200 à 1900 mètres pour KafAmalal (mont blanc), une association végétale liée au Cèdres : les Chênes-verts, les houx, les Genévriers, les Chèvrefeuilles, les Lauriers-tins, les Garons, ...etc.

Les Cistes et les Cytises se massent autour des arbousiers, Myrtes, Genévriers romains et lentisques. Il existe toutefois plusieurs types de maquis selon les types des sols, l'altitude et même la dominance d'une plante particulière, par exemple les cistes.

Dans les zones ou les maquis, elle est encore soumise aux activités de l'homme qui l'exploite, surtout pour le bois (souvent convertible en charbon de bois) comme le cas des familles des charbonniers Hoggas, Ouled Yaagoub, mais aussi pour les colorants, le mastic ou d'autres produits qu'ils extraient des plantes, **(DPAT W. Khenchela, 2012)**.

La population est concentrée au niveau des communes et des mechtas. L'agriculture, le pâturage et l'exploitation forestière sont les activités traditionnelles de la région.

L'industrie est quasi absente, on en trouve celle du bios, des minoteries, et des unités de collecte et transformation de lait, **(CENEAP, 2009)**.

La station est un lieu de villégiature, sa composition chimique lui confère des propriétés thérapeutiques indiquées pour les maladies rhumatismales, respiratoires et dermatologiques. Elle enregistre jusqu'à 700.000 visiteurs.

Cette station est composée par deux piscines romaines pour hommes, deux piscines ouvertes pour femmes et 40 cabines pour bain thermal.

Et grâce à la situation de station dans une région forestière avec un climat particulier le site est un lieu de prédilection pour les nombreux touristes, **(Berkani, 2011)**.

I.5.2- Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la zone est de type endoréique, il est assez dense sur la quasi-totalité du territoire (Figure 09)

L'aire urbaine de Khenchela est traversée du Nord-est au Sud-est par l'oued Baghai. La commune d'El Hamma est drainée du Nord au Sud par l'oued El Hammam.

La commune de Baghai est traversée par plusieurs oueds parmi lesquels nous citons oued Aimer au Nord-est et oued Baghai au Nord-ouest. La commune d'Ensigna est drainée par plusieurs oueds, dont les plus importants sont oued Aimer au Nord-est, oued Mahdi et oued Djemri au centre et oued Bou Madjeur au Sud. Enfin, Oued Zoni au Nord-est, oued Oullal et oued Fournis au Sud traversent la commune d'El Mahmel.

Les ressources en eau de l'aire d'étude proviennent, essentiellement, des eaux souterraines, à l'exception de la commune de Baghai qui dispose aussi d'un potentiel en eaux superficielles destiné à l'irrigation, **(CENEAP, 2009)**.

Les eaux de hammam el Salhine sont drainées par oued Elkissen, d'une longueur de 6 km, et qui prend naissance sur les hauteurs de dj ; Aurès et longe les hautes plaines de Rémila pour se terminer dans Chott Ezzahar,

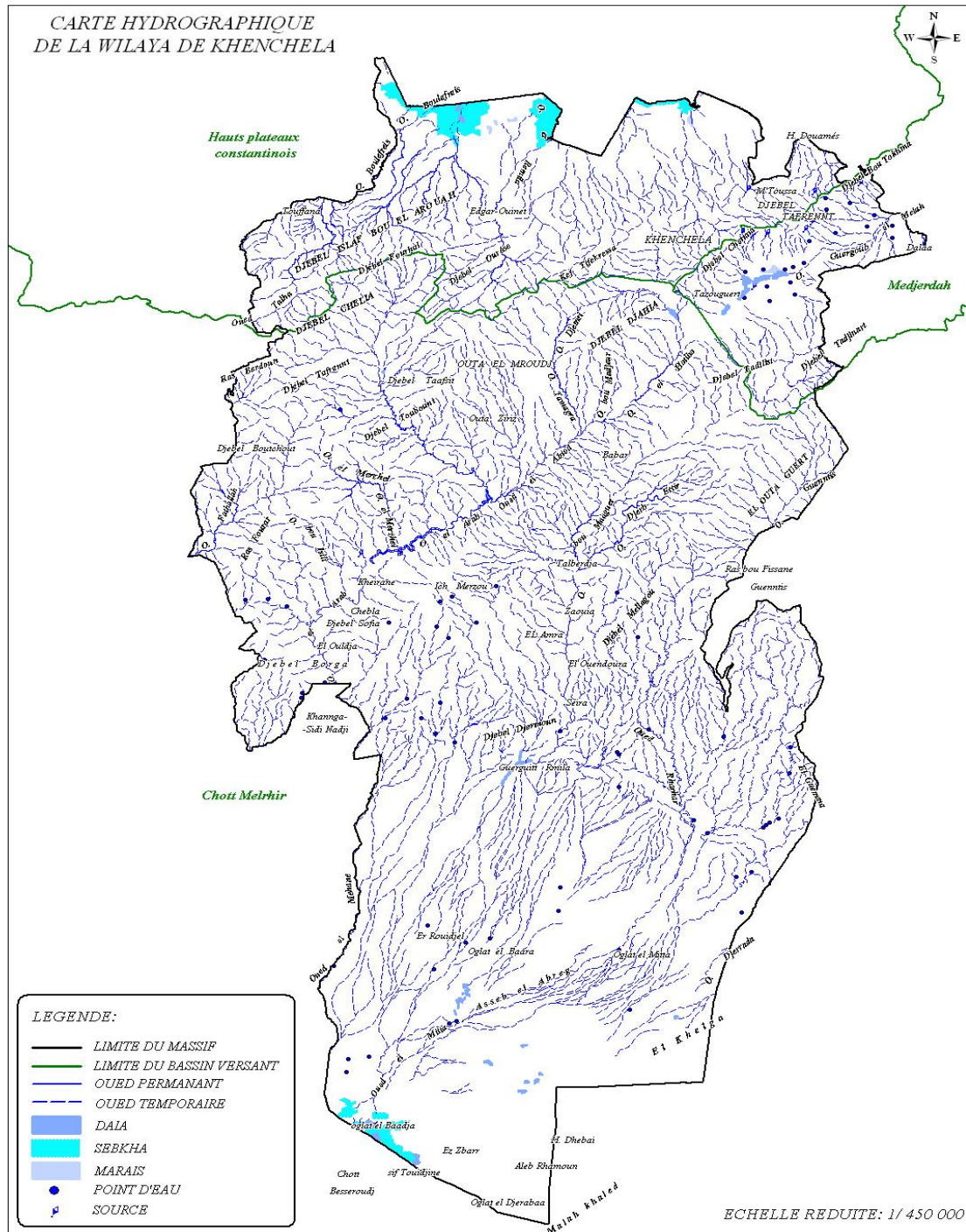


Figure 10 : Ressources hydrographique de la wilaya de Khencchela, (Derction de tourisme, 2007)

I.6 Conclusion

Sur le secteur étudié, le Crétacé inférieur s'est déposé sous forme de calcaires marneux, de marne, de calcaire gréseux et des calcaires compacts. L'Aptien et l'Albien affleurent dans le massif des Aurès. L'Albien existe dans les anticlinaux des Aurès, il présente souvent un faciès gréseux, marneux et dolomitique il devient franchement marneux à la base. Au Sud du bassin, l'Albien est représenté sur la bordure de l'Anticlinal de Khenchela (Djebel Aidel) qui surplombe les sources thermales.

Le tertiaire est constitué d'argiles rouges gypseuses et repose directement, en discordance, sur le Crétacé. Cette formation est composée de marnes gréseuses et grès reposent directement sur le conglomérat de base. Il convient de préciser que ces formations Miocènes marines, classées fréquemment sous le terme de « grès », ne comportent en réalité que quelques bancs de grès noyés dans une importante épaisseur de marnes gréseuses. Ce qui fait que ces marnes gréseuses, paraissant très friables à l'affleurement, constituent en réalité une roche assez dure et probablement peu perméable. L'épaisseur de cette série marine semble varier de 200 à 400 m sur la bordure Sud de la plaine.

Les formations quaternaires sont particulièrement bien développées dans les régions comprises entre les reliefs crétacés des monts des Aurès au sud et la dépression centrale du bassin de Rémila, établie principalement sur le Néogène.

Chapitre II

Climatologie

II.1 INTRODUCTION

La climatologie constitue un facteur important pour la connaissance du devenir des précipitations. Elle repose sur l'interprétation des données, des paramètres climatiques mesurés durant une période bien définie permettant ainsi d'estimer les différentes composantes du bilan hydrique, ce dernier est nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, impliquant la connaissance des paramètres suivants: (les précipitations, la température, l'évapotranspiration,), qui conditionnent ce bilan.

L'étude des données climatiques permet d'analyser les facteurs du climat de cette zone qui nous informera sur :

- 1- Le type du climat;
- 2- Les caractéristiques de bilan hydrique du bassin versant ;
- 3- La structure de variation temporelle des termes du bilan (Pluies, évaporation) ;
- 4- Le comportement hydro-climatologique du bassin versant.

Les paramètres climatologiques sont soit mesurés sur le terrain (précipitations, températures) soit calculés par des formules (ETP, ETR, R, I).

L'Algérie est caractérisée par une variabilité climatique liée aux irrégularités topographiques et aux influences opposées de la Méditerranée et du Sahara. Pour étudier le climat de la zone d'étude, nous avons exploité les données climatiques qui ont été recueillies au niveau de la station météorologique d'El-hamma (khenchela),

II.2 La station de mesures

Pour caractériser la nature des variations climatiques mensuelles et interannuelles dans notre région d'étude nous avons choisi la station météorologique, d'El Hamma. Nous disposons pour cette station des données, étalant sur une durée de 10 ans d'observation.

Tableau 01 : Les Coordonnées géographiques de la station de mesure

| Station | Altitude | Latitude | Longitude |
|----------|----------|----------|-----------|
| El Hamma | 982.5 m | 35° 28 N | 07° 05 E |

Source: station météorologique d'Elhamma

II.3 ETUDE DES FACTEURS CLIMATIQUES

II.3.1 La température

La température représente un facteur limitant de toute première, car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métabolique condition de ce fait la répartition de totale des espaces et de communautés d'être vivant dans la biosphère

II.3.1.1 Variations des températures moyennes annuelles

Les histogrammes représentant la variation annuelle de la température, sur une période de 10 ans (2008/2009-2017/2018), montre que l'année la plus chaude est l'année 2016/2017 avec une moyenne de 20.1 °C, et l'année la plus froide est l'année 2015/2016, avec une moyenne de 15,20 °C. Signalons que la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 16,00 °C.

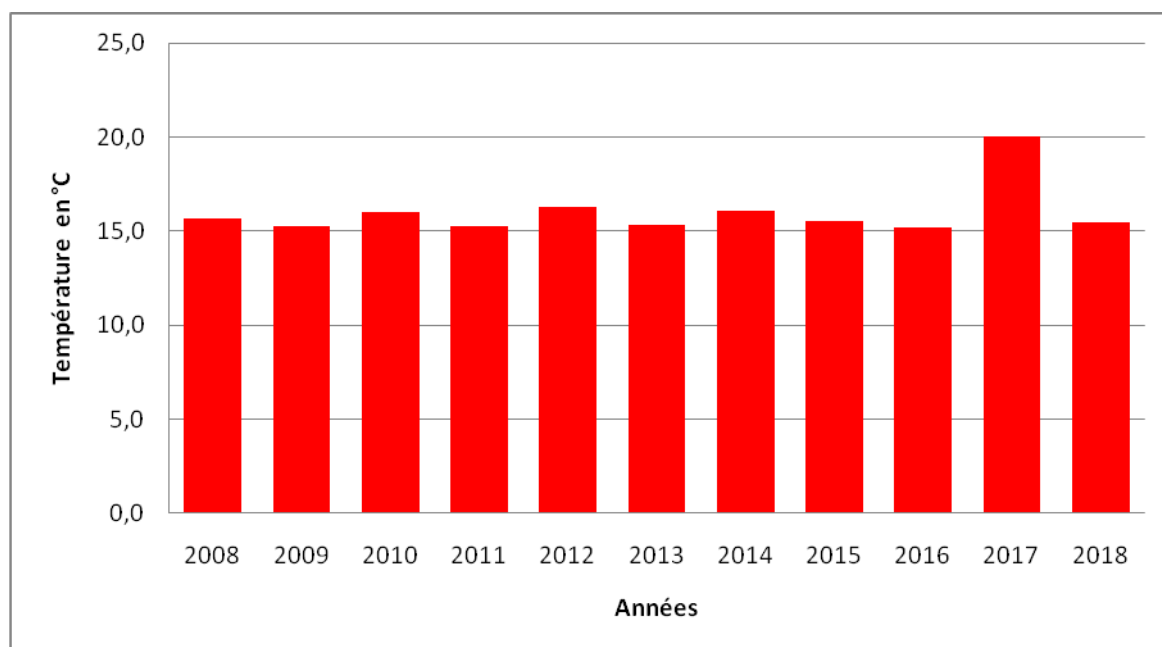


Figure 11 : Evolution de la température moyenne annuelle à la station de El Hamma pour la période (2008/2009-2017/2018)

II.3.1.2 Variations de la température moyenne mensuelle

La température moyenne mensuelle présente de très variations saisonnières elle atteint leur minima au mois de février avec 6.8 °C qui est le mois le plus froid de l'année, par contre le mois de juillet est le plus chaud par une valeur maximale de la température moyenne mensuelle de 27.30 °C.

L'amplitude maximale des variations des températures mensuelles moyennes interannuelles s'observe entre ces deux mois avec 17.74 °C.

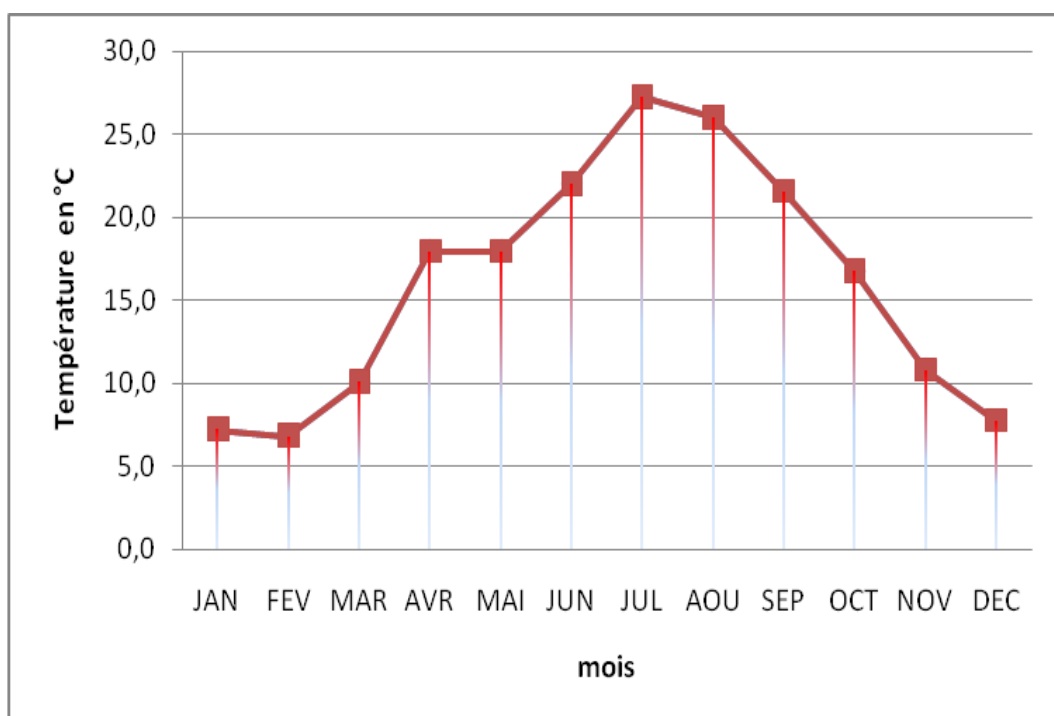


Figure 12 : Variation de la température moyenne mensuelle El Hamma pour la période (2008/2009-2017/2018)

Tableau 02 : les températures de la wilaya de Khenchela durant la période (2008-2018)

| Mois | JAN | FEV | MAR | AVR | MAI | JUN | JUL | AOU | SEP | OCT | NOV | DEC |
|-------------------|-----|-----|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Moyenne mensuelle | 7,2 | 6,8 | 10,1 | 14,30 | 18,0 | 22,0 | 27,3 | 26,0 | 21,6 | 16,8 | 10,8 | 7,7 |

Source: station météorologique d'Elhamma

II.3.2 La pluviométrie

La pluviosité est définie selon Djebaili en 1984, comme étant le facteur primordial qui permet de déterminer le type du climat (**KHABTHANE.H, 2010**).

En dehors de la région montagneuse du Nord-Ouest (DJ.Chelia et DJ.Aidel) qui reçoit entre 700 et 1200 mm de pluies par an et du sud (les parcours sahariens) qui reçoit moins de 200 mm de pluies par an (Oued EL Maita) ; le reste du territoire de la wilaya est compris entre les isohyètes 200 et 600 mm (de pluies par an) (**ANDI, 2013**).

II.3.2.1 Variations interannuelles des précipitations

Pour étudier ces données, nous nous sommes basés sur une série de mesures s'étalant sur la période allant de 2008 à 2018. Cette série permet de dire que: La répartition des précipitations interannuelles à la station d'El Hamma est extrêmement irrégulière d'une année à l'autre. Le maximum de la pluviométrie a été observé en 2011 avec 626.3 mm et alors que le minimum a été enregistré en 2017 avec 273 mm. Le module pluviométrique interannuel est égal à 449.65 mm

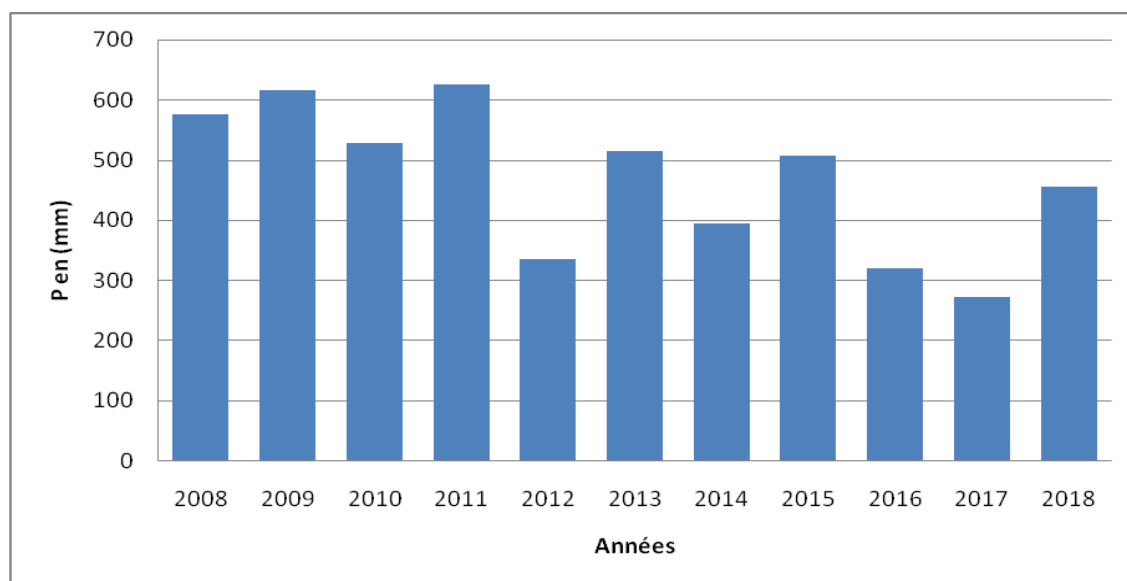


Figure 13 : Evolution des précipitations annuelles à la station d'El Hamma pour la période (2008/2009-2017/2018)

II.3.2.2 Variations moyennes mensuelles des précipitations

La courbe des variations des moyennes mensuelles des précipitations, sur une période de 10 ans (2008/2009-2017/2018), montre que le mois de septembre est le plus pluvieux, avec 51 mm, alors que le mois de juillet est le plus sec, avec 11 mm et la saison la plus pluvieuse c'est l'automne avec 126 mm. L'amplitude de précipitation est de 40 mm.

Tableau n 03 : Précipitations moyennes mensuelle durant la période (2008-2018)

| Mois | JAN | FEV | MAR | AVR | MAI | JUN | JUL | AOU | SEP | OCT | NOV | DEC |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P en (mm) | 38,96 | 36,48 | 48,44 | 48,45 | 66,90 | 22,58 | 16,63 | 35,55 | 50,47 | 47,96 | 27,75 | 27,84 |

Source: station météorologique d'Elhamma

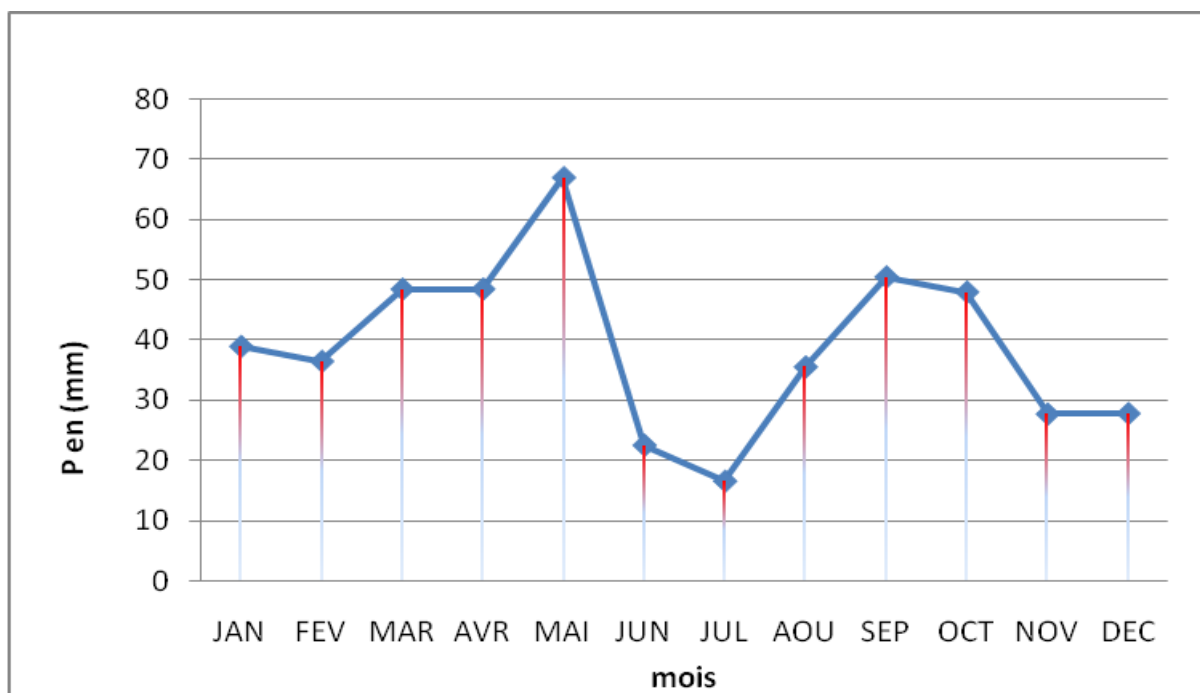


Figure 14 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station d'El Hamma pour la période (2008/2009-2017/2018)

II.4 CARACTÉRISATION DU CLIMAT

La combinaison de deux principaux facteurs climatiques, la température et les précipitations permettent de déterminer les périodes sèches et humides ainsi que la localisation de l'étage bioclimatique bien définie d'une région donnée à l'aide d'indices ou de diagrammes. Ceux qui sont les plus couramment utilisés sont les suivants :

II.4.1 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Ce diagramme est une méthode graphique à travers laquelle nous pouvons définir la période sèche de l'année pour pouvoir éventuellement combler le déficit hydrique. Les mois sont portés en abscisse, les précipitations (P) en ordonnées à droite et à gauche les températures (T) à une échelle double de celle des précipitations ($P = 2T$) [**indice de Gaussen**].

Tableau 04: Précipitations moyennes mensuelles et températures moyennes mensuelles de la période (2008-2018):

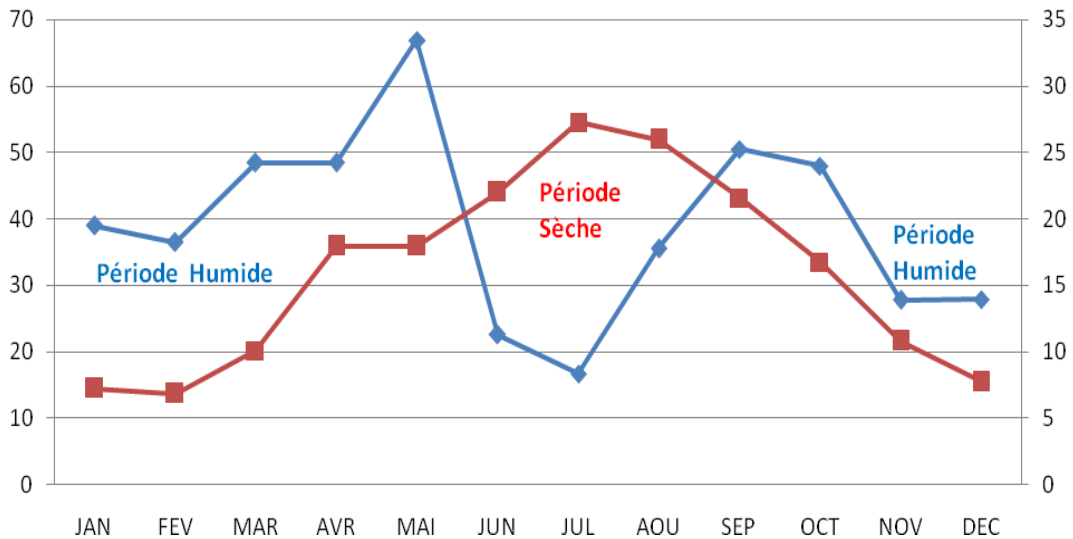
| Mois | JAN | FÉV | MAR | AVR | MAI | JUN | JUL | AOU | SEP | OCT | NOV | DEC |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P en (mm) | 38,96 | 36,48 | 48,44 | 48,45 | 66,90 | 22,58 | 16,63 | 35,55 | 50,47 | 47,96 | 27,75 | 27,84 |
| T Moy °C | 7,2 | 6,8 | 10,1 | 14,30 | 18,0 | 22,0 | 27,3 | 26,0 | 21,6 | 16,8 | 10,8 | 7,7 |

Source: station météorologique d'Elhamma

L'intersection des deux courbes des deux courbes (P et T) permet de définir la période sèche ($P < 2T$) et la période humide ($P > 2T$).

La figure 14 ; montre que la période sèche de la fin de mai jusqu'au début de septembre.

L'analyse des températures et des précipitations permet de tracer le diagramme ombrothermique, suivant :



$$P = 2T$$

Figure 15 : Diagramme Ombrothermique de la station d' El Hamma

Nous constatons que la saison sèche est formée par plusieurs mois secs consécutifs. Le diagramme de Gausson permet de mettre en évidence une saison humide débutant au mois de septembre qui se termine au mois de mai, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois d'août.

II.4.2 Indice d'aridité

L'indice d'aridité est une valeur numérique sensée représenter le degré de sécheresse du climat à un endroit donné, plusieurs méthodes de calcul ont été proposées.

II.4.2.1 Indice de Martonne

En 1926, Emmanuel de Martonne élabore un système de classification des climats par une méthode statistique (Guasmi, 2009). Il utilise un indice qui se base sur le régime des précipitations et des températures pour caractériser le climat d'une région. Il est calculé par la relation suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

I : indice d'aridité annuelle.

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C

Suivant les valeurs de (I), de De Martonne a établi la classification suivante :

$I < 5$: climat hyperaride

$5 < I < 7,5$: climat désertique

$7,5 < I < 10$: climat steppique

$10 < I < 20$: climat semi-aride

$20 < I < 30$: climat tempéré.

$I > 30$: climat humide

Dans notre cas, la moyenne des précipitations interannuelles est : 468,01 mm. Alors que la température moyenne annuelle est de : 15.7 °C

Ce qui donne : $I = 18.21$

Nous avons trouvé que la valeur de (I) est comprise entre 10 et 20, ce qui permet de dire que la station d'El Hamma bénéficie d'un climat semi-aride.

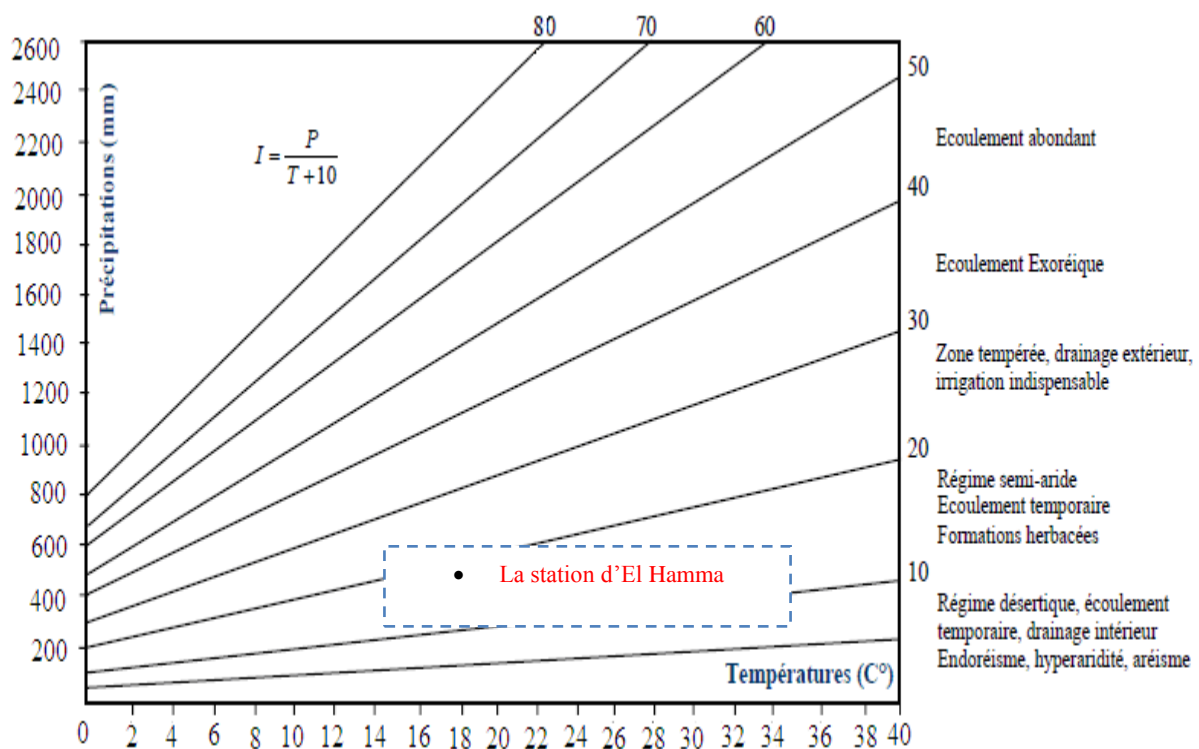


Figure 16 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne

II.4.3 Le régime saisonnier

Murset en 1935 a défini la première notion du régime saisonnier, il a calculé la somme des précipitation par saison, prenant en considération que l'Automne est formé par les trois mois suivant : Septembre, Octobre, Novembre, et a effectué le classement des saisons par ordre de pluviosité décroissante, signalant chaque saisons par son initial (P : Printemps, H : Hiver, E : Eté, A : Automne).

Pour la station d'El Hamma on remarque que la saison la plus arrosée c'est l'automne avec 29,56 % (125,90 mm), puis le printemps avec 29,03% (123,65 mm), l'hiver avec 28,23 % (120,25 mm) et en fin l'été avec 13,19 % (56,17 mm) donc nous avons un régime saisonnier de type APHE.

Tableau 05 : Le régime pluviométrique saisonnier à la d'El Hamma pour la période (1996/1997-2009/2010)

| station | mois P en (mm) | Automne | | | Hiver | | | Printemps | | | Eté | | | Année | Type |
|-------------|-----------------------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------------------|------|
| | | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jui | Juillt | Aout | | |
| El Hamma | P mensuelle (mm) | 50.74 | 47.96 | 27.75 | 27.84 | 38.96 | 36.48 | 48.44 | 48.45 | 66.90 | 22.58 | 16.63 | 35.55 | 468.05 En (mm) | APHE |
| | P saisonnière (mm) | 126.19 | | | 103.29 | | | 163.80 | | | 74.77 | | | | |
| | P Saisonnaire | 26.96 | | | 22.06 | | | 34.99 | | | 15.97 | | | | |

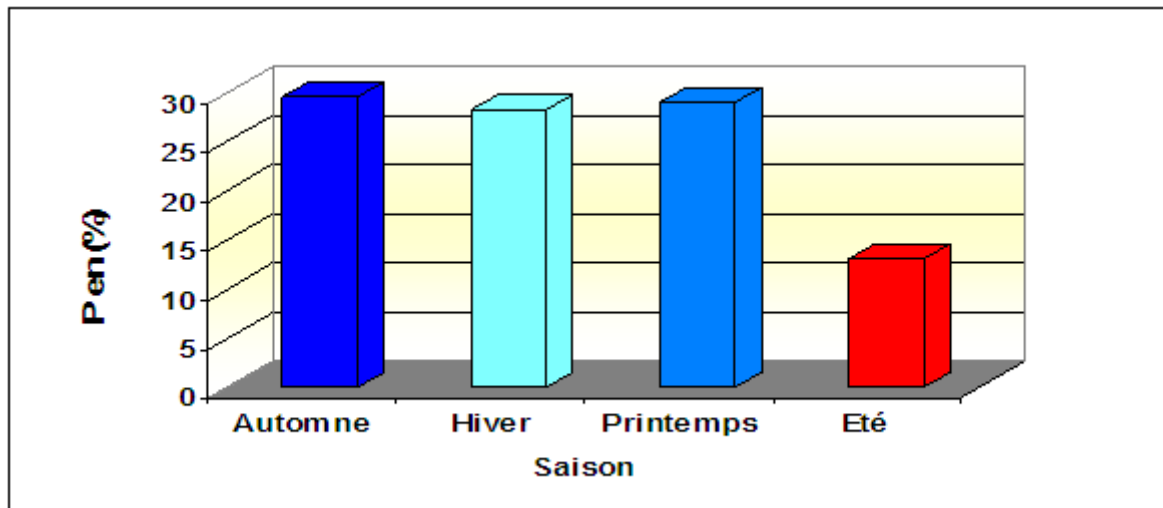


Figure 17 : Le régime pluviométrique saisonnier à la station d'El Hamma pour la période (2008/2009-2017/2018)

II.5 ESTIMATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION

Par définition, le terme évapotranspiration désigne la quantité d'eau rejetée dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau par évaporation directe à partir du sol et par transpiration des organes aériens des plantes (**Jacob et al 2002**).

II.5.1 ETP (Évapotranspiration potentielle)

Thornthwaite, en 1948 est le premier à introduire le concept d'évapotranspiration potentielle, dans un contexte de classification du climat : « Il y a une distinction entre le volume d'eau qui est effectivement évapotranspiré et celui qui pourrait être évapotranspiré, s'il était disponible. Lorsque la disponibilité en eau augmente, l'évapotranspiration atteint un maximum qui dépend uniquement du climat.

Pour l'estimation de ce paramètre, nous utiliserons la formule de C.W.Thornthwaite dont la relation s'écrit

$$ETP = 16(10T/I)^a$$

ETP : évapotranspiration potentielle en (mm)

T : température moyenne du mois en (°C)

$$I = \sum i \quad \text{et} \quad i = (t/5)^{1,514} \quad a = (1,6*I/100) + 0,5$$

Tableau 06 : Valeurs de l'ETP estimées par la formule de Thornthwaite

| | Sept | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil | Août | Total |
|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| P (mm) | 50,47 | 47,96 | 27,75 | 27,84 | 38,96 | 36,48 | 48,44 | 48,45 | 66,90 | 22,58 | 16,63 | 35,55 | 468,01 |
| T (°C) | 21,60 | 16,80 | 10,80 | 7,70 | 7,20 | 6,80 | 10,10 | 14,30 | 18,00 | 22,00 | 27,30 | 26,00 | |
| K | 1,03 | 0,97 | 0,86 | 0,85 | 0,87 | 0,85 | 1,03 | 1,10 | 1,21 | 1,22 | 1,21 | 1,15 | |
| ETP (mm) | 100,50 | 62,17 | 26,32 | 14,78 | 13,52 | 12,00 | 28,19 | 53,84 | 87,03 | 122,74 | 174,66 | 152,99 | 848,74 |

II.5.2 ETR (Évapotranspiration réelle)

Est le flux combiné de vapeur provenant du sol et des plantes, pour une teneur en eau du sol spécifique à un moment et pour une région (**François A et al , 2005**)

Estimation de l'évapotranspiration réelle(ETR) :

Elle peut se faire à l'aide de la formule de L. Turc (1954) qui s'écrit de la manière suivante :

$$ETR = P / (0,9 + p^2/L^2)^{1/2} \quad \text{où :}$$

$$L = \text{Francois A et al , 2005} + 25T + 0,05T^3$$

T : température moyenne annuelle de l'air en (°C),

P : précipitation moyenne annuelle en (mm)

Soit ETR = 431.34 mm

La détermination de l'ETR est fonction de l'ETP et la quantité d'eau disponible (Pluie+RFU)

_ Si ETP=P, il y a existence d'une évapotranspiration réelle ETR, la réserve RFU ne se modifié pas et aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe.

_ Si ETP>P, On a ETR =ETP+RFU, un déficit apparaît, une partie de RFU sera sollicitée

jusqu'à la compensation de l'ETP. L'évapotranspiration agit donc sur le sol. Aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe.

_ Si l'ETP<P, on a ETR = ETP.

La RFU pourra atteindre son maximum au-delà duquel, il y aura infiltration vers la nappe

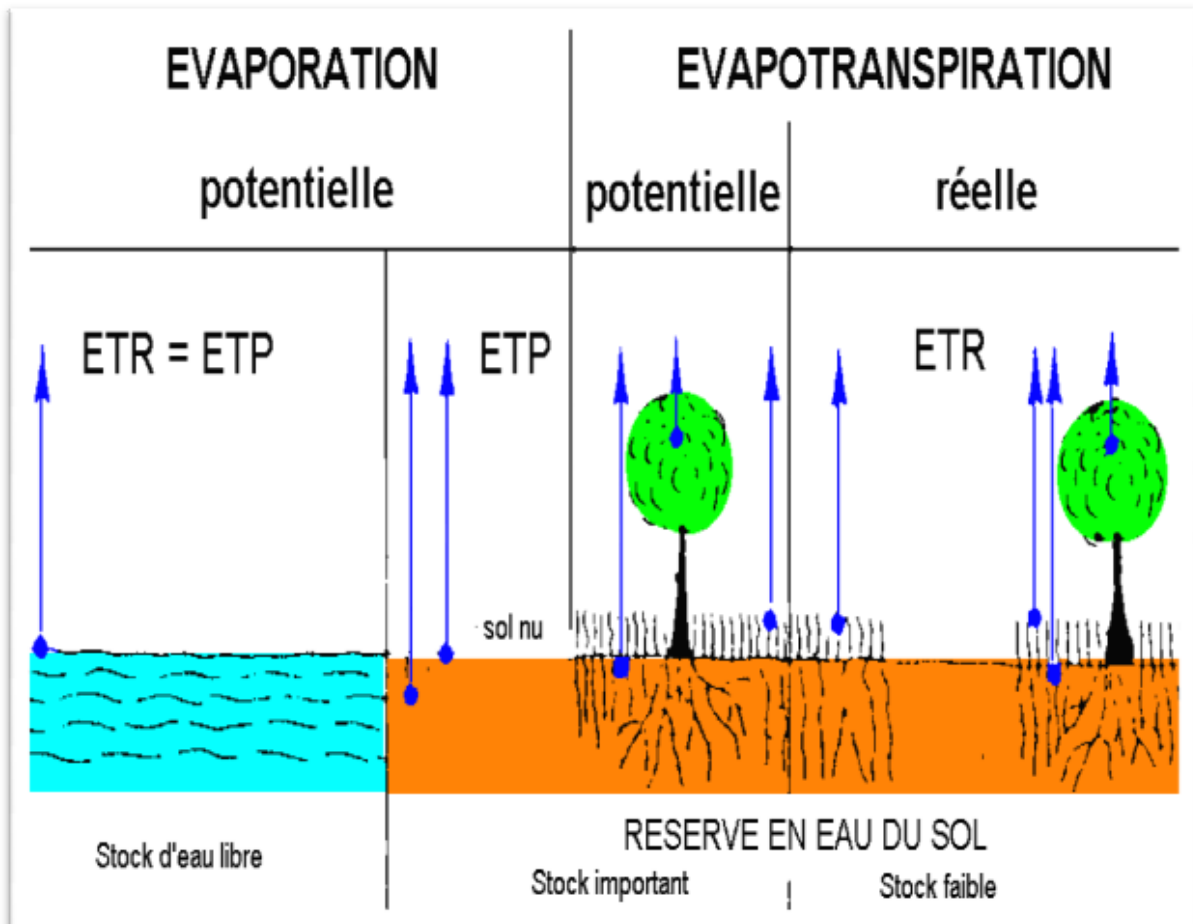


Figure 18 : évaporation et évapotranspiration potentielle et réelle

II.6 CALCUL DU BILAN HYDROLOGIQUE PAR LA METHODE DE THORNTHWAITE

L'étude du bilan hydrologique permet de déterminer la répartition des eaux de précipitation entre les différents composants de ce bilan à savoir l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration, Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU).

L'application de la méthode de Thornthwaite pour l'année moyenne, l'année la plus humide et l'année la plus sèche a donné les résultats qui sont consignés dans le tableau 07

Tableau 07 : Bilan hydrologique moyen (2008/2009-2017/2018) à la station d'El Hamma par la méthode de Thornthwaite

| | Sept | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil | Août | Total |
|-----------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| P (mm) | 50,47 | 47,96 | 27,75 | 27,84 | 38,96 | 36,48 | 48,44 | 48,45 | 66,90 | 22,58 | 16,63 | 35,55 | 468,01 |
| T (°C) | 21,60 | 16,80 | 10,80 | 7,70 | 7,20 | 6,80 | 10,10 | 14,30 | 18,00 | 22,00 | 27,30 | 26,00 | |
| K | 1,03 | 0,97 | 0,86 | 0,85 | 0,87 | 0,85 | 1,03 | 1,10 | 1,21 | 1,22 | 1,21 | 1,15 | |
| ETP (mm) | 100,50 | 62,17 | 26,32 | 14,78 | 13,52 | 12,00 | 28,19 | 53,84 | 87,03 | 122,74 | 174,66 | 152,99 | 848,74 |
| P-ETP | -50,03 | -14,21 | 1,43 | 13,06 | 25,44 | 24,48 | 20,25 | -5,39 | -20,13 | 100,16 | 158,03 | 117,44 | |
| RFU (mm) | 0,00 | 0,00 | 1,43 | 14,49 | 39,93 | 64,41 | 84,66 | 79,27 | 59,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| ETR (mm) | 50,47 | 47,96 | 26,32 | 14,78 | 13,52 | 12,00 | 28,19 | 53,84 | 87,03 | 47,05 | 16,63 | 35,55 | 433,35 |
| EX (mm) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 14,41 | 20,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 34,66 |
| DA (mm) | 50,03 | 14,21 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 75,69 | 158,03 | 117,44 | 415,39 |

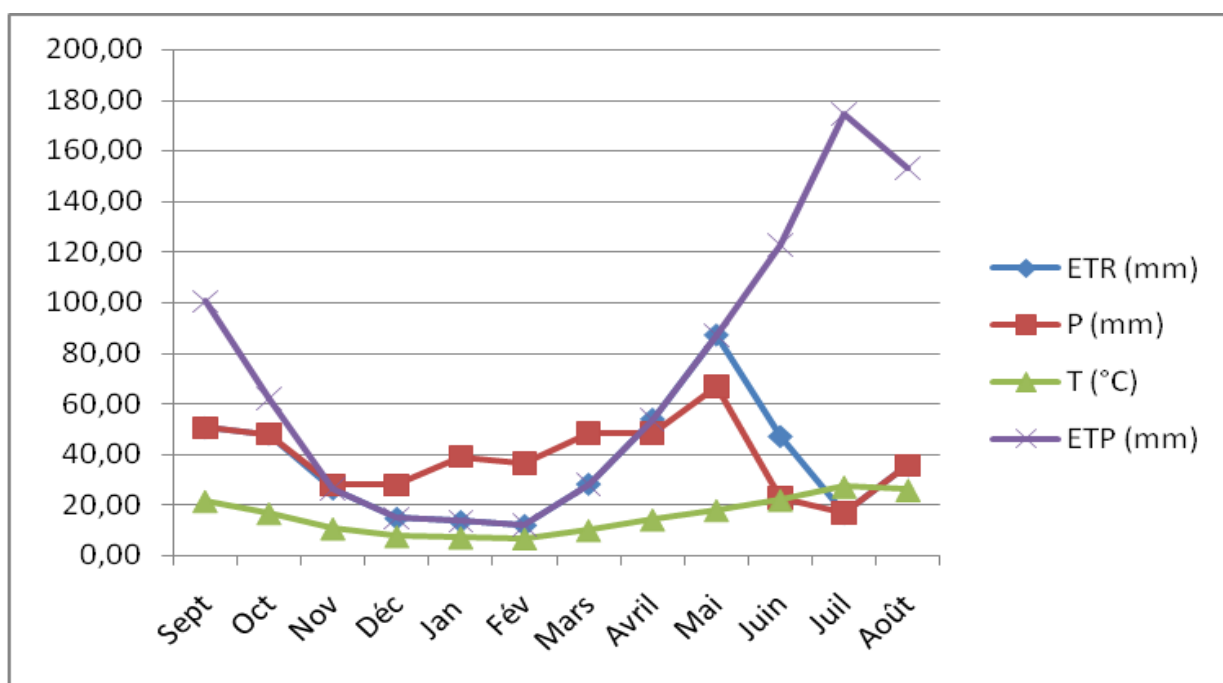


Figure 19 : Diagramme variation mensuelle des éléments climatique

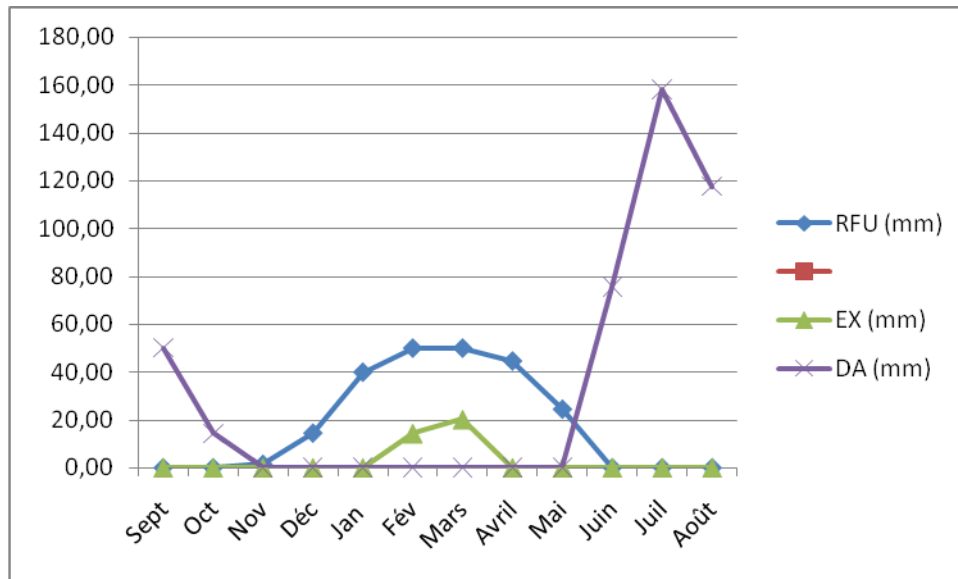


Figure 20 : Variation mensuelle des résultats du bilan hydrique

II.6.1 Interprétation du bilan hydrologique

Ce graphe montre que l'évapotranspiration atteint son maximum au mois de juillet ce qui produit un déficit agricole et nécessite une irrigation pour les zones de culture. Par contre on observe une recharge de la nappe à partir du mois de novembre jusqu'au mois de mai. Au mois de novembre la RFU commence à augmenter et atteint son maximum avec 50 mm à partir du mois de décembre jusqu'à avril pour la station de Khenchela et jusqu'au mois mars

II.7 LA CONCLUSION

La région d'étude est soumise à un climat semi-aride (environ de six mois secs), elle est caractérisée par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec.

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 10 ans (2008/2009 – 2017/2018), sont estimées à 468.01 mm, leurs répartitions mensuelles montre deux grandes saisons bien distinctes, la première est humide, qui s'étend du mois de Novembre à Mai, soit de 67 % de la pluviométrie annuelle. La deuxième est sèche, qui s'étale sur les mois de Juin et Octobre, avec seulement 33 % de la pluviométrie annuelle.

Les températures moyennes mensuelles varient entre 6.8 °C et 27.30 °C, avec une moyenne annuelle de 15.7 °C. Le mois de juillet étant le plus chaud, et février le plus froid. Prés de 55% de l'ETP est enregistrée durant les trois mois de l'été

l'évapotranspiration (ETP) calculée selon la méthode de Thornthwaite est de 848.74 mm, et un déficit agricole de 415.39 mm.

La chimie des eaux est influencée par la répartition des précipitations et des températures par dilution pendant la période pluvieuse et concentration lors de l'évaporation durant la période sèche.

Chapitre III

Hydrochimie

III.1. Introduction

L'étude du chimisme de l'eau consiste à donner un aperçu sur la qualité des eaux des sources. Le but escompté à travers cette étude est de sortir avec une explication concernant la relation géologique et la chimie des eaux.

L'interprétation des résultats d'analyses chimiques a pour but de déterminer les différents faciès chimiques des différentes analyses.

Les caractéristiques physico-chimique d'une eau thermo-minérale sont la thermalité et la composition chimique. Pour étudier la physico-chimie des eaux, il est nécessaire de faire :

- L'étude de la thermalité : Définition, Classification thermique, Origine de la thermalité des eaux de Hammam El Salihine;
- L'étude de la chimie : représentations graphiques des faciès chimiques.

III.1.1 Les sources thermales de Khenchela

Hammam El Salhine est situé au sud du bassin de Rémila, à 7 Km de Khenchela, au pied mont de Djebel Aidel. Il couvre l'aire limitée géographiquement par les latitudes **35°26' 32.78" N** et **7°05 00.85 "** E de longitude. L'altitude de zone varie de **1063 m** dans le vallon du site thermal de Hammam Salhine à **1650 m** à la hauteur de Ras Serdoun, et culmine à **1870m** au djebel Feraoun où la pluviométrie est voisine de **1000 mm**. Ce site thermal est constitué de deux sources.

L'étude des caractéristiques des eaux thermales est souvent destinée à préciser les Variations potentielles de leur qualité et de leurs origines dans une région donnée.

Dans le site de hammam El Salhine, il existe deux sources thermales (Griffons) **1, 2** qui occupent le piémont du versant nord de djebel Aidel, dans un vallon.

Ces sources seraient en rapport avec le réseau hydrographique local car les émergences, se trouvent à leurs points bas, c'est-à-dire dans un graben, au fond d'un vallon, ou les eaux sont drainées par oued Kissen.

Les deux griffons sont aménagés pour faciliter leur captage et sont protégés par un périmètre immédiat et rapproché afin d'éviter toutes sources de pollution et d'éventuels accidents mortelles.

Le débit des sources (griffons) est estimé à **50l/s (180m³/h)**, avec des températures variant de **63 à 65°C**. Elles sont classées dans la catégorie des eaux hyperthermales.

Il semblerait que les deux sources soient alimentées par des eaux météoriques, récoltées sur tout l'impluvium du vallon pour s'infiltrer profondément et remonter le long des filons hydrothermaux par différence de pression et de densité et réapparaître sous forme d'émergences en sources thermales.

III.1.2 La thermalité

III.1.2.1 Définition

Une eau thermale n'a pas de définition officielle, mais l'étymologie lui attribue une « température supérieure à celle des eaux phréatiques de la région » (**HOUHA, 2007**) pour certains, c'est une eau utilisée dans un établissement thermal. Pour d'autres, c'est une eau de température à l'émergence supérieure de **6°C** à la température moyenne annuelle locale, voire une eau supérieure à **35°C**.

Selon **Léon Moret**, une source thermominérale est une source dont l'eau est souvent chaude et tient en dissolution des principes susceptibles d'agir efficacement sur la santé humaine.

Selon **Henri Schoeller**, une eau thermale est une eau dont la température est supérieure à la température moyenne annuelle de l'air, plus de 4°C, et selon **Madame Dib**, celle du sol plus de 2°C.

III.1.2.2 Définition proposée

Eau d'origine souterraine naturellement chaude à son émergence (à température supérieure à un seuil conventionnel) et que cette propriété rend utilisable à diverses fins, notamment sanitaire ou thérapeutique (**VILA, 1977**)

On a donc fait le choix d'attribuer le terme thermal aux eaux de hammam Salihine reconnues comme telles depuis longtemps, parfois depuis les romains.

Théoriquement cette température varie d'un point à un autre, c'est-à-dire depuis les sources d'altitudes sur les affleurements Crétacé vers les eaux thermales en passant par les eaux de mélange de la nappe phréatique. Cependant le croisement des valeurs des températures mesurées à l'émergence avec les profondeurs montrent qu'on peut adopter la température de **35°C** comme température limite au dessus de laquelle les eaux seraient de

mésothermale à hyperthermales et en dessous de laquelle tendent vers des températures en symbiose avec celles de l'air. (CENEAP, 2009)

On distingue les eaux thermales de basse enthalpie (basse température) et les eaux thermales de haute enthalpie.

III.1.2.3 Classification thermique des eaux

Nous retiendrons avec P. Verdeil (1986) et A. Issaâdi (1992), la classification des eaux thermales, selon leur température d'émergence, suivante:

-*Eaux hypothermales* : ce sont des eaux dont la température à l'émergence est inférieure à celle de la partie supérieure de la zone d'homothermie ou à la température moyenne interannuelle du lieu d'émergence plus 4°C.

- *Eaux métriothermales* : ce sont des eaux dont la température à l'émergence est inférieure à 30 °C mais supérieure à celle des eaux hypothermales.

- *Eaux mésothermales* : ce sont des eaux dont la température à l'émergence est entre 30 °C et 50 °C.

- *Eaux hyperthermales* : ce sont des eaux dont la température à l'émergence est supérieure à 50 °C et inférieure à 100 °C. (briffault ,1938)

III.2 Origine de la thermalité des eaux de Hammam El Salihine

On sait depuis longtemps, grâce aux exploitations minières que la température augmente avec la profondeur. Une température élevée est donc, à priori, un indice d'origine profonde.

On explique la relation entre la température et la profondeur par le terme de gradient géothermique , par définition le gradient géothermique (degré géothermique), est la profondeur de pénétration dans le sol, exprimée en mètres nécessaire pour que la température augmente de 1°C. Variable suivant les endroits et la profondeur ; sa valeur est en moyenne de 30 à 35 m.

Le gradient géothermique est fonction du flux de chaleur terrestre et de la conductibilité calorifique des roches. Dans une région considérée ; une valeur plus au moins élevée du gradient géothermique traduira l'intensité de ce flux de chaleur.

- Les activités tectoniques récentes, seraient aussi à l'origine d'anomalies positives, dans ce cas un gradient géothermique particulièrement élevé peut être observé.

- Les mouvements orogéniques peuvent produire de l'énergie calorifique liée aux déformations mécaniques des roches et surtout aux frottements qui s'effectuent le long de grands accidents et dislocations.
- Enfin les réactions physico-chimiques exothermiques résultant de la réduction des sulfates, de l'oxydation des sulfures de fer et de la transformation de l'anhydrite en gypse et la désintégration des minéraux radioactifs peuvent aussi engendrer une élévation considérable de la température des eaux.

Ces différentes propriétés ne s'excluent pas mutuellement mais certaines apparaissent comme secondaires et ne pouvant provoquer des échauffements importants : c'est le cas de la chaleur dégagée par la désintégration d'éléments radioactifs (Le Maréchal).

La chaleur dégagée par les réactions chimiques exothermiques est généralement considérée comme négligeable. En fait Ellis (1965) a montré qu'elle pouvait jouer un rôle important.

Les mesures de températures prises directement dans les deux sources indiquent des valeurs qui varient de 63°C pour source 2 à 65°C dans la source 1.

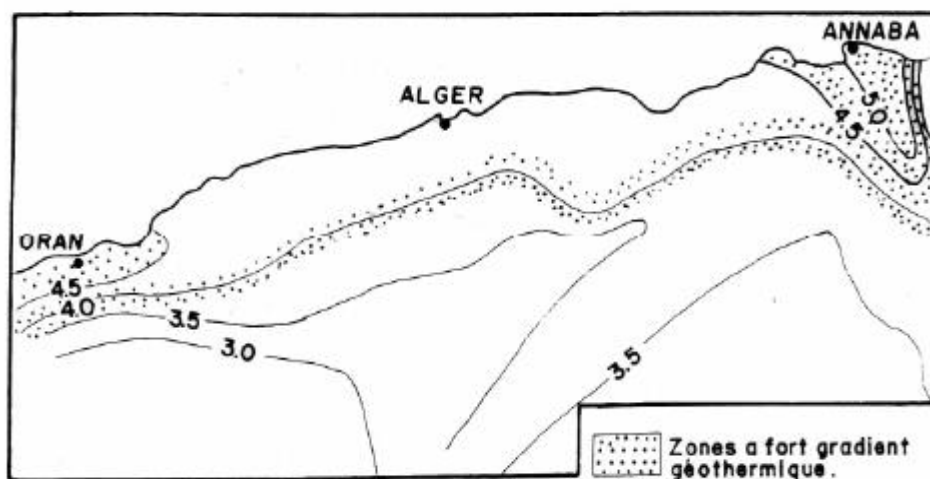


Figure 21 : Carte du gradient géothermique de l'Algérie du Nord d'après N. Kazi Tani (1974). (HOUHA, 2007)

III.3. Caractérisation Chimique Des Eaux Et Processus Responsables De La Qualité

III.3.1 Introduction

L'hydrochimie constitue un outil essentiel à l'étude du milieu aquifère tant par la diversité de ses informations concernant le magasin que par la possibilité de rendre compte des modalités de circulation des eaux souterraines. Les informations hydrochimiques contenues dans les eaux naturelles souterraines sont considérées essentiellement être liées à deux catégories :

Les paramètres inertes qui servent comme traceurs ou indicateurs des conditions d'entrée et les paramètres réactifs qui enregistrent les processus qui ont lieu à l'intérieur du système et qui sont le résultat d'interaction eau-roche ; certains traceurs réactifs sont atténués durant l'écoulement, à partir de la source d'entrée alors que d'autres augmentent en concentration avec le temps et seront contrôlés par la saturation vis-à-vis du minéral ou par d'autres mécanismes géochimiques.

En effet, on peut attribuer deux rôles à l'eau ; elle est à la fois créatrice et vecteur d'informations (**HOUHA, 2007**) :

- L'eau créatrice d'information : lors de son transit dans un aquifère, l'eau dissout la roche. Ainsi, la qualité des substances dissoutes renseigne sur les minéraux composants la roche magasin. Ce rôle permet d'acquérir une bonne connaissance de la nature des terrains traversés, des limites du système et des conditions de séjour dans l'aquifère ;
- L'eau vectrice d'information : la composition chimique de l'eau peut évoluer durant son transit. Ainsi, l'information recueillie au niveau du point de prélèvement (source, forage,...) est fonction de la nature du réservoir, mais également du temps de transit. Ce deuxième rôle est complémentaire du premier, il renseigne sur le fonctionnement du système : vitesse de transit et modalités de circulation.

Dans cette optique, nous nous intéressons à la caractérisation de la signature géochimique des eaux thermales de Hammam El Salihine.

Tableau 08: Caractéristiques physico-chimique

| Ions (mg/l) | Ca | K | Na | Mg | Hco3 | Cl | So4 | pH | T °C | CE (us/cm) |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|------|------------|
| Source 1 | 107,2 | 117,7 | 210,6 | 38,89 | 278,2 | 425,4 | 43,71 | 7.8 | 65 | 2610 |
| Source 2 | 82,77 | 82,5 | 229,9 | 41,32 | 390 | 390 | 52,82 | 7.7 | 63 | 2598 |

III.4. Caractéristiques physico-chimique des eaux thermales

III.4.1. Etude des Paramètres physiques

Il s'agit des paramètres facilement mesurables et utiles pour la détermination de l'état qualitatif de l'eau (**Jensen H. S. & Andersen F. Q, 1992**)

➤ III.4.1.1 La température de l'eau

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques. Certes, toute variation brusque de ce paramètre entraîne une perturbation dans l'équilibre de l'écosystème aquatique.

Dans la zone d'étude, nous avons remarqué que cette température est très supérieure à la température annuelle moyenne de la région, (**VILA, 1977**), Avec un minimum de **63 °C** (source 2) et un maximum de **65°C** (source 1). La température moyenne annuelle de l'air est de **15.7°C**.

Ce déséquilibre thermique entre l'atmosphère et l'aquifère indique que les eaux ont une origine très profonde.

Tableau 09 : Classification Des Eaux Etudiées, Selon Leur Température

| Point de l'eau | Température (°C) | Classification |
|----------------|------------------|---------------------|
| Source 1 | 65 | Eaux hyperthermales |
| Source 2 | 63 | |

➤ III.4.1.2 Le pH

Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (**Dussart, Bermond et al. 1966**). Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie aquatique du

développement favorable. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 alors que dans les eaux tièdes, celui-ci est compris entre 5 et 9 (HCEFLCD,2007).

Il exprime l'activité des ions H^+ d'une solution, c'est-à-dire l'alcalinité ou l'acidité d'une eau.

L'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique :

- Pour un milieu neutre $(H^+) = (OH^-)$ ou $pH = 7$;
- Pour un milieu acide $(H^+) > (OH^-)$ ou $pH < 7$;
- Pour un milieu basique $(H^+) < (OH^-)$ ou $7 < pH < 14$.

Habituellement, les valeurs du pH se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles. Il diminue en présence des teneurs élevées en matière organique et augmente en période d'étiage, lorsque l'évaporation est importante. Les valeurs du pH des eaux de Hammam El Salihine montrent des variations assez notables, avec un minimum de 7.7 à la source 2 et un maximum de 7.8 à la source 1.

Les sources thermales sont acides et tendent vers la neutralité, avec un pH moyen de 7.75 caractéristique des aquifères gréseux et des sables purement siliceux. L'acidité de l'eau est ainsi liée à la dissociation de l'acide carbonique issu du CO_2 atmosphérique solubilisé dans l'eau, et à celle des acides humiques libérés lors de la dégradation de la matière organique du sol, dans cet environnement situé en région forestière humide et tempérée.

➤ III.4.1.3 La conductivité électrique

La conductivité de l'eau est sa capacité à conduire un courant électrique. Elle dépend à la fois de la température des eaux et des espèces ioniques dissoutes. Sa mesure donne une indication sur la salinité des eaux.

L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m): $1S /m = 10^6 \mu S/cm$. La conductivité donne une idée sur la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau (HCEFLCD, 2006).

Les eaux des sources thermales sont fortement minéralisées (tableau 10 avec des valeurs toujours supérieures à **1500 $\mu\text{S/cm}$** . Un minimum de **2598 $\mu\text{S/cm}$** mesurée à la source 2 et un maximum **2610 $\mu\text{S/cm}$** à la source 1. Ces valeurs indiquent que ces eaux provenant du lessivage des terrains triasiques gypso-salifères, sont caractérisés par une forte concentration liée à la grande solubilité des sels

Tableau 10 : Valeurs de la conductivité électrique mesurées

| Site | Source 1 | Source 2 |
|--|----------|----------|
| Conductivité électrique ($\mu\text{S/cm}$) | 2610 | 2598 |

III.4.2. Hydrochimie des ions majeurs et faciès des eaux

L'hydrochimie des zones semi-arides endoréiques est marquée par les phénomènes de concentration des solutions et de salinisation sous l'influence de l'évaporation. Dans ce contexte les mécanismes responsables de la variation et de l'acquisition de la qualité chimique des eaux sont souvent nombreux et complexes : apports météoriques (pluie et évaporation), l'acquisition des éléments chimiques par dissolution ou l'altération des minéraux de l'aquifère, lixiviation de solutés, les échanges de cations et par processus biogéochimiques. Apprécier la diversité des mécanismes responsables des variations hydrochimiques d'une région aride nécessite l'identification de la concentration de chaque élément chimique par rapport à la minéralité globale des eaux.

III.4.2.1. Origine et variation des éléments majeurs

➤ 4.2.1.1 Le calcium

Selon la définition du Petit Larousse 1906, le calcium est un métal blanc jaunâtre, isolé par Davy (1808), qu'on obtient en décomposant certains de ses sels au moyen de la pile ou encore en chauffant de la chaux dans un courant de vapeurs de potassium ou de sodium : le calcium décompose l'eau à la température ordinaire(**CLAUDE, 1905**)

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit la dissolution des formations carbonatées ($\text{CaCO}_3 = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$), soit la dissolution des formations gypseuses [$\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O}) = \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2(\text{H}_2\text{O})$].

Une teneur faible en calcium fait penser à un échange de base contre le sodium ou à l'absence de minéraux riches en calcium faiblement altérables. Par contre une teneur élevée en calcium provient de la mise en solution de la calcite du gypse ou de l'anhydrite.

Pour notre cas les teneurs en calcium varient **entre 82.77 mg/l** comme valeur minimale dans les eaux de la deuxième source et **107.2 mg/l** comme valeur maximale dans la première source qui alimente Hammam El Salihine.

Ces concentrations indiquent que ces eaux sont influencées par la dissolution des formations carbonatées et les formations gypseuses contenues dans les terrains salifères du Trias.

➤ 4.2.1.2 Le magnésium

Selon la définition du Petit Larousse, le magnésium (Mg^{++}) est un métal solide, d'un blanc d'argent, qui brûle à l'air avec une flamme éblouissante : le sulfate de magnésium est employé comme purgatif sous le nom de sel d'Epsom, de Sedlitz (CLAUDE, 1905).

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium, magnésite : $\text{MgCO}_3 = \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$, et dolomite: $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2(\text{CO}_3^{2-})$.

Quant la dolomie est attaquée, il n'y a pas de solubilité sélective, il y a autant de calcium que de magnésium. Si toutefois la quantité du calcium dépasse celle du magnésium, l'eau aurait obtenu sa minéralisation du calcaire. Par contre une teneur élevée en magnésium peut faire penser à une contamination d'eau de mer ou du lessivage des minéraux magnésiens.

Pour notre cas les teneurs en magnésium varient entre **38.89 mg/l** comme une valeur minimale dans les eaux de la première source de et **41.32 mg/l** comme valeur maximale dans les eaux de la deuxième source de Hammam El Salhine. Le rapport $\text{Mg} / \text{Ca} < 1$, pour les deux sources, fait penser à une origine calcaire

➤ 4.2.1.3 Le sodium

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères et à l'effet de la salinité marine. La plus importante source de sodium se trouve dans les évaporites (halite NaCl, mirabilite Na₂SO₄ (10(H₂O))) dans les bassins endoréiques.

Sur notre terrain les teneurs en sodium varient entre **210.6 mg/l** comme une valeur minimale dans les eaux de la première source et **229.9 mg/l** comme valeur maximale dans les eaux de la deuxième source de Hammam El Salihine.

Ces concentrations témoignent d'un apport salifère à partir des formations évaporitiques er du Trias.

➤ 4.2.1.4 Le potassium

On trouve le potassium en grandes quantités dans la nature. Il est rencontré sous forme de chlorure double dans nombreux minerais. Tels que la carnallite de Stassfurt et la sylvinite. On le trouve également dans les cendres des végétaux sous forme de carbonate (ALLALI, A, 2004).

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques. En général le potassium dépasse rarement les **10** ou **15 mg/l** dans les eaux naturelles. Dans les eaux de mer le potassium avoisine les **380 mg/l**.

Sur notre terrain les teneurs en potassium varient entre **82.5 mg/l** comme valeur minimale dans les eaux de la deuxième source et **117.7 mg/l** comme valeur maximale dans les eaux de la première source de Hammam El Salhine.

III.4.2.2 Les Anions

Les anions les plus importants dans les eaux étudiées sont les chlorures, les sulfates et les bicarbonates, dont les deux premiers déterminent les faciès chimiques des eaux de la nappe

➤ III.4.2.2.1 Les chlorures

L'origine de cet élément est comme pour le cas du sodium, liée principalement à la dissolution des formations salifères. Les évaporites constituent la source principale de cet élément.

L'effet de la salinité marine, les bassins endoréiques (Chotts, Sebkhass), les eaux fossiles, le salage des routes peuvent aussi être à l'origine de cet élément.

Le chlore est présent dans les eaux naturelles bien qu'il soit en faible quantité. Dans l'eau de pluie il avoisine les **4 mg/l** et dans l'eau de mer les **18,98 g/l**. La teneur du chlore dans les eaux continentales peut être maximum sur les zones côtières et moindres en s'éloignant de la mer. Généralement les eaux riches en chlore sont riches en sodium, parfois le calcium remplace le sodium en cas d'échange de base.

Les teneurs en chlorures des points d'eau analysés varient entre **390 mg/l** comme valeur minimale dans les eaux de la deuxième source et **425.4 mg/l** comme valeur maximale dans les eaux de la première source de Hammam El Salhine.

Ces teneurs présentent des valeurs importantes par rapport à celle du sodium, à cause des caractéristiques spéciales de cet élément qui ne rentre pas dans les phénomènes de précipitation chimique, ne s'adsorbe pas par les formations géologiques et qui est très mobile.

Ces concentrations indiquent l'existence d'apports salifères à partir des formations évaporitiques et au Trias.

➤ III.4.2.2.2 Les sulfates

Les eaux naturelles contiennent, pratiquement, des ions sulfatés, dont les proportions très variables. Leurs présences résultent de la légère solubilité des sulfates de calcium dans les roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures se trouvant dans les roches. Cependant, ils peuvent aussi provenir de l'oxydation dans l'atmosphère, de l'anhydrite sulfureuse par combustion des hydrocarbures (**BAKALOWICZ, 1979**)

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses, à la dégradation de la matière organique dans le sol ainsi qu'à l'apport anthropique (origine agricole).

Les teneurs en sulfates de nos analyses varient entre **48.71 mg/l** comme valeur minimale dans les eaux de la première source et **52.83 mg/l** comme valeur maximale dans les eaux de la deuxième source de Hammam El Salhine.

Donc la présence des sulfates est beaucoup plus liée aux formations gypseuses.

➤ **III.4.2.2.3 Les bicarbonates**

Les bicarbonates résultent de la dissolution des roches calcaires ou d'émanation du magma profond, l'apport atmosphérique de cet élément est négligeable.

Les teneurs en bicarbonates de nos analyses varient entre **278.2 mg/l** comme valeur minimale dans les eaux de la première source et **324 mg/l** comme valeur maximale dans les eaux de la deuxième source de Hammam El Salhine.

III.4.3. Faciès chimique

➤ **III.4.3.1 Diagramme de Piper**

C'est une ancienne classification aussi qui s'appuie sur un diagramme qui donne la représentation de l'ensemble des points étudiés en fonction de leur faciès sur un même plan. Ce diagramme à l'inconvénient d'utiliser une représentation en pourcentage qui risque de conduire à des interprétations erronées.

➤ III.4.3.2 Diagramme de Schoeler Berkaloff

L'interprétation des résultats des analyses chimiques repose sur la représentation graphique. Le diagramme de Schoeler Berkaloff donne un faciès hydrochimique chloruré sodique, (figure 23)

De la disposition des droites sur le diagramme il semblerait que les eaux auraient une origine commune, c'est à dire qu'ils proviennent d'un même gisement hydrothermal, mais les points d'émergence restent diffus.

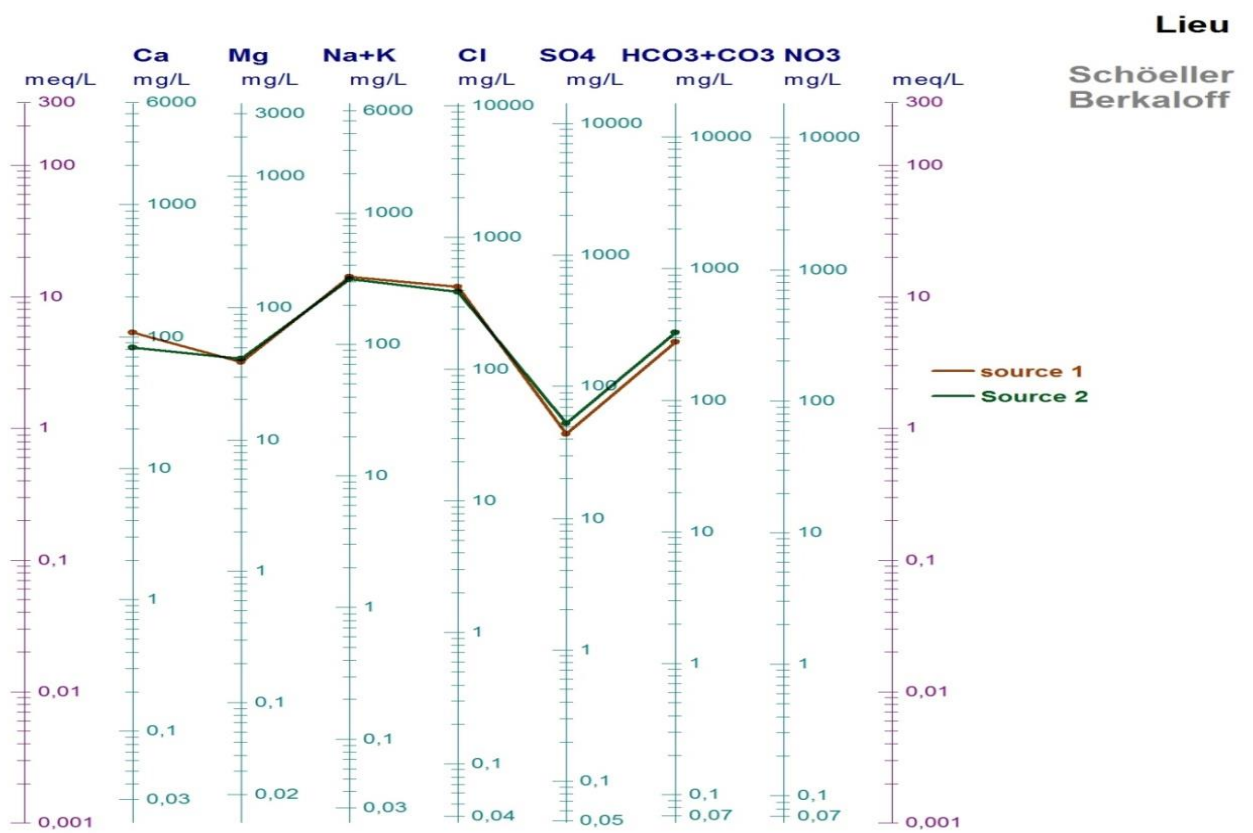


Figure 23 : Diagramme de Schoeler Berkaloff

III.5 Conclusion

Les sources thermales de Khenchela sont situées dans un anticlinal au pied mont de Ras Serdoun, Dans ce secteur les terrains qui affleurent s'étendent du Trias au Quaternaire La température des eaux de jaillissement varie de **63** à **65°C**, la conductivité oscille entre **2598** et **2610 $\mu\text{S/cm}$**

Le gradient géothermique estimée dans la région des Aurès est de **4.19°C /100 m**, la température moyenne annuelle de l'air est **16°C**.

Le faciès chimique des eaux a est chlorurées sodiques influencé par la présence des formations salifères gypso-triasique

Chapitre IV

Thérapeutique

IV.1. Le thermalisme à travers l'histoire :

S'il est une pratique ancestrale, c'est bien le thermalisme. Si le mot lui-même est dérivé du mot « thermes », du latin « thermos » qui signifie « chaud », le fait d'utiliser l'eau minérale à des fins thérapeutiques date quant à lui de l'époque gallo-romaine.

D'après (**Queneau et al, 2000**), les premiers témoignages de l'Histoire Thermale, c'est-à-dire l'utilisation des eaux chaudes à usage médical, dateraient de 3 000 ans avant J.C., et ce sur plusieurs continents: des traces du thermalisme ont été retrouvées en France, en Italie, en Grèce, en Égypte ... Les principes de la crénothérapie, à savoir le traitement par des eaux médicinales sur le lieu d'émergence de ces eaux, furent posés dès 400 ans avant le. Par Hérodote.

Celtes, Gaulois, et Romains se sont succédé pour goûter aux bienfaits des eaux (**Neuzil et al, 2002**), Cependant, c'est avec l'occupation romaine que les constructions des "Thennes" se multiplient dans toute la Gaule. Après une longue période d'oubli pendant le Moyen âge, le thermalisme renaît au dix-huitième siècle. C'est en 1604, sous l'impulsion d'Henri IV, que fut inaugurée la première Charte des eaux minérales.

Au fil des siècles et des guerres, les stations thermales se modernisent pour accueillir les soldats qui viennent y soigner leurs blessures. Sous le Second Empire, avec l'avènement du chemin de fer, les villes d'eaux se multiplient, les stations thermales connaissent un véritable essor tant sur le plan médical que sur le plan architectural. Elles accueillent dans leurs palaces une société brillante, notamment de nombreux étrangers; ceux-ci sont attirés par l'animation culturelle des villes d'eaux autant que par leur réputation médicale.

Au vingtième siècle, la première guerre mondiale génère un grand nombre de blessés: leurs blessures sont soignées dans les établissements thermaux, et une charte des cures hydrominérales de guerre est alors mise en place.

Peu à peu, les propriétés thérapeutiques des sources ont été reconnues, reconnaissance qui a abouti, en 1950, à la prise en charge des soins thermaux par la Sécurité sociale.

L'Islam impose comme rituelle, l'obligation de pureté hygiénique. Aussi avec l'extension de l'Islam, L'usage des hammams se répandit rapidement dans l'ensemble des pays gagnés par la nouvelle foi. Dans les villes musulmanes, on se mit à en construire un grand nombre et chaque rue possédait un ou deux hammams. Le moindre petit village avait un établissement

de bains à côté de la mosquée. Les sources thermales furent, bien sûr, méthodiquement exploités.

D'après **Ibn Khaldoun, El Khatib** assure qu'au temps du calife Al Ma'moun, au Xe siècle, il y avait 65.000 bains publics à Bagdad qui comptait alors une population de un million d'habitants. L'Espagne musulmane nous a légués quelques vestiges de «Bains arabes», notamment El Hama de Aragon, El Hama de Grenade et Al Hama de Murcia. Cordoue qui conserve les restes des «Bains arabes» comptait, assure les historiens espagnols 300 bains du temps de son âge d'or musulman.

Le thermalisme en Algérie n'est pas un phénomène de l'époque contemporaine. L'usage des eaux thermales dans un but thérapeutique remonte à la nuit des temps. Déjà, les Romains avaient su “domestiquer” les eaux qui jaillissaient du sous-sol, de manière certes archaïque, car dépourvue de base scientifique. Il reste cependant qu'ils furent les premiers à nous donner la preuve historique de leurs vertus curatives.

L'histoire nous apprend en effet que les Romains en peuplant les régions d'Afrique du Nord, découvrirent des norias de griffons (ou points d'émergence d'une source). C'est ainsi qu'ils s'établirent dans l'environnement immédiat des thermes et y bâtirent des “tépídariums” (salles de thermes à température tiède) ainsi que des “caldariums”(salles de bains chauds et de vapeurs thermales.

IV.2. Définition

Selon le Professeur **Christian-François**: Le thermalisme, la médecine que la terre nous a donnée.

Le thermalisme : Est l'utilisation thérapeutique des propriétés de certaines eaux minérales thermales pour guérir ou soulager des personnes souffrant d'affections diverses. L'ensemble des moyens médicaux, sanitaires, administratifs, sociaux et d'accueil est mobilisé pour l'utilisation des eaux minérales, des gaz thermaux et des boues thermales à des fins thérapeutiques : on parle de thérapeutique thermale ou crénothérapie.

La médecine thermale est naturelle par définition. C'est une médecine douce, complémentaire et constitue une alternative aux autres soins médicaux.

IV.4.3. Les orientations thérapeutiques des eaux thermales

On compte six groupes d'eau, ainsi répartis (Hakam et al, 2000) :

a. Les eaux sulfurées

(forte présence d'acide sulfhydrique) ont un taux élevé en soufre qui opère une action curative sur les muqueuses où se développent généralement les infections chroniques. Ces eaux sont utilisées dans la lutte contre les maladies des voies respiratoires telles que l'asthme ou les bronchites.

b. Les eaux sulfatées

(à forte teneur en soufre) sont indiquées dans les affections du rein et dans certaines maladies métaboliques (avec les eaux sulfatées dites calciques). Mixtes (à la fois calciques et magnésiennes), elles sont également préconisées pour le traitement des eczémas et des séquelles liées aux brûlures.

c. Les eaux chlorurées,

Dans lesquelles on trouve une forte concentration de chlorure de sodium, proviennent généralement de gisements de sel gemme. Elles ont un effet stimulant sur la croissance et sont indiquées dans le traitement des troubles du développement et de l'énurésie.

d. Les eaux bicarbonatées,

Contiennent quant à elle du bicarbonate. Sodiques, elles facilitent le traitement de certaines affections gastro-intestinales et hépatobiliaires. Elles régularisent la motricité du tube digestif et atténuent les spasmes. Elles ont également une action cicatrisante sur la muqueuse intestinale, Calciques, elles ont un effet anti-inflammatoire, apaisant et cicatrisant en dermatologie, notamment dans le traitement de l'acné et des brûlures.

e. Les eaux à minéralisation spéciale

Sont riches en cuivre, en fer ou encore en arsenic. Cuivrées, elles sont indiquées dans les traitements dermatologiques. Riches en fer, elles le sont dans certains traitements de l'anémie. Contenant de l'arsenic, elles sont préconisées contre toutes les allergies. De façon générale, ces eaux renforcent le système immunitaire.

Certaines eaux hyperthermales (chaudes), de composition différente, ont un effet décontractant et calmant sur les douleurs rhumatismales et sont anti-inflammatoires en gynécologie, le jaillissement des eaux minérales peut s'accompagner de l'émission de gaz, souvent en quantité considérable.

f. Les gaz thermaux

Sont doués de propriétés thérapeutiques qui leur sont propres. Ils peuvent donc être utilisés dans le cadre d'une cure thermale, en même temps que l'eau minérale. Ce sont des gaz chargés en soufre ou en gaz carbonique, utilisés surtout dans le traitement des maladies chroniques des voies respiratoires, des maladies cardio-artérielles et en phlébologie (Penez,1994).

IV.5. Les techniques des soins thermaux

On peut répartir en 3 catégories les soins prodigués dans le cadre d'une cure thermale. Présentation non exhaustive des soins dispensés dans tous les établissements.

IV.5.1. les boues thermales.

Matures ou non, appliquées en cataplasme ou en bain, les boues sont le produit de la précipitation d'une eau minérale ou du mélange d'une eau minérale avec un matériau solide, comme le limon ou l'argile. Les propriétés varient d'une boue à l'autre.

En cataplasme, la boue est appliquée sur tout le corps ou sur des zones à traiter tout particulièrement, généralement pendant une quinzaine de minutes. Sa température est supérieure à celle du corps, pour permettre les transferts cutanés. Après refroidissement de la boue, le corps est enveloppé dans un drap puis une couverture pendant 10 minutes : il s'agit de la sudation en cabine. L'augmentation de température déclenche alors 2 mécanismes : l'hypersudation et la dilatation des vaisseaux (Bazin et al,1870) .

En bain, la boue circule dans un circuit de stérilisation qui en assure l'hygiène et la qualité. Les curistes circulent dans des bassins, profitant de l'apesanteur.



Figure 24 : Application locale de boues thermales

<https://www.therapie-labaule.fr>)

IV.5.2. Les bains thermaux.

Concentrés sous le terme de « balnéothérapie », ils sont à la base des cures, que ce soit en baignoire ou en bain local. Généralement, le curiste bénéficie d'un bain quotidien lors de sa cure thermale. Froid, il active la circulation sanguine. Chaud, il soulage les articulations douloureuses. Dans les deux cas, il constitue un moment de détente et de relaxation privilégié.

IV.5.3. Le bain d'eau thermominérale

il permet la mise en contact de l'épiderme avec les agents actifs de l'eau, pour assurer une pénétration directe et immédiate des éléments dans l'organisme. En plus de ces échanges chimiques avec le corps, le bain d'eau minérale a une action vasodilatatrice et antalgique lorsque sa température est élevée (**Batissier,1848**).



Figure 25 : Le bain d'eau thermominérale

<https://www.guide-piscine.fr>

IV.5.4. Le bain avec douche en immersion :

il consiste à diffuser des jets d'eau sous pression et selon le programme de la baignoire à buses, il permet d'effectuer un massage général ou localisé. Ses vertus sont tonifiantes, décontractantes et antistress.

IV.5.5. Le bain avec douche sous-marine :

tandis que le corps est baigné, l'agent thermal effectue une douche chaude ciblée sur la zone douloureuse ou affectée pour procurer un massage doux et localisé.

IV.5.6. Le bain local :

c'est un bain qui permet de traiter sélectivement une partie du corps, comme les mains (il s'agit alors d'un manucure) ou les pieds (pédiluve). Il est généralement prescrit dans le traitement des troubles rhumatismaux, notamment pour son action sédatrice et antalgique (Fardel et al, 1860).



Figure 26 : Le bain local

<https://www.chainethermale.fr>

IV.6. Les douches thermales

font également partie des nombreux soins dispensés en cure thermale, qui utilisent les bienfaits de l'eau pour soulager douleurs, troubles et gênes. Il s'agit même d'un des principaux soins proposés. À chaque pathologie et à chaque zone douloureuse, la puissance et la pression du jet sont adaptées, en fonction des effets à produire. Ces douches sont préconisées dans les cas d'affections cutanées ou des voies respiratoires, mais également dans le traitement des douleurs articulaires, grâce, notamment, à ses actions sédatives ou tonifiantes (Dupré, 1992).

IV.6.1. La douche au jet

Il s'agit du soin le plus courant. Debout au fond d'une salle, le curiste se tient à une barre fixée au mur et reçoit un puissant jet à gros débit envoyé par un agent soignant, situé environ à 5 mètres de distance. L'eau est d'abord chaude (autour de 36 à 39°) puis refroidit progressivement. Ce soin permet le changement de température et de pression de l'eau au cours d'une même séance. On peut, en outre, projeter le jet sur tout le corps ou sur une zone précise : par exemple, on axera le jet en direction du thorax dans les cas d'infections respiratoires, ou en direction de l'abdomen dans le cas de troubles de nature digestive.



Figure 27 :La douche au jet

<https://fr.tripadvisor.ch>

IV.6.2.La douche de vapeur

Généralement prescrite dans le cas d'affection des voies respiratoires, elle consiste à projeter un jet de vapeur sur le thorax du curiste afin de créer un phénomène de révulsion (Canellas et al ,1995).

IV.6.3.La douche sous immersion à haute pression

Il s'agit d'un jet d'eau thermale sous-marin effectué en piscine et qui masse de façon intense le curiste en position debout. C'est un soin collectif prescrit en cas de contractures para-vertébrales, notamment les sciatiques.



Figure 28 :La douche sous immersion à haute pression

IV.6.4.La Piscine:

Les séances de mobilisation en piscine d'eau thermale sont animées par un masseur kinésithérapeute, diplômé d'Etat. Elles calment les algies, réduisent les inflammations, la mobilité articulaire est améliorée.

Ces séances ont, également, un effet sédatif, antalgique, et participent au relâchement musculaire.



Figure 29 : La piscine des thermes

IV.7. Les différentes qualités des eaux thermales :**IV.7.1. Les eaux sulfurées**

Sont riches en soufre sous forme d'hydrogène sulfuré, dont les propriétés antibactériennes ont été mises en évidence depuis longtemps. Particulièrement intéressantes dans le traitement des muqueuses, notamment des voies respiratoires, et de l'épiderme, les tissus se trouvent ainsi restaurés, tonifiés et deviennent moins sensibles aux agressions.

L'action du soufre sur les rhumatismes, et particulièrement l'arthrose vient de son pouvoir trophique sur les cartilages (**Boughalali, 2003**).

IV.7.2. Les Eaux sulfatées

Tout comme l'eau minérale sulfurée, la principale composante des eaux sulfatées reste le soufre, présent sous la forme d'un autre principe, riches en calcium et en magnésium ces eaux sont bénéfiques dans le traitement des maladies métaboliques, urinaires et digestives (**Nicoud, 2002**), riches en soufre, elles exercent une action antispasmodique de sédation sur la douleur rhumatismale et les contractures musculaires tandis que les muqueuses agressées profitent également de ses propriétés cicatrisantes.

IV.7.3. Les eaux bicarbonatées

Renferment de l'anhydride carbonique, résultat de la dissolution dans l'eau de CO_2 . Systématiquement d'un pH acide, ces eaux sont tantôt calciques, tantôt magnésienne, tantôt mixtes. Apaisantes et cicatrisantes, elles sont un composant utile des soins spécialisés dans le traitement des Voies Respiratoires ou des affections gynécologiques. Parfois carbo-gazeuses, elles sont alors bénéfiques pour les curistes atteints d'insuffisance circulatoire. Enfin, leur fort pouvoir diurétique voire laxatif en fait un allié de poids pour les cures à orientation Métabolisme ou Appareil Digestif.

IV.7.4. Les eaux radioactives

Ont des effets sédatifs sur l'ensemble de l'organisme ; idéales donc pour calmer les douleurs, lutter contre le stress, et améliorer la qualité du sommeil, lui aussi grand acteur du succès de la cure thermique.

IV.7.5. Les eaux riches en calcium

De longue date reconnu pour ses bienfaits de régénération osseuse, le calcium agit aussi, comme le magnésium, sur le tonus des tissus musculaires et constitue de fait un précieux allié en rhumatologie et en Phlébologie (Laty, 1996).

IV.7.6. Les Eaux riches en Magnésium

Pris en cure de boisson, l'eau riche en magnésium a des effets laxatifs, utiles dans le traitement des maladies métaboliques et digestives, en parallèle, cet oligo-élément s'enorgueillit aussi de vertus sédatives, favorisant la récupération du sommeil. De façon générale, le magnésium améliore la tonicité des fibres musculaires, effets souverain dans le traitement des troubles phlébologiques, car les muscles ont une action visible sur le retour veineux. (Blázquez, 2005).

IV.7.7. Les Eaux riches en silice

La silice exerce une action générale de cicatrisation, car elle favorise la régénération cellulaire. Cette propriété lui confère donc d'excellents résultats sur la restauration des muqueuses, en O.R.L comme en gynécologie, et une action remarquable sur la peau.

Tableau 11 : Spécificités curatives des eaux thermales d'Hamam El salhine .

| Nom du Hammam | Faciès chimique | Température (°C) | Affections selon les propriétés | Affections selon le chimisme des eaux |
|------------------|---------------------|------------------|--|---|
| Mammam El Salhin | Chlorurées sodiques | 63-65 | <ul style="list-style-type: none"> - Dermatologie - Rhumatisme | <ul style="list-style-type: none"> - Affection du rein - Eczéma - Cicatrices de brûlure - Rhumatisme - Inflammation en gynécologie - Anti-inflammatoire |

IV.8 Conclusion

Une cure thermale est une alternative thérapeutique, notamment pour des patients résistants ou opposés aux médicaments traditionnellement prescrits

L'étude de la spécificité curative des eaux thermales des sources de Hammam Es-Salihine montre qu'elles sont bénéfiques pour les maladies dermatologiques et Rhumatismales

Ce que nous retenons est que le produit thermale offre des avantages multiples que ce soit pour les soins thérapeutiques, le bien-être et la détente; mais aussi peut contribuer au développement économique du groupe avec des retombés sociaux économiques pour la localité et pour l'Algérie.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les données de divers paramètres (géologiques, hydroclimatiques, et hydrochimiques), nous a permis d'apprécier la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la zone d'étude.

L'étude géologique, basés sur les travaux de plusieurs auteurs ayant étudiés la région, a permis de distinguer les principales formations géologiques de cette région ; à savoir : Quant aux terrains affleurant dans ces différents ensembles, ils appartiennent généralement au Secondaire, avec le Trias, le Jurassique et le Crétacé et au Tertiaire avec des formations oligocènes, miocènes et pliocènes.

Le Quaternaire, quant à lui reste limité aux dépôts de versants et aux formations alluviales des bassins et des principaux Oueds de la zone, avec des galets et une nappe de maestrichien formé par des calcaires qui représente la nappe locale.

La région d'étude est soumise à un climat semi-aride (environ de six mois secs), elle est caractérisée par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 10 ans (2008/2009 – 2017/2018), sont estimées à 468.01 mm

L'évapotranspiration (ETP) calculée selon la méthode de Thornthwaite est de 848.74 mm, et un déficit agricole de 380.73 mm.

L'étude Hydrochimique a fini par attribuer l'origine évaporitiques à certains éléments comme le Na et le Cl ils viennent principalement de l'effet de l'altération des schistes et des gneiss, d'origine profonde et enfin les éléments Mg et Ca proviennent à la fois des formations carbonatées et évaporitiques, qui existent en profondeur, lors de l'ascension de ces eaux chaudes en surface. la température des eaux de jaillissement varie de **63** à **65°C**, la conductivité oscille entre **2598** et **2610 µS/cm**

le gradient géothermique estimée dans la région des Aurès est de **4.19°C /100 m**, la température moyenne annuelle de l'air est **16°C**.

Le faciès chimique des eaux a est chlorurées sodiques influencé par la présence des formations salifères gypso-triasique

L'étude thérapeutique des eaux thermales des sources d'El Hamma et de Hammam Es-Salihine montre qu'elles sont bénéfiques pour les maladies dermatologiques et Rhumatismales. Ce que nous retenons est que le produit thermale offre des avantages multiples que ce soit pour les soins thérapeutiques, le bien-être et la détente; mais aussi peut contribuer au développement économique du groupe avec des retombés sociaux économiques pour la localité et pour l'Algérie

Références bibliographiques

Références

AGAGUENIA.S., (2010): principes d'aménagement pour un développement local durable D'un territoire montagneux du littoral. Cas de la commune de collo (nord-est algérien) Mémoire de magister. Université d'Annaba.23p.

ALLALI. A., (2004): Ahmed 2004 cartographie de la qualité physico-chimique et Biologique de l'eau des zones humide de la numidie.

ANDI, (2013) : agence nationale de développement de l'investissement 2013 pages 06, 10.

BATISSIER. L.,(1842) : “de l'origine, de la classification, et de l'action thérapeutique des eaux minero-thermales...” imprimerie et fonderie de rignoux,.

BAKALOWICZ., (1979) : contribution de la géochimie des eaux a la connaissance de L'aquifère karstique et de la karstification. Thèse doctorat sciences.

BAZIN AND E. C. E. MAUREL.,(1870) : leçons sur le traitement des maladies chroniques en général et des affections de la peau en particulier: par l'emploi compare des eaux minérales de l'hydrothérapie et des moyens pharmaceutiques. Adrien delahaye

BEKHOUCHE M. F., (2009) : caractéristique des sources thermales de la région d'azzaba. Mémoire de magister université badji mokhtar-annaba.1 page.

BERKANI. C.,(2011) : étude hydrochimiques des sources thermales des Aurès. Mémoire de merter universite abbés laghrour khenchela, 13, 15,17 pages.

BOUBELLI. S., (2009) : identification et mise en évidence des formations hydrogéologique De la wilaya de khenchela (nord-est algérien) analyse et synthese de données mémoire de Magister. Universite de annaba 19 p.

BOUGHALALI M, THERMALISMES ET THALASSOTHERAPIE EN ALGERIE., (2003) : communication, revue la presse thermique et climatique 2003, pp 121,136. Société française d'hydrologie et de climatologie médicale.

CANELLAS J., AND B., BLAVOUX.,(1995) : “relations entre les structures géologiques, la composition chimique des eaux minérales et leurs orientations thérapeutiques,” houille blanche, vol. 50, no. 2, pp. 81–86, 1995.

CENEAP.,(2009) : Plan d'aménagement et de développement durable de la wilaya de khenchela ;phase n°1 : rapport n°2 évaluation territoriale « bilan critique-problématique d'aménagement ».direction de l'environnement..

DUPRE.N.,(1994) : “sources médicinales et thermalisme dans le bassin de l’ebre: les problemes de la documentation antique,” espacio, tiempo y forma. Serie ii, historia antigua, no. 5, pp. 277–294.

DUSSART. B., (1966). Limnologie : étude des eaux continentales. Gauthier-villars, Paris.

FARDEL.M.,(1860) : E. Le Bret, And J. Lefort, dictionnaire general des eaux minerales et d’hydrologie medicale, vol. 1. J.-b. Bailliere et fils.

FRANÇOIS A., JEAN R & NICOLAS L., (2005) : hydrologie (cheminement de l’eau). Presses internationales polytechniques. Hydrologie, pp 103.

GAAGAI. A., (2009) : étude hydrologique et hydrochimiques du bassin versant du barrage De Babar sur oued el arabe région est de l’Algérie. Mémoire magister, université de Batna Faculté des sciences de l’ingénieur, département d’hydraulique. 130 p.

GUASMI I., (2009) : pollution des eaux et pouvoir auto-épurateur de l’oued medjerda (nord-est algérien). Thèse de doctorat d’universite badji mokhtar-annaba. 205 pages.

GUIRAUD. R., (1973) : évolution post-triasique de l’avant-pays de la chaîne alpine en Algerie d’après l’étude du bassin du hodna et des régions voisines. Thèse doctorat, univ. Nice, 270 p.

HAKAM.O.K., (2000) : Choukri, J. L. Reyss, And M. Lferde, “comparaison des activités des isotopes de l’uranium et du radium dans quelques échantillons d’eau de puits et de sources thermales au maroc,” revue des sciences de l’eau, vol. 13, no. 2.

HCEFLCD., (2006) : étude sur la pisciculture au barrage almassira, dar chafaai, Cercle d’elbrouge, province de settat, 201p.

HCEFLCD., (2007) : étude diagnostique de la zone humide al massira-faija, cercle d’el Brouj et cercle de settat (maroc), 242p.

HOUHA. B., (1996) : quantité et qualite des eaux souterraines de la région de kenchela (garat tarf). Mémoire de magister, f.s.t annaba, algerie, 114p.

HOUHA. B., (2007) : étude de fonctionnement hydrogéologique et salin d’un basin semi-aride Remila-kenchela. Thèse doctorat, universite badji mokhtar-annaba .

HSISSOU. Y., (1997) : dynamique et salinite de la nappe côtière d’agadir (maroc) Influence du biseau sale et des facies evaporitiques, hydrochemistry (proceedings of the Rabat syposium,) publi n° 244, 1997.

JACOB F., OLIOSO A., GU X.F., SU Z. & SEGUIN B., (2002) : mapping surface fluxes using airborne visible, near infrared, thermal infrared remote sensing data and a spatialized surface energy balance model. *Agronomie*, n°22, pp 669-680.

JENSEN H. S. & ANDERSEN F. Q., (1992): importance of temperature, nitrate and ph for phosphate release from aerobic sediments of four shallow europhic lakes. *Oceanogr*, volume 37, n°3, pp 557-589.

KEMMER N.F., (1984) : manuel de l'eau technique et documentation (lavoisier).

KHABTHANE.H., (2010) : contribution a l'étude du comportement ecophysiologique du Genre tamarix dans différents biotopes des zones arides de la région de kenchela. Mémoire magister. Université de constantine. 152 p.

KHEMOUDJ. K., (2009) : dynamique des systèmes et stratégie d'aménagement et gestion De la ressource en eau en zone semi-aride: cas de la région d'el Eulma. Wilaya de Sétif 90p.

LAFFITTE. R., (1939) : étude géologique de l'Aurès. Thèse, paris, bull serv. Carte géol. Algérie, 2e serie. 484p.

LEVY.M., (1860) : « babylonian chemistry, a study of arabic and second millennium b.c.perfumery »

NICOUD.N.,(2002) : «les medecins italiens et le bain thermal a la fin du moyen age,» medievales, vol. 21, no. 43, pp. 13–40.

PENEZ J., (1994) : dans la fièvre thermale: la société des eaux minérales de chatel-guyon (1878-1914): réussite et expansion d'une entreprise thermale, vol. 3. Pu blaise pascal

QUENEAU P., (2000) : boulange m. françon a., graber-duvernay b., laroche c., oudot j., roques c. Médecine thermale, faits et preuves, abregé masson,.

SELTZER .,(1946) : le climat de l'algerie, alger, institut de météorologie et de physique Du globe, carbonnel, 219 p.

VILA J.M., (1977) : carte géologique de l'Algérie et notices explicatives.