

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Larbi Tebessi-Tébessa**



**Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département de Science de la Terre et de l'Univers**

**Filière : Géologie**

**Spécialité : Hydrogéologie**

**Mémoire de Master**

**Thème :**

**Conditions d'émergence de la source thermo minérale  
de l'Meridj-Ouenza (Hammam Sidi Yahia)**

**Soutenu : Juin 2020**

**Présenté par : BOUTARFA Seif Eddine**

**HAMLA Mohamed Ramzi**

**Devant le jury :**

<b>Mr. GUEFAIFIA. O</b>	<b>MCA</b>	<b>Univ. Larbi Tebessi</b>	<b>Président</b>
<b>Mm. SEGHIR. K</b>	<b>MCA</b>	<b>Univ. Larbi Tebessi</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>Mr. BENHAMADI. H</b>	<b>MCB</b>	<b>Univ. Larbi Tebessi</b>	<b>Examineur</b>

**Année Universitaire 2019-2020**

## Remerciements

Mon binôme et moi tenons à remercier et à rendre hommage aux personnes qui nous ont aidés à réussir nos études, nous ont soutenus et nous ont inspirés tout au long de notre cursus Universitaire.

Merci à **Mme Seghir K.** pour l'effort et le soutien pendant l'élaboration de notre mémoire et merci à Monsieur le chef de département **Omar Guefaifia** pour l'aide matériel et moral, et nos remerciements vont aussi à **M BENHAMADI H.** qui accepter d'examiner notre travail,

Sans oublier l'ensemble des enseignants de département des sciences de la terre et de l'univers qui ont participé à notre formation durant les cinq années

Merci pour tout l'encouragement reçu.

## Dédicaces

**Dédicaces de : Boutarfa Seif Eddine**

**A mon adorable mère,**

Que Dieu le tout puissant puisse m'aider pour te rendre hommage et respect pour ton amour, ton soutien et ta précieuse présence dans ma vie.

A mon respectueux frère et mon bras droit **Khaled**

A ma sœur **kaouther** source de tendresse.

A mes nièces adorées **Douha, Mariem**

A mes grands-parents à qui je souhaite la santé.

A mes chères et douces tantes maternelles.

A tous mes cousins et cousines.

A mon binôme **Hamla Mohamed Ramzi** avec qui j'ai partagé des moments agréables et inoubliables

A tous mes ami (es).

**Dédicaces de : Mohamed Ramzi Hamla**

A la plus douce dame de fer **ma mère**,

Quoique je fasse ou que je dise, je ne saurai guère te remercier comme il se doit pour tes sacrifices ton engagement absolu vis à vis de tes enfants. Ton courage, ta ténacité, ton savoir d'être et ton savoir-faire sont les balises qui repèrent mon parcours dans la vie, ton affection me Comble, tu es ma source d'inspiration et de ma force pour affronter tous les obstacles.

A **mon père**, que ce travail exprime ma gratitude, mon respect et mon affection...

A mon frère **Houcine**, qu'il repose en paix.

A la femme de ma vie qui  
A mis du rose dans mon univers « **S. Chourouk** ».

A mes très chers frères **Seif Eddine** et **Ahcn** à qui je souhaite le bonheur.

A mes belles sœurs **Majda** et **Chaïma**.

A mes neveux **Jawed**, **Mohamed**, **Nazim** et **Jad**.

A mon binôme **Seif Eddine Boutarfa** à qui je m'incline devant son amitié.

A **mes tantes** source de tendresse.

A **mes cousins** et **cousines**.

A ma famille et mes frères « Renegades bros », qui se reconnaîtront.



## LISTE DES FIGURES

**Figure 01** : source de la Motte-les Bains. D'après L. MORET.

**Figure 02** : les eaux thermo minérales de la Bourboule d'après Ph. GLANGEAUD.

**Figure 03** : Schéma géologique de l'aire d'émergence hydrominérale de Châtelguyon. D'après A. AUBIGNAT.

**Figure 04** : Coupe de l'aire d'émergences hydrominérales de Châtelguyon. D'après Ph GLANGEAUD

**Figure 05** : esquissas géologique de l'aire d'émergence vais-les latins

**Figure 06** : Alimentation et circulation souterraines des sources d'Aix-les Bains.

**Figure 07** : Variation comparée de la charge avec la profondeur de l'eau pure et de l'eau minérale gazeuse de Châtelguyon d'après A. AUBIGNAT

**Figure 08** : Circulation des eaux souterraines et origine des eaux thermo minérales de St-Gervais (Hte-Savoie). D'après L. MORET.

**Figure 09** : schéma de l'origine météorique des eaux thermo minérales.

**Figure 10** : schéma de l'origine magmatique des eaux thermo minérales.

**Figure 11** : schéma de l'origine mixte des eaux thermo minérales.

**Figure 12** : Situation de la zone d'étude sur échelle National.

**Figure 13** : Carte de la réseau Hydrographique de la zone d'étude

**Figure 14** : Localisation géographique de la région d'étude

Source Google Maps

**Figure 15** : Carte Topographique de source thermale Sidi Yahia

Source : Extrait de la carte Topographique de Djebel Ouenza N° 125 au (1/50 000)

**Figure 16** : Carte géologique de la source Thermale de Sidi Yahia Source : Extrait de la carte géologique de Djebel Ouenza N° 125 au (1/50 000).

**Figure 17** : Des coupes géologiques concernant la zone d'études [STAMBOULI,2017]

**Figure 18** : Carte structurale de la région (extrait de la carte géologique Souk Ahras, 1/200 000) [STAMBOULI, 2017].

**Figure 19** : précipitations moyennes interannuelles de la station de Ouenza (1987-2012). [STAMBOULI, 2017]

**Figure 20** : précipitations moyennes mensuelle de la station de Ouenza (1987-2012) [STAMBOULI, 2017]

**Figure 21** : Pourcentage de la répartition saisonnière des précipitations pour une période (1987-2012) [STAMBOULI, 2017]

**Figure 22** : Température moyenne annuelle de la station de Tébessa (1987-2012). [STAMBOULI, 2017]

**Figure 23** : Température moyenne mensuelle de la station de Tébessa (1987-2012). [STAMBOULI, 2017]

**Figure 24** : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne. [STAMBOULI, 2017]

**Figure 25** : Diagramme Ombrothermique de la station de Tébessa. [STAMBOULI, 2017]

**Figure 26** : Situation de la zone d'étude prospection électrique (C.G.G 1970).

[In stambouli,2017]

**Figure 27** : Situation des sondages électriques (C.G.G 1970). [In stambouli,2017]

**Figure 28** : Carte des résistivités en ligne AB = 2000 m (C.G.G 1970). [In stambouli,2017]

**Figure 29** : La carte du toit des calcaires de l'Albien moyen (C.G.G 1970). [In stambouli,2017]

**Figure 30** : Profils géo électriques (coupes transversales) (C.G.G 1970). [In Stambouli, 2017].

**Figure 31** : Carte d'inventaire des points d'eau à travers la région d'étude [Stambouli, 2017].

**Figure 32** : Carte piézométrique de la zone d'étude (Mai 2016). [Stambouli, 2017].

**Figure 33** : Carte géologique de Hammam Sidi Yahia Source : extrait de la carte géologique de Souk Ahras au 1/200 000. [H.DIB].

**Figure 34** : figure schématique de la source thermale de Sidi Yahia.

**Figure 35** : photo satellite 3D de la source thermale Source : Google Earth

**Figure 36** : Représentation graphique des faciès chimiques Diagramme de Piper (Source thermale de Sidi Yahia).

**Figure 37** : Représentation graphique des faciès chimiques Diagramme de Schoeller–Berkaloff (Source thermale Sidi Yahia).

## LISTE DES TABLEAUX

**Tableau 1 :** Classification des eaux thermo minérales d'après leur composition chimiques.

**Tableau 2 :** Composition chimiques de quelques sources thermo minérales de France et d'Algérie, exprimée en quantité en réaction pour cent.

**Tableau 03 :** précipitations saisonnières. [STAMBOULI, 2017]

**Tableau 04 :** Températures moyennes annuelles. [STAMBOULI, 2017]

**Tableau 05 :** Température moyenne mensuelle de la station de Tébessa (1987-2012). [STAMBOULI, 2017]

**Tableau 06 :** Indice d'aridité annuel de De Martonne. [STAMBOULI, 2017]

**Tableau 07:** Calcul de l'ETP selon la méthode de Thornthwaite à la station de Tébessa Période (1982-2012). [STAMBOULI, 2017]

**Tableau 08 :** Evapotranspiration réelle (méthode de Turc). [STAMBOULI, 2017]

**Tableau 09 :** Bilan hydrologique selon Thornthwaite de la station de Tébessa pour la période (1982/2012). [STAMBOULI, 2017]

**Tableau 10 :** Synthèse des aquifère [Stambouli, 2017]

**Tableau 11 :** Inventaires des forages réalisés dans la zone. [Stambouli, 2017]

**Tableau 12 :** Nature des formations rencontrées. [Stambouli, 2017].

**Tableau 13 :** guide pratique des sources thermales de l'Est algérien.

**Tableau 14 :** Résultats des analyses physico-chimiques de la source.

**Tableau 15 :** Résultats des analyses de la composition des minéraux.

## **LISTE DES ABREVIATIONS ET DES PARAMETRES**

### **A**

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

**AIH** : Association Internationale des Hydrogéologues

**ANB** : Agence Nationale des Barrages

### **B**

**BI** : Balance Ionique

### **C**

**CDER** : Centre Des Energies Renouvelables

**C.G.G** : Compagnie Générale de Géophysique

**CE** : La Conductivité Electrique

### **D**

**DEF** : Déficit Agricole (mm)

**DHW** : Direction d'Hydraulique de la Wilaya

### **E**

**ETP** : Evapotranspiration Potentielle (mm)

**ETR** : Evapotranspiration Réelle (mm)

### **I**

**I** : infiltration de l'eau dans le sol (mm)

### **K**

**K** : Perméabilité (m/s)

### **M**

**MRE** : Ministère des Ressources en Eau

### **P**

**PH** : Potentiel Hydrogène

### **R**

**R** : Ruissellement (mm)

**RFU** : Réserve Facilement Utilisable (mm)

### **S**

**S.E** : Sondage Electrique

**SI** : Indice de Saturation

**T**

**T** : Température (°C)

**T** : Transmissivité (m<sup>2</sup>/s)

**TDS** : Total Dissolved Salt (mg/l)

**Ts** : est la température moyenne du griffon en degrés C

**G**

**gT** : le gradient géothermique en mètres.

**Q**

**Q** : est le débit de la source par minute

**R**

**r** : la radioactivité de la source

# SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	01
----------------------------	----

## Partie I : Etude bibliographiques des sources thermo-minérales en Algérie

### CHAPITRE I : Historique des eaux thermo minérales

I-Introduction.....	04
---------------------	----

II-Historique des sources Thermales en Algérie.....	04
---	----

### Chapitre II : Conditions Hydrogéologiques d'émergence des sources thermo-minérales

I-Quelques Définition.....	07
----------------------------	----

I-1-Eau thermale.....	07
-----------------------	----

I-2-Eau minérale.....	07
-----------------------	----

I-3-Eau thermo minérale.....	07
------------------------------	----

II-L 'aire d'émergences hydrominérales.....	07
---	----

II-1-Diaclases et fissures fines.....	09
---------------------------------------	----

II-2-Failles et zones de broyage.....	09
---------------------------------------	----

II-3-Contacts géologiques.....	10
--------------------------------	----

II-4-Filons et dykes éruptifs.....	11
------------------------------------	----

II-5-Filons métallifères.....	11
-------------------------------	----

III-Localisation des émergences d'eaux thermo-minérales.....	12
--	----

III-1-Pression piézométrique.....	13
-----------------------------------	----

III-2-Expansion de la vapeur d'eau.....	13
---	----

III-3-Action des gaz occlus et dissous.....	13
---	----

III-4-Action de la température.....	14
-------------------------------------	----

### Chapitre III : Conditions Hydrogéochimique d'émergence des sources thermo-minérales

I-Caractéristiques physico-chimiques des eaux thermo-minérales.....	16
---	----

I-1-Géochimie des eaux thermo minérales.....	16
--	----

I-2-Représentation et interprétation des résultats d'analyses.....	18
--	----

I-2-a-Milliéquivalent.....	18
----------------------------	----

I-2-b-Présentation graphique des analyses chimiques.....	19
--	----

II-Originé des sels dissous dans les eaux thermo-minérales.....	19
---	----

---

II-1-Origine Exogène.....	19
II-1-a-Lessivage des terrains.....	19
II-2-Origine endogène.....	20
III-Gaz des eaux thermo-minérales.....	21
III-1-Rôle des gaz.....	21
III-2-Origine des gaz.....	21
III-4-Origine endogène.....	21
IV-Température des eaux thermo minérales.....	21
IV-1-Origine de la température des eaux thermo minérales.....	22
IV-1-a-Gradient géothermique.....	22
IV-2-b-Volcanisme.....	22
IV-3-c-Réactions physico-chimiques.....	23
V-Radioactivité des eaux thermo minérales.....	23
V-1-Origine de la radioactivité des eaux thermo minérales.....	23
V-1-a-Radioactivité naturelle des roches.....	24
V-1-b-Bombardement de particules x sur le corps dissous.....	24
IV-Paramètres physico-chimiques des eaux thermo-minérales.....	24
IV-1-Substances mal connues.....	24
IV-2-Dépôts formés par les eaux thermo-minérales.....	24
IV-Classification des eaux thermo minérales.....	25
IV-1-Description des principaux types.....	26
IV-1-a-Eaux bicarbonatées.....	27
IV-1-b-Eaux chlorurées sodiques.....	27
IV-1-c-Eaux sulfatées.....	28
IV-2-Classification des eaux thermo-minérales d'après la température.....	29
IV-3-Origine Des Eaux Thermo minérales.....	29
IV-3-a-Origine météorique des eaux thermo-minérales.....	30
IV-3-b-Origine juvénile des eaux thermo-minérales.....	31
IV-3-c-Origine mixte des eaux thermo-minérales.....	32



## Partie II

### Etude des conditions d'émergence de la source Sidi Yahia El Meridj Ouenza

#### CHAPITRES I : Situation géographique

I-Situation géographique.....	34
II-Situation géographique de la source Sidi Yahia.....	36

#### CHAPITRE II : Géologie de la région d'étude

I-Introduction.....	38
II-Description sommaire des terrains sédimentaires.....	38
III-Roches Eruptives.....	45
IV-Indications locales.....	45
IV-1-Djebel Ouenza.....	45
IV-2-Djebel Méridéf.....	46
IV-3-Djebel Harraba.....	46
IV-4-Anticlinal de Emmbarka.....	46
IV-5-Djebel Def .....	46
IV-6-Couverture N.W. du Dj. Ouenza.....	46
IV-7-Effondrement Beni Barber Zone triasique N.E. de l'Ouenza.....	47
IV-8-La région du Ragoub et Fayala .....	47
IV-9-Le bassin miocène de l'Oulija .....	47
IV-10-La région de l'El Guessaat .....	47
IV-11-Les plaines-frontières Algéro-Tunisiennes.....	49
V-Tectonique .....	49
VI-Minerais et substances utiles.....	52
VII-Régimes des eaux .....	53
VIII-Hydrogéologie Et Stratigraphie.....	53
VIII-1-Formations perméables .....	53
VIII-2-Formations imperméables.....	55

### CHAPITRE III : Climatologie

I-Introduction.....	57
II-Etude Des Précipitations .....	57
II-1-Variation de la pluviométrie annuelle.....	57
II-2-Variation de la pluviométrie mensuelle.....	58
II-3-Etude de la pluviométrie saisonnière .....	58
III-Etude Des Températures.....	59
III-1-Les températures annuelles.....	59
III-2-Températures moyennes mensuelles.....	60
III-3-Les indices thermiques.....	61
III-3-a-Indice de Martonne.....	61
III-3-b-Diagramme pluviothermique de Gaussen et Bagnouls.....	62
IV-Bilan hydrique.....	63
IV-1-L'évapotranspiration.....	63
IV-1-a-L'évapotranspiration réelle (ETR).....	63
IV-1-b-L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	64
IV-2-Calcul du déficit agricole.....	65
IV-3-calcul du bilan hydrique.....	65
V-Conclusion.....	68

### CHAPITRE IV : Hydrogéologie

#### Apport de l'étude géophysique dans l'identification des conditions hydrogéologique d'émergence de la source thermique Sidi Yahia

I-Introduction.....	69
II-Interprétation des résultats obtenus .....	70
II-1-Echelle des résistivités.....	70
II-2-Examen des résistivités.....	71

---

II-3-Synthèse des aquifères.....	78
III-Apports Des Sondages Mécaniques.....	78
III-1-Inventaires des forages réalisés dans la zone d'étude.....	78
IV-Etude Hydrogéologique.....	79
IV-1-Carte piézométrique.....	79
IV-1-a-Inventaire des points d'eau.....	79
IV-1-b-Carte Piézométrique.....	79
V-Conditions d'émergence de la source.....	81
VI-Conclusion.....	83

## **CHAPITRE V : Hydrochimie**

I-Introduction .....	84
II-Quelques définitions .....	85
II-1-D'après Vincent Valles.....	85
II-2-D'après Hénia Dib.....	86
III-Les deux types d'eaux thermales fréquentes.....	88
III-1-Les eaux carbogazeuses.....	88
III-2-Les eaux Sulfurées.....	89
IV-L 'altération des caractéristiques physico –chimiques des eaux à leur remontée.....	89
IV-1-Le refroidissement : (précipitation minérale, changement des équilibres chimiques) ...	89
VI-2-Le mélange avec les eaux de surface (effet de dilution) .....	90
VI-3-La recharge ou la perte en gaz (O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> ...) .....	90
VI-4-La baisse de pression.....	90
V-Propriétés physico-chimiques de la source thermique Sidi Yahia.....	91
VI-Les analyses physico-chimiques de l'eau de la source.....	91

---

VII-Classification chimique des eaux.....	92
VII -1-Diagramme de Piper.....	92
VII 2-Diagramme de Schoeller – Berkaloff.....	93
VIII-Conclusion.....	95

### **Chapitre VI : Hydrothérapie des eaux thermo-minérales**

I-Introduction.....	96
II-Historique de la thérapie par les eaux thermo minérales.....	96
II-1-Les principaux soins et leurs et effets.....	97
II-2-Les propriétés thérapeutiques.....	100
III-Conclusion.....	103
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>104</b>

### **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

### **ANNEXES**

## Résumé :

L'Algérie compte environ deux cent (200) sources thermo-minérales réparties sur le territoire national. L'existence d'une telle richesse importante exige une action satisfaisante et intégrée entre les principaux secteurs de l'état. La région du Nord Est Algérien constitue le siège de la majorité de ces sources thermales vue sa complexité géologique et structurale et qui prennent naissance, généralement, sur des structures coupées par des réseaux de failles directionnelles.

La Wilaya de Tébessa, de son côté, renferme deux sources thermo-minérales très connues depuis l'époque romaine ce sont :

- La source thermo-minérale de Sidi Yahia situé dans la région El Meridj-Ouenza (NE de la Wilaya de Tébessa) ;
- La source thermo-minérale de Hammam Youkous Les Bains situé dans la région de Hammamet (Ouest de la Wilaya de Tébessa).

L'analyse des données géologiques, géophysiques et hydrogéologique qui ont été réalisées sur la région d'étude, nous ont permis de repérer les conditions d'émergence de la source thermale de Sidi Yahia. Elle est émergée suite à une faille de direction NW-SE (F2). Le Hammam est alimenté par une source qui se trouve en amont. Cette source est tiède et très sulfureuse qui dépose une croûte travertineuse. Sa température égale 35°C, sa minéralisation totale égale 10735 mg/l confirme l'origine de son alimentation qui est influencé par les terrains triasiques très abondant dans la région d'Ouenza.

## ملخص

الجزائر لديها حوالي مائتي (200) مصدر حراري معدني منتشر على التراب الوطني. يتطلب وجود مثل هذه الثروة الكبيرة اتخاذ إجراءات مرضية ومتكاملة بين القطاعات الرئيسية للدولة. تشكل منطقة شمال شرق الجزائر مقر غالبية هذه الينابيع الحرارية بالنظر إلى تعقيدها الجيولوجي والهيكلية الذي ينشأ بشكل عام على الهياكل التي تقطعها شبكات الأعطال الاتجاهية.

من جهة أخرى، تحتوي ولاية تبسة على مصدرين حراريين معدنيين معروفين جيداً منذ العصر الروماني وهما:

- ينبوع سيدي يحيى المعدني الحراري الواقع في منطقة المريج - ونزة (شمال ولاية تبسة)؛
- الينابيع المعدنية الحرارية في حمام يوكوس تقع في منطقة الحمامات (غرب ولاية تبسة).

سمح لنا تحليل البيانات الجيولوجية والجيوفيزيائية والهيكلية التي تم إجراؤها في منطقة الدراسة بتحديد ظروف ظهور الينابيع الحرارية في سيدي يحيى. ظهرت بعد خطأ اتجاه (NW-SE (F2 يتغذى الحمام من مصدر منبع. هذا المصدر دافئ وكيريتي للغاية مما يؤدي إلى ترسبات قشرة الترا فرتين. درجة حرارته تساوي 35 درجة مئوية، وتمعدنه الإجمالي يساوي 10735 ملغم / لتر يؤكد أصل نظامه الغذائي الذي يتأثر بالتضاريس الترياسية الوفيرة للغاية في منطقة ونزة.

## **Abstract**

Algeria has about two hundred (200) thermo-mineral sources spread over the national territory. The existence of such a significant wealth requires satisfying and integrated action between the main sectors of the state. The region of North East Algeria constitutes the seat of the majority of these thermal springs considering its geological and structural complexity and which arise, generally, on structures cut by networks of directional faults.

The Wilaya of Tébessa, for its part, contains two thermo-mineral sources very well known since Roman times, these are:

- The Sidi Yahia thermo-mineral spring located in the El Meridj-Ouenza region (NE of the Tébessa Wilaya);
- The thermo-mineral spring of Hammam Youkous Les Bains located in the region of Hammamet (West of the Wilaya of Tébessa).

The analysis of the geological, geophysical and hydrogeological data which were carried out on the study area, allowed us to identify the conditions of emergence of the thermal spring of Sidi Yahia. It emerged following a NW-SE (F2) direction fault. The Hammam is fed by a source which is upstream. This source is warm and very sulfurous which deposits a travertine crust. Its temperature equals 35 ° C, its total mineralization equals 10735 mg / l confirms the origin of its diet which is influenced by the very abundant Triassic terrains in the Ouenza region.

# **Introduction générale**



## Introduction générale

L'eau est la base de toute forme de vie, elle est le deuxième besoin vital pour notre organisme. Or dans notre planète il y a 97% des réserves d'eau sont salées et que 3% d'eau douce. Elle invente naturellement un vaste réseau de connections : elle est liée aux autres ressources naturelles (sol, forêt, biodiversité, etc.). L'eau est à la fois internationale, nationale, régionale et locale, elle occupe des échelles de temps et d'espace variées. Ce réseau complexe ne facilite pas la mise en place de mesures de gestion appropriées.

L'hydrogéologie se préoccupe de la prospection, de l'exploitation, de la gestion et de la protection des eaux souterraines. C'est à l'hydrogéologue qu'incombe à la compréhension du comportement hydraulique des bassins, la gestion des ressources en eau, l'alimentation en eau potable, agricole et industrielle et le maintien ou la réhabilitation de la qualité de notre environnement.

La dénomination d'eau minérale est réservée très souvent aux eaux douées de propriétés thérapeutiques et utilisées conformément à des règles qui garantissent leur pureté bactériologique et la stabilité de leur composition chimique. Ce patrimoine naturel le plus précieux de l'humanité, est très inégalement réparti dans le monde pour des raisons climatiques, et structurales. Le traitement thermal combine la boisson et le bain employant les eaux auxquelles on prête des vertus curatives. Les eaux minérales renferment des quantités notables de sels en solution (carbonate ou sulfate de calcium, chlorure de sodium, fer, magnésium, sulfures, traces d'oligo-éléments, dont le lithium). Certaines sont gazeuses : le taux d'hydrogène sulfuré est la plupart du temps faible, alors que le gaz carbonique est souvent abondant (eaux effervescentes). Ces eaux peuvent avoir pour origine la remontée en surface, par le jeu de failles dans les structures géologiques, d'eaux de pluie infiltrées à très grande profondeur ou la condensation de vapeurs émises par le volcanisme, alimentant sources chaudes ou geysers  
**[Encyclopaedia Universalis 2015]**

L'existence d'un patrimoine important deux cent (200) sources thermo-minérales sont dénombrées sur l'ensemble du territoire nationale exige une action concertée et intégrée entre les principaux secteurs que sont les collectivités locales, les structures de la santé, du tourisme, l'Energie et des Mines ainsi que celles des Ressources en Eaux. L'assistance du ministère de

Culture serait également d'une grande utilité pour la protection des sites archéologiques et ce qui reste des thermes romains [Dib,H, 2008]

La région du Nord Est Algérien est connue par sa complexité géologique et structurale constitue le siège de plusieurs sources thermales, leur apparition datant de l'époque romaine probablement en 1838 par le pharmacien Tripier, aide-major de l'armée française comme le mentionne le site de El-watane.com et exploité sous forme de hammam populaire.

Les sources thermales dans la région de Guelma (comme hammam Debagh, Ouled Ali, bradaa...) prennent naissance sur des structures tronquées, par des réseaux de faille directionnelles donnant naissance à des couloirs tectoniques. La Wilaya de Tébessa de son côté est dotée de deux sources thermo-minérales très connues depuis l'époque romaine ce sont :

- La source thermo-minérale de Sidi Yahia situé dans la région El Meridj-Ouenza (NE de la Wilaya de Tébessa) ;
- La source thermo-minérale de Draa El Hammam situé dans la région de Hammamet (NW de la Wilaya de Tébessa)

### **Objectifs d'étude :**

Comme dans toutes les régions de l'Afrique du Nord, notamment du Maghreb, la région du grand bassin de Mellègue a connu au cours des dernières années une sécheresse très intense et persistante. Cette sécheresse est caractérisée par un déficit pluviométrique considérable, a eu un impact négatif sur les régimes d'écoulement des oueds et des sources minérales et même thermales et sur l'alimentation des nappes aquifères. Ce déficit hydro-pluviométrique s'est répercuté sur l'ensemble des activités socio-économiques de cette région.

Devant la gravité de cette situation qui intervient à une période où les besoins en eau pour les différents secteurs sont considérablement accrus, et dans le cadre de la nouvelle politique nationale de gestion des ressources hydriques, les autorités locales ont interpellé les gestionnaires afin d'étudier l'ampleur et l'extension du phénomène, ses conséquences et les stratégies à mettre en œuvre pour atténuer ses effets.

A cet effet et dans le cadre de la stratégie globale de maîtrise et de mobilisation des ressources hydriques dont les eaux des sources minérales et thermo-minérales, il nous a été confié ce projet d'étude afin de définir les conditions géologiques, structurales et physico-

chimiques de l'émergence de la source thermo-minérales de SIDI YAHIA situé dans la région El Meridj-Ouenza. Ce travail fait partie d'un projet de recherche en cours, Intitulé : Caractérisation géologique, hydrogéochimique, vulnérabilité à la pollution, protection et gestion active des systèmes aquifères des régions semi-arides (Nord-Est Algérien) (PRFU agréé le 01/01/2018 sous code : E04N01UN120120180002

La tâche principale qui nous a été limitée par notre encadreur, est de trouver, à partir d'un suivi continu durant trois mois de la période Hautes Eaux du cycle hydrologique 2019-2020, une synthèse préliminaire sur la variabilité d'écoulement et du chimisme de l'eau de cette source. Malheureusement, vu les conditions défavorables de confinement générale du pays à cause de la pandémie de COVID-19, qui a été appliqué depuis le 12 Mars 2020 jusqu'au 13 Juin 2020 nous n'avons pas pu réaliser cette tâche comme prévu. D'un autre coté, nous avons pu faire une recherche bibliographique très vaste et nous avons pu récolter quelques informations et quelques échantillons d'eau et essayer d'avoir une réponse logique sur les conditions d'émergence de la source thermo-minérale de SIDI YAHIA.

**La méthodologie d'étude adoptée se présente en deux grandes parties :**

Dans la première partie, nous présenterons une synthèse bibliographique sur le thermalisme dans le monde et ses caractéristiques hydrogéologiques et physico-chimiques ; et le développement des sources thermo-minérales en Algérie.

Dans la deuxième partie, nous présenterons dans un contexte général des aperçues géologiques, hydro-climatologiques, hydrogéologiques, géophysiques et hydro chimiques de l'ensemble de la région et les conditions d'émergence de la source thermo-minérale de SIDI YAHIA ;

Finalement, nous donnerons une conclusion générale dans laquelle, nous remettrons en évidence les synthèses trouvées d'une part, et nous soulèverons les difficultés rencontrées en suggérant, dans le cas d'une étude approfondie, un plan de travail complémentaire, d'une autre part.

**Partie I : Etude bibliographiques des sources thermo-  
minérales en Algérie**

**CHAPITRE I :**  
**Historique des eaux thermo minérales**

## **I-Introduction :**

Une source est dite thermo minérale lorsque sa température est supérieure de plus de 5°C de la température moyenne de la zone d'émergence. La plupart des eaux minérales ont une radioactivité temporaire (corps radioactifs à courte durée de vie tels que le radon) et/ou permanente (sels de radium dissous), qui proviennent de la radioactivité naturelle des roches plutoniques, telles que le granite, ou de certaines roches sédimentaires. (<https://www.universalis.fr>)

Les eaux thermales sont des eaux qui sont recueillies directement à leurs sources, qui sont des sources souterraines. Ces eaux contiennent naturellement de nombreux minéraux et oligo-éléments dont la nature et la quantité varie d'une région à l'autre, puisque chaque région est réputée pour sa composition spécifique. (<https://www.universalis.fr>)

## **II-Historique des sources Thermales en Algérie :**

L'histoire du thermalisme en Algérie remonte au-delà de néolithique, la découverte à Hammam Meskhoutine de trois stèles à figures naïves montre qu'il existait un établissement balnéaire à cet endroit et ce, dès l'époque punique. Les traces retrouvées dans les stations thermales remontent à l'époque romaine. En effet les romains accordaient une importance très particulière aux sources thermales, très souvent ils construisirent leurs sites autour de ces sources, comme c'est le cas pour les sites suivants : Aquae Mauretaniae Cesarienne (Hammam Righa) ; Aquae Sirenses (Hammam Bouhanifia) ; Aquae Chibilita Nae (Hammam Meskoutine). (Dib, H. 2008)

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

Les Turcs aussi très amateurs des bains chauds construisirent dans les villes plusieurs bains avec des installations permettant le stockage de l'eau de source. Pendant l'époque coloniale les français construisirent des hôpitaux thermaux autour des sources pour y soigner les blessés et convalescents. Aujourd'hui comme dans le passé les stations thermales sont très sollicitées par les algériens pour divers traitements d'ordre rhumatologique, dermatologique et psychiatrique. (S. OUALI 2008)

En 1823, la mise en place d'une réglementation portant sur des données médicales précises pour la première fois, le 21 septembre 1842, est la date d'agrément des bains de la Reine à Oran et celle de Hammam Meskhoutine le 12 décembre 1862.

Le programme d'exploration des ressources thermales en Algérie a débuté par plusieurs études, (Ville. M 1852) publie ses travaux sur « Recherche sur les roches, les eaux et les gites minéraux des provinces d'Oran et d'Alger », suivi par une notice en 1889 sur « Les sources thermales et minérales d'Algérie ». (Bails. J 1888) publie une notice sur « Les sources thermales et minérales du département d'Oran », le docteur Trolard devait établir le rapport de synthèse qui fait état de quatre-vingt-treize sources, ce travail sera confié au professeur Hanriot en 1911 et publie son travail intitulé « Les eaux minérales de l'Algérie ». Pouget. I et Chouchak. D (Pouget. I & Chouchak. D 1923, 1926) éditent une étude très détaillée sur la radioactivité des eaux algériennes pour les trois provinces d'Oran, Alger et Constantine. (Guigue. S 1940, 1947) étudie les principales sources thermales et publie dans le cadre de la carte géologique de l'Algérie (35 sources et 75 griffons) portant sur la géochimie des sources thermominérales. On cite aussi les travaux de Cornet 1964, en 1966 la compagnie (EURAFREP 1966) avec la participation de Cormy. G, Demians D'aurchimbaud. J (Cormy & Demians d'Archimbaud 1970), Jacqmin. M.A, Facca. G en 1966, Marinelli. G et Tonani. F sous la direction de la société nationale de pétrole SONATRACH commence réellement la recherche liée au géothermalisme dans le nord-est algérien. En 1974, les travaux des recherches du médecin Laissoub. B donne une nouvelle synthèse sur le thermalisme de l'Oranie. (Verdeil 1974) publie la carte sur les eaux minérales, thermales et thermominérales de l'Algérie au congrès de l'A.I.H (Association Internationale des Hydrogéologues), ce travail suivi par plusieurs publications la plus importante est celle publiée dans la revue de Journal of Hydrology en 1982 intitulé « Algerian thermalism in its geostuctural setting, how hydrogeology has helped in elucidation of Algeria's deep-seated structure » (Verdeil 1982) traite le thermalisme algérien dans son cadre géostructural. En 1982, la société nationale d'énergie électrique SONELGAZ a commencé les études de reconnaissance géothermique des régions nord et nord-est du pays en association avec la société italienne ENEL (ENEL 1982). Dans la première étape, les études géothermiques portaient principalement sur la partie nord-est de l'Algérie. À partir de 1983, la recherche sur la géothermie a été reprise par le Centre Des Energies Renouvelables d'Algérie (CDER) et le programme a été étendu à l'ensemble de la partie nord du pays. On note aussi des travaux inestimables par plusieurs auteurs comme (Dib 1985) soutient sa thèse de doctorat de 3ème cycle « Le thermalisme de l'Est algérien » avec un inventaire 51 sources, dont 27 sources

thermales ont fait l'objet d'une étude détaillée et qui reste une référence indispensable pour les études de thermalisme en Algérie, et suivi par un ouvrage en 2008 très important aussi qui constitue une mise à jours des données physico-chimiques des eaux thermales intitulé « Guide pratique des sources thermales de l'Est algérien » (Dib 2008), Rezig. M (Rezig 1991) avec sa thèse de doctorat intitulée « Etude géothermique du Nord Est de l'Algérie », Issaâdi en 1992 soutient sa thèse de doctorat d'état « Le thermalisme dans son cadre géostructural. Apports à la connaissance de l'Algérie profonde et de ressource géothermales » (Issaâdi. A 1992), Haouchine (HAOUCHINE-BOUCHAREB F.Z. 2012), Ouali. S, 2015 (Ouali. S 2015), Saibi Hakim (Saibi 2009), Belhai. M.A (Belhai et al. 2016 ; Belhai et al. 2017) Bekkouche M.F. 2016, Djemmal. S 2018, participent également à la présentation de thermalisme et ses mécanismes géologiques et tectoniques complexes dans le nord de l'Algérie [BOUAICHA F ; 2018].

Il existe sur le territoire algérien plus de 200 sources thermales d'après les études réalisées à ce sujet, ce nombre croit régulièrement quand on se déplace vers l'Est. Les températures mesurées à l'émergence varient de 19°C à Ben Haroune à 98 °C à Hammam Meskoutine.

La minéralisation des eaux est déterminée surtout par la nature chimique et minéralogique des sédiments qu'elles traversent. Les sources thermales les plus minéralisées sont en relation directe avec les sédiments gypso-salins du Trias si répandu en Algérie, ce cas est rencontré à titre d'exemple à Hammam Melouane 29.42 gr/l, Hammam El Biban 15gr/l, Hammam Salhine 9 gr/l. (S. OUALI 2008)



**CHAPITRE II**  
**Conditions Hydrogéologiques d'émergence des**  
**sources thermo-minérales**

---

### **I-Quelques Définition :**

**I-1-Eau thermale :** Il s'agit d'une eau dont la température est supérieure à la température moyenne des eaux de nappe de la région. (Vincent Vales 2004 cours) Pour **Castany** (1967) une source est dite thermale si elle est de 5°C plus élevée que celle de l'air ambiant au point d'émergence tandis que le système européen considère une source thermale si sa température est supérieure à 20°C.

**Mr verdeil P.** a défini une caractérisation spécifique aux eaux thermales du nord de l'Algérie au vu de la température atmosphérique et selon « le concept que toute source qui émerge avec une température supérieure ou égale à 22°C est considérée comme thermale » Verdeil (1982) [SAMOUNE F,2011]

**I-2-Eau minérale :** Eau dont la composition chimique est recommandée pour une bonne santé. (Académie de Médecine française).

**I-3-Eau thermo minérale :** Eau naturelle douée de propriétés thérapeutiques particulières (**Castany G.1963**). Alors que pour Vincent Vallès (cours 2004), cette dénomination est parmi les terminologies qui ne sont pas reconnues.

### **II-L 'aire d'émergences hydrominérales :**

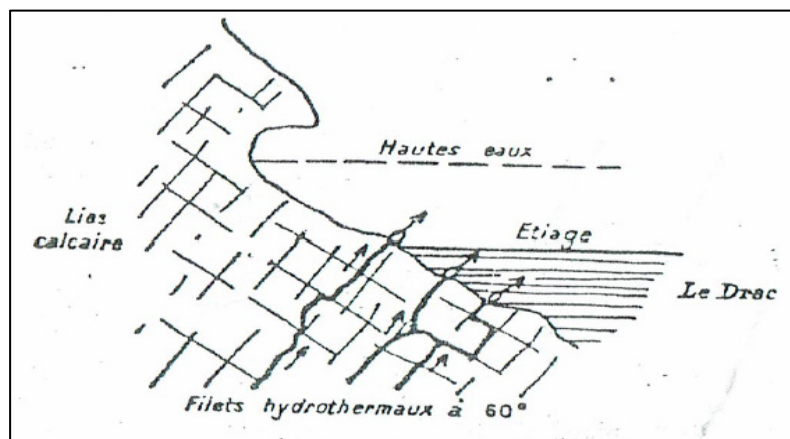
Les eaux thermo-minérales remontent en surface, le plus souvent, par des fractures et des fissures ouvertes, localisées dans une zone tectonique. Nous observons alors une aire d'émergences hydrominérales. « Souvent les auteurs ont utilisé, à tort, le terme impropre de bassin hydrominéral pour ce mode de gisement. Ce vocable doit être réservé exclusivement à une véritable nappe souterraine d'eaux thermo-minérales » [Castany, 1976] souvent les eaux des griffons du substratum se déversent et s'accumulent dans les couches superficielles de recouvrement forment alors une nappe phréatique. Mais il ne s'agit, dans ce cas que, d'une structure secondaire qui masque les couches du substratum de l'aire d'émergences. G. Castany, 1976 a insisté sur le fait qu'une, source d'eau thermo-minérale était liée essentiellement à une ascension rapide des eaux profondes. Cette condition impérative, mettant en évidence le rôle des fractures ouvertes, limite les types d'émergences à des structures bien particulières, moins variées que celles des eaux ordinaires.

Les types d'émergences des eaux thermo-minérales sont en relation étroite avec le mode de gisement. Dans les bassins hydrominéraux on observe des sources artésiennes. Les captages

sont effectués par forages profonds (exemple le cas de la source thermale de Hammamet, Tébessa, Algérie). Il s'agit donc d'une perméabilité de fissures. Les accidents favorables sont [Castany, 1976] :

- ✓ Les diaclases et fissures fines ;
- ✓ Les failles et les zones de broyage ;
- ✓ Les contacts géologiques ;
- ✓ Les filons et dykes éruptifs ;
- ✓ Les filons métallifères.

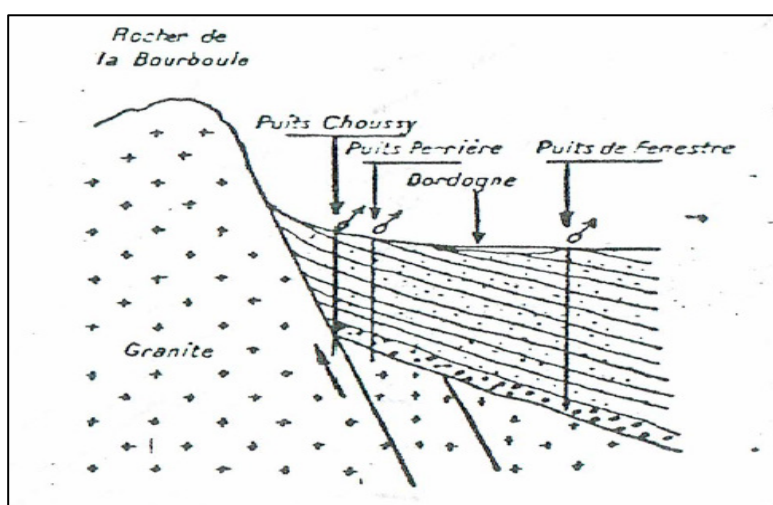
La présence de fissures et de fractures ne suffit pas. Encore faut-il que ces accidents soient ouverts. D'où la notion de fissuration active. Les études en géologie structurale ont montré que les accidents primitivement ouverts, Ou dégagés et élargis par la circulation des eaux souterraines, sont évidemment des lieux privilégiés d'échanges et qui peuvent s'obstruer par des dépôts minéraux C'est d'ailleurs sur ce principe qu'est basée l'hypothèse de l'origine Hydrothermale des gîtes minéraux où les fissurations anciennes peuvent être généralement colmatées, mais aussi réactivées par des phases tectoniques postérieures. C'est pourquoi les émergences d'eaux thermo-minérales se situent à l'intersection des différentes directions orogéniques et surtout dans les zones de mouvements. Récents. Nous ne manquerons pas de souligner ici l'analogie avec la localisation des secteurs minéralisés.



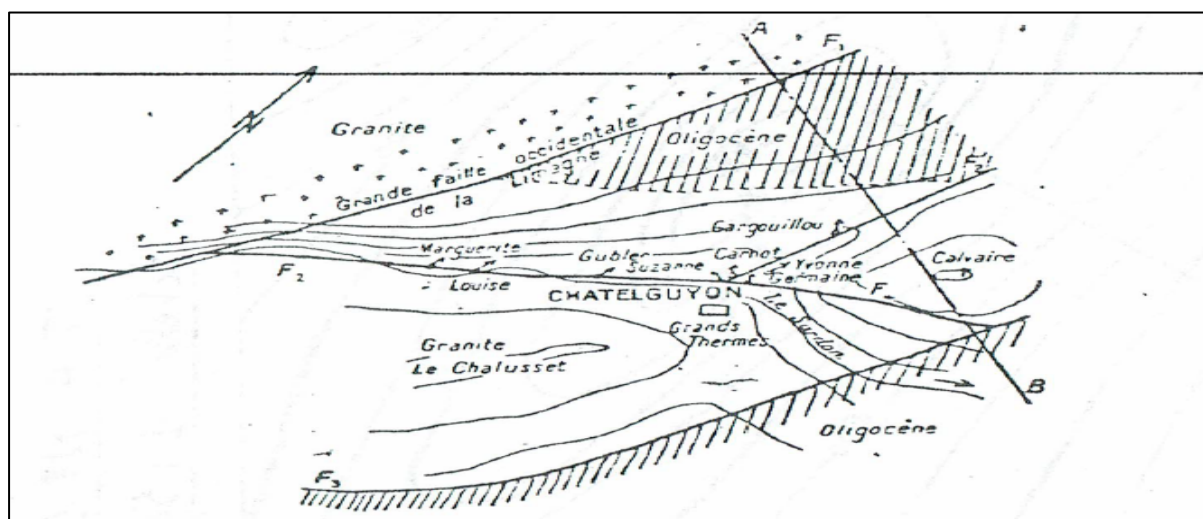
**Figure 01** : source de la Motte-les Bains. D'après L. MORET.

**II-1-Diaclases et fissures fines :** Elles sont rarement à l'origine de la circulation des eaux thermo-minérales.

**II-2-Failles et zones de broyage :** Les failles et les zones de broyage qui les accompagnent ou isolées, lorsqu'elles sont ouvertes, sont des voies de circulations naturelles pour les eaux thermo-minérales. C'est pourquoi les émergences sont souvent localisées et s'alignent sur les grandes fractures du socle. Nous citerons comme exemple le grand fossé subméridien de la Limagne dans le Massif Central avec, sur sa bordure occidentale, Royat, Châtelguyon et à l'Est, Châteldon. St-Yone, Vichy. Cusset. La Bourbon le, dans le Puy-de-Dôme (Fig.02), Bourbon-Lancy, St-Honoré-les-Bains.

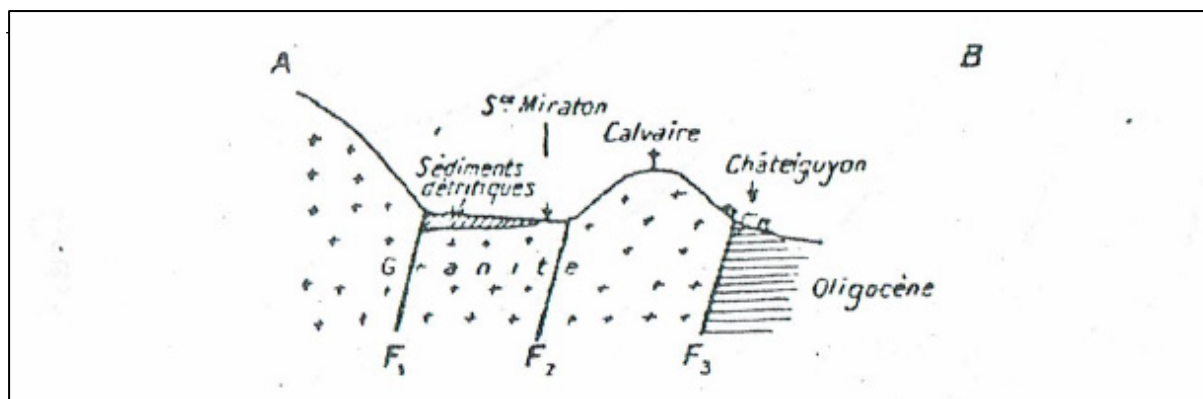


**Figure 02 :** les eaux thermo minérales de la Bourboule d'après Ph. GLANGEAUD.



**Figure 03 :** Schéma géologique de l'aire d'émergence hydrominérale de Châtelguyon.

D'après A. AUBIGNAT.



**Figure 04 :** Coupe de l'aire d'émergences hydrominérales de Châtelguyon. D'après Ph  
GLANGEAUD

Elle est localisée dans un champ de fractures avec failles satellite plus récentes. Dont la principale est F<sub>2</sub> (Fig.03et 04). Le point de digitation de F<sub>2</sub> et d'un petit accident F<sub>4</sub> correspond à de nombreuses émergences d'eaux chaudes et gazeuses. Nous noterons que toutes se situent, à l'intersection des fractures avec la dépression topographique de la vallée du Sardon. Le gisement hydrominéral est situé dans le socle granitique, masqué par un recouvrement de 10 à 40 m que percent les puits et forages de captage. La température oscille de 18 à 35 °C. Le débit d'ensemble est relativement stable, mais celui de chaque émergence varie, dans les conditions naturelles, de 0 à 375 l/mn, réglé par des conditions particulières d'écoulement et par les dégagements gazeux importants. Les eaux sont bicarbonatées magnésiennes avec CO<sub>2</sub> libre. L'importance des fractures a été reconnue dans de nombreux gîtes en France. De même, en Bulgarie, B. Spiriev (1960) a souligné le rôle des failles de distension et des grandes cassures. C'est également aux points de croisement d'accidents jeunes, quaternaires, pliocènes, oligocènes ou éocènes que se situent les griffons importants. Les émergences seraient d'autant plus abondantes que la fracture est plus jeune.

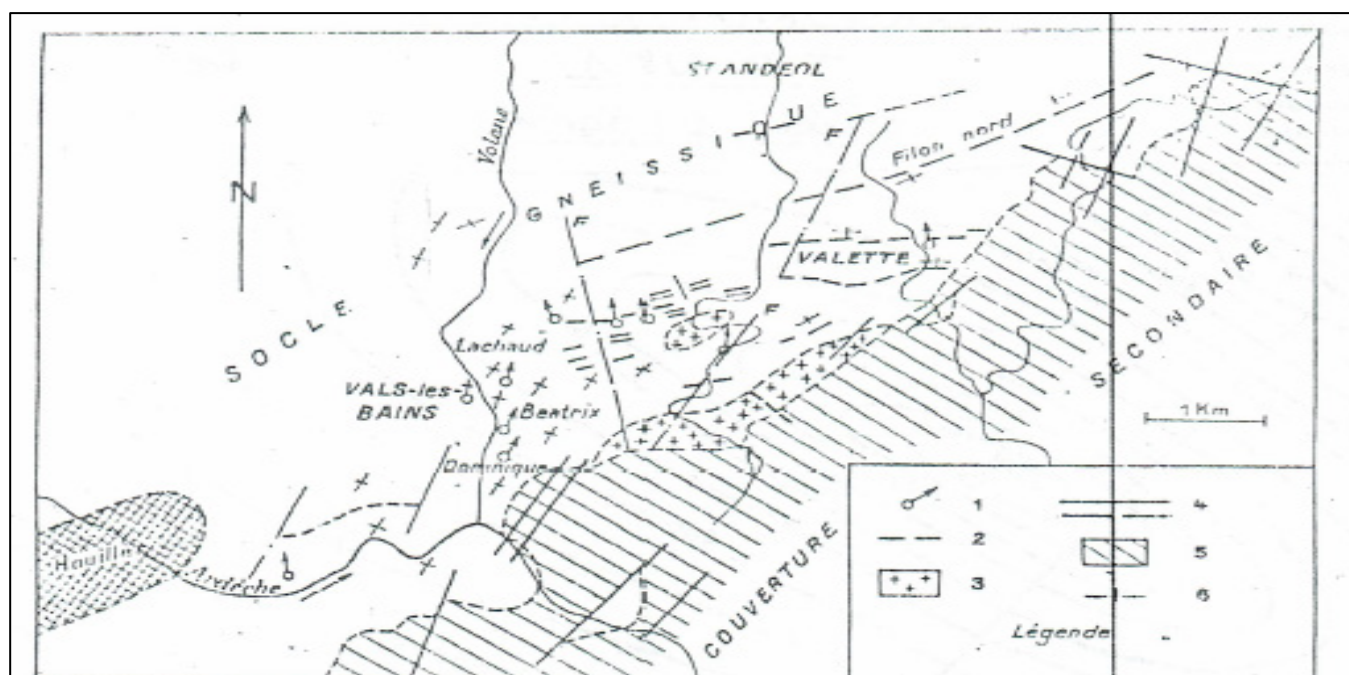
**II-3-Contacts géologiques :** Les contacts géologiques, entre les roches granitiques et les roches sédimentaires, sont fréquemment le lieu de circulations et d'émergences des eaux thermo-minérales. A Beaumont (sud-est du Massif Central), les sources minérales naissent au contact mécanique quartzifié entre les granites au nord et les micaschistes au sud (J. P. Destombes).

Enfin, signalons les griffons situés dans des grottes naturelles (E. A. Martel). Les plus typiques s'observent à Aix-les-Bains, San Stefano (Trieste), Monsummano (Toscane), Ganes (Styrie), Aldour (Algérie), Heriopolis (Asie Mineure). Mais ces gisements ont presque toujours des fissures ou fractures pour origine.

**II-4-Filons et dykes éruptifs :** Les filons et dykes éruptifs, qui recoupent les assises sédimentaires, favorisent la remontée rapide des eaux thermo-minérales. A Vais, par exemple, J. P. Destombes a observé la concordance des directions de filons de basaltes miocènes et quaternaires et des diaclases- à moffettes à CO<sub>2</sub>. Souvent dans les Pyrénées les eaux minérales émergent le long des dykes ou filons basaltiques.

**II-5-Filons métallifères :** Les filons métallifères sont fréquemment une voie privilégiée de venues des eaux thermo-minérales. C'est là, en somme, une survivance, de la circulation hydrothermale qui leur a souvent donné naissance, laquelle est remise en jeu par des accidents postérieurs. Nous noterons d'ailleurs que les filons correspondent souvent avec les grandes fractures du socle continuellement actives. Ils jouent un double rôle, d'une part hydraulique en favorisant l'ascension des eaux profondes vers la surface, chimique, d'autre part, par enrichissement dû à la dissolution de leurs substances minérales. Nous citerons comme exemple les filons de quartz de Vais (J. P. Destombes), de fluorine de St-Laurent-les-Bains (J. Avias). A Bourbon-l'Archambault les filons de quartz, fluorine et barytine dans les gneiss, donnent des eaux thermales à 53 °C. Les griffons de Plombières sont localisés sur des filons de quartz et de fluorine recoupant le granité.

Les eaux minérales sont d'origine profonde et vivifiées par le gaz carbonique d'origine volcanique. Elles sont du type bicarbonaté sodique. La variabilité dans le temps de leur concentration et de leur température est due à des pollutions par infiltration d'eaux de surface.



**Figure 05 :** esquisse géologique de l'aire d'émergence Vais-les-Latins

### III-Localisation des émergences d'eaux thermo-minérales :

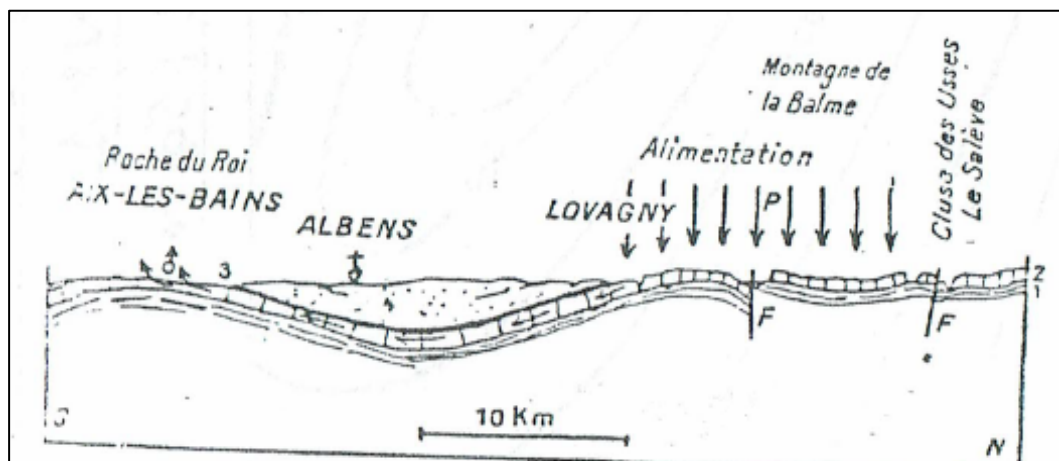
L'émergence type de venues d'eaux thermo-minérales est le griffon. Le griffon est situé à l'intersection d'une fissuration profonde et d'une surface topographique déprimée par laquelle l'eau ascendante monte au jour.

Les aires des émergences hydrominérales sont donc déterminées par deux conditions majeures :

- ✓ Une fracturation intense avec une ou plusieurs phases tectoniques dont la dernière, due à des mouvements récents, est souvent soulignée par une activité volcanique ;
- ✓ La présence de vallées ou de dépressions. Ce fait explique, entre autres, que les sources thermo-minérales sont presque exclusivement l'apanage des zones montagneuses.

Fréquemment les roches fissurées du substratum d'où émergent les eaux thermo-minérales sont recouvertes par des formations sédimentaires plus récentes qui masquent les véritables griffons. Si ces couches sont perméables les eaux s'y accumulent formant une nappe d'eaux minérales (exemple : Châtelguyon, Ax-les-Thermes). Ces assises peuvent être constituées par des dépôts d'origine externe : éluvions, colluvions, alluvions, arènes, etc., ou par des concrétions et encroûtements provenant de la précipitation des Sels dissous.

Très souvent d'ailleurs les précipités cimentent et colmatent les terrains perméables recouvrant le substratum, formant une véritable carapace protectrice qu'il faut percer pour l'exécution des captages [Castany, 1976]



**Figure 06 :** Alimentation et circulation souterraines des sources d'Aix-les Bains.

L'influence de facteurs hydrologiques et physiques dont les uns, comme la pression piézométrique, sont communs à toute circulation souterraine et les autres particuliers aux eaux profondes. Les plus importants parmi ces derniers sont :

- L'expansion de la vapeur d'eau ;
- L'action des gaz occlus et dissous ;



- L'action de la température.

### III-1-Pression piézométrique :

C'est la cause principale de la circulation des eaux souterraines thermo-minérales. Son action implique des zones d'alimentation plus élevées que les aires d'émergences ou d'accumulation. Elle intervient donc surtout pour les sources d'origine météorique.

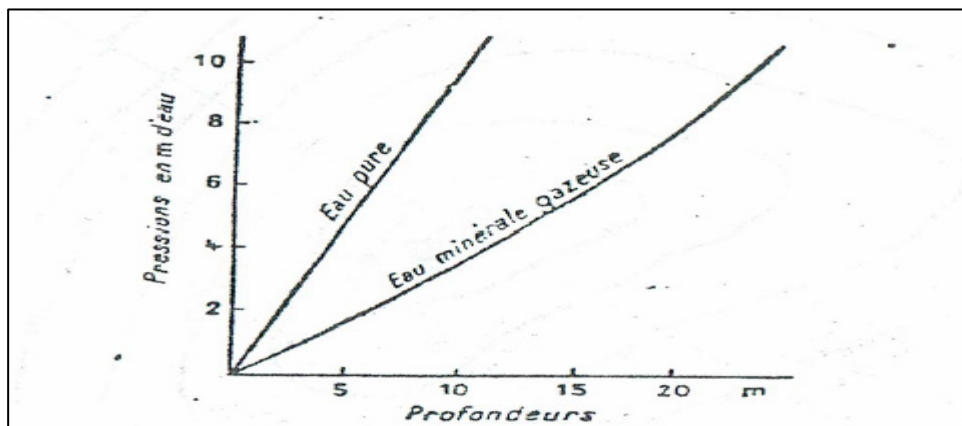
### III-2-Expansion de la vapeur d'eau :

Ce facteur physique, bien connu, joue un rôle essentiel dans le fonctionnement des geysers, soffioni et l'émergence des sources hyperthermales. Au contact des roches à haute température deux actions physiques s'ajoutent, celle de la vaporisation de l'eau et celle de sa dissociation avec fixation d'oxygène.

### III-3>Action des gaz occlus et dissous :

Les gaz occlus et dissous ont une double action physique et dynamique. D'une part, ils abaissent le poids spécifique de l'eau, qui par exemple, n'est que de 0,5 à Vichy-Célestins (A. Armand). La pression du gaz émulsionne l'eau et provoque son ascension comme dans un pompage à l'émulseur à air comprimé.

Les gaz dissous et occlus agissent sur la densité qui est alors fonction de la vitesse d'écoulement et du rapport des débits gazeux et liquide. Ils modifient donc la charge. A. Aubignat a étudié ce phénomène à Châtelguyon où il a montré que la densité de l'émulsion.



**Figure 07 :** Variation comparée de la charge avec la profondeur de l'eau pure et de l'eau minérale gazeuse de Châtelguyon d'après A. AUBIGNAT

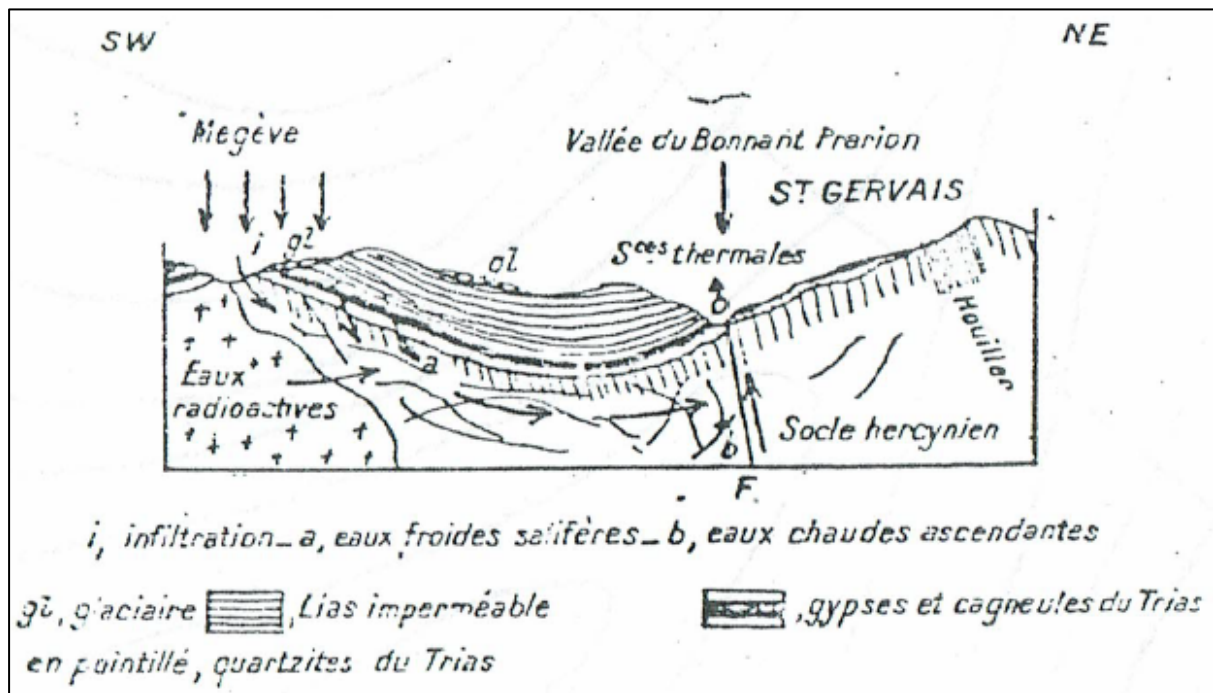


Diminue progressivement au fur et à mesure de son ascension dans le forage. Le rôle principal revient à deux gaz : le gaz carbonique et la vapeur d'eau, celui du premier étant prépondérant. Les carbures d'hydrogène interviennent parfois dans la zone particulière : zone pétrolifère (source de Sainte-Suzanne et de Gabian). Les caractéristiques hydrologiques de l'action des gaz dissous sont :

- ✓ L'irrégularité des débits ;
- ✓ La diminution des débits en général par diffusion et détente artificielle avec la multiplication des captages. Les débits totaux demeurant souvent relativement constants ;
- ✓ L'influence des fluctuations de la pression atmosphérique. Ainsi à Pougues-les-Eaux le niveau piézométrique de la source s'élève de 13 à 14 cm pour une baisse de la pression barométrique de 1 cm de mercure.

#### III-4-Action de la température :

La température agit par les variations de la masse spécifique de l'eau. La différence de densité entre l'eau froide et chaude provoque un phénomène bien connu de thermosiphon



**Figure 08 :** Circulation des eaux souterraines et origine des eaux thermo minérales de St-Gervais (Hte-Savoie). D'après L. MORET.

Comme le refroidissement est d'autant plus faible, que le débit est plus élevé, l'effet de thermosiphon croît avec le débit. Ainsi, à A Vichy, des fluctuations de débit de 5 à 28 l/mn correspondent respectivement à des variations de 57,5 à 66 °C. Mais il semble que ce phénomène ne soit pas fréquent. L'action de la viscosité pourrait être plus générale, agissant sur la vitesse d'écoulement de l'eau. Nous avons montré antérieurement que la viscosité de l'eau diminuant lorsque la température s'élève, le coefficient de perméabilité augmente ainsi que la vitesse d'écoulement.

## **CHAPITRE III**

### **Conditions Hydrogéochimique d'émergence des sources thermo-minérales**

**I-Caractéristiques physico-chimiques des eaux thermo-minérales :**

L'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux thermo-minérales portera sur [Castany, 1967] :

- La géochimie ;
- Les gaz ;
- La température ;
- La radioactivité ;
- Les paramètres physico-chimiques ;
- Les substances mal connues ;
- Les dépôts.

**I-1-Géochimie des eaux thermo minérales :**

Les eaux thermo-minérales, comme d'ailleurs les eaux ordinaires renferment des sels dissous dissociés, étant donné leur faible concentration sous forme d'ions, ions électropositifs ou cations et ions électronégatifs ou anions.

**I-1-a-Principaux anions :** parmi les anions nous noterons dans l'ordre d'importance Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, I<sup>-</sup> et F<sup>-</sup> :

- ✓ L'anion (Cl<sup>-</sup>) est le plus commun et provient de la dissociation des chlorures, NaCl et K Cl ;
- ✓ Le brome (Br<sup>-</sup>) est fréquent et souvent associé au potassium, au sodium et au magnésium. Il atteint quelques centigrammes par litre,
- ✓ Les sulfates (SO<sub>4</sub>) sont fréquents dans de nombreuses eaux thermo minérales ;
- ✓ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> est l'anion le plus répandu dans les eaux souterraines où il est rarement absent, souvent son excès donne des sources incrustantes ;
- ✓ L'iode (I<sup>-</sup>) est très répandu : Vichy, Plombières, Luchon, Bonbon-l Archambault
- ✓ Le fluor (F<sup>-</sup>) joue un rôle important dans les sources fluorées.

- ✓ L'arsenic (As) est fréquent à l'état d'ion  $\text{AsO}_4\text{H}$  à la boubole, Saint-Nectaire et le Mont-dore.

Schlquelle (bentlage) .....	243 mg/l
Challes-les-Eaux (savoie).....	96mg/l
Hammam et tellamerzoug (Tunisie) .....	68mg/l
Source de gavora (Roumanie) .....	44mg/l
Heilbrunn (bavière).....	25mg/l
Marienquelle (bavière).....	16mg/l
Korbous (Tunisie).....	14mg/l

### I-1-b-Principaux cations :

- ✓ Le cation sodium ( $\text{Na}^+$ ) est le plus répandu et rarement absent sa teneur est variable il est combiné à l'état de chlorures, bicarbonates, sulfure. Les chlorures dominant.
- ✓ Le potassium ( $\text{K}^+$ ) est également fréquent à l'état de sulfates, carbonates ou chlorures. Il est subordonné au sodium mais en plus faible quantité.
- ✓ Le lithium ( $\text{Li}^+$ ) toujours en petits quantités présente des caractères médicaux particuliers ; la source la plus riche en France est celle de Royat.
- ✓ Le calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ ) est le cation le plus fréquent car il est très courant dans les roches sédimentaires.
- ✓ Le magnésium ( $\text{Mg}^{+2}$ ) accompagne très souvent le calcium à l'état des carbonates, chlorures.
- ✓ Le fer ( $\text{Fe}^{+2}$ ) est fréquent dans toute la source, combinée en carbonate sulfates ou complexes organique.
- ✓ Le barium ( $\text{Ba}^{+2}$ ) le strontium ( $\text{St}^{+2}$ ) et l'aluminium ( $\text{Al}^{+3}$ ) sont plus rare.
- ✓ La présence de l'ammonium  $\text{Nh}_4^+$  est assez rare.
- ✓ L'acide silicique  $\text{H}_2\text{SiO}_2$  est fréquent dans les sources thermales chaudes carbonatées.
- ✓ Substance non électrolytes \_ des substances non dissociables s'ajoutent aux ions.

- ✓ L'acide borique  $\text{HBo}_2$  est abondant dans les siffioni de l'oscane et les geysers. Les eaux chlorurées sodique et sulfurées en renferment en petite quantité.
- ✓ Ces substances : silice, soufre, hydroxyde ferrique sont souvent à l'état colloïdal.

### **I-2-Représentation et interprétation des résultats d'analyses :**

Les représentations et l'interprétation des résultats des analyses chimiques des eaux thermo minérales sont communes avec ceux des eaux souterraines habituelles. Les résultats d'analyses sont en général donnés pour les principaux ions en milligrammes par litre. Le résidu sec exprimé le poids total des sels dissous.

Présentation des résultats d'analyses : ils peuvent être représentés sous trois formes :

- Reconstitution des sels dissous ;
- Formé ionique ;
- Milliéquivalent.

La reconstitution des sels dissous à partir des ions est un travail hypothétique on s'attache à reconstituer les sels les plus fréquent :  $\text{K Cl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{So}_4\text{Na}_2$ ,  $\text{So}_4\text{Mg}$ ,  $\text{Ca} (\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg} (\text{HCO}_3)_2$ . Pour réaliser cette opération on commence par le chlore que l'on unit en premier lieu au potassium ( $\text{K Cl}$ ), puis au sodium ( $\text{Na Cl}$ ) et éventuellement au magnésium et au calcium. Ensuite on associe le  $\text{So}_4$  avec le sodium qui n'a pas été utilisé par le chlore puis au calcium et au magnésium. Les reliquats de  $\text{Ca}$  et de  $\text{Mg}$  sont Unis à  $\text{Co}_3$  pour donner des bicarbonates  $\text{Ca} (\text{HCO}_3)_2$  et  $\text{Mg} (\text{HCO}_3)_2$ . Ces reconstitutions de sels dissous ne sont pas favorables à des interprétations précises.

La forme ionique présente simplement les ions groupés en anions et cations et le résidu sec, exprimé en mg/l, le pH et le degré hydrométrique.

**I-2-a-Milliéquivalent :** les études chimiques ont montré que la capacité chimique de réaction d'un élément en solution ne dépend pas de sa teneur en poids de sel dissous mais plutôt du nombre d'équivalents entrant en réaction. C'est pourquoi on exprime les résultats d'analyses en valence milligrammes par litres. Cette quantité est désignée par le terme de Milliéquivalent ou de millivalence. Le Milliéquivalent est obtenu en divisant le poids des éléments exprimés en milligrammes par litre par leur équivalent chimique lequel est égal à :  $\text{Équivalent} = \text{poids atomique ou poids moléculaire en mg} / \text{valence}$

Les nombres ainsi obtenus sont les quantités en réaction que l'on désigne depuis Stabler par la lettre r. Elles sont exprimées en me/l.

### **I-2-b-Présentation graphique des analyses chimiques :**

Les résultats des analyses exprimés sous la forme ionique, peuvent être portés sur des diagrammes qui permettent de comparer les eaux entre elles et de les classer en familles chimiques. Les représentations les plus couramment utilisées sont :

- Les graphiques en colonnes.
- Les diagrammes triangulaires.
- Les diagrammes Carrés.
- Les digrammes Rayonnants.
- Les diagrammes logarithmiques verticaux.

### **II-Origine des sels dissous dans les eaux thermo-minérales :**

Les sels dissous dans les eaux thermo-minérales ont plusieurs origines : oxygène et endogène.

#### **II-1-Origine Exogène :**

La principale source de sels dissous provient du lessivage des terrains dans lesquels circulent les eaux souterraines. En effet, le sol et le sous-sol renferment des roches solubles (calcaires, dolomies) et des sels minéraux : sel gemme, sels de potasse, sulfates de calcium et magnésium, arsénates, carbonates...etc. Les réactions chimiques, l'action de micro-organisme et des échanges de bases modifient la composition ionique et les proportions initiales.

#### **II-1-a-Lessivage des terrains :**

Les chlorures proviennent de la dissolution de sels naturels : sel gemme, sel de potasse. C'est pourquoi le trias donne naissance de nombreuses sources thermo-minérales.

Les eaux fossiles ou eaux connées, emprisonnées lors du dépôt des sédiments, enrichissent les eaux souterraines.

Les carbonates et bicarbonates sont fréquents dans les roches : carbonates de calcium, de magnésium. Le bicarbonate de calcium joue un rôle primordial, il est à l'origine des sources dites incrustantes dont les plus célèbres sont celles de saint-nectaire et deSte-Ayre dans le massif central avec des teneurs respectives de 700 et de 1370 mg/l de ça.

Les sulfates, sulfures, hyposulfates, l'hydrogène sulfuré et le soufre proviennent essentiellement de la dissolution du gypse suivie éventuellement d'une réduction et de la décomposition des sulfures métallique  $\text{FeS}_2$ ,  $\text{FeAsS}$ ,  $\text{CuFeS}_2$  ou des pyrites de fer. Cette origine à partir du gypse explique la liaison fréquente des eaux sulfatées et moins fréquemment sulfurées avec le trias.

L'iode provient de la circulation dans les terrains riches en substance organiques végétales fossiles. Le brome et l'iode sont abondants dans les eaux connées, les eaux des gisements de pétrole et des dépôts littéraux. Leur origine est d'ordre biochimique sous l'action des algues.

Le lithium peut provenir des minéraux des roches silicatés acides du type des granulites : triphane, lipidotite. Leur altération donnant des micas à base de lithium, il doit également exister dans les eaux connées il est connu dans l'eau de mer.

Le fer est fourni par la décomposition des pyrites ou par la dissolution des bicarbonates. L'arsenic provient de la dissolution des sels arsenicaux des filons métallique.

$\text{NH}_4$  est produit par la décomposition des matières organique ou par l'action de la vapeur d'eau à haute température sur les nitrures métallique et le nitrate de silicium. Cette dernière origine est seule à retenir pour les geysers, soffioni...etc.

Le sodium peut être issu également de la séricitisation des plagioclases par la transformation de leur feldspath sodique en un mica potassique avec libération de Na.

L'origine exogène des substances minérale des eaux montre l'importance de la nature pétrographique des terrains encaissants. Toute travail sur l'hydrogéologie devrait être accompagné d'une pétrographique détaillée.

## **II-2-Origine endogène :**

La vapeur d'eau produite dans la profondeur de l'écorce terrestre par les phénomènes magmatique et volcanique entraine des éléments endogènes. Son rôle a été mis en lumière par l'étude des gites métallifères hydrothermaux. Ainsi le fluor semble avoir une origine presque exclusivement interne. Sa présence caractériserait les eaux Juvéniles.

Les chlorures, le brome, l'iode, les sulfates ; l'hydrogéné sulfurés peuvent également avoir une telle origine. Souvent les auteurs ont attribué l'origine exclusive de certain sel a des actions endogènes c'est par exemple le cas du lithium mais dans l'eau de mer et les eaux connées.



**III-Gaz des eaux thermo-minérales :**

Les eaux thermo-minérales renferment, en dehors la vapeur d'eau, des gaz dites libres, sous deux étapes physiques : dissous et occlus. Ils peuvent se dégager spontanément aux griffons, par suite de la baisse de pression donnant des gaz spontanés comme dans les mofettes. Ceux qui viennent en première ligne sont les gaz carboniques et l'azote. Le gaz carbonique est le plus fréquent et le plus abondant. Pouvant atteindre 3000mg/l dans les eaux très minéralisées, il donne alors des sources carbo-gazeuse. Celle si sont nombreuse en France.

**III-1-Rôle des gaz :** En plus de leur rôle thérapeutique, les gaz ont une grande importance dans la dynamique des eaux thermo-minérales par leur influence sur la charge et sur la densité. C'est habituellement les gaz émergent avec l'eau, parfois ils s'échappent indépendamment par des fissures comme Vergèze ou avals.

Il est intéressant de noter que le transport du gaz par l'eau nécessite seulement à un contact à une profondeur relativement faible. Ainsi pour les sources froides, il suffit d'une pression de 4 atmosphères. Cette observation est importante, car il montre que la vitalisation des eaux d'infiltration par des venues juvéniles des SO<sub>2</sub> n'exige pas un grand enfouissement.

**III-2-Origine des gaz :** Les gaz, comme les sels, peuvent avoir une origine exogène ou endogène, la seconde étant la plus fréquente :

**III-3-Origine exogène :** L'air est à l'origine des gaz rares, de l'azote et de faibles quantités de CO<sub>2</sub>. Les réactions chimiques et biochimiques libèrent du CO<sub>2</sub> et de l'hydrogène sulfureux.

**III-4-Origine endogène :** Les sources essentielles de gaz des eaux thermo-minérales sont des actions volcaniques et magmatiques. Le gaz carbonique est surtout d'origine juvénile. Il s'accumule dans les vides du sol qui constituent de véritables gazomètres souterrains sensibles aux variations de la pression atmosphérique. L'expulsion du gaz donne des mofettes, comme à SPA et à chevron en Belgique. C'est pourquoi la plupart des sources riches en gaz carbonique sont localisées dans les régions de dislocations récentes : massif centrale auvergne. L'hydrogène sulfureux, le SO<sub>2</sub> et les gaz rares peuvent avoir également une origine interne.

**IV-Température des eaux thermo minérales :**

La température est la caractéristique la plus importante des eaux thermo minérales. Importante en elle-même par ses effets physiologiques et hydrodynamique et aussi par le fait généralement admis que la concentration en sels dissous augmente avec elle.

Le débit est également souvent lié à la température ; lorsqu'elle est peu élevée, il est faible et variable. Par contre, la minéralisation, c'est-à-dire la nature la teneur relative des éléments en solutions, est sans rapport avec les variations de température. Une source est dite thermale lorsque ses eaux ont une température supérieure de 5 °C à la température moyenne de la zone d'émergence.

#### **IV-1-Origine de la température des eaux thermo minérales :**

L'origine primordiale de la température des eaux thermo-minérales est le gradient géothermique. Des facteurs secondaires Viennent ajouter leur action, comme le volcanisme, le refroidissement des magmas et les réactions physico-chimiques.

##### **IV-1-a-Gradient géothermique :**

Le Gradient géothermique, est proprement appelé degré géothermique, est la profondeur de pénétration dans le sol exprimée en mètres, nécessaire pour que la température augmente de 1 °C. Sa valeur, variable suivant les localités et la profondeur, est en moyenne de 30-35 m. Elle diminue dans les régions volcaniques (10-15 m) et augmente dans les massifs granitiques (60-80 m).

Ainsi la température de l'eau est fonction de sa profondeur. A 3000 m, elle atteint environ 100°C. Mais on conçoit que l'eau se refroidisse en remontant vers la surface, le gradient géothermique agissant en sens inverse l'émergence de sources thermales exige donc une ascension très rapide des eaux chaudes souterraines.

La profondeur minimum P d'origine de l'eau et donnée par la formule :

$$P = (T_s - T) / gT$$

**T<sub>s</sub>** : est la température moyenne du griffon en degrés C ;

**T** : la température moyenne de la zone d'émergence en degrés C ;

**gT** : le gradient géothermique en mètres.

**IV-2-b-Volcanisme** : L'activité volcanique produit de la Chaleur par les émissions de magma et d'eaux juvéniles hyperthermales. Ainsi les eaux du Grand Geysir d'Islande atteignent, en profondeur, une température de 127°C. La chaleur de condensation de la vapeur d'eau est importante, 20 cal/Kg pour 1 atmosphère. Ainsi 1 kg de vapeur d'eau qui se condense à 200m de profondeur, sous une pression de 20 atmosphères, libère 457,9 calories est produit de l'eau

de condensation une température de 211°C. Cette dernière se mélange souvent aux eaux d'infiltration pour donner les sources thermales.

Le refroidissement des magmas après leur mise en place dans les couches supérieures de l'écorce terrestre serait parfois à l'origine des eaux thermo minérales. Ainsi W.D Keller et Ad Valduga expliquent les soffioni de Larderello par l'existence en profondeur d'un batholithe de granite en phase de refroidissement lent et de cristallisation.

**IV-3-c-Réactions physico-chimiques :** Les réactions physico-chimiques dégagent de la chaleur mais, en quantité peu importante. Non distinguerons :

-les réactions physico-chimiques exothermiques ;

-Les désintégrations des minéraux radioactifs.

Les réactions physico-chimiques exothermiques (oxydation et réduction), dégagent de la chaleur. Mais sans divergents quant à leur rôle dans la température des eaux thermales.

**V-Radioactivité des eaux thermo minérales :**

La plupart des eaux thermo-minérales sont radioactives. Cette radioactivité, qui joue un rôle dans leurs propriétés thérapeutiques, peut-être permanente ou temporaire. La radioactivité permanente est due à des sels de radium dissous ; radioactivité temporaire doit son existence aux émanations gazeuses des corps radioactifs dont le principal est le radon à durée de vie courte (4 jours). La radioactivité se mesure en curies. Une curie est la quantité d'émanation en équilibre avec 1 g de radium-élément. La millicurie (mCi) est la millième partie de la curie, le microcurie, la millionième et la nano curie (nCi) la milliardième. L'hororadioactivité, ou puissance radioactive horaire, est la quantité d'émanation par heure. Or, nous savons qu'un mg de radium émet 125 nano-curies par minute. L'hororadioactivité (rh), d'une source, exprimée en mg de radium sera :

$$rh = Qr.60/125$$

**Q :** est le débit de la source par minute ;

**r :** la radioactivité de la source.

**V-1-Origine de la radioactivité des eaux thermo minérales :**

Radioactivité des eaux peut provenir soit de la radioactivité naturelle des roches, soit du bombardement des particules X sur les corps dissous.

**V-1-a-Radioactivité naturelle des roches :** La plupart des roches de l'écorce terrestre sont radioactives.

**V-1-b-Bombardement de particules x sur le corps dissous :** Le bombardement des particules x sur les corps dissous des eaux radioactivité engendrent des radioéléments. (Muguel et Witkm, 1935)

#### **IV-Paramètres physico-chimiques des eaux thermo-minérales :**

Les principaux paramètres physico-chimiques étudiés pour les eaux thermo minérales sont, comme, pour l'ensemble des eaux souterrains, les degrés hydrotimétriques °dH, le pH et la résistivité électrique.

**IV-1-Substances mal connues :** Les eaux thermo-minérales renferment souvent à l'état de traces des substances encore mal connues. Les unes relèvent des corps minéraux comme les métaux catalyseurs, les oligo-éléments, les autres des substances organiques parmi lesquels les hormones et les antibiotiques.

**IV-2-Dépôts formés par les eaux thermo-minérales :** Les eaux thermo-minérales, en parvenant une surface subisse d'importance modifications de leurs propriétés physico-chimiques ; la substance dissoute ou en suspension précipitent et constituent des dépôts dans leur zone d'émergence (dépôts travertin eux comme dans le cas de la source de Sidi Yahia). Les principales causes de formation de ces dépôts sont le refroidissement, la décompression des gaz, l'oxydation des sels dissous, l'action réductrice des micro-organismes et phénomènes biologiques. Ces formations sont de deux types, des dépôts solides et des boues.

**Dépôts solides :** Ce sont des incrustations et des concrétions. Les plus fréquentes sont dues au carbonate de calcium sous forme d'aragonite (Vichy-Celestins, Chatelguyon) et plus rarement de calcite. Ce sont des tufs, encroûtements et travertins avec parfois pisolithes en aragonite. A Hammam Meskountine, Hammam Sidi yahia, Hammam salhine (Algérie), l'aragonite fibreuse donne naissance à la klypéite (A. Lacroix) :

**La Limonite est assez fréquente :** tufs ferrugineux du Monitier (Briançon), de Loèche (Suisse). Le gypse est plus rare. La silice peut former de l'opale dont le type est la gastrite, de la Calcédoine et même du quartz (sources de Yellowstone aux U.S.A). D'autres minéraux se forment en quantité plus faible mais décelable par l'analyse chimique et pétrographique : sulfure de plombe, de cuivre, de mercure et d'antimoine ; barytine, sidérose, célestine, strontianité, fluorine, zéolithes. Signalés pour la première fois par Daubrée à Plombières, ils ont été reconnus

par la suite dans de nombreuses sources : luxeuil, Bourbonne-les-Bains, etc. Ainsi, comme le souligne E. Raguine, les eaux thermo minérales déposent à leurs griffons presque tous les minéraux usuels aux filons métallifères et des traces de la plupart des métaux connus. Cette observation et d'ailleurs l'argument le plus décisif à l'appui de l'hypothèse de l'origine hydrothermale des filons métallifères. Souvent ces dépôts colmatent et obstruent partiellement ou totalement les griffons et diminuent ou tarissent le débit. Ainsi se forment des dépôts en cônes comme à Hammam Meskoutine, Grande Grille à Vichy, sources de Pratigorsk au Caucase (37 m de haut). La précipitation de la silice est due principalement à l'accroissement du pH au contact des eaux de surface.

**Boues :** Des boues se déposent aux émergences des sources thermo-minérales. Elles sont formées par des sédiments ou des microorganismes. Des particules de roches, entraînées mécaniquement par l'écoulement des eaux, provenant de différentes profondeurs, fréquemment colorées en rouge par de l'oxyde de fer se déposent aux griffons. Cette précipitation est souvent favorisée par la défloculation des argiles en suspensions colloïdales. Souvent des dépôts organiques résultant de la précipitation à l'air de sels dissous et d'une végétation algologique associée à une flore bactérienne s'accumulent aux émergences. Ces corps complexes de substances minérales, de dérivés organo-minéraux et de composés organiques sont les binglies. Nous citerons la barégine de Barèges, la daxine de Dax, l'aixine d'Aix-lesBains et la spadacrène de Spa (Castany, 1976)

#### **IV-Classification des eaux thermo minérales**

Les classifications proposées pour les eaux thermo-minérales sont nombreuses et diverses (A.de Launay, L. Morel, E. Duhot, etc.). Nous retiendrons ici celles qui, concernant l'hydrogéologue, sont basées sur la composition chimique et la température. Il existe évidemment une relation entre la température et la concentration en sels dissous.

La classification des eaux thermo-minérales d'après leur composition chimique est donnée par le tableau suivant (**Tab.1**) :

Groupe	Type principale	Types mixtes	Exemples
<b>Bicarbonatées.</b>	Sodiques	Mixtes chlorurées. Magnésiennes.	Le Mont-Dore
	Calciques		Vals, Vichy. Saint-Galmier. Royat. Châtelguyon.
<b>Chlorurées Sodiques</b>	Sodiques	Mixtes chlorurées. Mixtes carbonatées.	Dax, Bourbonne, Bourbon-Lancy.
	Calciques.		Luxeuil. Nittel. Contrexéville.
<b>Sulfatées</b>	Sodiques.	Nitratées.	Brides.
	Calciques. Chlorosulfurées.		Luchon, Ax-les Thermes Allevard. Enghien
<b>Sulfurées.</b>	Ferrugineuses.	Manganeuses.	Forages les eaux
	Cuivreuses. Arsenicales. Séléniteuses. Oligomagnésiennes. Iodées. Borées.		Saint Christian. La bourboule.
<b>Radioactives.</b>			Plombières.
<b>Faible Minéralisation.</b>			

**Tableau 1** : Classification des eaux thermo minérales d'après leur composition chimiques.

#### IV-1-Description des principaux types :

La description de quelques types d'eaux thermo minérales, basée sur l'interprétation des analyses, nous permettra de mieux définir leurs caractéristiques chimiques (**Tab2**). Nous avons choisi nos exemples dans l'étude de Mlle S. Guigue et dans les Annales de l'Institut d'Hygiène et de climatologie (Castany G. 1970). Il est regrettable que la présentation des résultats d'analyses sous la forme ionique, qui seule permet des interprétations complètes et correctes, ne soit pas utilisée plus couramment.

Sources	Cations			Anions		
	r% Ca	r% Mg	r% Na+K	r% SO4	r% Cl	r% CO2
Hammam Bou Hanifia.....	18.20	6.42	25.47	3.64	22.7	23.55
Hammam Gurgour.....	27.92	7.51	14.19	32.19	12.61	5.65
Hammam Melouane.....	4.18	0.66	45.18	4.02	44.91	1.08
Vittel (Hépar).....	35.71	13.27	1.28	42.22	0.37	7.12
Vittel (Magic).....	38.83	11.18	0.99	25.9	0.27	22.8
Contrexéville.....	43.6	6	0.7	39.5	0.2	10
HammamN'Bails.....	11.11	3.32	35.06	3.66	30.4	16.09
Hammam Bou-Hadjjar.....	13.77	3.44	31.98	1	36.77	13.01
Hammam Salhine.....	5.81	1.66	42.63	9.66	29.76	10.45
Hammam Meskoutine.....	21.05	6.05	22.18	17.96	20.84	11.30
HammamTassa .....	19.86	4.19	25.73	0.69	28.53	20.97

**Tableau 2 :** Composition chimiques de quelques sources thermo minérales de France et d'Algérie, exprimée en quantité en réaction pour cent.

**IV-1-a-Eaux bicarbonatées :** Les eaux bicarbonatées sont riches en gaz carbonique libre et généralement pauvres en SO4 (tableau 2). Elles renferment une forte proportion de bicarbonates. Ce type est fréquent dans les régions de volcanisme tertiaire et quaternaire, ce qui explique l'abondance du CO2. Nous pouvons distinguer suivant la proposition relative en Na+K et Ca Mg ;

- Les eaux bicarbonatées sodiques ;
- Les eaux bicarbonatées calciques.
- Les eaux bicarbonatées sodiques renferment une forte proportion de Na d- K par rapport à celle du Ca,

**IV-1-b-Eaux chlorurées sodiques :** Ce sont, en général, des eaux à forte concentration de sels dissous. Les chlorures prédominent. Elles sont riches en Na et Cl. La teneur en carbonates par contre est normale avec absence de carbonates alcalins. En fait, elles sont souvent de Simples dissolutions des sels sodiques. Nous y noterons la présence simultanée de chlorures alcalins et alcalino-terreux ; avec prédominance des premiers. Dans les terrains sédimentaires, elles sont

associées au Trias (sel gemme) et aux zones pétrolifères (eaux connées). Ces dernières renferment souvent du brome, de l'iode et du bore, nous citerons Bourborme-les-Bains, Bourbon-Lancy, Dax et bon Hadjar (Algérie). Les terrains de volcanisme récent, donnent naissance à des sources thermo minérales chlorurées sodiques, riches en bore, en silice, en CO<sub>2</sub> et par contre, la teneur en brome est très faible. Ce sont généralement des eaux hyperthermales : (La Bourboule, Aix-la-Chapelle).

**IV-1-c-Eaux sulfatées** : elles sont caractérisées par leur forte teneur en ions SO<sub>4</sub>. Elles sont généralement riches en cations Na et K. Elles se répartissent' suivant les proportions relatives de Na + K et de Ca + Mg en :

- Eaux sulfatées calciques ;
- Eaux. Sulfatées sodiques.

**Les eaux sulfatées sodiques** ont une teneur en Na + K élevée qui est voisine de celle en Ca + Mg. Elles sont en silice est relativement forte. Nous citerons dans ce type : Luxeuil, Ben Haroun, en Algérie.

**Les eaux sulfatées calciques** voient leur teneur en Ca + Mg augmenter par rapport à celle du Na+K. Elles sont en général très riches en SO<sub>4</sub>. Les eaux thermo-minérales de Vittel, Contrexéville, St-Gervais, Brides Ussat, Bagnères-de-Bigorre, Hammam Guergour, Hammam Rigba. Appartiennent à cette catégorie. Elles sont d'origine triasique.

**Les eaux mixtes sulfatées chlorurées** (Brides) marquent la transition avec les eaux chlorurées sodiques. Les eaux sulfatées des terrains sédimentaires doivent leur composition chimique au lessivage des dépôts salifères ou à l'oxydation des pyrites. Dans les régions volcaniques, elles proviennent souvent de l'oxydation en surface des eaux profondes chargées d'H<sub>2</sub>S. Elles renferment alors du brome, du CO<sub>2</sub> et NH<sub>4</sub>.

**IV-1-D-Eaux sulfurées** : Les eaux sulfurées sont caractérisées essentiellement par la présence de composés sulfurés et d'H<sub>2</sub>S libre ou combiné, car, pour leur composition chimique totale elle diffère peu des autres types Leur température est élevée. La concentration en sels 'dissous est moyenne et même faible. Suivant la teneur en Na+ K, nous pouvons distinguer :

- Les eaux sulfurées sodiques ;
- Les eaux sulfurées calciques.

**Les eaux sulfurées sodiques** : renferment du sulfure de sodium. Par la prédominance des cations Na et K sur les cations Ca et Mg, elles peuvent dériver parfois des eaux sulfatées sodiques. Elles renferment de la silice. Le terme de type pyrénéen leur a été souvent appliqué.



Les eaux sulfuriques sodiques renferment des traces de bore, d'arsenic et de cuivre. La plupart des sources thermo-minérales des Pyrénées sont de ce type. Nous citerons Luchon, Cauterets, Ax-les-Thermes, Bagnères-de-Luchon, Amélie-les-Bains, Aix-les-Bains, Hammam Salahine (Algérie).

**Les eaux sulfurées calciques** : marquent une baisse de la teneur en Na- K, ce qui conduit à une proportion relativement plus grande de Ca + Mg. Elles renferment de l'H<sub>2</sub>S libre provenant de la réduction soit des bi-sulfates calciques, soit des sulfates calciques. Elles ont souvent été qualifiées de type alpin. Elles proviennent souvent du lessivage des terrains gypseux (Enghien). Nous citerons Allevard, Uriage et Hammam Meskouktine (Algérie).

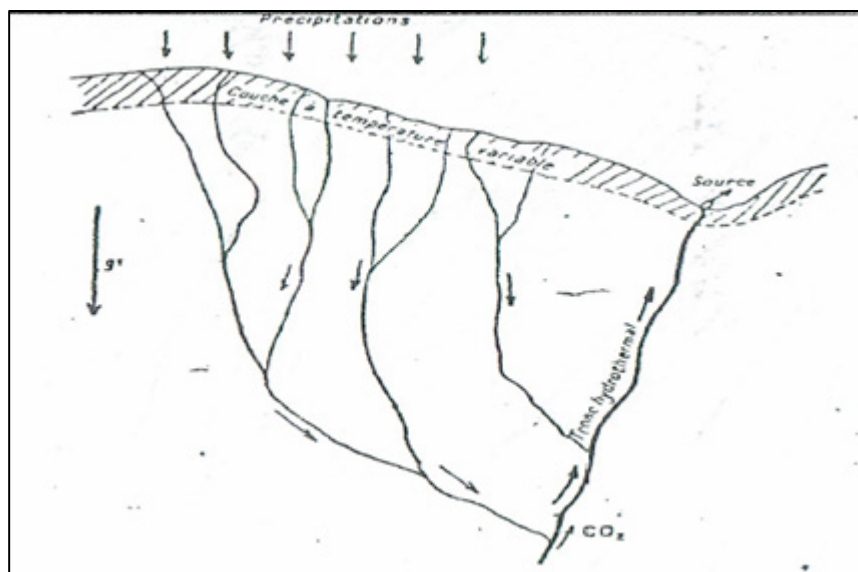
Les eaux chloro-sulfurées proviennent des eaux chlorurées sodiques. Elles sont riches en NaCl et MgCl<sub>2</sub>. Leur concentration en sels dissous est en général élevée. Les eaux ferrugineuses sont celles qui renferment plus de 10 mg de fer par litre : Bussang (Vosges), Spa.

**IV-2-Classification des eaux thermo-minérales d'après la température** : La température est la principale caractéristique des eaux thermo-minérales. De nombreuses classifications basées sur ce facteur ont été établies. Dans l'ensemble, la température des eaux thermales s'étale entre 20 °C et 100 °C. Les eaux dont la température atteint ou dépasse 100 °C appartiennent à des catégories particulières : geysers, soffioni, etc. Nous pouvons retenir la classification suivante :

- Sources hyperthermales..... 50 < T < 100
- Sources méso-thermales..... 35 < T < 50
- Sources hypo-thermales..... 20 < T < 35
- Source froide ..... T < 20

#### **IV-3-Originè Des Eaux Thermo minérales :**

De nombreuses controverses ont opposé les hydrogéologues quant à la formation des eaux thermo-minérales. Certaines hypothèses émises sont d'ailleurs communes avec celles du cycle de l'eau. Après avoir admis avec A. Daubrée (1887) une origine exclusivement volcanique, les auteurs ont vu dans l'infiltration des précipitations la seule source des eaux souterraines.



**Figure 09** : schéma de l'origine météorique des eaux thermo minérales.

En outre, A. de Launay (1899) démontre que la minéralisation et la température des eaux thermo-minérales s'expliquent par la circulation des eaux Souterraines à différentes profondeurs. Au cours des dernières années, de nombreux auteurs, à la suite de E. Suess (1903), A. Gautier (1905) admettent une double origine météorique et juvénile (Fig. 9).

La découverte récente, dans les terrains sédimentaires, d'eau fossile ou eau connée vient ajouter une troisième provenance.

**IV-3-a-Origine météorique des eaux thermo-minérales** : Les eaux de surface provenant des précipitations s'infiltrent dans le sol et le sous-sol, puis descendent par gravité dans les couches profondes. Au cours de leur circulation, elles dissolvent des sels minéraux et leur température s'élève sous l'action principale du gradient géothermique. Puis, par remonté rapide dans des fissures et fractures ouvertes (tronc hydrothermal des auteurs), elles émergent à la surface (Fig. 9). Cette ascension est souvent accélérée par émulsionnement de gaz et de vapeur d'eau. Nous avons ainsi une sorte de circuit. Dans le cas de bassins fermes, les eaux thermo-minérales forment des nappes captives (Vittel, Contrexéville)

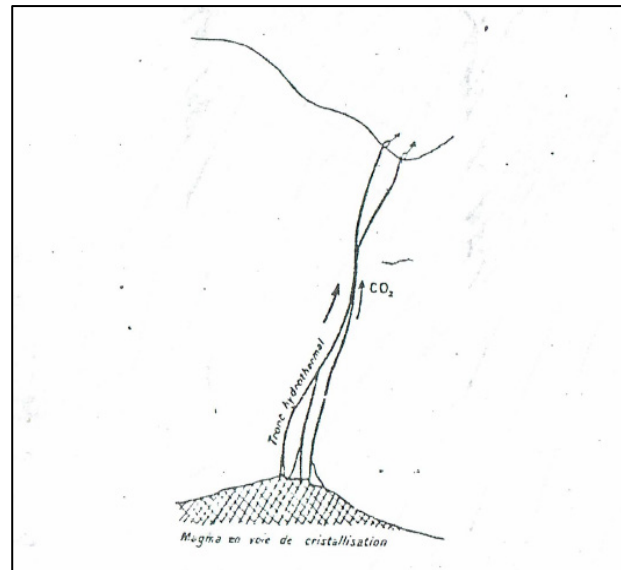
Cette formation des eaux thermo-minérales est sans doute la plus fréquente, Elle a été dénommée origine vadose, géothermique ou neptunienne. Elle explique que, très souvent les eaux thermo-minérales ont une composition chimique comparable, pour les ions principaux, à celle des eaux ordinaires. Les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux sont imposées par les terrains dont elles proviennent. Ainsi la teneur en sels, la température et leurs caractéristiques hydrologiques sont très variables et souvent fonction des éléments hydrométéorologiques locaux ou régionaux. Leur température dépasse rarement 35-40 °C.

**IV-3-b-Origine juvénile des eaux thermo-minérales :** Dans certains cas, la circulation des eaux d'origine météorique ne permet pas d'expliquer les températures élevées et surtout les caractéristiques physico-chimiques des eaux thermo-minérales. Il est alors nécessaire de faire appel à des sources profondes, ce sont les eaux juvéniles ou endogènes. Les eaux juvéniles peuvent avoir trois origines principales : magmatique, volcanique, eau des réactions chimiques (Fig. 10)

**Origine magmatique des eaux thermo-minérales :** La cristallisation des magmas libère des constituants volatils qui souvent s'échappent sous forme de fumerolles. Ils sont composés essentiellement d'hydrogène et de vapeur d'eau accompagnés de fluor, chlore, soufre, carbone, phosphore, bore. Ainsi en fondant 1 km<sup>3</sup> de granité on libérerait 26 millions de tonnes d'eau ; 1 kg de granité produit 10 g d'eau. D'après les études de Sosman, reprises par B. Gèze, une intrusion magmatique puissante de 1 000 m renfermerait 5 % en poids d'eau et en se refroidissant lentement pourrait produire pendant un million d'années un débit de 23,8 litres d'eau juvénile par minute et par kilomètre carré. Les eaux thermo-minérales d'origine juvénile ont une composition chimique indépendante de celle de la roche dont elles sont issues. En particulier, elles renferment des substances minérales propres, dues à leur provenance magmatique. Leurs teneurs en sels, leur température et leurs caractéristiques hydrologiques sont relativement constantes. Elles sont souvent de type hyperthermal.

**Origine volcanique des eaux thermo-minérales :** Les eaux juvéniles peuvent provenir de la consolidation des laves et de la vapeur d'eau d'origine volcanique :

Distillation de l'humidité des roches, expulsion de la vapeur d'eau des couches profondes. Cette émission de vapeur d'eau est accompagnée de gaz carbonique, d'azote, H<sub>2</sub>S, HCl, HF et SO<sub>2</sub>. Cette hypothèse a été controversée pendant de nombreuses années. En effet pour certains volcanologues les volcans ne produiraient pas d'eau. Mais actuellement, elle est admise. Fouque en particulier a calculé que l'éruption de l'Etna de 1865 a émis 11 000 m<sup>3</sup> d'eau. P. Fournier et Legraye ont montré que les eaux thermo-minérales de Chaud fontaine en Belgique, de même que celles d'Aix-la-Chapelle sont liées aux manifestations volcaniques de l'Eifel. En Auvergne, les sources sont également en relation étroite avec l'activité volcanique quaternaire et tertiaire.



**Figure 10** : schéma de l'origine magmatique des eaux thermo minérales.

- **Eau des réactions chimiques** : Signalons enfin que les réactions chimiques, intenses au sein de la croûte terrestre...
- **Les eaux fossiles ou connées** : Les sédiments en se déposant sur les fonds marins ont inclus de l'eau dont une partie est restée emprisonnée dans les roches qui peuvent ainsi libérer des eaux fossiles ou connées. Celles-ci sont particulièrement riches en chlorure de sodium, brome et iode. Le lessivage des assises sédimentaires par les eaux d'infiltration-ou-endogènes-entraîne les eaux coniques lesquelles modifient et généralement enrichissent leur composition chimique propre.

#### **IV-3-c-Origine mixte des eaux thermo-minérales :**

Les eaux thermo-minérales ont souvent une origine mixte par mélange des eaux juvéniles, connées et météoriques (Fig.11). Ainsi, les venues profondes de gaz carbonique peuvent activer les eaux d'infiltration comme par exemple à Vals-les-Bains (J. P. Destombes) où le CO<sub>2</sub> est dû à des manifestations volcaniques récentes (Quaternaire).

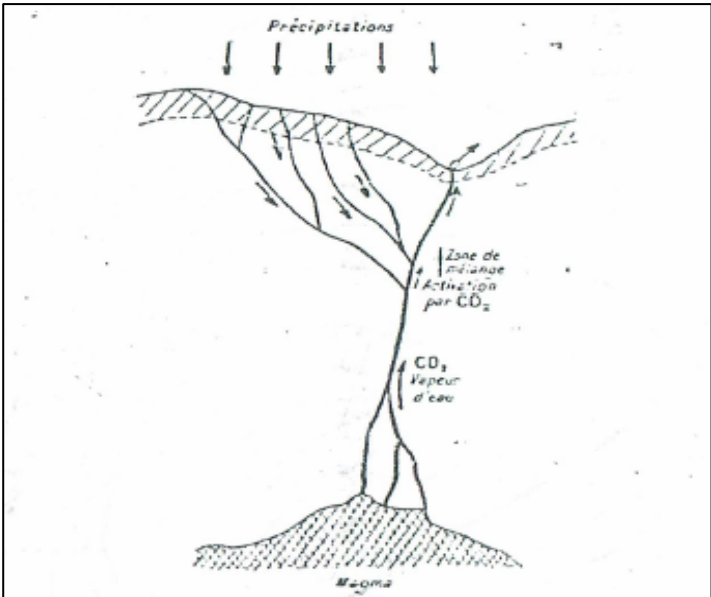


Figure 11 : schéma de l'origine mixte des eaux thermo minérales.

## **Partie II**

### **Etude des conditions d'émergence de la source Sidi Yahia El Meridj-Ouenza**

**CHAPITRES I :**  
**Situation géographique**

## I-Situation géographique :

Le massif de l'Ouenza est situé dans le Nord-Est algérien. Il se trouve à 160 km au Sud de la ville d'Annaba, dans l'Atlas saharien oriental, près des frontières Algéro-tunisiennes. La distance entre ce massif et la ville de Tébessa dont il est rattaché administrativement atteint 72 km (Fig. 1). Les principales voies de communications sont représentées par un réseau routier reliant l'Ouenza aux villes voisines ; Tébessa, Souk-Ahras et Annaba.

La topographie est très caractéristique de celle de l'Atlas saharien. Son relief est assez accidenté. L'altitude maximale signalée à Djebel Ouenza est de 1206m à Chagoura. La région présente un climat semi désertique : hiver relativement froid et un été chaud et sec, avec une précipitation annuelle moyenne de 400 mm Les principaux cours d'eau sont : Oued Mellègue, Oued Harraba et Oued El Ksob, dont les débits sont irréguliers et varient selon la saison et la quantité de précipitation. La couverture végétale est pauvre ; elle est représentée par de petites forêts de pins. La population vit généralement de l'activité minière et de l'élevage d'ovins et de caprins.

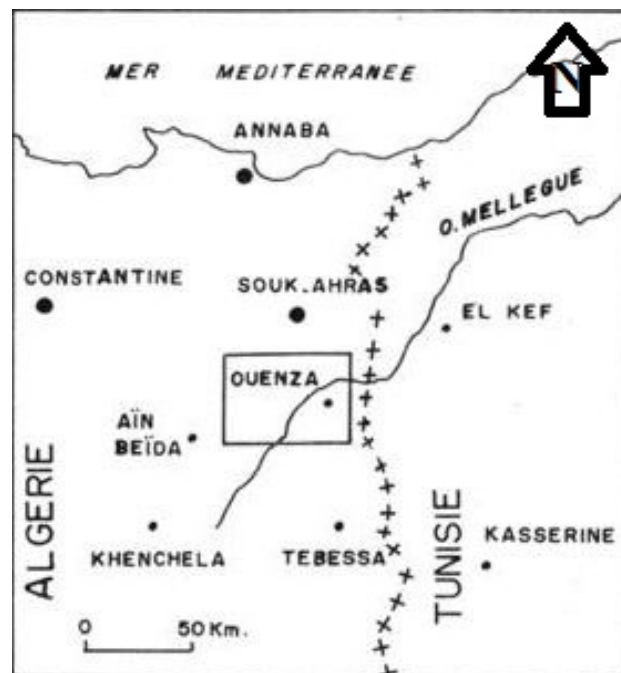


Figure 12 : Situation de la zone d'étude sur échelle National



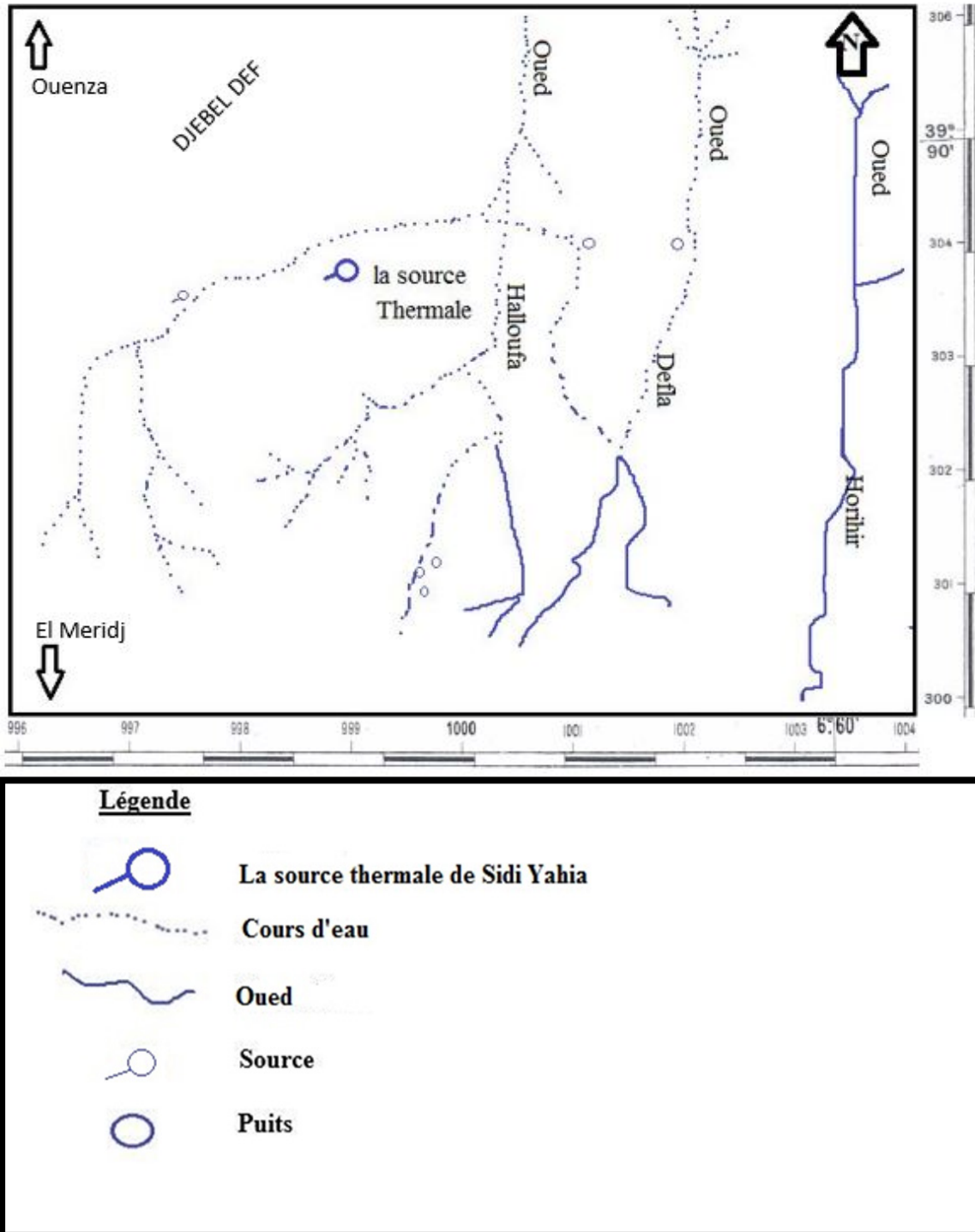


Figure 13 : Carte de la réseau Hydrographique de la zone d'étude

## II-Situation géographique de la source Sidi Yahia :

La station thermale Sidi Yahia se trouve au niveau de la frontière Algéro-tunisienne, au Sud-Est de Ouzenza à 2 kilomètres de la route national Ouzenza-Tébessa.

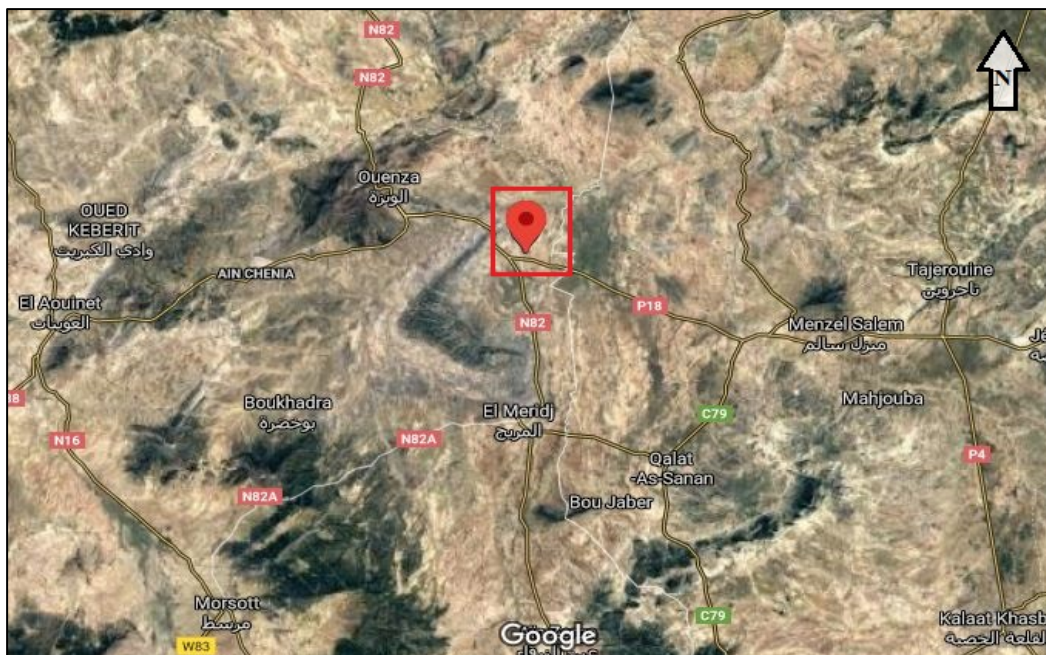
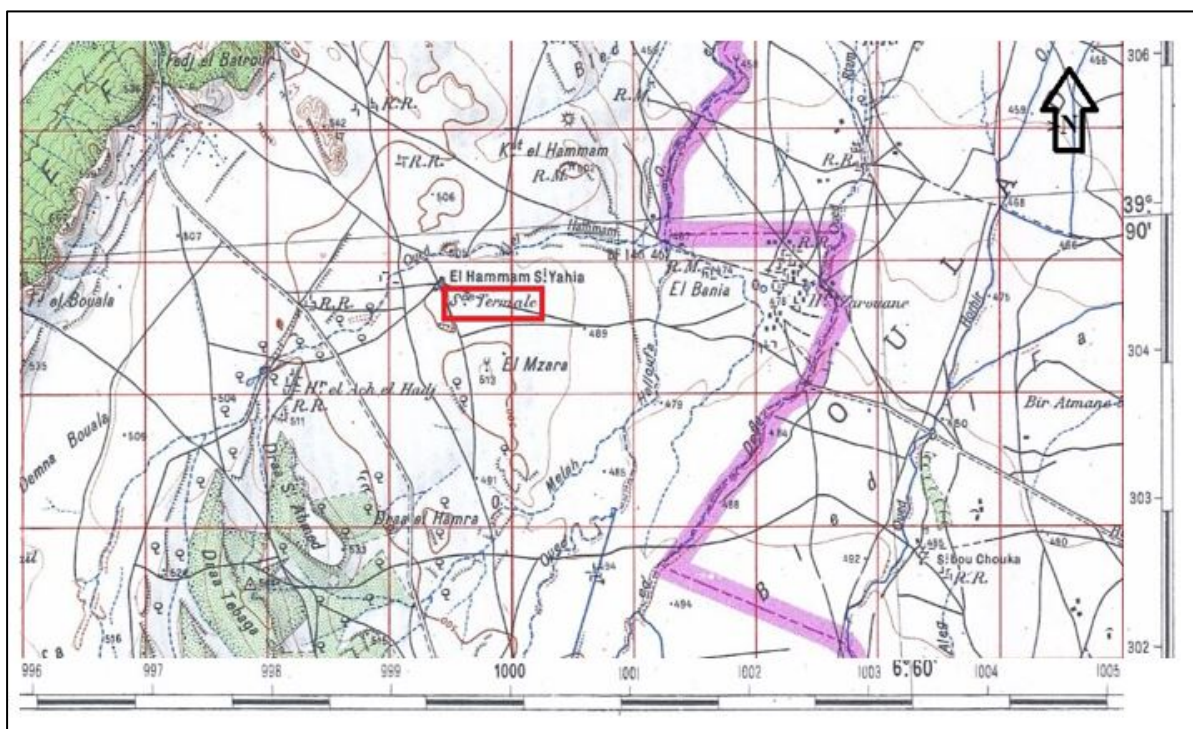
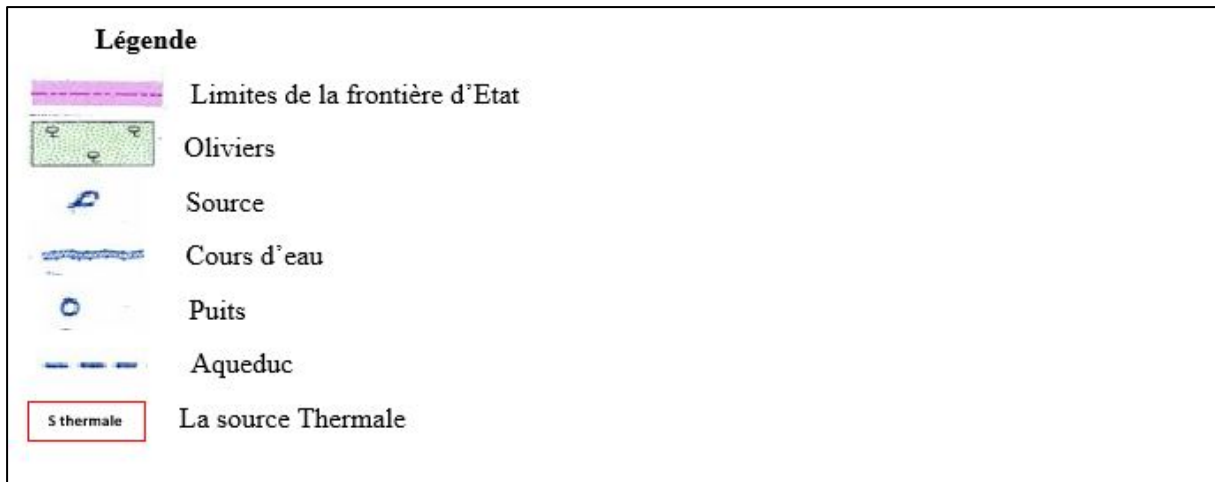


Figure 14 : Localisation géographique de la région d'étude

Source Google Maps





**Figure 15 :** Carte Topographique de source thermale Sidi Yahia

Source : Extrait de la carte Topographique de Djebel Ouenza N° 125 au (1/50 000)

# **CHAPITRE II**

## **Géologie de la région d'étude**

## **I-Introduction :**

La région représentée sur la carte au 50.000<sup>ème</sup> « Djebel Ouenza », dont la partie orientale est située en territoire tunisien » se trouve à mi-distance entre Souk-Ahras au N, et Tébessa au S. Il n'existe pas ici de chaînons montagneux continus, mais il s'agit de massifs isolés aux formes escarpées (Djebel Ouenza, Dj. Harraba) ou de dômes peu saillants (DJ. Def) qui s'élèvent au-dessus de vastes plaines, dont l'altitude oscille entre 400 et 500 m. Le pays est drainé par l'Oued Mellègue et par son affluent, l'O. El Kseub.

La physionomie de la région, essentiellement constituée par le Trias diapir, La remontée du Trias est réactivée par les compressions paléogène et néogène. L'anticlinal de l'Ouenza, présente dans sa partie SO une fermeture périclinale. Ce périclinal est recoupé par de nombreuses failles décrites par Dubourdiou (1956). Les plus importantes sont celles orientés N-S à NE-SO (faille du Pic, faille de Kef el Ahmar).

Le Crétacé (Barrémien à Sénonien) et le Miocène, est due, en grande partie, aux formes rudes des calcaires aptiens et à l'aspect désolé et Chaotique des paysages triasiques. En ajoutant à ce tableau la platitude des parties basses, on justifiera l'impression que l'on a parfois, d'une mer parsemée d'îles aux lignes fantastiques.

De point de vue lithologique la région de Ouenza est caractérisée par un contact tectonique entre le trias et les assises Albo-Aptiennes, et le développement d'une sédimentation essentiellement carbonatée se trouvant sur l'apex des diapirs qui s'était traduite à la suite d'une activité diapirique contrôlant l'évolution tectono-sédimentaire des massifs de la région (thierberoz et Madre 1976).

## **II-Description sommaire des terrains sédimentaires :**

Les sédiments du quaternaire sont représentés par des travertins, des éboulis, ainsi que par des formations d'anciennes nappes d'épandage. Les travertins occupent la partie NE du secteur, représentant sous forme de lambeaux isolés d'une puissance moyenne métrique, allant rarement jusqu'à 20 m. Il existe trois sources dans les travertins d'un débit compris entre 0.3 et 1.1 l/s. La plupart de la surface est occupée par des formations de pente (éboulis) sous forme de blocs et menus cailloutis carbonato-sableux avec des marnes, d'une puissance maximale de quelques mètres. Quelques petites zones à relief plat sont recouvertes d'une couche de 2-3 m de formations d'anciennes nappes d'épandage, nous y trouvons des marnes avec un cailloutis fin et très fin redéposé.

**II-1-Eboulis :**

Cette formation existe sur les pentes des massifs.

**II-2-Alluvions actuelles :**

Elles n'existent pas toujours, car les oueds entaillent assez souvent les terrains sur lesquels ils coulent.

**II-3-Dépôts torrentiels :**

Un exemple de tels dépôts, dont les éléments sont de taille très variable, se voit au pied E. Du Koudiat Mazouz, un peu au N. du village de l'Ouenza.

**II-4-Travertins du Hammam Sidi Yahia :**

Ce Hammam est alimenté par une source tiède et très sulfureuse qui dépose une croûte travertineuse.

**II-5-Basse terrasse du mellègue et du Kseub :**

Atteinte par les eaux en période de crue, car elle ne dépasse pas la hauteur de 3 à 5 m.

**II-6-Limons actuels :**

Ils sont surtout développés dans les plaines qui avoisinent la frontière, où des puits de 8 à 10 m. n'atteignent pas le substratum.

**II-7-Matériel d'épandage (cailloutis et galets) :**

Il s'agit là d'une ancienne zone d'épandage que l'on observe dans la partie N.W. du terrain représenté sur la carte, dont les matériaux sont fréquemment disposés sur la croûte calcaire. Cette formation est mise en relief par l'érosion actuelle.

**II-8-Haute terrasse du Mellègue :**

Rarement conservée, cette terrasse domine le lit de l'oued de 10 ou 15 m., le plus souvent.

**II-9-Formation alluviale ancienne :**

Cette formation, que l'on observe au confluent de l'O. el Oulija et du Mellègue, à l'E. du Kat bou Amoud, repose sur la haute terrasse. Elle m'a livré des vertèbres très mal conservées et indéterminables.

**II-10-Croûte calcaire :** Formation superficielle ancienne due à l'évaporation d'eaux calcaires.

**II-11-Conglomérats calcaires :**

Ils résultent de la cimentation d'anciens éboulis ou matériaux d'épandage divers. Leur épaisseur est parfois considérable (Dj. Ouenza et Harraba) et l'on observe alors qu'ils sont interstratifiés avec des couches dont les éléments ne sont pas consolidés.

**II-12-Poudingues gréseux :**

Localisés au voisinage du Mellègue et du Kseub ils doivent résulter de la consolidation d'un matériel alluvial ancien. Leurs galets, appartenant aux roches les plus diverses, sont emballés dans une pâte détritique, essentiellement gréseuse.

**II-13-Calcaires lacustres :**

Localisés dans trois régions principales El Guessâat et environs, N.E. du Dj. Def et kt Mergued es Slougui). Ces calcaires massifs, à grain fin, de couleur jaunâtre, contiennent quelques Helix.

**II-14-Travertins de la Poudrière :**

Formés par l'encroûtement de débris végétaux qui ont été ensuite dissous, je les pense liés à d'anciennes sources thermales. Ils affleurent à la poudrière de l'Ouenza, au N. du k es Snouber, etc...

**II-15-Miocène inférieur :(gris et marnes) ;**

Conglomérats. Blancs et fins au sommet, de teinte rougeâtre et plus grossiers à leur base, les grès alternent avec des marnes vertes ou rouges le plus souvent très riches en gypse. Ils montrent souvent une stratification entrecroisée.

La Miocène apparait dans le petit bassin du Garet es Sekkoum et dans celui de l'Oulija ou il atteint 400 m de puissance ; il contient notamment : *Ostrea crassisima* Lam. *Scutellaaff.* *Obliqa* Pomel *Turitella* (*peyrota*) *Desmarsetina* Bast et *terebralialignitarum* Eich.

Au sud de bassin de l'Oulija, de Miocène débute par une centaine de mètre de conglomérats plus ou moins grossiers de couleur rouge-violacée dont les bancs alternent avec des sables argileux rouges.

**II-16-Santonien :**

Marnes gris-bleues, alternant avec de petits bancs de calcaires marneux blanc-ocres, un peu crayeux, qui contiennent des Inocérames (*Inoceramus planus* Goldf.) et des ammoniles

Deux ou trois lentilles calcaires qui apparaissent dans le Santonien, à PW. Du plateau de l'El Gussa, représentent un faciès calcaire de ce niveau.

### **II-17 Coniacien :**

De 270 à 280 m de marnes gris-bleues, avec quelques intercalations marno-calcaires qui contiennent des fragments de tests d'inocérames. A la base de la formation, dans les marnes, une petite faune d'ammonites pyriteuses contient entre autres : *Barroisiceras Roumieuxi* Perv. (la limite cartographiée Coniacien-Santonien est très approximative).

### **II-18-Turonien :**

Très réduit en épaisseur (il n'a qu'une trentaine de mètres à l'W du dj el Kroza), il comporte un certain nombre d'assises calcaires noires à altération grise, séparées par des marnes très calcaires ou des marno-calcaires gris. Les bancs calcaires sont formés d'une roche à grain fin, très dure, qui se délite en « petits pains ». M. A Bouillot signale au Kt el Mkimenn la faune suivante : *prionotropis* cf. *Neptuni* Geinitz, *leoniceras* Quaazi péron, *Scaphites* (Yesoites) cf. *pierculus* Jimbo (« détermination très douteuse ») et *Inoceramus* (mytiloides) *africanus* Heinz.

Une ammonite de grande taille, provenant du Kt el mellah, est un représentant de l'espace ; *Neoptychites cephalotus* Courtillier.

### **II-19-Cénomaniens Supérieurs (sommet) :**

Cette subdivision stratigraphique comprend des marnes et marno-calcaires gris, intercalés de petits bancs de calcaire noir sublithographique à patine gris-claire, se délitant en nodules. Certains bancs marno-calcaires ont une allure spéciale, caractérisée par un délit normal à la stratification. On trouve dans les calcaires quelques traces de petits Inocérames. L'ensemble atteint l'épaisseur de 160 m.

### **II-20-Cénomaniens Supérieurs (base) :**

La série débute par des calcaires noirs, un peu marneux, sublithographiques, souvent en plaquettes dont l'altération est gris-claire séparés par des marno-calcaires noirs à altération grise qui se délite en « frites ». Dans ce premier ensemble, on trouve quelques Inocérames de petite taille, très mal conservés.

Au-dessous, et se poursuivant sur environ 90 m, vient une série marneuse (marnes gris-bleues ou bleu-noires, un peu calcaire au sommet, devenant verdâtres et très argileuse à la base



), qui comprend quelques intercalations marno-calcaires grises. Dans la partie inférieure des marnes, une faune d'ammonites pyriteuses contient en particulier quelques Acanthocératidés.

Enfin, un banc de calcaire gris-clair, plus ou moins marneux, termine cet ensemble dont l'épaisseur est de l'ordre de 200 m.

#### **II-21-Cénomaniens moyen (sommets) :**

C'est un gros ensemble de marnes vert-sales contenant de très abondantes plaquettes de calcite fibreuse dont certaines, en forme de coupes, simulent de curieux « cendriers gravés » dont le fond est orné d'empreintes d'oursins. Deux ou trois bancs de calcaire sublithographique noir, à patine ocre, apparaissent à la base de la série, dont l'épaisseur est 450 m. entre le dj. Hameima et l'Oued mellègue.

#### **II-22-Cénomaniens moyen (base) :**

800 m de marnes vert-sales à calcite fibreuse, avec quelques rares et minces lits marno-calcaires, contiennent : Scaphites Peroni Perv, Scaphites evolutus Perv, Turrilites etc...

#### **II-23-Cénomaniens inférieur :**

Marnes noires très foncées au milieu desquelles s'intercalent des petits bancs de quelques décimètres de calcaires marneux noirs, à patine grisâtre, quelquefois en plaquettes qui contiennent vers la base de la série des empreintes d'ammonites.

L'ensemble à environ 300 m. de puissance et m'a livré : *Mortoniceras inflatum* Sow, *Hamites* ef. *simpler* d'Orb., *Belemnites* ef. *stilus* Blanford.

#### **II-24-Vraconien :**

Il comprend d'abord des calcaires noirs, sublithographiques, à patine gris-blanchâtre, en bancs de 50 cm. à 1 m., riches en bélemnites qui sont séparés les uns des autres par des marno-calcaires gris-bleus se délitant en frites.

Au-dessous viennent quelques bancs d'un calcaire un peu gréseux, très noir, à cassure peu franche et dont l'altération est grise, intercalés à des marnes noires souvent très calcaires, qui contiennent une faune d'ammonites.

Enfin, des marno-calcaires très gréseux, verts ou jaunâtres alternent des marnes ou marno-calcaires gris qui contiennent quelques empreintes d'oursins.

Au S.W. du Dj. Ouenza, le Vraconien à 225 m. d'épaisseur, mais il est plus puissant au Dj. Def et au N. du Dj. Hameima. Comme fossiles, indiquons : *Desmoceras Dupinianum* d'Orb. var. *Africana* Perv., (*Lyelliaceras* ?) *Radnaci* Perv., *Puzosia* (*Latidorsella*) *latidorsata* Mich., *Phylloceras Vellcdæ* Mich., *Hamites* sp., *Epiaster incisus* Coq., etc...

### II-25-Albien Sup.:

Un banc très caractéristique limite cet étage à son sommet : c'est un grès calcaire très dur, de couleur brun-rouille et plus souvent, qui renferme de nombreux nodules noirs et une faune abondante (*Ammonites*, *Nautilus*, *Bélemnites*, *Lamellibranches* et *Gastéropodes*). En dessous de ce repère se trouvent des marnes jaunes avec couches marno-calcaires très siliceuses, à patine rouille ou verdâtre. L'Albien s.str. À 140 m. De puissance et contient : *Parahoplites multicostatus* Sinz., *Desmoceras* cf. *Revoili* Perv., *Sonneratia Cleon* d'Orb. *Nucula* cf. *ouata* Mantell, etc...

### II-26-Zone de Clansayes :

Sur 180m. Environ s'observe la succession suivante : quelques bancs de calcaires gréseux noirs, alternant avec des marnes jaunes des marnes jaunes à nodules calcaréo-siliceux une, barre de grès calcaire noir ; de nouveau des marnes jaunes, avec des intercalations marno-calcaires très siliceuses de teinte brun rouille ou verdâtre ; des calcaires noirs alternant avec des marnes grises. Cet ensemble paraît devenir plus gréseux à la base, lorsque l'on va vers l'E. Il m'a fourni : *Acari* (*hoplites* cf. *aschiltoensis* Anthula, *Acanthoplites* saff. *Tobleri* Jac., *Desmoceras bicuruatoïdes* Sinz., etc...

### II-27-Aptien :

On ne le voit complètement sous son faciès normal que dans l'anticlinal de S Emmbarka. Sur 430 m., au-dessous d'une puissante série calcaréo-marneuse (calcaires à grain fin et même sublithographiques, à patine grise ou brune, en bancs d'un à plusieurs mètres d'épaisseur et marnes ou marno-calcaires gris), apparaissent quelques bancs de calcaires un peu gréseux et des alternances de grès calcaires et des marnes grises. Enfin, à la base, des barres de grès grisâtres, à patine brune ou brun-rougeâtre, peu épaisses, alternent avec des marnes plus ou moins calcaires, gris-claires. L'Aptien se voit souvent sous un faciès récifal. Semblant se localiser vers le milieu ou le tiers inférieur de l'étage, ces masses lenticulaires Récifales ont une puissance extrêmement variable : 20 à 30 m. à l'el kbira (au S. E du dj Harraba) ou l'on observe le passage latéral au faciès normal 50 m au dj mérdif 220 au moins à l'Harraba 250 au N du pic de l'Ouenza. Le calcaire très compact et très dure.

Les grands reliefs de la région, dont la masse est parfois curieusement déchiquetée (kef Mkririage à l'W de l'Ouenza sur la carte « oued kebarit ») sont formés par les récifs aptien.

### **II-28-Barrémien :**

Il ne se voit qu'au Dj Harraba et au cœur de l'anticlinal de s Emmbarka. Il s'agit de 200 à 250 m de marnes gris-jaunes dont je ne connais pas la base. Localement un banc d'huitres et vers le haut de la série, quelques intercalations de calcaire gris clair, noduleux ; à patine ocre. Les marnes contiennent une petite faune où j'ai notamment reconnu : nesmoceras (Uhlighella) Monice Coq., B. semni-canaliculatus Blainy.

### **II-29-Trias. (Marnes à gypse) :**

Comprend des marnes multicolores à gypse qui emballent divers matériaux rocheux. Très salées, de teinte verte, rouge ou violette, les marnes sont un exemple typique du faciès lagunaire de l'étage, bien connu en Algérie.

### **Roches du Trias :**

**Dolomies vacuolaires grises.** Cette roche, dont l'aspect est finement spongieux, est presque toujours bréchique, avec des éléments d'un à quelques cm. de longueur.

**Dolomies gris-claires.** Massive, très compacte, parfois bréchique, cette roche ne se voit qu'au N.E. du Sefiet- Gueltet el Mourra.

**Cargneules.** Assez peu abondantes dans la région, ces cargneules jaune-claires, à quartz de néoformation, présentent souvent un aspect bréchique.

« **Calcaires striés** ». A grain fin, gris-clair ou un peu jaunâtre, ce calcaire présente des petits lits d'un à deux mm. De dolomie, que l'érosion met en relief en donnant une roche striée.

**Calcaires massifs,** très durs et de couleur brun-jaune, peu représentés dans la région de l'Ouenza.

**Grès.** Très locaux dans les environs de l'Ouenza, ces grès, rouges ou verdâtres, sont riches en cristaux de quartz bipyramidés.

### **Remarques :**

- a) Bien que je n'aie pas encore de confirmation paléontologique certaine, je rapporte à l'Aptien récifal, les calcaires que l'on voit dans le Trias, aux endroits suivants : Kt el Menacher, Kef el Mazouz, Kt el Kebbara, Kt Mazouz N., Mezez es Saïda, c. 594 et son

prolongement E.N.E. (au S. du Draa el Batrou), c. 557 et Kt er Rérhaï (à l'W. Du Méridéf) ;

**b)** Dans la zone triasique N.E. de l'Ouenza, le Cénomaniens. Et le Turonien sont différenciés par faciès :

- Calcaires (Turonien et : Cénomaniens supérieur).
- Calcaires et marnes (Cénomaniens. sup. et moyen).
- Marnes (Cénomaniens moyen et peut-être, localement, un peu de Cénomaniens inférieur).

### **III-Roches Eruptives :**

Elles n'existent qu'en pointements dans le Trias. Je ne les ai pas encore étudiées en détail, mais il s'agit de roches microgrenues, très basiques, vert-foncées, qui contiennent souvent un peu d'oligiste.

### **IV-Indications locales :**

**IV-1-Djebel Ouenza :** C'est un grand anticlinal de direction S.W.-N.E. Si l'on s'éloigne de la partie périclinale S.W., qui est, très simple, pour aller vers le N.E., l'on verra surgir la masse énorme des calcaires récifaux de l'Aptien, qui forme l'ossature de la montagne.

Une grande faille longitudinale, qui coupe le récif aptien dans une zone où il devait avoir tendance à s'amincir, abaisse les terrains situés au S.E. du Djebel. Elle se prolonge vers le N.E. en passant au pied du Pic de l'Ouenza et, après avoir été déjetée par de petits accidents secondaires, longe au N. les parties minéralisées de la mine de l'Ouenza, Barbe et Hallatif. C'est elle qui a permis la montée des venues minéralisantes.

Deux lames triasiques viennent s'injecter dans les marnes de l'Albien., au N, et au S. du Djebel. La lame S. a remonté des lambeaux d'Aptien minéralisé .au El Zerga.

Un troisième diapir de Trias apparaît au cœur de l'anticlinal à partir du chantier de St Barbe ; sa mise en place a été facilitée par la faille que nous avons signalée.

Au N.E. du Djebel, les trois injections de Trias se rejoignent. Signalons encore : le déversement de l'Aptien du flanc N., dans la région du Koura Ouenza, qui est lié à la poussée triasique de la lame centrale ; le décollement d'un lambeau aptien, en partie minéralisé, (fer), au Kt es Souda, décollement dont le Trias est la cause ; l'épaisseur et la grande étendue des conglomérats ou vieilles brèches de pente.

**IV-2-Djebel Méridéf :**

Montrant surtout une lame très redressée d'aptien récifal, ce petit anticlinal de direction S.W.-N.E. est coupé par une faille longitudinale qui en abaisse la partie S.E. Il est affecté par trois injections triasiques et a une grande analogie avec le Dj. Ouenza.

**IV-3-Djebel Harraba :**

Du encore aux calcaires récifaux de l'Aptien, ce djebel est un anticlinal simple, sans faille majeure ni trias diapyr, au cœur duquel l'érosion découvre les marnes barrémiennes vers l'E., l'Aptien prend un faciès non récifal. Quelques complications locales doivent être indiquées : deux failles minéralisantes. Mais sans grand intérêt économique (à l'W. Du Dj., à l'el Hameima et au N. du Dj S Ahmed) ; l'écrasement, entre Dj. Sayène et kef el Betom du synclinal dont la partie orientale, simple, correspond aux kefseddem et sefra ; la percée du lambeau récifal du kef er Retba ; un mouvement de bascule à l'E. de l'Harraba ( la cassure qui borde le Kef er Retba, après avoir été décalée , se prolonge vers le N.E. : les terrains situés au S.E. de cet accident se relèvent au N. du k es Sefra, ou l'on doit avoir du barrémien, et s'abaissent au pied S.E. du Kef er Retba ou affleurent les marnes de Clansayes).

**IV-4-Anticlinal de Emmbarka :**

C'est une tranche anticlinale de structure très simple, conservée entre deux accidents S.E.N.W., qui montre une belle coupe stratigraphique allant du cénomanien au Barrémien.

**IV-5-Djebel Def :**

Grand dôme à auréole vraconienne et cœur de clansayes. (J'ai indiqué comme aptiennes des couches que j'ai laissées à l'Ouenza tout à fait à la base de la zone de Clansayes), le Def est coupé à l'E. par un grand accident - non visible d'ailleurs- de direction S.E.-N.W.

**IV-6-Couverture N.W. du Dj. Ouenza :**

Occupant les régions de l'O. el Besbass et du Dj. El Krorza, elle comprend tous les terrains, du Cénomaniens inf. au début du Coniacien. Quelques ondulations tectoniques affectent le sommet du Cénomaniens moyen dans les environs de l'el Ateuch.

**IV-7-Effondrement Beni Barber Zone triasique N.E. de l'Ouenza :**

Simple à l'W., ce fossé de direction W.E. se complique à l'E. ou il a joué dans une zone envahie par le Trias. Sa limite S. qui se suit bien du N. du Dj. El Krorza au Kt el Hachana, devient confuse plus à l'E., dans la zone triasique : le Megsouma et le Fedj el Behim sont dans la zone affaissée, alors que le Douamis et le Kt es Snouber, plus septentrionaux ne sont pas affectés par l'effondrement. Plus à l'E. encore, la limite S. du fossé passe entre le Vraconien du Metegui Narou et le Cénomano-Turonien du Kt el Merouane.

La limite N., passant au S. du Ragoub et Fayala, au S. du Kt Rehaya elKbira, traversant le Kt el Golea, se poursuit dans la région du Draa el Melezz.

A l'W. Et au centre, le fossé nous a conservé du Santonien, et du Miocène (la subsidence du fossé qui a joué pendant le Miocène, explique le faible décrochement des grès que l'on observe aux environs du Draa el Melezz et la difficulté avec laquelle on suit dans cette région la limite de l'accident).

Au S.E., l'effondrement s'étant produit à une époque où le Trias diapyr était monté jusqu'au Cénomano-Turonien, le manque d'homogénéité locale des terrain sa donnée lieu à une dislocation chaotique des roches, dont les débris ont été repris dans les brèches de grande puissance, probablement quaternaires (elles sont analogues aux conglomérats des pentes de montagnes) qui ont été redressées parfois par des rejeux tectoniques liés au Trias ; ces derniers mouvements doivent encore se poursuivre.

**IV-8-La région du Ragoub et Fayala :**

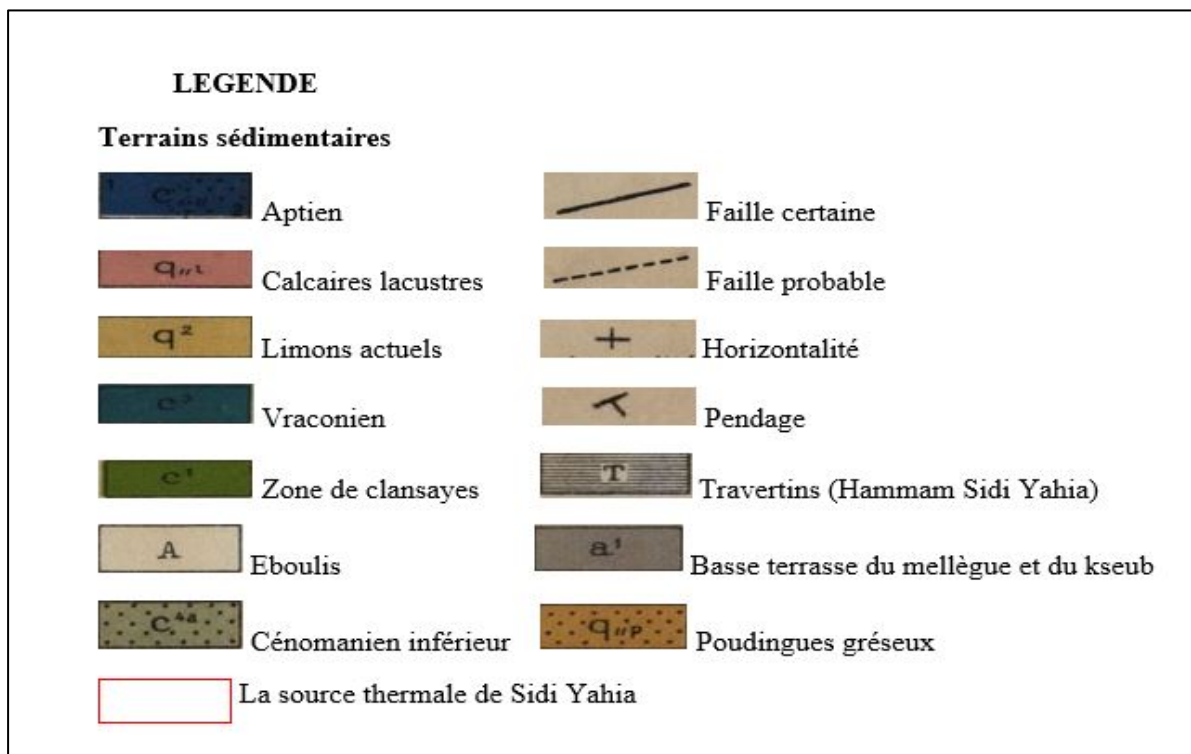
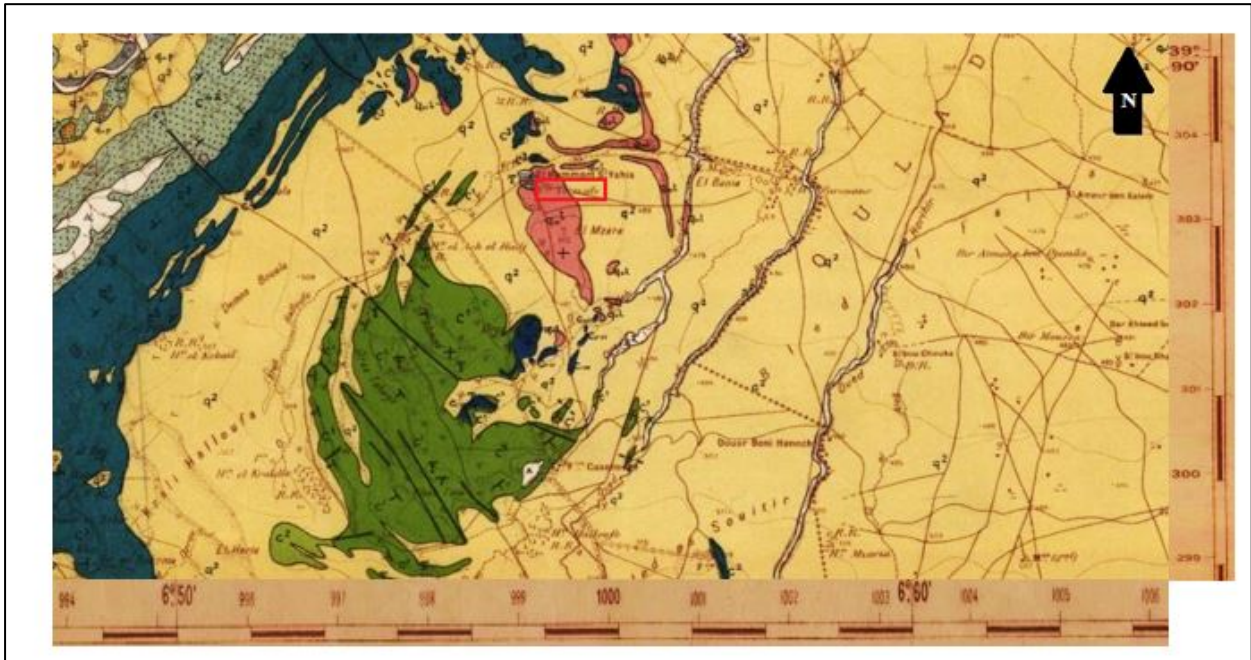
Pas de particularités en dehors du Ragoub ; celui-ci, limité au S. par la faille bordière du fossé des Beni-Barbar, est un, anticlinal turonien, pris en écharpe par une faille qui fait buter leCénomaniensup. de son cœur, contre le Sénonien.

**IV-9-Le bassin miocène de l'Oulija :**

Par le jeu de la subsidence des Beni-Barbar, le Miocène s'est déposé sous une grande épaisseur dans cette région (4 à 500 m.). Il est intéressant de remarquer que si le Miocène est transgressif sur le Trias au S. du bassin, ce dernier est revenu crever les grès après leur dépôt (S. du Dj. Ed Damouss).

**IV-10-La région de l'El Guessaat :** Sa complexité s'éclairera à la lueur de son histoire : au Santonien, variations de faciès marnes-calcaires (N. du Dj. Ez Zitoun) ; lors des grands

plissements, élaboration d'une structure anticlinale à auréole vraconienne ; diapyrisme du Trias (E. du Draa el Melezz) ; effondrement de direction S.E.-N.W. mettant en contact Vraconien et Sénonien et injection triasique dans la faille bordière ; dépôt du Miocène et plissement des grès ; dépôt des calcaires lacustres (Quaternaire ancien) mis en relief par le cycle d'érosion actuel.



**Figure 16 :** Carte géologique de la source Thermale de Sidi Yahia

Source : Extrait de la carte géologique de Djebel Ouenza N° 125 au (1/50 000)

#### **IV-11-Les plaines-frontières Algéro-Tunisiennes :**

Entre Ouenza et Harraba au N, entre Def et Hameïma au S. en dehors de quelques affleurements miocènes (Garettes Sekkoum), triasiques (à l'W. De l'Harraba) ou quaternaires anciens, elles sont uniformément recouvertes par une grande épaisseur de limons.

#### **V-Tectonique :**

Les plissements de direction générale S.W-N. E sont de manière évidente postérieurs au sénonien et antérieurs au miocène. Le diapirisme du Trias doit être contemporain ou mieux, a dû commencer, au moment de cette phase tectonique primordiale.

Les failles S.W-N. E orthogonales aux plissements et très générales dans la région de l'Ouenza (E. du Def. W. de l'Hameïma, El Guessaat, etc.), sont postérieures aux grands plissements S.W-N. E (elles coupent les anticlinaux), mais antérieures au Miocène (les grès de l'Oulija ne sont pas affectés par l'accident de l'El Guessaat).

Outre la subsidence miocène du fossé des Beni Barbar et les déformations des grès miocènes postérieures à leur dépôt, il faut signaler, avec des nombreux mouvements du Trias, dont certains sont très récents, le soulèvement actuel et général de la région dont les conséquences sont la mise en relief des formations continentales du Quaternaire ancien et le creusement actuel du lit des oueds.

L'histoire tectonique de cette partie de l'Atlas Saharien correspond à une série d'événement dont chacun a laissé sa trace sur la physionomie actuelle de la région.

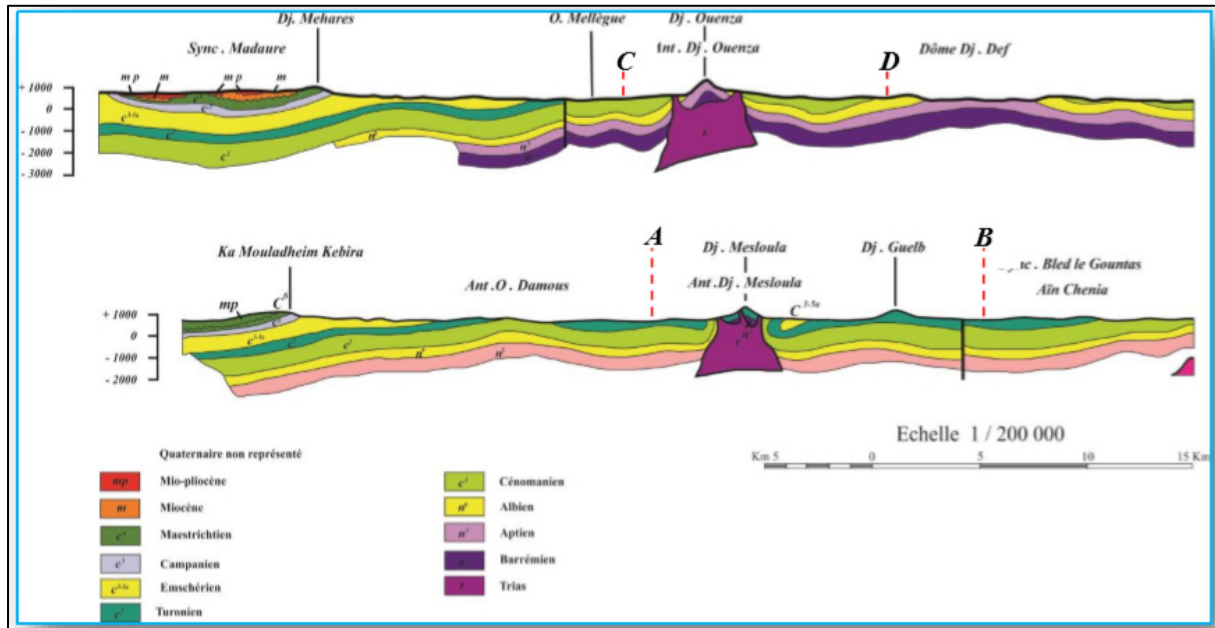
La structure est caractérisée par des éléments tectoniques simples, tels que les plis de direction NE-SW et les dislocations qui ont souvent un cours transversal à la direction de ces plis. On rencontre également des structures particulières, qui se sont survenues sous l'influence de la tectonique diapirique. La période crétacée a été, du point de vue tectonique, assez calme (**DOZET, 1985**).

La carte structurale permet de distinguer que ces plis ont une orientation atlasique SW-NE, ils sont de type concentrique.

Selon **G. Dubourdiu (1951, 1956 et 1959)**, le plissement de la région est postérieur au Lutétien Inférieur et antérieur au Miocène et il est peut-être responsable de l'émersion de la région à l'Eocène Moyen. Deux principales phases tectoniques ont eu lieu pour former de



nombreuses structures. Durant la première phase, de vastes plissements se sont produits en donnant naissance aux anticlinaux et synclinaux de direction sud-ouest au nord-est figure 06



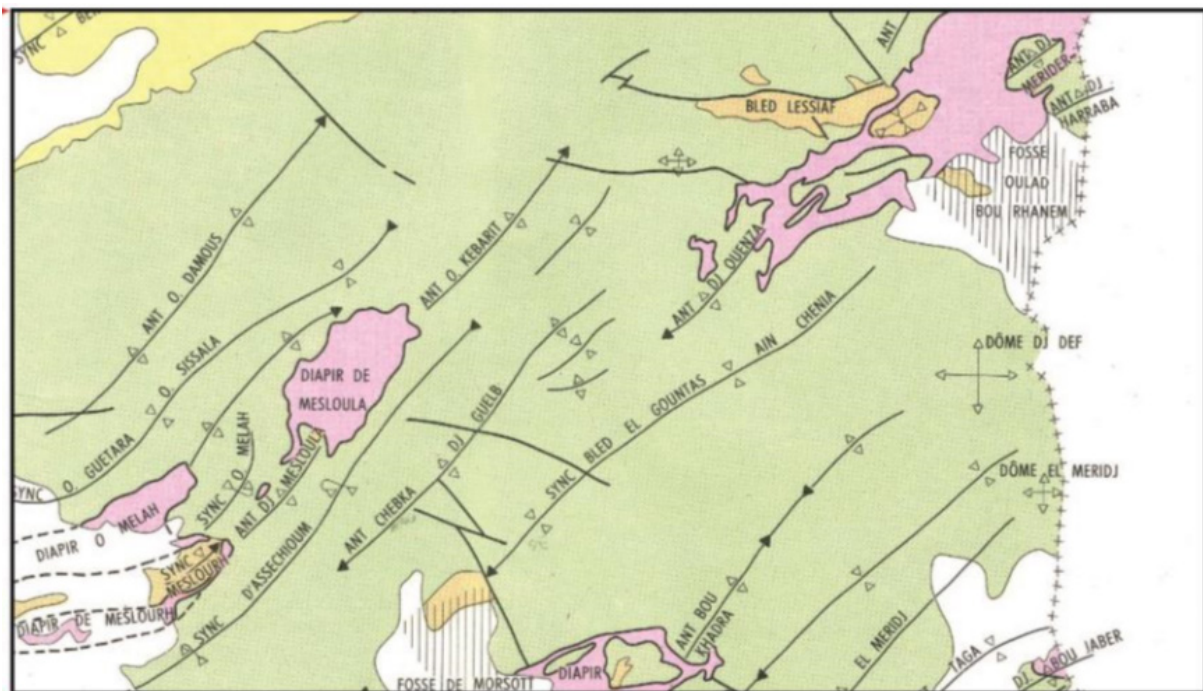
**Figure 17 :** Des coupes géologiques concernant la zone d'études  
[STAMBOULI,2017]

La phase des plissements fut suivie de la phase de la tectonique cassante où de nombreuses fortes failles et dislocations longitudinales et transversales sont survenues. La tectonique post Miocène avait un effet grandiose sur l'orographie, les structures atlasiques orthogonales aux grandes failles à rejets importants, d'orientation NW-SE peuvent être considérées comme le résultat de cette phase.

Le fossé tectonique de Morsott d'âge post-Miocène d'orientation générale NNW-SSE s'étend au sud de la région d'étude. Les sédiments post-villafranchiens comblent les parties basses.

Les diapirs forment les noyaux des anticlinaux et il affleure parfois à la faveur des contacts anormaux comme ils peuvent également remplir les fractures les plus importantes. Les fossés diapiriques se sont poursuivis durant la constitution du fossé tectonique de Morsott. Ces diapirs étaient en action au Crétacé, au Miocène, au Pliocène et probablement au Quaternaire ancien.

La tectonique diapirique se manifeste au contact du Trias par un redressement à la verticale des dos formations avoisinantes (calcaires Aptiens au Djebel Boukhadra, Djebel l'Ouenza et Djebel Mesloulia). (Figure 07)



**LEGENDE DU SCHEMA STRUCTURAL**

**CYCLES SEDIMENTAIRES**

	Quaternaire et Plio-Quaternaire
	Mio-Pliocene
	Miocène et Oligo-Miocène
	Crétacé et Eocène
	Trias

**SIGNES CONVENTIONNELS**

	Faïlle visible et supposée
	Contact anormal
	Axe Synclinal
	Axe anticlinal
	Axe de Synclinal renversé
	Dôme
	Plongement d'axe de pli
	Fossé quaternaire

**Figure 18** : Carte structurale de la région (extrait de la carte géologique Souk Ahras, 1/200 000) [STAMBOULI, 2017]

Dans la région d'Ouenza qui fait partie du domaine atlasique, nous retrouvons la direction générale des plissements, c'est à dire Sud-Ouest au Nord Est. Ces plissements de couverture qui donnent les grands axes anticlinaux et synclinaux sont cependant compliqués par une tectonique cassante traduisant les mouvements du socle et se manifestant par des failles Sud Est - Nord-Ouest, orthogonales aux directions précédentes. A cette tectonique déjà complexe vient s'ajouter le diapirisme triasique qui perturbe encore les structures (Djebel Ouenza).

Dans notre zone d'étude, les différentes unités tectoniques seront :

- Anticlinal du Djebel Mesloul (qui se continue par l'anticlinal Oued Kebarit) □ Synclinal d'Assechioum.
- L'anticlinal du Djebel Ouenza (faillé sur sa bordure Est diapirisme triasique) et anticlinal du Dj. Guelb (au sud-ouest d'El Aouinet) : ces anticlinaux sont séparés par de petits synclinaux.
- Le synclinal Bled El Gountas - Ain Chenia.
- Anticlinal Boukhadra (vers le nord est : dôme du Djebel Def grand dôme à cœur Aptien, faillé dans ses terminaisons périclinale).
- Le synclinal d'El Meridj, qui forme la plaine au sud de l'Ouenza, synclinal à priori dissymétrique : pendages faibles et réguliers sur sa bordure Est, pendages forts parfois verticaux à l'Ouest.

En ce qui concerne la tectonique cassante que presque la totalité des failles présentent une direction NNO - SSE et parfois Ouest - Est avec un parcours d'ordre kilométrique.

## **VI-Minerais et substances utiles :**

La grande richesse du pays est la masse hématitique de l'Ouenza qui résulte de l'oxydation d'un amas de sidérose et de pyrite. Le carbonate provient lui-même de la métasomatose des calcaires récifaux de l'Aptien par les venues minéralisantes sulfureuses.

Quelques amas de fer se rencontrent également à l'Harraba et à l'hameima.

Localement un peu de galène ou de baryte ; un cuivre gris dans la mine de fer de Hallatif. Le gypse très général dans le trias peut se trouver localement en amas suffisant pour justifier la fabrication de plâtre. Des matériaux de construction excellents sont fournis par l'Aptien récifal et par le calcaire vraconien ; ils peuvent bien entendu servir aussi à l'empierrement des routes.

## VII-Régimes des eaux :

En dehors de la source thermale du Hammam Sidi Yahia de quelques suintements à la base des grès miocènes et de quelques sources dans les oueds, les points d'eau naturels sont rares.

**Nappes phréatiques :** la seule qui ait un peu d'importance est celle de la plaine qui s'étend au pied W. de dj Hmeima : l'eau circule sur un fond marneux dans les limons contenant des lits de cailloutis ou galets ; de nombreux puits y sont creusés et permettent l'établissement d'une population indigène assez dense.

**Nappes profondes :** des sondages pourraient être entrepris dans la cuvette miocène de l'Oulija ou les grès sont très perméables dans la plaine du Kseub en misant sur une perméabilité suffisante des calcaires vraconiens, on pourrait tenter des forages artésiens.

## VIII-Hydrogéologie Et Stratigraphie :

L'examen de la série litho stratigraphique décrite plus haut permet d'identifier quelques formations perméables susceptibles d'être aquifères, présentant un intérêt hydrogéologique, et d'autres imperméables pouvant jouer le rôle de substratum imperméable :

**VIII-1-Formations perméables :** On peut citer :

**VIII-1-a-Les calcaires de l'Albien Moyen :** Les indications que nous possédons sur la valeur hydrogéologique de cette formation sont essentiellement basées sur l'exécution de deux forages :

- **Le forage d'Ain Chenia gare (S.E. M1) :** Après avoir traversé des marnes et marno-calcaires jusqu'à 15m, le forage est resté dans une formation franchement calcaire jusqu'à 60 m, Le débit du forage est de 5 l/s, le niveau aquifère est constitué par les calcaires broyés compris entre 45 m et 60 m.
- **Le forage d'El Meridj :** Au Sud – Est du Djebel Def, ce forage a traversé 82 m de calcaires puis des marno-calcaires à intercalations marneuses jusqu'à 179,20 m. Il a fourni un débit quasiment nul puisqu'il a été asséché suite à un pompage. Malgré ces résultats médiocres, il semble cependant que cette formation soit susceptible de certains débits lorsqu'elle présente un degré de fracturation notable, c'est ainsi que plusieurs sources se trouvent à la terminaison périclinale Nord - Est de l'anticlinal

du Djebel Def. Leurs débits n'ont fait cependant jusqu'à présent que l'objet d'évaluation grossière, ce sont :

- ✓ **La source "romaine"** débit environ 3 l/s, résistivité 6 ohm.m.
- ✓ **L'Ain Karetta**, débit 0,5 l/s, résistivité 5 ohm.m.

La partie Sud du Djebel Def comporte également d'autres sources à faible débit (Ain El Annba, Ain Assila...). Les eaux de toutes ces sources sont assez fortement sulfureuses. En conclusion, les assises albiennes semblent posséder une certaine perméabilité et être susceptibles de restituer un certain débit. Nous noterons cependant qu'au niveau de la fermeture périclinale orientale faillée, un drainage par les alluvions de la plaine apparaît comme possible.

#### **VIII-1-b-Les calcaires Turoniens :**

Formant les flancs des anticlinaux du Djebel Mesloulia au sud-ouest et Djebel l'Ouenza au nord-est : ce sont des calcaires en plaquettes séparées par des niveaux argileux. Au sud le Turonien forme le synclinal du Bled El Gountas - Ain Chenia.

#### **VIII-1-c-Les formations du Miocène :**

Au niveau du secteur d'étude le Miocène forme des petits synclinaux : au sud-ouest d'El Aouinet à Mestourh, au sud au niveau de la montagne de Remila, au nord – est du secteur d'étude au niveau du Djebel Ed Damous. Les affleurements les importants apparaissent au Nord de l'Ouenza, dans le bassin de l'Oulija ; il est formé d'une alternance de marnes et de grés (30% grés) il a été traversé par des forages de 300 à 400 m. Les débits obtenus sont de 2 à 3 l/s, les eaux sont très chargées (2 à 3 g/l) et il ne présente aucun intérêt du point de vue exploitation.

#### **VIII-1-d-Les formations Plio-Quaternaires :**

Qui sont très perméables et se rapprochent progressivement de la surface du sol du Sud - Ouest au Nord - Est, suite à la remontée du substratum.

#### **VIII-1-e-Le Quaternaire :**

Celui-ci présente des caractéristiques très différentes selon sa position.

**VIII-1-f-Le Quaternaire du synclinal d'El Meridj :**

Peu épais et formé essentiellement d'alluvions limoneuses, il ne présenterait qu'un intérêt minime.

**VIII-1-g-Le Quaternaire des oueds El Kseub et Mellegue jusqu'à Djebel Harraba:**

Nous ne possédons aucunes données stratigraphiques.

Peu de puits l'exploitent mais ils permettent de fournir les indications suivantes : les eaux sont généralement chargées (résistivités comprises entre 2 et 5 ohm.m) à l'exception d'un puits situé à proximité de l'Oued Ez Zitoun (résistivité égale à 12 ohm.m). Pour ce dernier l'aquifère serait constitué par un conglomérat relativement cimenté. Cependant il est nécessaire de noter que l'alimentation devrait se faire à la fois par inféro-flux des oueds El Kseub et Mellegue dont les eaux sont chargées en sels minéraux (résistivité égales à 2 - 3,5 ohm.m soit 1,5 à 2 g/l) du fait de la contamination par les marnes triasiques et par les éboulis consolidés du Djebel Harraba qui formeraient drain.

**VIII-1-h-Le Quaternaire de l'Oued Horihir :**

Ce dernier ne fait pas partie à proprement parler de notre zone d'étude, mais mérite une attention particulière car il existe une nappe continue, peu chargée, exploitée avec des débits de 5 à 10 l/s, du côté tunisien, son alimentation peut être importante du fait de l'étendue du bassin versant et surtout du drainage des calcaires perméables du massifs du Dyr d'âge Eocène et Maestrichtien. C'est certainement la zone qui mérite une reconnaissance systématique hydrogéologique.

**VIII-2-Formations imperméables :** On peut citer :

- Les marnes aptiennes-albiennes ;
- Les marnes cénomaniennes ;
- Les marnes Emscheriennes ;
- Les marnes campaniennes ;
- Les marnes du Maestrichtien inférieur ;

# **CHAPITRE III**

## **Climatologie**

## I-Introduction :

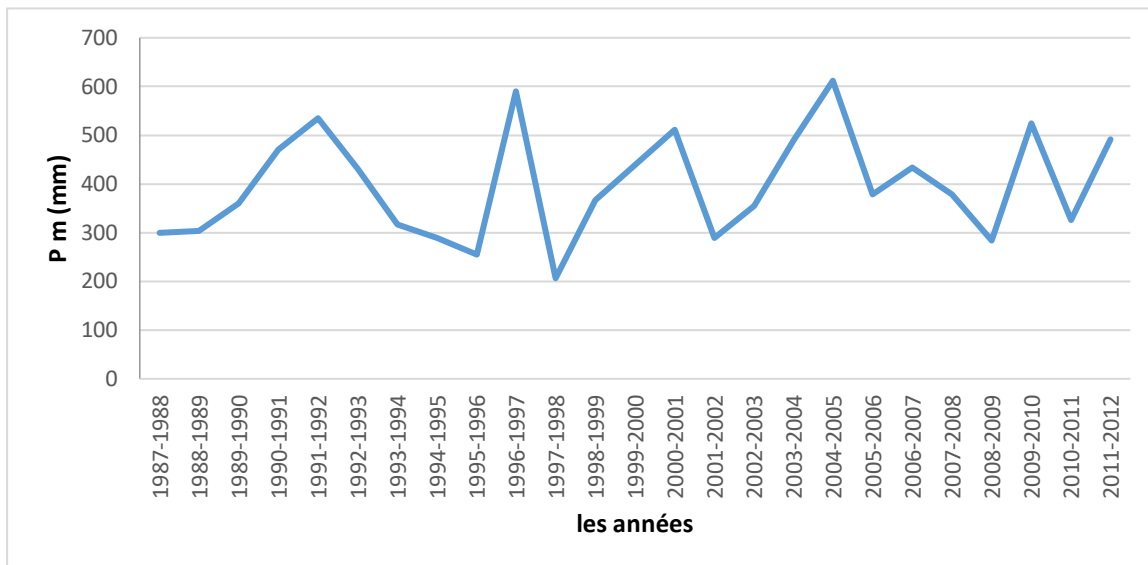
Dans un pays comme l'Algérie caractérisé par le contraste entre le climat méditerranéen en bordures littorales et le climat désertique du sud en passant par le climat des montagnes, des hauts plateaux, il est nécessaire d'étudier le type climatique de la région d'étude. La connaissance des facteurs climatiques (pluviométrie, température.....) est indispensable pour quantifier les ressources en eau et déterminer la part de l'eau qui s'infiltré.

Pour notre travail on a étudié les paramètres climatiques de la station d'Ouenza : (Coordonnées de situation géographiques : X= 989,37 km, Y= 312,62 km, Z=496m) pour une période d'observation allant du l'année 1987 à l'année 2012.

## II-Etude Des Précipitations :

**II-1-Variation de la pluviométrie annuelle :** La pluviométrie est un paramètre plus important, car elle conditionne l'écoulement saisonnier, le régime des cours d'eau et le plus important l'alimentation des nappes d'eau souterraines et des sources.

Les hauteurs des précipitations moyennes annuelles sont fournies par l'ANRH [STAMBOULI, 2017].



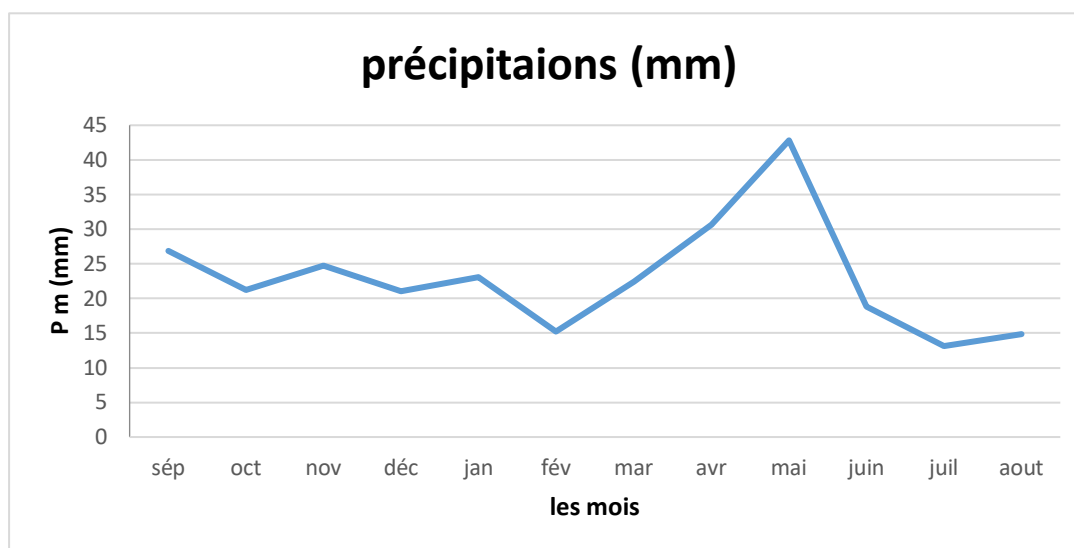
**Figure 19 :** précipitations moyennes interannuelles de la station de Ouenza (1987-2012) [STAMBOULI, 2017]



La figure (Fig.20) Présente l'évolution de la pluviométrie annuelle où l'on remarque que la hauteur maximale des précipitations atteint 413,7 mm à l'Ouenza (1996-97) tandis que la hauteur minimale est enregistrée en (1994-95) égale 57,8. La variation temporelle de ces précipitations annuelles montre un régime annuel très irrégulier d'une année à l'autre.

### II-2-Variation de la pluviométrie mensuelle :

La figure suivante montre l'évolution de la pluviométrie de la région d'étude d'un mois à l'autre de la période d'observation (1987-2012). Le mois le plus arrosé est le mois de Mai avec une valeur maximale égale 42,82 mm, tandis que la valeur minimale est enregistrée au mois de Juillet égale 13,13 mm.



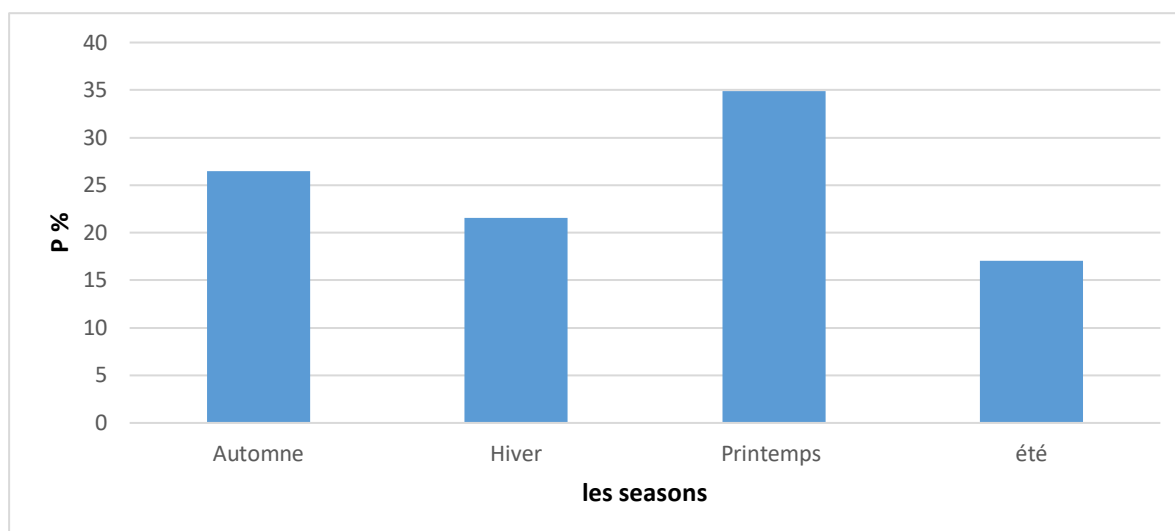
**Figure 20 :** précipitations moyennes mensuelle de la station de Ouenza (1987-2012)  
[STAMBOULI, 2017]

### II-3-Etude de la pluviométrie saisonnière :

L'étude de la répartition saisonnière de la pluviosité (Tab.3, Fig.21) montre que le printemps est la saison la plus humide avec un pourcentage égal 34,89 % des précipitations, la saison la plus sèche est l'été avec un pourcentage égale 17,03 % des précipitations. L'automne est relativement plus humide que l'hiver au niveau de la station d'Ouenza avec un pourcentage égale 26,50%.

	Moyenne saisonnière	Hiver	Printemps	Eté	Automne
<b>Ouenza</b>	mm	59.33	95.95	46.83	72.86
	%	21.58	34.89	17.03	26.50

**Tableau 03** : précipitations saisonnières. [STAMBOULI, 2017]



**Figure 21** : Pourcentage de la répartition saisonnière des précipitations pour une période (1987-2012) [STAMBOULI, 2017]

### III-Etude Des Températures :

La température est le second facteur régissant les variations climatiques. Elle intervient dans le calcul du bilan hydrologique de la région. Pour mener notre travail, nous disposons des températures enregistrées à la station de l'aéroport de Tébessa pour la période 1982-1983 à 2011-2012.

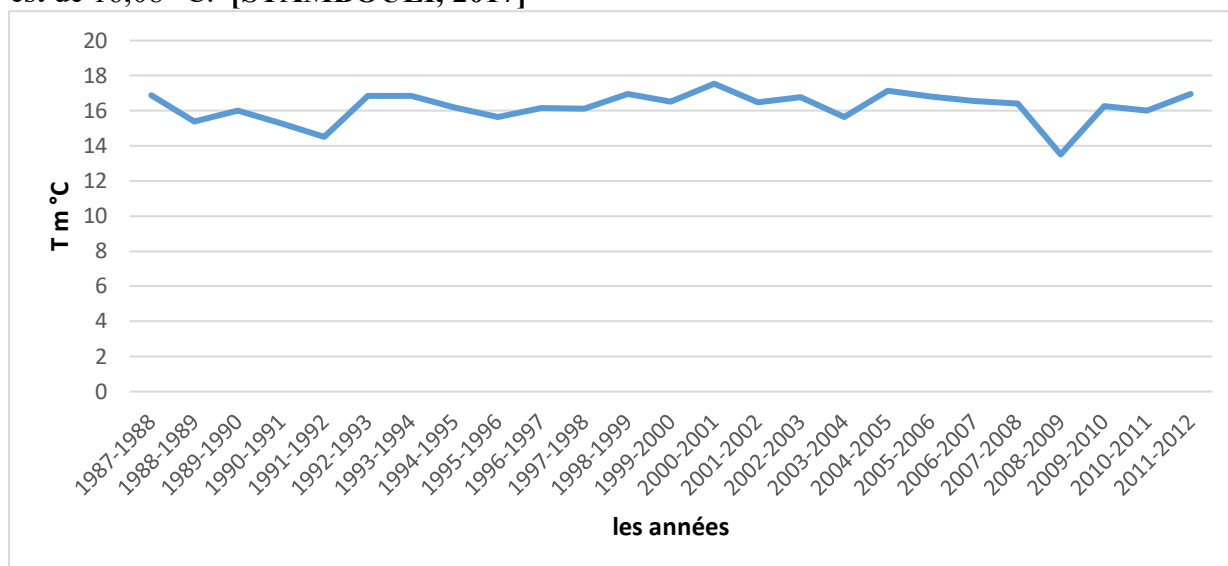
#### III-1-Les températures annuelles :

Ans	T moy ° C	Ans	T moy ° C
1982-1983	15.26	1997-1998	16.13
1983-1984	15.07	1998-1999	16.97
1984-1985	15.6	1999-2000	16.51
1985-1986	15.7	2000-2001	17.54
1986-1987	15.57	2001-2002	16.5
1987-1988	16.88	2002-2003	16.77
1988-1989	15.4	2003-2004	15.64
1989-1990	16	2004-2005	17.5
1990-1991	15.28	2005-2006	16.8
1991-1992	14.5	2006-2007	16.55
1992-1993	16.58	2007-2008	16.41

1993-1994	16.84	2008-2009	13.51
1994-1995	16.18	2009-2010	16.28
1995-1996	15.65	2010-2011	16
1996-1997	16.16	2011-2012	16.97

**Tableau 04** : Températures moyennes annuelles. [STAMBOULI, 2017]

Les températures moyennes annuelles varient de 13,51 °C (2008-2009) l'année la plus froide à 17,54 °C (2004-2005) l'année la plus chaude. Le reste oscille entre 15,5 et 16,5 °C, la moyenne est de 16,08 °C. [STAMBOULI, 2017]



**Figure 22** : Température moyenne annuelle de la station de Tébessa (1987-2012).

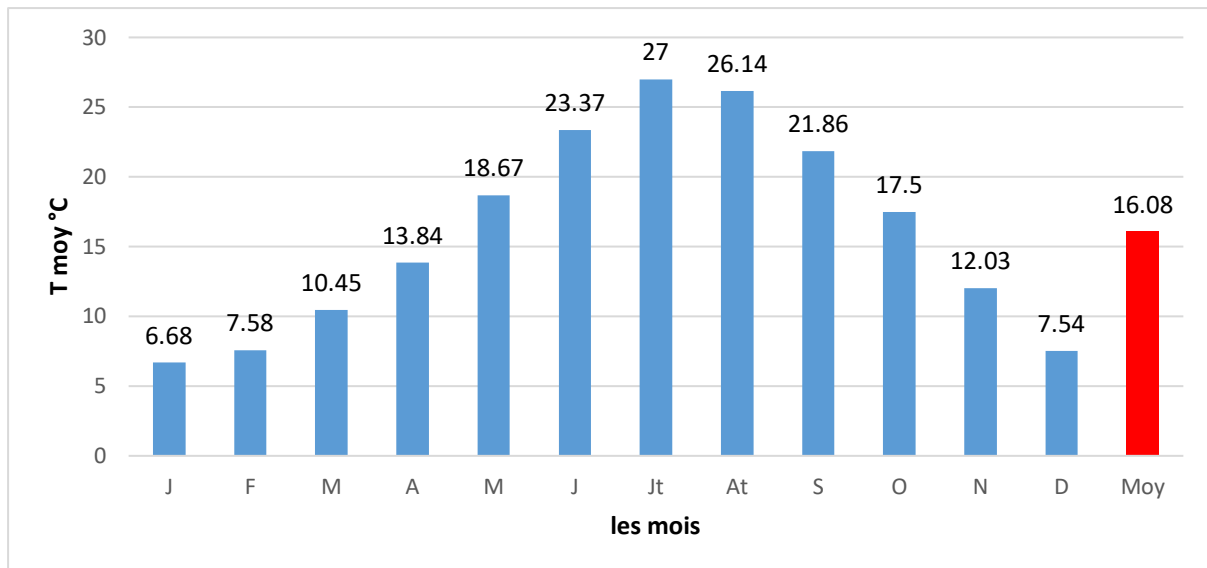
### III-2-Températures moyennes mensuelles :

On dispose des données de températures moyennes mensuelles de la station de Tébessa pour la période 1982/2012 (Tab.5). [STAMBOULI, 2017]

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Moy
Tébessa	21.86	17.50	12.03	7.54	6.68	7.58	10.45	13.84	18.67	23.37	27	26.14	16.08

**Tableau 05** : Température moyenne mensuelle de la station de Tébessa (1987-2012).

La figure 23 (Fig.23) montre que les basses températures s'observent de décembre à février, avec un minimum de 6,68 pendant le mois de Janvier, tandis que les températures moyennes élevées s'observent aux mois de juillet avec 27°C et août avec 26,14°C. L'écart thermique entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid varie est de 20,32 °C.



**Figure 23 :** Température moyenne mensuelle de la station de Tébesa (1987-2012). [STAMBOULI, 2017]

### III-3-Les indices thermiques :

#### III-3-a-Indice de Martonne :

Cet indice ne peut être calculé pour la station d'Ouenza, car on n'a pas la température. En se basant sur le régime des précipitations et des températures De MARTONNE (1923) a défini un indice d'aridité "A".

$$A = P / T + 10$$

Avec :

P : précipitations moyennes annuelles (mm). T : température moyennes annuelles (°C).

Pour :

$A < 5$  : climat hyperaride.

$5 < A < 7,5$  : climat désertique.

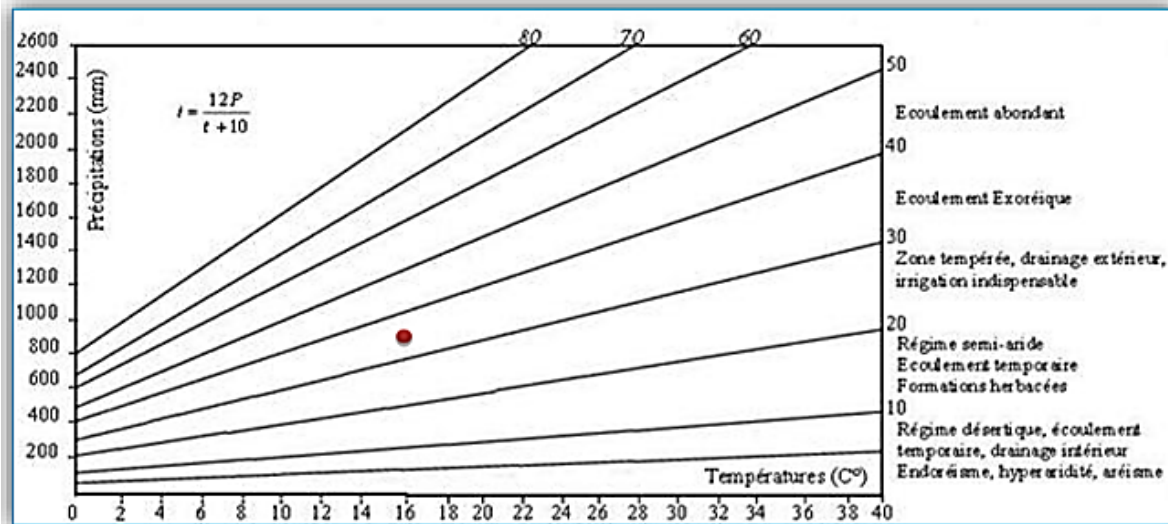
$7,5 < A < 10$  : climat steppique.

$10 < A < 20$  : climat semi-aride.

$20 < A < 30$  : climat tempéré.

Station	P(mm)	Indice de Martonne	Type de climat
Tébessa	356,85	13,68	semi-aride

Tableau 06 : Indice d'aridité annuel de De Martonne. [STAMBOULI, 2017]



● Tébessa

Figure 24 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne. [STAMBOULI, 2017]

III-3-b-Diagramme pluviothermique de Gausсен et Bagnouls : Selon BAGNOULS et GAUSSEN (1953), un mois est dit sec si : le total mensuel des précipitations exprimées en millimètres est égal ou inférieur au double de la température moyenne, exprimée en degrés centigrades, cette formule ( $P \leq 2T$ ) permet de construire des diagrammes pluviothermiques traduisant la durée de la saison sèche d'après les intersections des deux courbes. Appliquée à la station de Tébessa, il résulte que la saison humide s'étend du mois d'Avril jusqu'à mi-novembre.

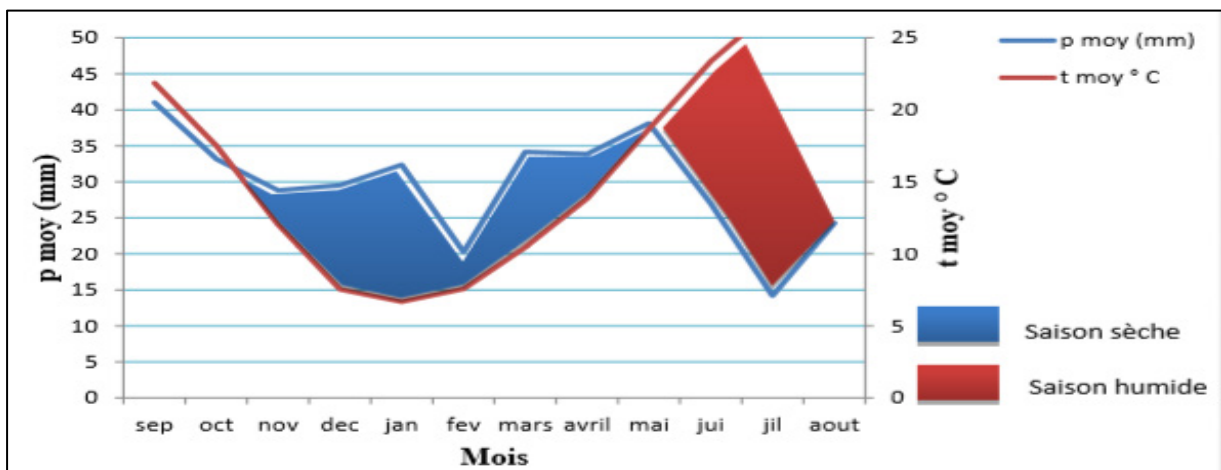


Figure 25 : Diagramme ombrothermique de la station de Tébessa. [STAMBOULI, 2017]

#### **IV-Bilan hydrique :**

Le Dictionnaire de la géographie définit "bilans hydriques ou hydrologiques" : "Etude comparée de la lame d'eau tombée à la surface d'un territoire ou d'un bassin versant et des différentes formes de transfert de cette eau soit par évapotranspiration, écoulement, infiltration et alimentation des nappes souterraines.

Le bilan hydrologique est le total des apports à un bassin versant ou à une formation aquatique, il doit être égal au total des sorties plus la variation, positive ou négative, du volume d'eau stocké dans le bassin ou la formation. Il se résume par l'équation :

$$P = ETR + R + I$$

Où :

**P** : la précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

**R** : le ruissellement moyen annuel en (mm) ;

**I** : l'infiltration moyenne annuelle en (mm) ;

**ETR** : l'évapotranspiration réelle en (mm).

Le but du bilan hydrique est d'estimer la répartition des quantités d'eau, sous ces diverses formes, qui alimentent un bassin versant ou une formation aquatique.

#### **IV-1-L'évapotranspiration :**

L'évapotranspiration englobe l'ensemble des phénomènes qui conditionnent de façon importante le cycle de l'eau principalement au niveau de l'interface entre l'atmosphère et de la lithosphère, ou bien c'est l'ensemble des phénomènes qui par un processus physique transforment l'eau en vapeur.

#### **IV-1-a-L'évapotranspiration réelle (ETR) :**

C'est la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à son humidité spécifique actuelle et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire réelle.

**Formule de Turc :**

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec :  $L = 300 + 25T + 0.05 T^3$

**ETR** : l'évapotranspiration réelle en (mm) ;

**P** : la précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

**T** : la température moyenne annuelle en (°C).

**IV-1-b-L'évapotranspiration potentielle (ETP) :**

Elle est définie couramment comme la somme de l'évaporation par la surface du sol et de la transpiration par le feuillage d'une culture dont les stomates sont entièrement ouverts, lorsque le sol fournit toute l'eau demandée, l'ETP peut être mesurée à l'aide de la formule de

C.W.THORNTHWAITE :

$$ETP = 16 [10T/I]^a \cdot K$$

En cm/mois

Avec :

$$a = 0.016 I + 0.5$$

**a** : constante régionale déterminée par la méthode de régression ;

**ETP** : l'évapotranspiration potentielle en (mm) ;

**T** : la température moyenne mensuelle en (mm) ;

**K** : coefficient d'ajustement mensuel (correction) ;

**I** : l'indice thermique annuel, c'est la somme de douze (12) indices thermiques mensuels  $i$ ,

**ou** :  $i = (T / 5)^4$ .

**IV-2-Calcul du déficit agricole :**

La différence entre l'évapotranspiration potentielle (ETP), et l'évapotranspiration réelle (ETR) ainsi calculé constitue le déficit d'eau, car il représente la quantité d'eau supplémentaire qui aurait pu être utilisée par les plantes et le sol si la disponibilité en eau avait pu être artificiellement donnée par un système d'irrigation.

**IV-3-calcul du bilan hydrique :**

L'étude des bilans hydriques est compliquée par le fait que les deux variables de commandement ne sont pas indépendantes. La quantité évaporée dépend évidemment de la quantité d'eau disponible : elle cesse lorsque le volume d'eau apporté par les précipitations est épuisé. Ceci a conduit à introduire la notion d'évapotranspiration potentielle : la quantité d'eau qui peut passer dans l'atmosphère en fonction du seul état de celle-ci, en supposant que la quantité d'eau disponible ne soit pas un facteur limitant. (La quantité d'eau que l'on ajoute dans un vase de fleurs de façon à maintenir le niveau constant est une mesure de l'évapotranspiration potentielle en fonction de l'état de l'atmosphère dans le lieu où se trouve ce vase). Il est courant, dans l'étude des bilans hydriques de comparer les précipitations (P) et l'évapotranspiration potentielle (ETP), ce qui permet de distinguer des situations différentes en fonction de seuils qui sont directement significatifs pour un lieu ou une période donnée :

Si  $P < ETP$ , l'évaporation réelle sera égale à P ; il y aura prélèvement sur les réserves, absence d'écoulement ; la période sera dite déficitaire.

Si  $P > ETP$ , l'évaporation réelle sera égale à l'ETP, il y aura écoulement et constitution de réserves ; la période sera dite excédentaire.

La réserve facilement utilisable (RFU) présente la quantité d'eau disponible dans le niveau superficiel du sol.

L'excédent (EXC) d'écoulement appelé pluie efficace, est le reste des eaux de pluie, d'écoulement et d'infiltration.

Le déficit agricole (DA en mm), il résulte de la différence entre l'ETP et l'ETR, il représente la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux cultures pour que la sécheresse ne l'atteigne pas.



Mois	S	O	N	D	J	F	M	AV	Mai	J	Jt	Ao	Année
T°	17,5	12,03	7,54	7,54	7,58	10,45	13,84	18,67	23,37	27	26,14	21,86	
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	
ETP Cor	69,1	34,20	13,60	13,50	13,90	23,60	46,2	81,7	133,20	170,50	164	113,9	877,4

**Tableau 07:** Calcul de l'ETP selon la méthode de Thornthwaite à la station de Tébessa  
Période (1982-2012). [STAMBOULI, 2017]

Les résultats obtenus par l'application de la formule de Turc pour la station d'OuENZA est donné dans le tableau suivant :

Station	P(mm)	ETR (mm)	ETR (%)
L'OuENZA	274,97	264,25	96,10

**Tableau 08 :** Evapotranspiration réelle (méthode de Turc). [STAMBOULI, 2017]

#### IV-3-a-Méthode de Thornthwaite :

La méthode de THORNTHWAITE donne une estimation de l'évapotranspiration réelle équivalente au déficit d'écoulement. Le bilan peut donner les caractéristiques du sol du point de vue sécheresse ou humidité. Le bilan prend en considération : La précipitation P et l'ETP ; La réserve facilement utilisable RFU ; Le déficit agricole et l'excès d'eau.

Thornthwaite, dans ses calculs utilisait une valeur moyenne de la RFU = 100 mm. Les valeurs avancées dans la littérature varient énormément d'un auteur à l'autre : en 1954 Hallaire, a proposé une méthode permettant d'améliorer la connaissance de la réserve en eau du sol qui est donnée par la relation suivante :

$$RFU = (C - F / 100) * h * D + 30 \text{ mm}$$

Où :

RFU : Réserve facilement utilisable en (mm).

C : Capacité de rétention aux champs.

F: Capacité du point de flétrissement des plantes; c'est la limite inférieure de l'eau absorbable par les plantes.

h : Profondeur du sol en (mm).

D : Densité apparente du sol (Hallaire propose de prendre D = 1).

Les 30mm supplémentaires correspondent au déracinement capillaire.

Hallaire propose :

$C - F = 05 \% \rightarrow$  pour un sol sablo – limoneux.

$C - F = 10 \% \rightarrow$  pour un sol limoneux.

$C - F = 20 \% \rightarrow$  pour un sol argilo – limoneux.

Selon l'étude agropédologique du cabinet LE PETIT (1966/67), effectuée sur la plaine de Tébessa, le RFU est estimé à  $23 < RFU < 35$  mm. 25 mm (**Djabri 1987**).

En 1979 W.J.Ricart propose la relation suivante :

$RFU = (Da \times He \times P)/3$  avec Da : Densité apparente du sol – He : Capacité de rétention e %

P : profondeur de la terre parcourue par les racines en (m).

Le principe de détermination de ce bilan est le suivant :

Si :  $P > ETP \rightarrow ETR = ETP \rightarrow RFU = P - ETP$ .

Si :  $P = ETP \rightarrow$  Les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol mais il n'y aura pas de Surplus pour alimenter la RFU  $\rightarrow [RFU = 0]$ .

Si :  $P < ETP \rightarrow$  il y aura épuisement des réserves, dans ce cas on aura un déficit du bilan ( $ETP - ETR$ ), ou encore ( $ETP - P$ ) qui représentera la quantité d'eau qu'il faudra ajouter à l'ETR pour atteindre l'ETP.

Pour nos calculs nous avons pris  $RFU = 25$  mm (**professeur Djabri Larbi 1987**).

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
S	17.5	9.3	1.03	69.1	41.04	-28.0	-0.4	0.0	0.0	41.0	28.0	0.0
O	12.03	6.7	0.97	34.2	33.17	-1.1	0.0	0.0	0.0	33.2	1.1	0.0
N	7.54	3.8	0.86	13.6	28.82	15.2	1.1	15.2	15.2	13.6	0.0	0.0
D	7.54	1.9	0.85	13.5	29.55	16.1	1.2	9.8	25.0	13.5	0.0	2.3
J	7.58	1.6	0.87	13.9	32.36	18.4	1.3	0.0	25.0	13.9	0.0	14.4
F	10.45	1.9	0.85	23.6	20.26	-3.3	-0.1	-3.3	21.7	23.6	0.0	0.0
M	13.84	3.1	1.03	46.2	34.2	-12.0	-0.3	-12.0	9.7	46.2	0.0	0.0
A	18.67	4.7	1.09	81.7	33.89	-47.8	-0.6	-9.7	0.0	43.6	38.1	0.0
M	23.37	7.4	1.21	133.2	38.14	-95.0	-0.7	0.0	0.0	38.1	95.0	0.0
J	27	10.3	1.21	170.5	26.97	-143.6	-0.8	0.0	0.0	27.0	143.6	0.0
J	26.14	12.9	1.23	164.0	14.2	-149.8	-0.9	0.0	0.0	14.2	149.8	0.0
A	21.86	12.2	1.16	113.9	24.3	-89.6	-0.8	0.0	0.0	24.3	89.6	0.0
Annual	16.1	75.8		877.4	356.9	-520.5				332.2	545.2	16.7

**Tableau 09** : Bilan hydrologique selon Thornthwaite de la station de Tébessa pour la période (1982/2012). [STAMBOULI, 2017]

Le tableau récapitule les résultats de calcul du bilan hydrique pour la station de Tébessa en utilisant la méthode de Thorntwaite.

- **Calcul du ruissellement superficiel** : Il est estimé à partir de la formule de Tixeront-Berkaloff qui est la suivante :

$$R = P^3 / 3(ETPc)^2$$

L'application de cette formule a donné :

P en mm= 356,85

ETPc en mm =877,4

R en mm 19,68 soit 5,51 % des P

- **Infiltration** : L'infiltration est le passage de l'eau à travers la surface du sol, il est exprimé par la formule suivante:

$$P = ETR + R + I \rightarrow I = P - (ETR + R)$$

L'application de cette formule a donné les résultats suivants :

- P (mm)= 356.85
- ETR (mm)= 332,7
- R (mm) =19,68
- I (mm) =4,47 soit 1,25 % des précipitations.

### V-CONCLUSION :

Le climat de la région d'étude a été déterminé par la méthode de De Martonne, il s'agit d'un climat semi aride avec parfois des influence saharienne. La caractéristique dominante du climat est la tendance à l'aridité qui se concrétise par l'irrégularité du régime pluviométrique et par les fortes températures estivales qui entraînent une intense évaporation. La région étudiée est caractérisée par un déficit d'écoulement très marqué entraînant ainsi par des pertes en eau considérables soustraites aux apports par les précipitations. L'infiltration est très faible avec une valeur comprise entre 1,25 et 3,49 % des précipitations.

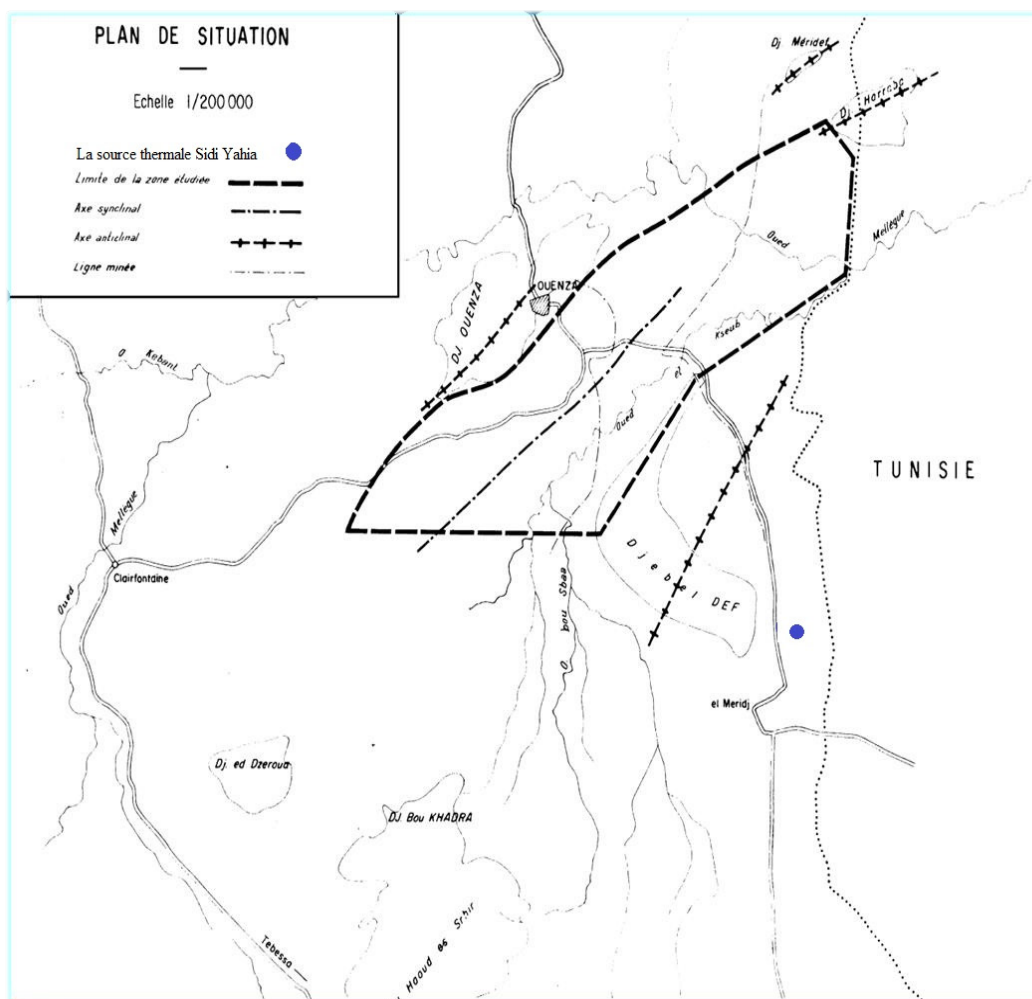
Dans les régions à climat aride à semi-aride, Le calcul au pas de temps mensuel n'est pas réaliste et l'infiltration ne peut être approchée que par le pas journalier ce qu'on ne pouvait pas faire à cause de manque de données.

**Chapitre IV**  
**Hydrogéologie**

## Apport de l'étude géophysique dans l'identification des conditions hydrogéologique d'émergence de la source thermique Sidi Yahia

### I-Introduction :

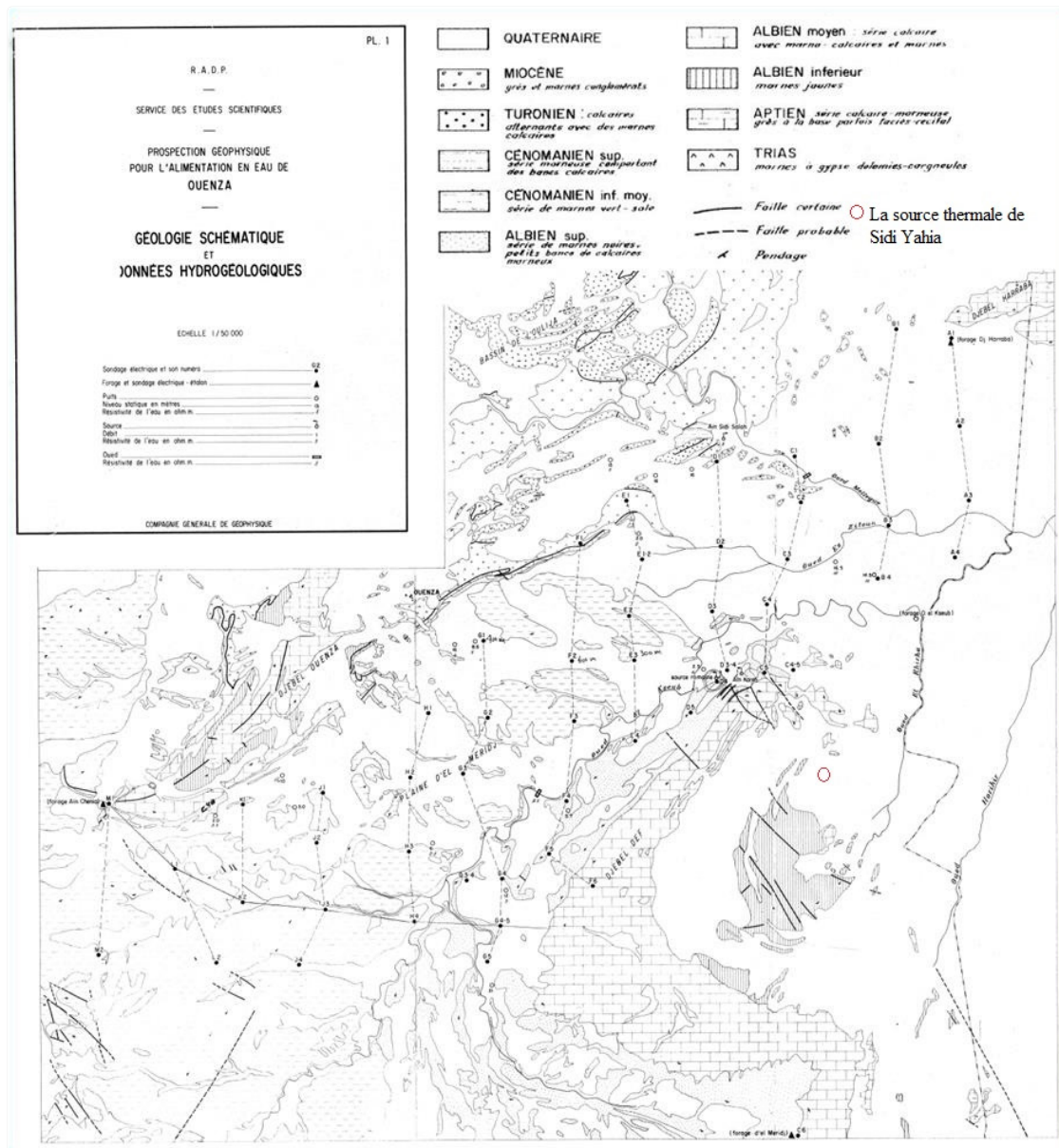
Dans le but d'atteindre une réponse satisfaisante sur les causes réelles de l'émergence de la source thermique Sidi Yahia, nous avons cherché dans les travaux précédents sur la région d'étude et nous avons trouvé cette étude géophysique qui a été effectuée par la C.G.G (Compagnie Générale de Géophysique) en 1970. Les travaux concernent la région d'Ouenza en particulier le synclinal d'El Meridj (Fig. 26).



**Figure 26** : Situation de la zone d'étude prospection électrique (C.G.G 1970).

[In stambouli,2017]

Douze profils de S.E. distants de 2 kms environ, ont été réalisés, les S.E. étant eux même distant de 1 à 2 kms environ sauf dans les terminaisons périclinales du Djebel Def où ils sont rapprochés. Ils se répartissent comme suit [Stambouli, 2017] (Fig.27) :



**Figure 27 :** Situation des sondages électriques (C.G.G 1970). [In stambouli,2017]

**II-Interprétation des résultats obtenus :**

**II-1-Echelle des résistivités :**

L'ensemble des S.E. permet de fournir l'échelle des résistivités suivante :

Cénomanien inférieur marneux 10 - 20 ohm.m

Albien supérieur calcaréo-marneux et marnes 80 - 100 ohm.m

Albien moyen :

- Niveau calcaire supérieur 100 à plus 500 ohm.m

- Niveau marno-calcaire inférieur 30 - 100 ohm.m

Albien inférieur marneux 10 - 30 ohm.m ?

Aptien calcaire du Djebel Harraba 80 - 150 ohm.m

Trias marneux à gypse environs 5 ohm.m

## II-2-Examen des résistivités :

- **Carte des résistivités en ligne AB = 2000m : Géométrie de l'aquifère : (Fig. 28)**

Elle indique deux ensembles bien distincts :

**II-2-a-Dans le premier ensemble, compris entre le Djebel Def et le Djebel Ouenza**, les courbes d'iso-résistivité sont grossièrement parallèles aux structures, de direction atlasique. Elles délimitent :

- Au niveau de l'axe du synclinal de la plaine d'El Meridj apparaissent des plages conductrices de résistivité apparente inférieure à 25 ohm.m, qui correspondent aux niveaux marneux très épais du Cénomaniens inférieur et moyen [(S.E. M2, L2, J3, G2 et E1-2) (Coupes E, F, G et H)] (P1.3)

- De part et d'autre du synclinal d'El Meridj les résistivités augmentent régulièrement on se rapprochant des affleurements des calcaires de l'Albien au niveau du Djebel Ouenza (nord-ouest) et du Djebel Def (sud-est).

Une seule anomalie est à noter au niveau des S.E. F5 et F6 où les courbes d'iso-résistivité s'incurvent brusquement, la première explication possible étant l'existence d'un accident affectant orthogonalement l'anticlinal du Djebel Def (F4).

- Enfin au niveau de la terminaison périclinale Nord-est du Djebel Def, les courbes d'iso-résistivité s'incurvent et présentent un gradient élevé : ce dernier est dû sans doute à un accident important de direction Nord-Ouest - Sud Est visible dans les affleurements (F1).

**II-2-b-Dans le deuxième ensemble, qui s'étendant depuis la terminaison périclinale Nord - Est du Djebel Def jusqu'au Djebel Harraba** : les courbes d'iso-résistivité sont grossièrement orientées Nord-Ouest - Sud Est, donc perpendiculairement à celle de la zone précédente.



- Une plage très conductrice, de résistivité inférieure à 6 ohm.m, est centrée sur les S.E. D2, C3 et B4. Elle est l'indice de la présence d'une formation très conductrice dont l'épaisseur peut atteindre 1000 m, qui correspond sans doute des marnes de Trias recouvertes éventuellement de marnes Miocènes.

- Les valeurs de la résistivité apparente augmentent, régulièrement vers le Nord - Est du fait de la proximité des affleurements calcaires du Djebel Harraba.

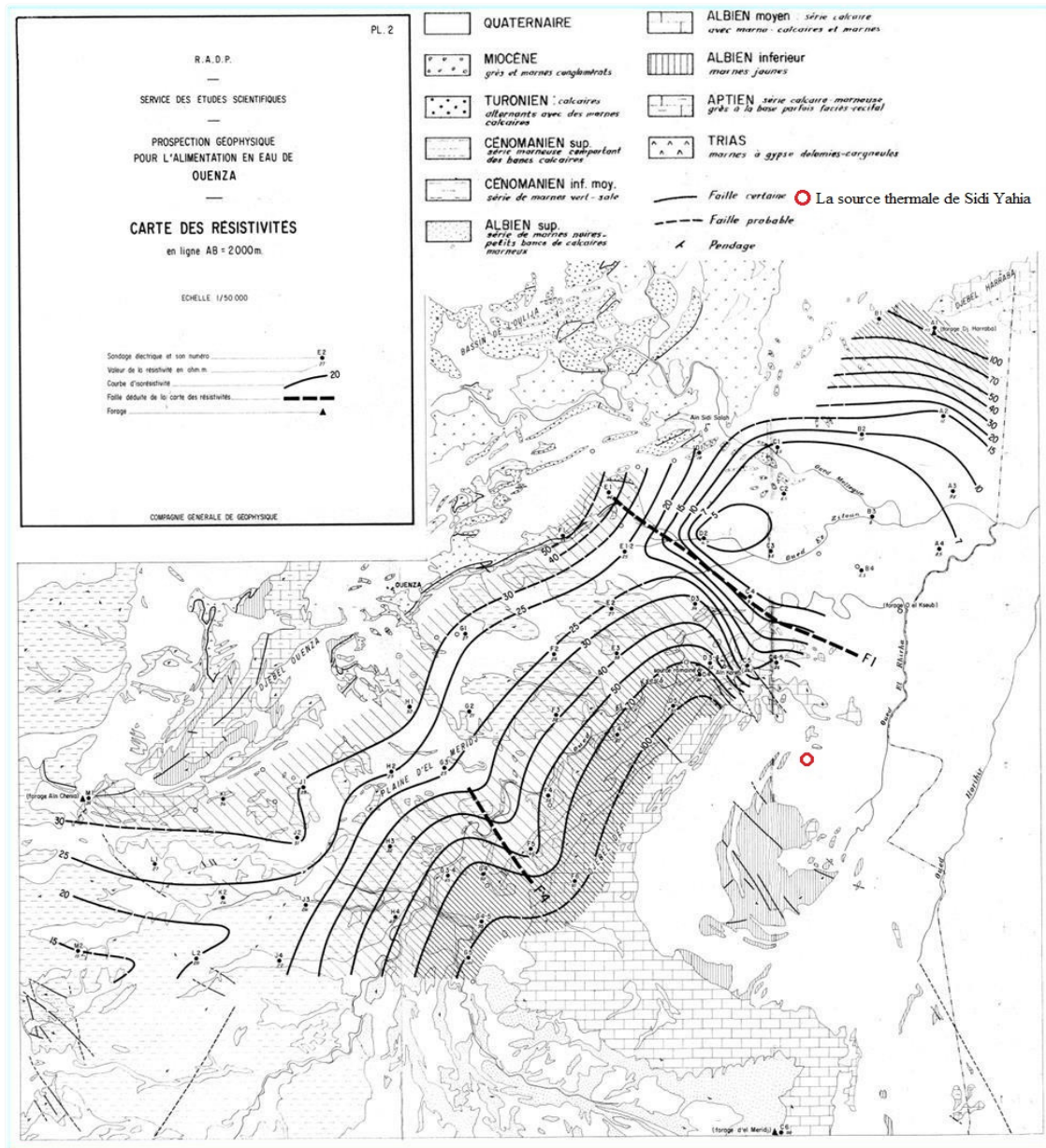


Figure 28 : Carte des résistivités en ligne AB = 2000 m (C.G.G 1970). [In stambouli,2017]



Il existe deux domaines géologiques bien différenciés, comme le laisser prévoir la carte des résistivités :

- Au nord - Est, entre le Djebel Def et le Djebel Harraba, une zone à substratum triasique où s'est développé le recouvrement Miocène.
- Le synclinal proprement dit d'El Meridj, entre le Djebel Def et le Djebel Ouenza.

Entre les deux zones, existe un accident important **F1** qui provoque la remontée du Trias et ferme au Nord - Est le synclinal d'El Meridj.

✓ **Zone à Trias du Nord - Est :**

Elle est caractérisée par une épaisse formation très conductrice de résistivité égale ou inférieure à 5 ohm.m. Cette formation peut atteindre 1000 m et plus au droit des S.E. A2 à A4, B3 et C. Son attribution aux marnes triasiques paraît évidente, du fait qu'elle prolonge les affleurements diapiriques au Nord - Ouest. Mais il faut cependant noter l'importance du Miocène dans cette zone, n'est pas à exclure. En effet le Miocène a pu développer un bassin subsident, identique à celui de l'Ouldja (au Nord de l'Ouenza), bassin de subsidence repris par les injections triasiques.

✓ **Zone synclinale d'El Meridj :**

Les calcaires marneux et marnes de l'Albien supérieur : montre, en bordure Sud du bassin, un niveau résistant parfois important (70 à 100 ohm.m), que l'on ne peut plus suivre au centre du bassin. Sa résistivité diminue probablement comme celle des calcaires de l'Albien moyen et il se confond également dans un ensemble englobant Albien supérieur et Albien moyen à 30 - 40 ohm.m de résistivité et 500 - 600 m d'épaisseur en moyenne.

Les calcaires de l'Albien moyen : en partant du Djebel Def il semble que leur résistivité diminuer en général du Sud au Nord en même temps qu'il s'approfondit. En se dirigeant vers le centre du bassin, on ne le distingue plus des autres niveaux, en particulier de l'Albien supérieur et on ne suit plus alors que le toit de ce dernier (mur du Cénomanién). Il semble donc que les calcaires, compacts et francs en bordure du bassin, passent à des calcaires plus marneux, avec des résistivités basses de l'ordre 30 - 50 ohm.m. Cette baisse de résistivité peut également être due à l'augmentation de la salinité de la nappe au centre du bassin.

Au-dessous des calcaires de l'Albien moyen, une formation conductrice, dont la résistivité est estimée à 10 -30 ohm.m représenterait les marnes de l'Albien inférieur.

Enfin le substratum résistant visible sur la plupart des S.E et que l'on placerait au centre du bassin, vers 1000 à 1500 m de profondeur appartiendrait à l'Aptien.

- **La carte du toit des calcaires de l'Albien moyen (Fig.29) :**

Cette carte schématise la structure générale et met bien en évidence l'axe du synclinal avec une structure d'ensemble assez régulière. On notera cependant d'existence d'accidents transversaux :

- **F2** (cette faille est probablement à l'origine de la source romaine, source thermale de Sidi Yahia) et **F3**, visibles en affleurements.

- (**F4**) aux environs des S.E. (**F5**, **G4** et **G3**). Cet accident, que laissait supposer la déformation des courbes de résistivités (**Pl.2**), provoque un changement de pendage des couches, au Sud - Est de cette faille le pendage est assez faible.

- ✓ **Zone à Trias du Nord - Est :**

Cette zone est couverte par les profils A et B et par les points C1 à C4 et D1 et D2.

Les coupes A, B et C (**Pl. 3**) montrent un niveau résistant vers 300 - 500 m de profondeur et qui atteint parfois une épaisseur de 200 m (S.E **A2**) et qui peut représenter soit :

- La base du Miocène (grès et poudingues),
- Des lambeaux de calcaires aptiens ou albiens,
- Ou des formations au sein du Trias lui-même (cargneules, anhydrites).

On remarquera aussi sur le profil C l'existence d'un autre niveau résistant vers 150 à 200 m de profondeur qui correspondrait plus vraisemblablement à des conglomérats de la base du Miocène. Il est nécessaire de souligner par contre la présence d'un remplissage quaternaire assez épais et relativement grossier, atteignant parfois 70 m. Des points comme les **A2**, **A3**, **B2**, **C3** peuvent présenter un certain intérêt, malgré la salinité de l'eau qu'on peut y rencontrer.

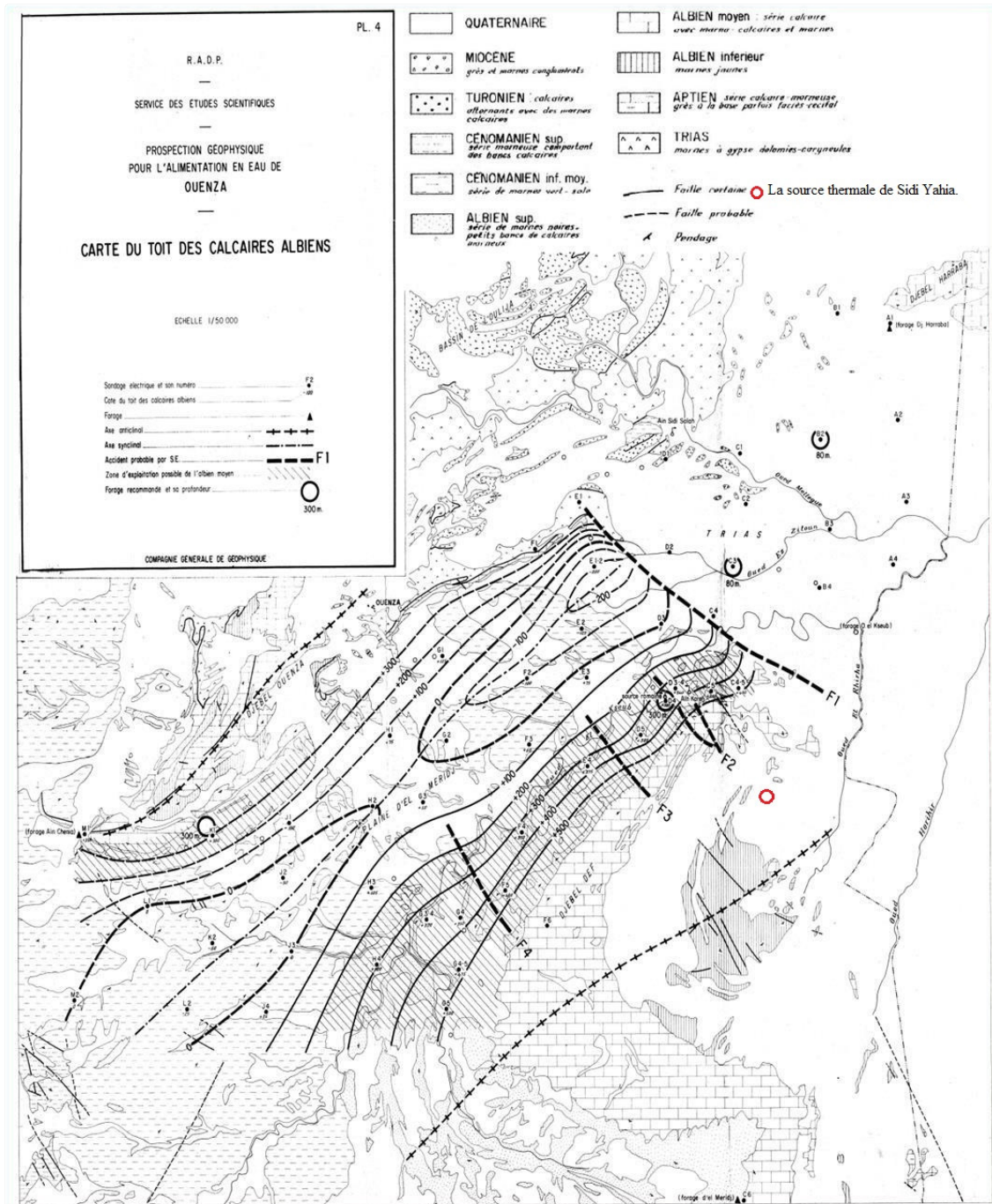


Figure 29 : La carte du toit des calcaires de l'Albien moyen (C.G.G 1970).

[In stambouli,2017].

- **Zone synclinale d'El Meridj :**

Les coupes E, F, G et H (Pl.3) sont les plus caractéristiques elles montrent que la profondeur des calcaires de l'Albien moyen atteindrait 500 à 700 m au centre du synclinal et que l'épaisseur du Cénomaniens très marneux dans son ensemble serait de l'ordre de 300 à 500 m au centre du synclinal.

Les formations albiennes se relèvent brusquement, souvent avec un pendage inversé, au nord du synclinal, contre l'anticlinal de l'Ouenza.

Au-dessous des calcaires de l'Albien moyen, une formation conductrice, dont la résistivité est estimée à 10 -30 ohm.m représenterait les marnes de l'Albien inférieur.

Enfin le substratum résistant visible sur la plupart des S.E et que l'on placerait au centre du bassin, vers 1000 à 1500 m de profondeur appartiendrait à l'Aptien.

Globalement la plaine d'El Meridj correspond à un synclinal de direction Sud-ouest à nord-est occupé Par des niveaux marneux très épais du Cénomaniens inférieur et moyen, au niveau des flancs (Djebel l'Ouenza et Djebel Def) apparaissent les calcaires productifs de l'Albien.

Le nord-est est caractérisé par la présence d'une épaisse formation de marnes Triasiques recouvertes éventuellement de marnes Miocènes.

Les deux secteurs sont séparés par un accident important de direction Nord-Ouest - Sud Est (F1) qui a provoqué la remonté du Trias et ferme au Nord - Est le synclinal d'El Meridj.

- **Profils géo électriques : coupes transversales (Fig.30)** nous présenterons les profils les plus proches à la zone d'étude :

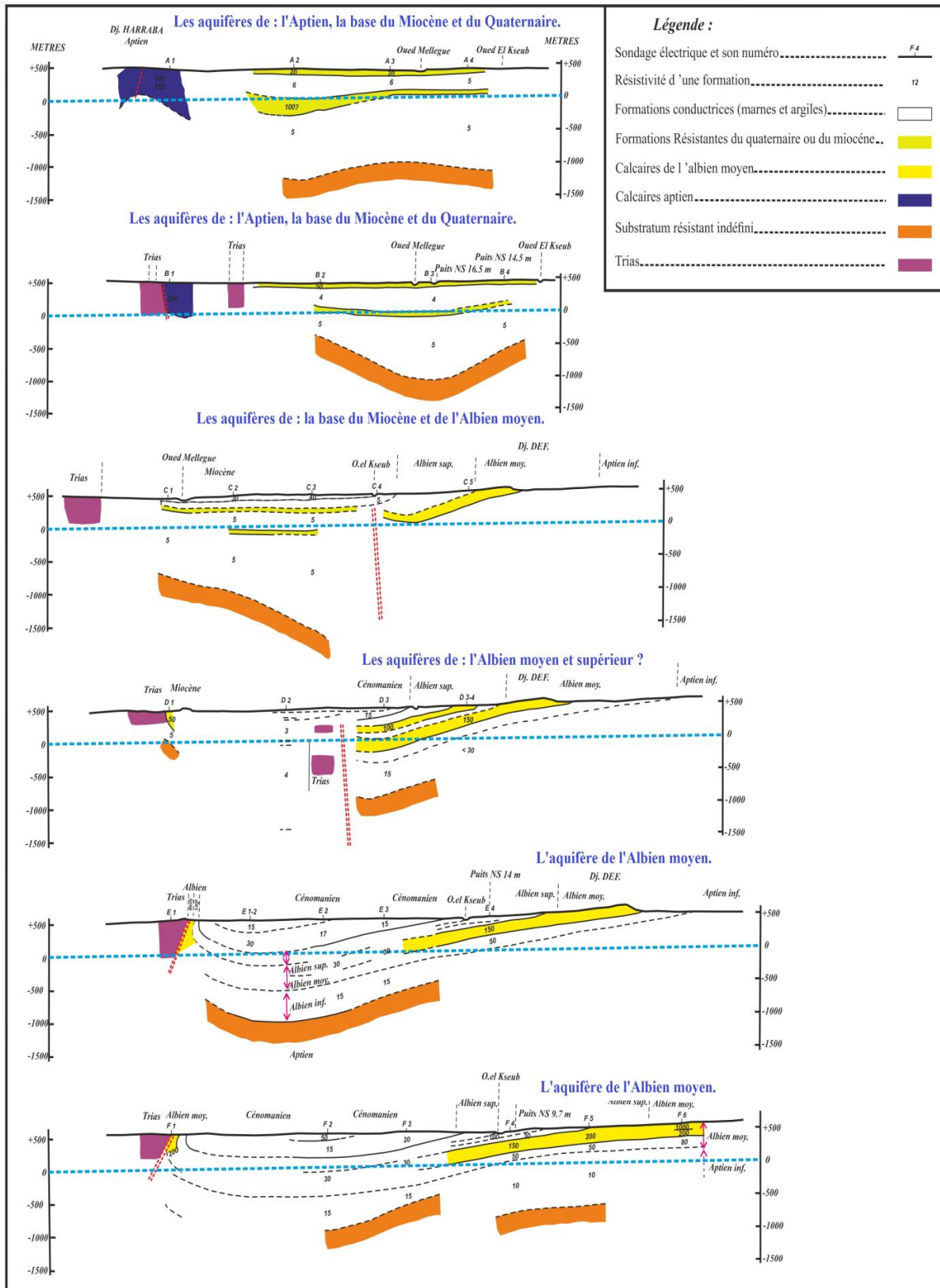


Figure 30 : Profils géo électriques (coupes transversales) (C.G.G 1970). [Stambouli, 2017].

**II-3-Synthèse des aquifères :** L'étude géophysique réalisée dans le synclinal d'El Meridj (Ouenza) a permis d'identifier les aquifères suivants : (Tab10)

Etages	Lithologie	Epaisseur (m)	Profondeur (m)	Résistivité
<b>Quaternaire</b>	Alluvions limoneuses, sables, conglomérats et grés.	70	De 0 à 70 m	20 – 50 ohm.m
<b>Miocène inf</b>	Grés et conglomérats de base.	200 au maximum	300 – 500	100 ohm.m
<b>Albien moy</b>	Niveau calcaire supérieur.	225	500 à 700 m au centre du bassin	100 à plus 500 ohm.m
<b>Aptien</b>	Calcaire du Djebel Harraba.	Supérieur à 430	1000 à 1500	80 - 150 ohm.m

**Tableau 10 :** Synthèse des aquifère [Stambouli, 2017]

### III- Apports Des Sondages Mécaniques :

#### III-1- Inventaires des forages réalisés dans la zone d'étude :

Nous avons pris les forages les plus proches à la source thermique de sidi Yahia (**Tableau 11,12**), comme il est indiqué au tableau, les eaux du forage de Dj.DEF sont chaudes et salées, ce forage a une profondeur de 200m et capte la nappe datée de l'Aptien Moyen formé par des calcaires fissurées. Ce forage est très proche à notre source en question et cela nous laisse supposer que la source draine cette nappe.

Nom du forage	Cordonnées			Profondeur (m)	Niveau statique (m)	Débit (l/s)	Observations
	X	Y	Z (m)				
<b>Dj.Def</b>	999,2	301,95	500	200	45	0,2	L'eau chaude et salée
<b>Ain Chenia gare</b>	982,1	302,4	603	200	45	2	/

**Tableau 11 :** Inventaires des forages réalisés dans la zone. [Stambouli, 2017].

Forages et affleurements Forages	Lithologie	Epaisseur (m)	Etage	Perméabilité
<b>DEF SONATRACH (l'Ouenza).</b>	calcaires noirs à passés marneux et marno-calcaires vers le bas se sont des grés ferrugineux à rare passés de calcaires	200 m	Aptien Moyen	de fissures.
<b>El Meridj (S.E. C6)</b>	Calcaire peu fissurés et calcaire marneux noire.	De 0 à 82	Partie supérieure de l'Albien moyen.	de fissures.
	Marnes et des marno-calcaires noirs	De 82 à 179,20	Albien inférieur à moyen.	Imperméable.
<b>Ain Chenia (S.E. N1)</b>	Marnes et marno-calcaires	15	Albien inférieur à moyen.	Imperméable.
	Calcaires.	45	l'Albien moyen.	de fissures.

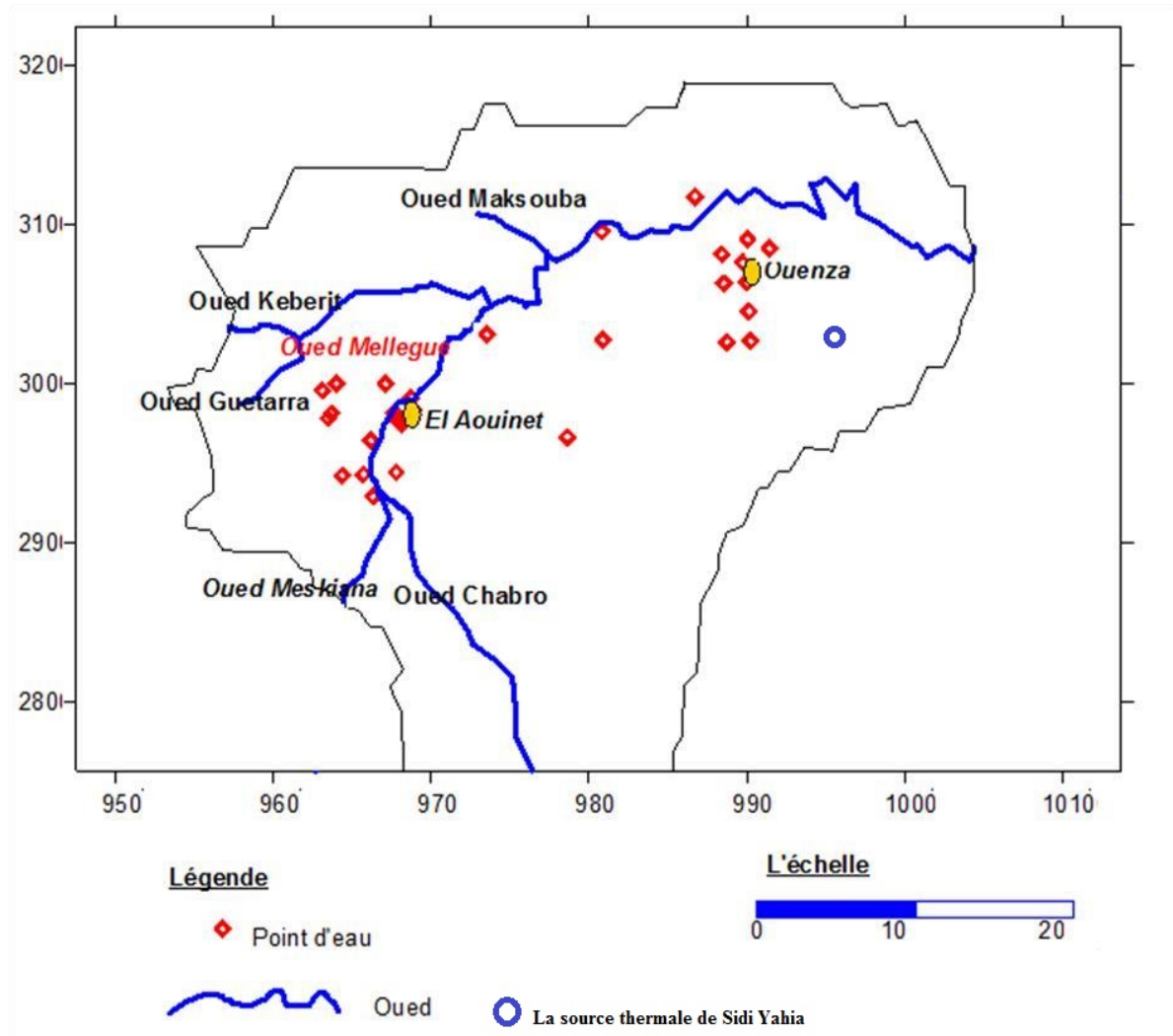
**Tableau 12 :** Nature des formations rencontrées. [Stambouli, 2017].



## IV-Etude Hydrogéologique

### IV-1-Carte piézométrique :

**IV-1-a-Inventaire des points d'eau :** Les points d'eau échantillonnés pour l'établissement à la fois des cartes piézométriques et les analyses hydro chimiques sont représentés dans la carte ci-dessous, sur la carte d'inventaire nous avons ajouté notre source thermale pour voir sa localisation par rapport aux autres points d'eau, notre source situer à une altitude égale 470m :



**Figure 31 :** Carte d'inventaire des points d'eau à travers la région d'étude

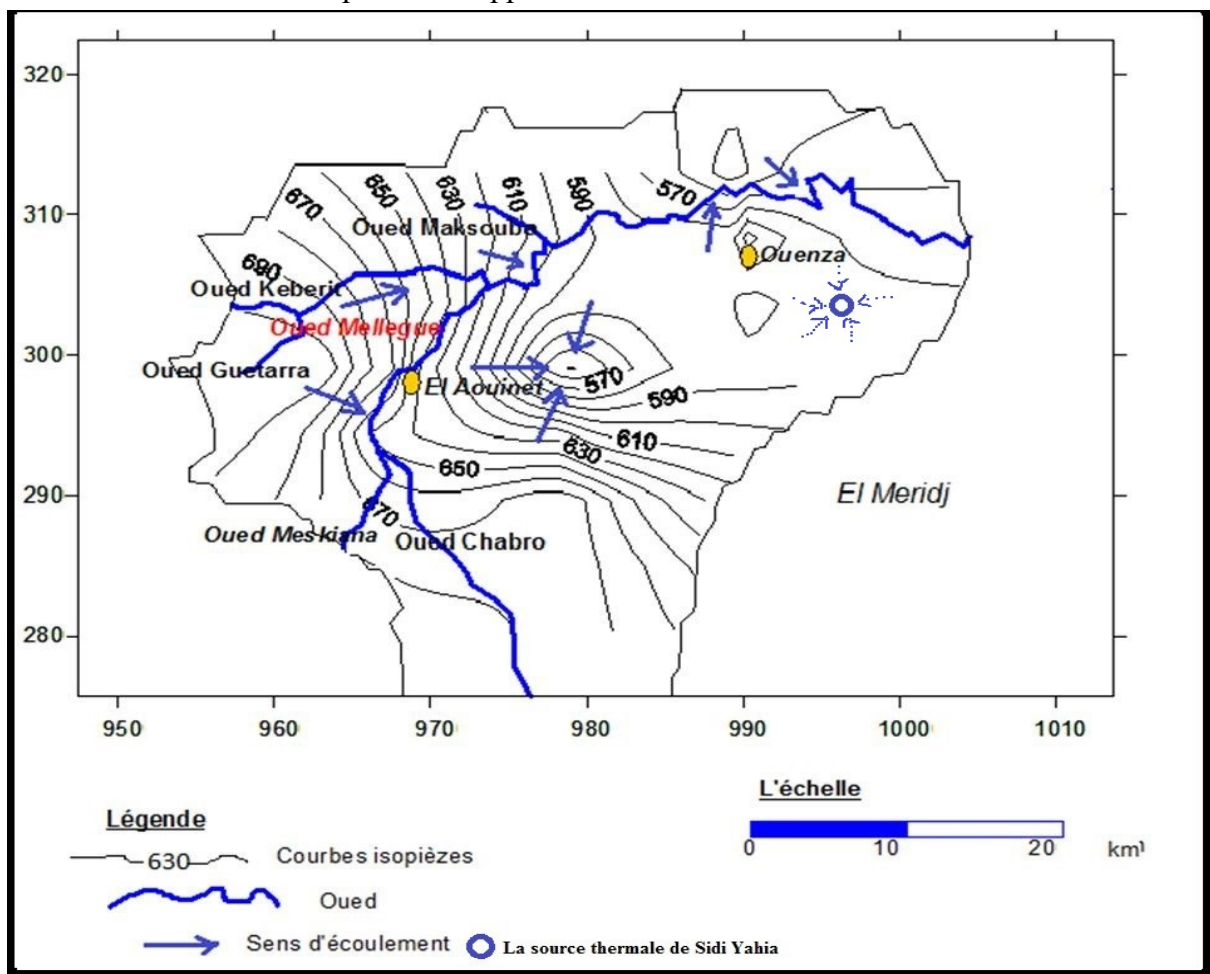
[Stambouli, 2017].

**IV-1-b-Carte Piézométrique :** la carte piézométrique réalisée montre une surface piézométrique irrégulière, la morphologie des courbes indique un écoulement de direction

générale Sud- Ouest Nord-Est (Fig.32). Elle permet également d'identifier trois secteurs distincts :

- A l'Ouest, El Aouinet, les courbes présentent un faible espacement, montrant un écoulement rapide dans cette partie de la zone d'étude.
- Au niveau de l'Ouenza, Oued mellègue constitué un axe de drainage en converge les écoulements issus des bordures.
- Au niveau de la zone centrale on note une convergence des écoulements liée à l'exploitation de la nappe.

Par rapport à notre source thermale qui se trouve dans la partie Nord-Est de la zone d'étude, et selon son altitude basse (470m), on peut dire que le sens d'écoulement des eaux souterraine de la nappe captée convergent dans sa direction générale et passe certainement sur la source (la source draine la nappe) et ce qui nous laisse supposer que l'alimentation de la source thermale de sidi Yahia est assurée par cette nappe.



**Figure 32 :** Carte piézométrique de la zone d'étude (Mai 2016).

[Stambouli, 2017].



V-Conditions d'émergence de la source :

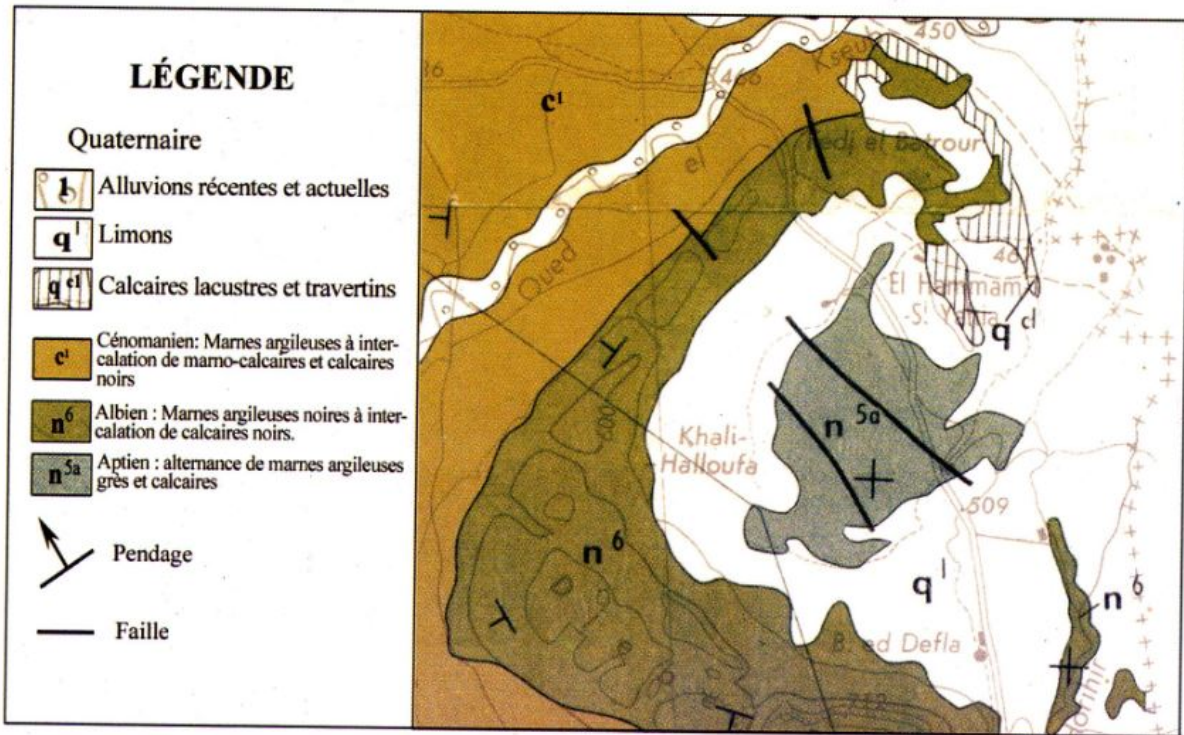
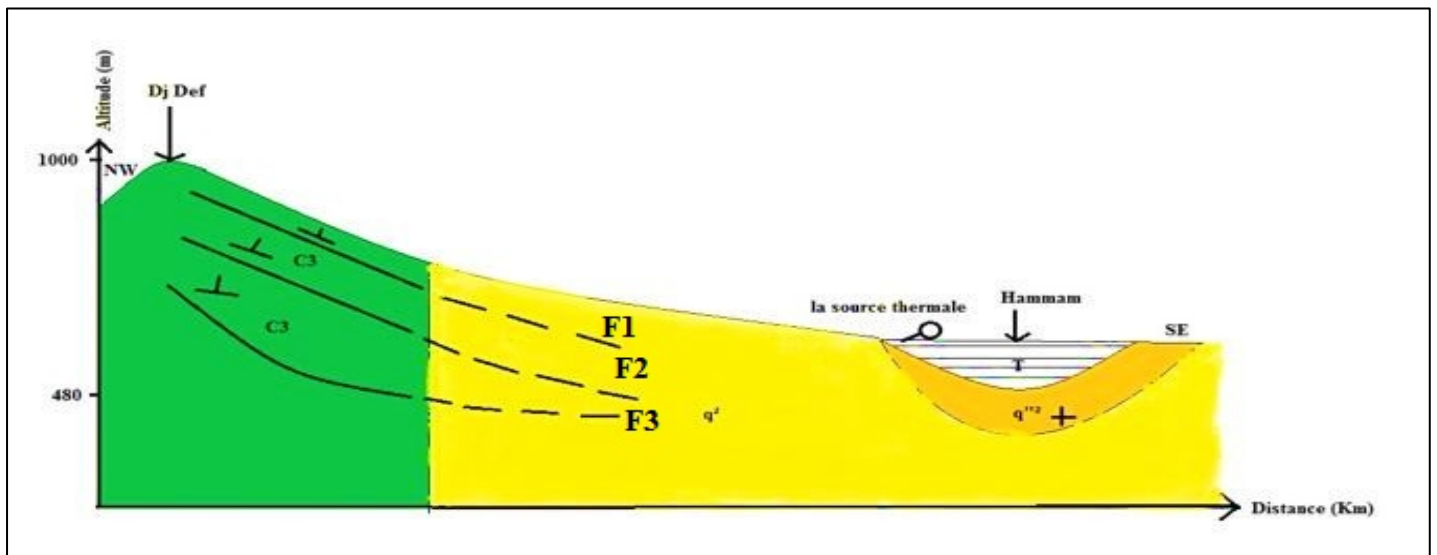
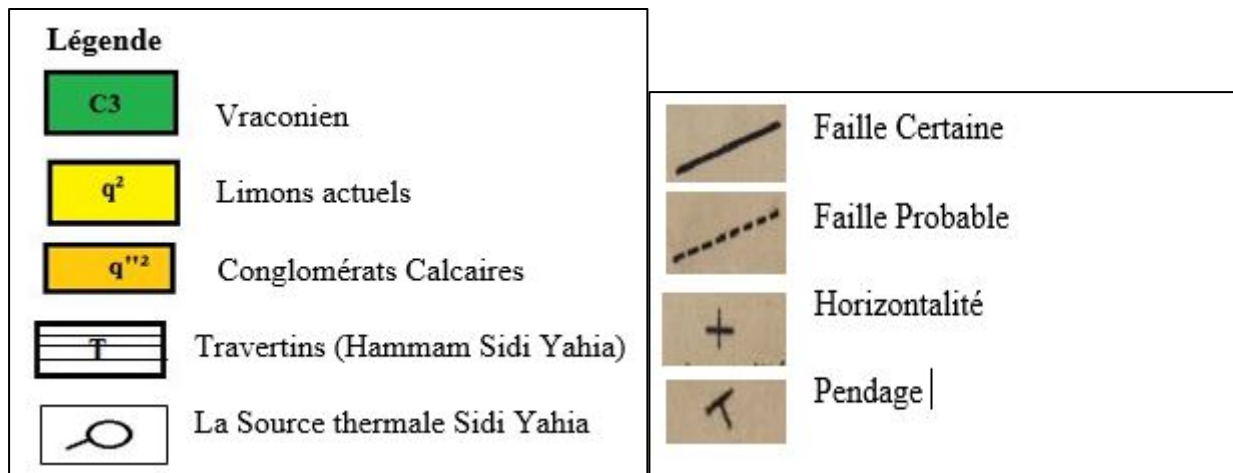


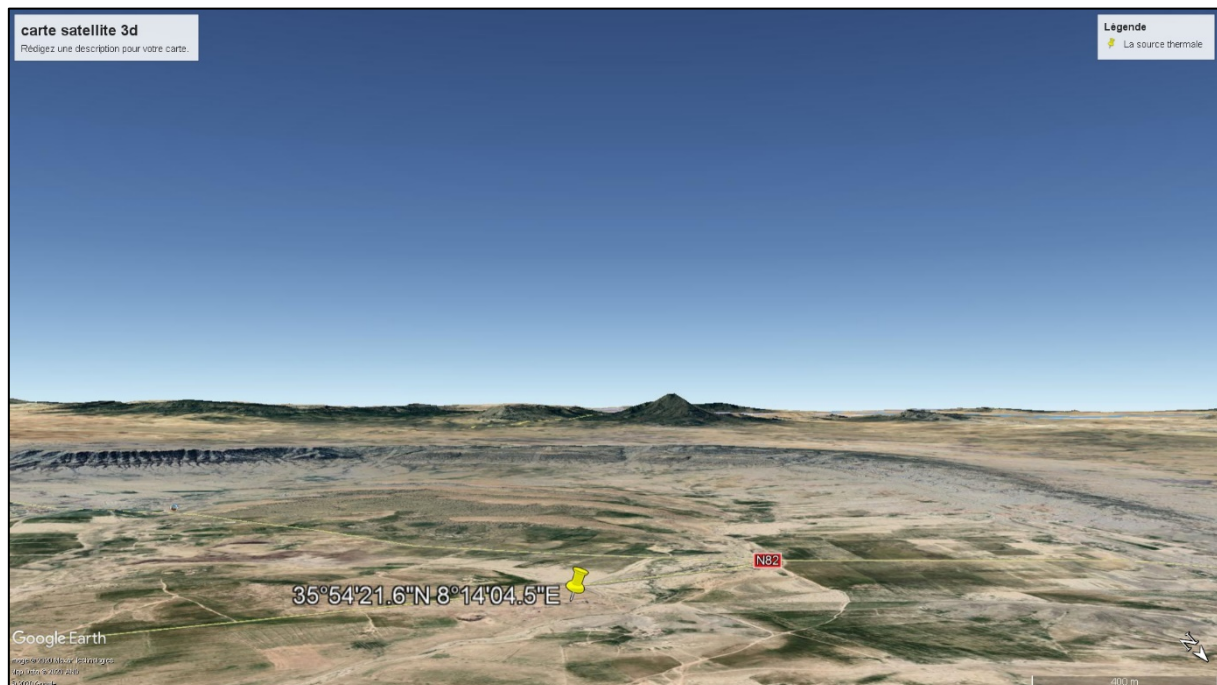
Figure 33 : Carte géologique de Hammam Sidi Yahia

Source : extrait de la carte géologique de Souk Ahras au 1/200 000. [H.DIB]





**Figure 34 :** figure schématique de la source thermale de Sidi Yahia.



**Figure 35 :** photo satellite 3D de la source thermale

Source: Google Earth

**VI-Conclusion:**

La zone d'étude recouvre principalement quatre types des nappes d'eau : celles liées aux calcaires fissurés de l'Albien moyen, de l'Aptien moyen et du Turonien et la nappe superficielle localisée dans les alluvions quaternaires. L'étude géophysique effectuée a permis de mettre en évidence une structure plissée correspondant à un synclinal de direction Sud-Ouest-Nord-Est où les formations albiennes plongent à des profondeurs de l'ordre de 500 m, sous un recouvrement de marnes Cénomaniennes. Et aussi l'existence de plusieurs failles transversales de direction Nord-Ouest-Sud Est dont la plus importante se trouve entre les Djebels Def et Harraba au Nord-Est et le synclinal d'El Meridj au Sud-Ouest. Nous pouvons supposer que la faille F2 est responsable de l'apparition de la source thermique de sidi Yahia. L'examen de la carte piézométrique montre un écoulement général Sud-Ouest en Nord-Est. La source thermique en question draine certainement cette nappe et qu'elle trouve son alimentation continue par cette nappe. Le niveau piézométrique varie entre 580 à 680 mètres, et la source a une altitude égale 470m (plus bas) et on suppose que les eaux de la nappe convergent en partie vers la source.

Les essais hydrodynamiques ont permis de calculer la transmissivité qui varie de  $0,52 \cdot 10^{-3}$  à  $2,8 \cdot 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$  et une perméabilité  $0,4 \cdot 10^{-5}$  à  $2,94 \cdot 10^{-5} \text{m/s}$ .

# **CHAPITRE V**

## **Hydrochimie**

## I-Introduction :

La chimie des eaux naturelles est une science relativement neuve ; longtemps le chimiste s'est limité au laboratoire et l'hydrogéologue se contentait de localiser et d'évaluer les ressources en eaux. L'objet de l'hydrogéochimie est donc de transposer au milieu ce qu'étudie la chimie des solutions au laboratoire, en d'autres termes de définir les processus affectant la répartition et la circulation des composés chimiques dans les eaux naturelles (**STUMM et MORGAN, 1981**). Ce passage de laboratoire à la nature implique cependant la prise en compte de dimensions géologiques et biologiques, ainsi les temps mis en jeu dans le milieu naturel sont généralement beaucoup plus longs et conduisent plus souvent qu'au laboratoire à des équilibres stables (**MICHAD, 1989**). L'approximation d'équilibre thermodynamique permettra donc de simplifier la modélisation des processus par contre les eaux naturelles et en particulier les eaux minérales renferment d'innombrables composés compliquant la tâche du géochimiste, celui-ci va donc devoir tout d'abord définir les variables maîtresses et les variables secondaires. Enfin pour ne prendre que ces trois différences exemplaires, les eaux naturelles ne sont pas seulement des solutions chimiques mais renferment toujours une composante bactérienne qui interagit avec cette chimie. (**DIB.H, 2004**)

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 principales 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 : causes, températures observées et essais d'évaluation des températures en profondeur à l'aide des géothermomètres ;
- ✓ L'étude de la chimie : représentations graphiques des faciès chimiques.

---

**II-Quelques définitions :****II-1-D'après Vincent Valles :****Eau thermale :**

Il s'agit d'une eau dont la température est supérieure à la température moyenne des eaux de nappe de la région. En général, la température des eaux régionales est très proche de la température moyenne annuelle de l'air dans cette même région. La température des eaux du sol et du sous-sol suivent les variations de la température de l'air avec un décalage temporel et un amortissement qui augmente avec la profondeur. Au-delà de 1,50m les températures peuvent être considérées comme constantes (sauf cas particulier comme certains systèmes karstiques).

Donc les eaux thermales sont des eaux dont la température est supérieure à cette valeur régionale. On distingue les eaux thermales de basse enthalpie (basse température) et les eaux thermales de haute enthalpie.

**Eau minérale :**

Eau dont la composition chimique est recommandée pour une bonne santé, ce caractère, qui peut paraître suggestif, est défini par l'Académie de Médecine à partir de sa composition chimique.

En effet, certaines eaux thermales, du fait de la température du réservoir, acquièrent des propriétés chimiques particulières, différentes des caractéristiques habituellement observées pour les eaux froides de surface. Du fait des températures qui peuvent être élevées dans le réservoir (200 ou 300 °C), elles sont capables de dissoudre certains minéraux et s'enrichir "Oligo" éléments durant le long temps de contact, parfois plusieurs dizaines de milliers d'années, avec les roches du réservoir profond.

Par ailleurs, le circuit des eaux thermales est généralement assez long, aussi les eaux thermales sont généralement exemptes de contaminants tels que les nitrates et les produits xénobiotiques.

A côté de ses définitions, d'autres termes peuvent apparaître comme "Eau thermo minérale" ou d'autres dénominations qui ne sont pas reconnues.

**II-2-D'après Hénia Dib :**

Si l'on compare les définitions de l'eau minérale données par différents auteurs, on constate que la phrase suivante se trouve dans toutes les définitions à savoir que "l'eau minérale naturelle est une eau douée de propriétés thérapeutiques". Mais avant de définir une eau minérale, la nécessité de faire la distinction entre eau minérale et eau minéralisée s'impose :

**Une eau minéralisée** est une eau ayant une concentration importante en sels minéraux : Calcium – Magnésium – Sodium – Potassium – Chlorures – Carbonates – Bicarbonates et Sulfates.

**Une eau minérale naturelle** est une eau de source naturelle, douée de propriétés thérapeutiques et ce quel que soit son degré de minéralisation.

Elle provient des grandes profondeurs terrestres (gisement souterrain) se caractérisant par la stabilité de ses caractéristiques physico – chimiques dans le temps, par sa pureté originelle et à l'abri de tout risque de pollution.

Elle ne répond pas aux normes de potabilité, ce qui la différencie des eaux de boisson, et ne subit aucun traitement. L'eau minérale peut être froide ou chaude.

**Eau thermale :**

C'est une eau dont la température propre est indépendante de celle du lieu de son émergence, elle est supérieure à la température moyenne annuelle de l'air +4°C ou, à la température moyenne du sol +2 °C (les températures moyennes de l'air étant calculées sur une période statistiquement valable et ne peut par conséquent être inférieur à 30 années).

On peut également la définir ainsi :

Une eau thermale est une eau d'origine souterraine naturellement chaude à son émergence, dotée de propriétés thérapeutiques et utilisée dans un établissement thermal, (thermes). Son application en médecine thermale fait appel aux éléments chimiques contenus dans les eaux, les gaz et les boues.

Les eaux chaudes ont été recherchées par l'homme pour se soigner dès le tout premier âge de l'humanité.

**Eau minérale froide :**

Une eau minérale est une eau dont la composition chimique diffère de celles des eaux souterraines locales au lieu de son émergence et qui renferme des substances dissoutes en très petites ou en très grandes quantités, assez actives pour modifier profondément ses qualités ordinaires.

On distingue plusieurs types d'eaux minérales :

- eau minérale naturelle non gazeuse ;
- eau minérale naturellement gazeuse ;
- eau minérale renforcée au gaz de la source ;
- eau minérale gazéifiée.

On classe les eaux minérales en fonction de l'anion prédominant et à partir de teneurs en sels bien déterminées :

- eau sulfatée si  $\text{SO}_4^{2-} > 200 \text{ mg/l}$  ;
- eau calcique si  $\text{Ca}^{++} > 150 \text{ mg/l}$  ;
- eau sodique si  $\text{Na}^+ > 200 \text{ mg/l}$  ;
- eau bicarbonatée si  $\text{HCO}_3^- > 600 \text{ mg/l}$  ;
- eau magnésienne si  $\text{Mg}^{++} > 50 \text{ mg/l}$  ;
- eau chlorurée si  $\text{Cl}^- > 200 \text{ mg/l}$  ;
- eau fluorée si  $\text{F}^- > 1 \text{ mg/l}$  ;
- eau ferrugineuse si  $\text{Fe} > 5 \text{ mg/l}$  ;
- eau convenant à un régime pauvre en sels si  $\text{Na}^+ < 20 \text{ mg/l}$ .

Il faut rappeler qu'une eau de source est différente d'une eau minérale.

**Eau de source :**

L'eau de source est d'origine souterraine, naturellement potable chimiquement et microbiologiquement mais elle doit se conformer aux normes de potabilité que l'eau du robinet. Elle ne subit aucun traitement (sauf la séparation d'éléments instables ou de matières en suspension par décantation ou par filtration sans modification de la composition chimique).



L'eau de source peut être également gazéifiée par addition de gaz carbonique. Contrairement aux eaux minérales, les composants physico-chimiques de l'eau de source peuvent subir des modifications dans le temps.

### III-Les deux types d'eaux thermales fréquentes :

#### III-1-Les eaux carbogazeuses :

Les eaux carbogazeuses sont des eaux chargées en CO<sub>2</sub> ; qui peut être produit exemple par la décomposition de la calcite à haute température qui libère le gaz, en effet lorsque des calcaires sont enfouis et portés à haute température, une décomposition de la calcite se produit. Le Calcium et un Oxygène se recombinent par exemple dans une structure silicatée, alors que le CO<sub>2</sub> libéré peut se dissoudre dans l'eau du réservoir.

La quantité de CO<sub>2</sub> dissous est proportionnelle à la pression partielle de ce gaz dans la phase gazeuse en contact avec l'eau. Du fait de la pression liée par exemple à la colonne d'eau surmontant le réservoir, le CO<sub>2</sub> est dissous, parfois en grande quantité. Le pH qui en résulte est bas et la solution peut dissoudre de grandes quantités de calcite.

Lors de la remontée de l'eau carbogazeuses des modifications physico –chimiques importantes se produisent.

Lors de la remontée des eaux vers la surface, la pression diminue car la hauteur de la colonne d'eau située au-dessus diminue. Tant que la pression totale est supérieure à la pression partielle en CO<sub>2</sub>, la solution constitue une phase homogène unique. En revanche dès que la pression totale devient inférieure à la pression partielle en CO<sub>2</sub>, le CO<sub>2</sub> commence à changer de phase.

Des bulles de gaz apparaissent, c'est le point de bulle. Le mélange qui remonte devient alors multiphasique, il s'agit d'un mélange eau/gaz. Au fur et à mesure de la remontée, le volume gazeux augmente rapidement du fait de la conjonction de plusieurs phénomènes : la pression partielle en CO<sub>2</sub> diminue en s'ajustant sur la pression totale, ce qui provoque un passage d'une quantité croissante en CO<sub>2</sub> de la phase aqueuse vers la phase gazeuse.

De plus, la pression totale diminuant, le volume des bulles subit une expansion selon la loi des gaz parfait :  $N \text{ augm} \left[ V = NRT/P \right] \text{ donc } V \text{ augmente fortement.}$

Ce processus favorise la remonter du fluide multiphasique et la perte de CO<sub>2</sub> s'accompagne d'une élévation de pH et une augmentation du produit ionique par rapport à la calcite. A partir d'un certain stade, l'index de saturation par rapport à ce minéral devient positif et la solution est sursaturée par rapport à la calcite qui peut alors précipiter, l'eau devient incrustante. **(Vincent Valles, 2002)**

### **III-2-Les eaux Sulfurées :**

Il s'agit d'eaux riches en Sulfures et autres composés soufrés ayant différents niveau d'oxydo réduction (Sulfites, Thiosulfates, Soufre organique, Sulfate, Polysulfures, etc...).

La présence de sulfures, notamment d'hydrogène Sulfuré, même à l'état de traces induit une odeur très caractéristique.

De manière générale, ces eaux sont marquées par un caractère réducteur, les espèces réduites étant relativement diverses (non seulement pour l'élément Soufre mais aussi d'autres élément comme le Fer et de concentration variable, on mesure la quantité totale de composés réducteur par la quantité totale de dioxygène nécessaire à l'oxydation de toutes les formes réduites, sans distinction.

La quantité de dioxygène nécessaire à l'oxydation complète sera bien évidemment d'autant plus importante que les formes seront plus réduites et que la concentration de ces dernières sera plus élevée. **(Vincent Valles, 2002)**

### **IV-L 'altération des caractéristiques physico –chimiques des eaux à leur remontée :**

#### **IV-1-Le refroidissement : (précipitation minérale, changement des équilibres chimiques) :**

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

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

**VI-2-La mélange avec les eaux de surface (effet de dilution) :**

Lorsque les eaux thermales remontent, elles peuvent se mélanger avec des eaux superficielles contenues par exemple dans les formations sédimentaires. Les caractéristiques chimiques des eaux sont alors altérées, pour remonter aux caractéristiques initiales il convient de recourir aux équations de mélanges, ce qui requiert la connaissance de la composition de l'eau de surface. Ces calculs peuvent rapidement devenir lourds et fastidieux et induire des imprécisions importantes. **(Vincent Valles, 2002)**

**VI-3-La recharge ou la perte en gaz (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ...) :**

Consulter pour cette partie la thèse de **Luis Auque (Université de Zaragoza)** sur la géochimie des eaux thermales de base enthalpie des Pyrénées centrales.

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

Lorsque les eaux sont dans des réservoirs très profonds, ces échanges gazeux sont très difficiles voire nuls, le système est fermé par rapport aux gaz, si les eaux sont chargées en CO<sub>2</sub> (cas des eaux carbogazeuses) elles le resteront jusqu'en surface (avec modification de l'état) si les eaux sont appauvries en CO<sub>2</sub>, elles le resteront jusqu'à leur arrivée en surface (ou au voisinage de la surface). Les variations de la lecture de pH sur le terrain pour des eaux d'origine « profonde » permettent de connaître qualitativement le sens des échanges gazeux entre la solution et l'atmosphère.

Le cas de la pauvreté en CO<sub>2</sub> est typique des eaux d'altération des roches d'origine profonde (granite par exemple). De même les échanges gazeux peuvent concerner le dioxygène O<sub>2</sub>. Pour les eaux Sulfureuses, les caractéristiques sont très réductrices, lors de la remontée les eaux peuvent capter du dioxygène et commencer à s'oxyder. **(VincentValles,2002)**

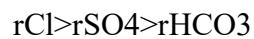
**VI-4-La baisse de pression :**

Cette baisse de pression permet aux gaz dissous de se séparer de la phase liquide dès lors que la pression totale devient inférieure à la pression partielle équilibrante de ce gaz dans la solution. **(Vincent Valles, 2002)**

## V-Propriétés physico-chimiques de la source thermale Sidi Yahia :

Selon des études antérieurs (Dib, H, 2008),

- ✓ La température de l'eau est de 35 °C ;
- ✓ La résistivité est de 57 / cm ;
- ✓ La minéralisation de l'eau est de 10.735 mg/l ;
- ✓ La minéralisation élevée de l'eau laisse supposer que le Trias ou le Crétacé supérieur ne doit pas être loin de la station thermale. Ce sont des eaux très active les eaux sont chlorurées, et sulfurés sodiques avec :



Sources Thermales	Milliéquivalent/litre									Milligramme/litre										Paramètres Physiques			
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	DHT	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	résidu sec 110° C	ÉLÉMENTS TRACES					GAZ		T Eau °C	PH	σ µmho/cm 25° C			
											Li	Sr	Fe	Mn <sup>++</sup>	F <sup>-</sup>	Pb	Cu				CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	
H. Gosbate 10/07/1979	4,12	1,96	74,2	0,64	6,08	61,25	11,67	5,8		5034	0,70	1							présence		41,5	6,7	7500
05/10/03 S. Si Slimane	4,2	2,16	0,73	0,05	6,36	0,98	0,78	5		460											28	7,3	700
07/10/2003 F. SAÏDA	6,4	4	2,78	0,17	10,4	1,26	7,12	4,6		860											60,8	7,4	1300
Aïn Djid MALOU 11/02/1975	19	13,5	15,6	0,4	32,5	45,7	13,1	8,8	Néant	4456											30	7,6	
06/06/1979	11,56	8,03	28,71	0,52	19,59	31,85	9,6	8,34	Néant		0,29	1,44									28	8,4	4200
23/03/1980	13,4	6,9	25,84	0,3	20,3	31,5	9,88	8	Néant	3116	0,36	traces	0		0,3		96,8				28	6,7	4800
H. MAKSA 13.07.79	4,51	1,18	3,63	0,24	5,69	5,39	0,99	3,8	Néant	749	0,28	traces	presence								39	6,4	940
H. Sidi Yahia 10/06/1979	6,72	8,25	154,8	0,71	14,97	151	9,91	1,5	Néant	10735	0,70	12,75									35	7,3	57Ω/cm

Tableau 13 : guide pratique des sources thermales de l'Est algérien [H.DIB]

## VI-Les analyses physico-chimiques de l'eau de la source :

Nous avons essayé, de notre part, faire quelques prélèvements d'échantillons d'eau thermale de la source de Sidi Yahia dans le but de confirmer ce type de faciès. Les analyses sont faites au laboratoire des Sciences de la Terre et de l'Univers, les résultats sont donnés au tableau suivant :

	Turbidité (NTU)	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Conductivité A 20°C /cm	TDS (mg/l)	TH (mg/l)	Ph À 20°C	Résidu sec (mg/l)	Salinité g/l
Ech 01	4.85	1.000	15100	11670	1406	6.77	10100	7.62
Ech 02	1.53	1.000	15200	12600	0.00	6.76	10100	9.17
Ech 03	3.85	1.000	15200	12440	0.00	6.68	10200	10.100
Ech 04	4.60	1.000	15400	12080	0.00	6.71	10150	9.14
Ech 05	4.35	1.000	15200	11783	0.00	6.70	10200	7.46
Ech 06	2.38	1.000	15385	12500	0.00	6.75	10150	9.64

**Tableau 14 :** Résultats des analyses physico-chimiques de la source

Composition en mg/l	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na+	Hco <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl-	So <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
Ech 01	1376	30	2731.25	3367.2	4215.63	500
Ech 02	0.00	0.00	3289	3416	5076.5	480
Ech 03	0.00	0.00	3622.5	1952	5591.25	450
Ech 04	0.00	0.00	0.00	2537.6	5058.75	450
Ech 05	0.00	0.00	2676.27	2476.8	4130.77	450
Ech 06	0.00	0.00	3455.66	3244	5333.73	470

**Tableau 15 :** Résultats des analyses de la composition des minéraux

## VII-Classification chimique des eaux :

Pour classer et connaître les différents faciès chimiques auxquels appartiennent les eaux thermales, plusieurs méthodes ont été définies par divers auteurs.

Dans le cadre de notre étude, nous faisons appel aux principales et aux plus utilisées de ces classifications :

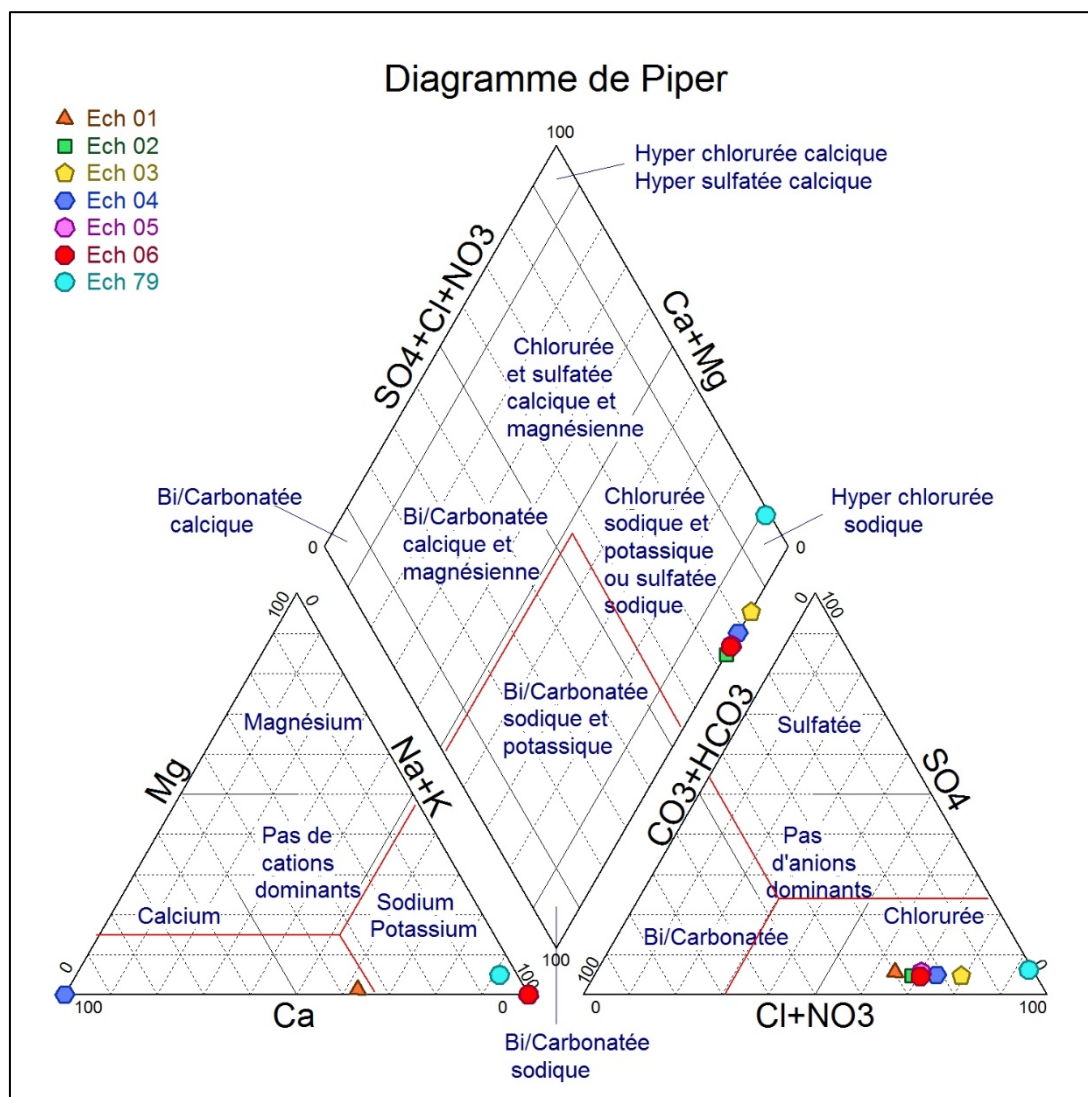
- ✓ La classification et la représentation de Piper (diagramme triangulaire) ;
- ✓ La représentation de Schoeller- Berkaloff (diagramme vertical).

### VII -1-Diagramme de Piper :

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper permet une classification et une comparaison facile des eaux.

Le principe consiste à représenter dans chaque triangle équilatéral les quantités en pourcent de chaque ion par rapport à la somme des ions de même signe, ainsi dans chaque triangle, nous obtenons un point indiquant la dominance d'un cation ou d'un anion.

Les deux parallèles supportant ces deux points se recoupent en un point unique dans le losange représentatif de la nature et du faciès chimique de l'eau. (BENHAMZA.M, 2007)



**Figure 36 :** Représentation graphique des faciès chimiques Diagramme de Piper

(Source thermale de Sidi Yahia)

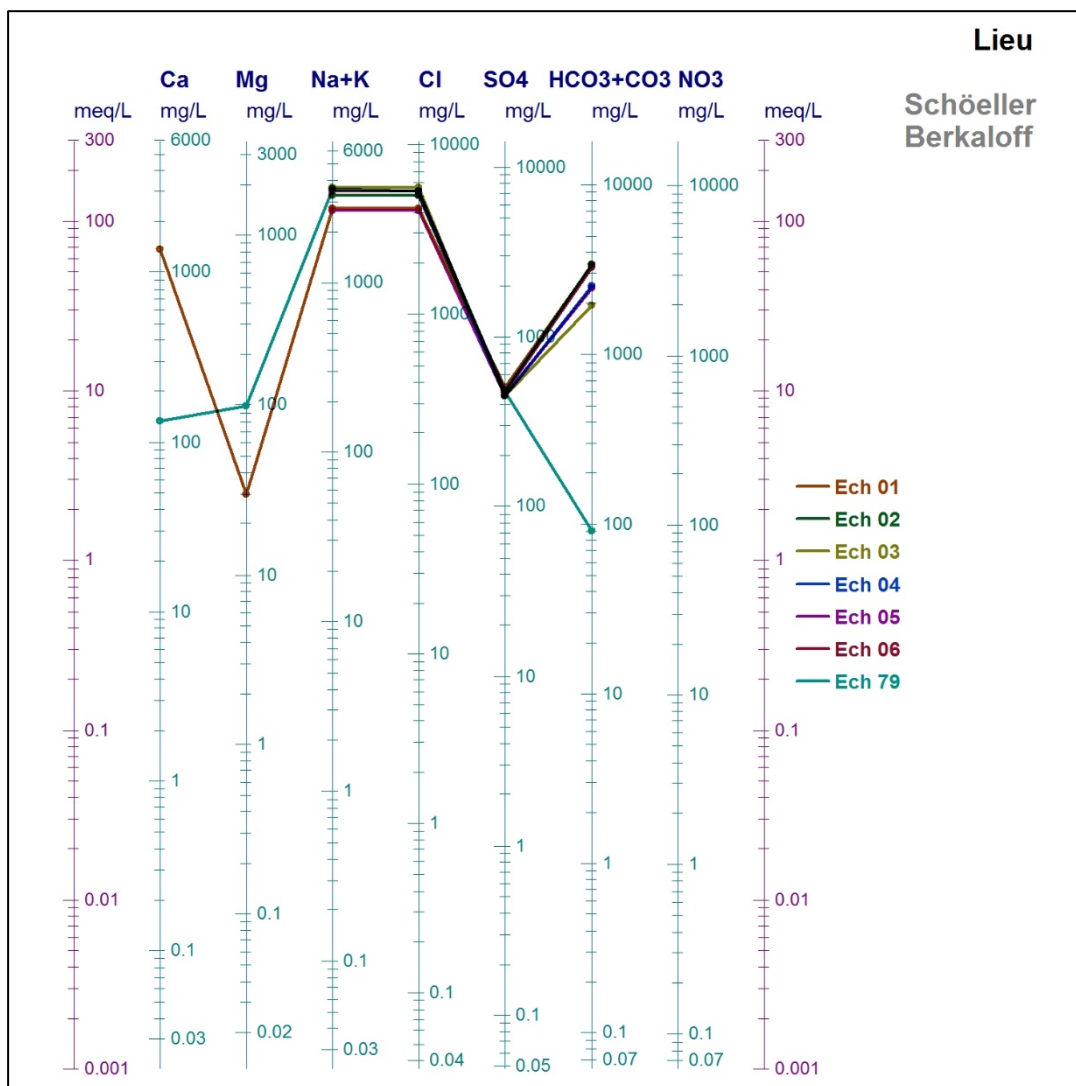
## VII 2-Diagramme de Schoeller – Berkaloff :

Cette classification est basée sur la représentation des résultats des analyses chimiques sur un diagramme mis au point par Schoeller en 1932 et révisé par Berkaloff en 1952.

Ce diagramme se compose de sept échelles logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions analysés. Tous les éléments chimiques analysés sont reportés directement en

mg/l. Ce type de diagramme permet de représenter sur même diagramme plusieurs eaux, ce qui facilite leurs comparaisons mutuelles.

Cependant, il présente un risque d'interprétation abusive de la conformité de deux échantillons, du fait que les rapports graphiques se font sur une échelle logarithmique. En plus, ce diagramme ne peut contenir que dix analyses à la fois. (BENHAMZA.M, 2007).



**Figure 37 :** Représentation graphique des faciès chimiques Diagramme de Schoeller – Berkaloff (Source thermale Sidi Yahia)

---

**VIII-Conclusion :**

Selon, les deux représentations graphiques (Fig.36,37), nous pouvons conclure que la source de sidi Yahia est caractérisée par un faciès chimique Chloruré sodique. Ce sont, en général, des eaux à forte concentration de sels dissous (Minéralisation > 10000 mg/l, Salinité forte >7g/l. Les chlorures prédominent. Elles sont riches en Na et Cl. La teneur en carbonates par contre est normale avec absence de carbonates alcalins. En fait, elles sont souvent de Simples dissolutions des sels sodiques. Nous y noterons la présence simultanée de chlorures alcalins et alcalinoterreux ; avec prédominance des premiers. Dans les terrains sédimentaires, elles sont associées au Trias (sel gemme) et aux zones pétrolifères (eaux connées). Les terrains de volcanisme récent, donnent naissance à des sources thermo minérales chlorurées sodiques, riches en bore, en silice, en CO<sub>2</sub> et par contre, la teneur en brome est très faible. Ce sont généralement des eaux hyperthermales : (source de sidi Yahia où T = 35°C).

Comme il est déjà mentionner dans la littérature, les eaux thermo-minérales garde le même faciès chimique (c'est-à-dire la même minéralisation depuis son émergence), c'est une source thermo-minérale à caractères thérapeutiques (traite des affections telles que : dermatologiques, et des voies respiratoire).



## **CHAPITRE VI**

### **Hydrothérapie des eaux thermo-minérales**

---

## **I-Introduction :**

L'hydrothérapie est un traitement basé sur une utilisation externe de l'eau, de quelque type que ce soit (de mer, de source, minérale, ou même celle du robinet) sous sa forme liquide, mais aussi gazeuse, et à des températures variables. Cela comprend des bains, des douches, des jets, des compresses etc.

Souvent les cures d'eau thermales sont effectuées également à domicile, pour compléter les traitements thérapeutiques conduits auprès des stations thermales, toutefois il faut souligner que sur la base de l'expérience acquise l'efficacité thérapeutique des eaux thermales prises auprès des sources est certainement plus élevée pour une série de facteurs. Tout d'abord, l'utilisation de l'eau auprès des sources exclut tout type de détérioration y compris la dispersion ou la volatilisation d'importants composants chimiques de l'eau.

Enfin, les cures d'eau thermales auprès des thermes (Hammam) ont lieu avec l'assistance d'un personnel médical compétant qui surveille non seulement les conditions pour la prise optimale des eaux thermales, mais qui fournit aussi des services supplémentaires de soutien à la thérapie thermale, parmi lesquels les prescriptions diététiques et nutritionnelles.

Les cures d'eau minérale, dans différents cas associés à d'autres traitements thermaux, comme dans le cas de l'hydrothérapie – fangothérapie – balnéothérapie, où la prise des boissons est associée à l'application de boue au niveau hépatique avec une balnéothérapie

**[BEKKOUCHE Mohamed Faouzi 2016]**

## **II-Historique de la thérapie par les eaux thermo minérales :**

La plupart des citoyens de l'Empire romain fréquentaient le bain communal tous les jours.

En Inde, la purification (physique et spirituelle) par l'eau a toujours fait partie des habitudes quotidiennes. Au Japon on se rend aux sources d'eau chaude entre amis ou en famille. Dans les pays nordiques, russes ou scandinaves les bains de vapeur sont utilisés depuis plus de 1 000 ans.

L'abbé Sébastien Kneipp (1821-1897), qui se serait guéri lui-même de la tuberculose, joue un rôle encore plus important dans le développement de la pratique contemporaine grâce à son concept holistique intégré.

À son avis, les quatre pierres d'assise d'une bonne santé sont les plantes (médicinales et aromatiques), l'exercice, la nutrition et l'eau, dont les différentes utilisations améliorent les

pouvoirs d'auto guérison du corps. Plusieurs établissements des Alpes offrent toujours des cures Kneipp.

Il s'agit du Dr : John H. Kellogg (1852-1943), frère du fabricant des célèbres céréales à déjeuner. Le Dr : Kellogg a publié une cinquantaine de livres sur ses approches dont Rational Hydro thérapie, en 1903, qui a fait école auprès des naturopathes.

La pratique du thermalisme et de la thalassothérapie connaît une popularité importante en Occident jusqu'à la deuxième guerre mondiale, et plusieurs États européens décident de couvrir les frais des cures d'eau, sous certaines conditions.

Toutefois, les progrès considérables de la médecine ont occulté peu à peu l'intérêt de l'hydrothérapie. Malgré tout, la forte tradition européenne des cures thermales subsiste.

En Amérique, il n'y a guère de tradition thermale. Les spas et les centres de thalassothérapie sont assez récents, généralement luxueux et mettent plutôt l'accent sur les soins de détente et de beauté. Ce sont plutôt les naturopathes qui appliquent et font connaître les multiples formes de l'hydrothérapie. [BEKKOUCHE Mohamed Faouzi 2016]

## **II-1-Les principaux soins et leurs effets :**

### **II-1-a-Douches externes :**

Les douches externes qui sont encore peu diffusées mais qui représentent un certain bénéfice thérapeutique, représentent une forme de traitement qui peut être pratiqué aussi bien avec l'eau courante qu'avec l'eau thermale, en associant dans ce dernier cas, les avantages de la technique utilisée aux qualités particulières de l'eau. Le jet d'eau qui peut être étendu à toute la surface du corps ou dirigé seulement vers des zones réduites du corps (comme dans le cas des douches filiformes) a non seulement une efficacité directe sur la zone traitée mais génère une action de stimulation générale de l'organisme, qui intéresse de façon particulière l'appareil cardiovasculaire et le système nerveux.

### **II-1-b-Irrigations et douches internes :**

Les irrigations et les douches internes sont des méthodes thermales qui permettent de mettre en contact l'eau minérale et également les gaz thermaux, avec les muqueuses des cavités ouvertes du corps (muqueuses rectales, vaginales, rhino-pharyngées). L'eau thermale utilisée dans ce but est recueillie dans des récipients prévus à cet effet (appelés irrigateurs) à l'intérieur desquels

---

elle est portée à la température et aux densités demandées pour les différentes applications, avec l'ajout éventuel de médicaments.

### **II-1-c-Grottes et étuves chaudes (thérapie en grotte) :**

Par le terme "thérapie en grotte" on indique les méthodes d'utilisation dans un but thérapeutique, des vapeurs aqueuses qui se libèrent à l'intérieur des cavités géologiques naturelles ou dans les environnements artificiellement recréés par l'homme. Les cavités utilisables sont classifiées en cavités chaudes ou froides selon la température interne et seulement les premières ont une utilisation de type thérapeutique : elles se distinguent en grottes chaudes humides (c'est-à-dire les grottes par antonomase) et les grottes chaudes-sèches, appelées étuves.

### **II-1-d-Inhalations :**

On entend par inhalation, l'introduction d'eau minérale ou de ses constituants gazeux dans les voies respiratoires au moyen d'appareils spéciaux qui nébulisent l'eau en de minuscules particules. Les cures inhalatrices se distinguent en Inhalations humides et Inhalations sèches, selon si la nébulisation de l'eau thermale est faite avec de la vapeur d'eau ou avec de l'air sous pression. Les principaux types de cures inhalatrices sont : nébulisations, inhalations, aérosols, humages et insufflations.

### **II-1-e-Nébulisations :**

Dans les nébulisations, l'eau thermale est traitée jusqu'à l'obtention d'un brouillard de différente densité et émise successivement dans des pièces prévues à cet effet où elle est inhalée par plusieurs patients. Les nébulisations sont donc caractérisées par l'utilisation en commun du 'brouillard thérapeutique' dans des pièces prédisposées pour cette utilisation. Comme dans d'autres pratiques inhalatrices, il est possible de prédéterminer les dimensions des particules d'eau suspendues dans l'air ainsi que le niveau d'humidité de la pièce utilisée.

### **II-1-f-Aérosols :**

Les inhalations de type "aérosol" sont caractérisées elles-aussi par la fragmentation des particules d'eau jusqu'à l'obtention d'un diamètre très réduit, inférieur à trois microns. La pratique de l'aérosol est identique à celles des pratiques classiques inhalatrices et se différencie surtout par le fait que l'inhalation se fait à une température qui correspond à celle de l'eau à la sortie de la source. En dehors des méthodes utilisées pour obtenir la fragmentation des

---

particules d'eau, l'eau thermale est utilisée dans les mêmes conditions chimiques présentes dans la source.

### **II-1-g-Humages :**

Les "humages" sont caractérisés par l'utilisation de gaz naturels, obtenus des eaux thermales selon des techniques particulières ou qui sont émis par celles-ci de façon spontanée. Pour cette raison les humages sont également appelés "émanations". Les eaux qui présentent le plus d'émanations gazeuses sont les eaux radioactives et plus particulièrement les eaux gazeuses.

### **II-1-h-Insufflations :**

Les insufflations constituent un traitement thermal particulier de type inhalateur, pour le soin des phases initiales de l'insuffisance tubaire de l'oreille moyenne (trompe d'Eustache / tympan / appareil de transmission), dont le cadre pathologique peut dégénérer sous forme d'otite chronique et provoquer la surdité. La pathologie traitée sous forme sélective est constituée des otites moyennes avec dysfonctionnement tubaire. Les gaz thermaux sont introduits par voie nasale au moyen du compresseur spécial (manœuvre de Politzer) pour rétablir une ventilation adaptée de l'oreille moyenne. Ces types d'insufflations sont appelés "tubo-tympaniques".

### **II-1-i-Balnéothérapie :**

Les eaux thermales possèdent des propriétés de constitution et d'action qui rendent la balnéothérapie, c'est-à-dire la pratique de l'immersion totale ou partielle du corps dans des eaux thermales, l'une des principales thérapies thermales pratiquées. Dans la balnéothérapie, les eaux thermales exercent l'action curative grâce à leur structure spéciale à travers des stimulations déterminées qui sont plus précisément : des actions caloriques, des sollicitations mécaniques, des actions physico-chimiques et chimiques.

Pour la composante calorique, il faut dire que l'eau qui possède la plus grande chaleur spécifique, un faible coefficient de conductibilité et la possibilité d'être utilisée en masse consistante possède une forte capacité de rétention de la chaleur.

### **II-1-k-Fangothérapie :**

La boue thermale est une pâte particulière constituée d'une composante solide argileuse, d'une composante liquide (eau thermale de différente composition) et d'une composante organique qui se forme surtout pendant le processus de maturation. Avant les années 30, l'argile

était considérée comme une substance amorphe et colloïdale mais les méthodes modernes minéralogiques ont permis de mettre en évidence ses plus importants constituants, les minéraux argileux.

### **II-1-I-Bains de sable (psammatothérapie) :**

Les bains de sable représentent un type particulier de traitement thermal, où le moyen utilisé est le sable marin pour sa composante saline particulière. Les sels et les composants organiques présents dans le sable qui peuvent également varier de façon significative, proviennent d'un processus d'auto filtration qui dérive de l'action du mouvement des vagues.

La psammatothérapie constitue souvent la phase d'un processus thérapeutique plus complexe, où elle est associée à la balnéothérapie en eau de mer et à d'autres traitements thermaux spécifiques.

A côté de ces soins ils existent encore des autres traitements comme les différentes techniques de massage (massothérapie et pressothérapie) et le drainage hydraulique. [BEKKOUCHE Mohamed Faouzi 2016]

### **II-2-Les propriétés thérapeutiques :**

L'eau possède deux caractéristiques mises à profit dans les exercices de rééducation : la résistance uniforme que sa masse oppose au mouvement et la relative apesanteur d'un corps qui y est plongé. Elle possède aussi quatre autres propriétés très utiles en hydrothérapie :

- Elle maintient sa température ;
- Elle communique cette température beaucoup mieux que l'air ;
- Elle transporte des minéraux ou des essences végétales en suspension ;
- Elle se transforme en jets, en bulles, en courants, etc.

Les traitements ont très souvent recours à l'eau chaude et à la vapeur, car elles permettent d'augmenter la température du corps.

#### **II-2-a-L'eau au secours de la peau :**

Les bains de vapeur ont également pour effet d'ouvrir les pores de la peau et ainsi évacuer une partie des déchets de l'organisme. Parmi ceux-ci : les produits chimiques absorbés par l'air, l'eau ou les aliments, de même que les résidus toxiques de certains processus métaboliques. Cette détoxification se traduit par un bien-être général. Elle est également utile dans le traitement de divers problèmes cutanés.

---

**II-2-b-Rhumatologie, séquelle de traumatisme ostéoarticulaires / neurologie :**

Contribuer au traitement des maux de dos (douleurs lombaires). Les auteurs d'une métaanalyse publiée en 2006 se sont penchés sur cinq essais cliniques portant sur les effets de la balnéothérapie et des traitements en spa contre les douleurs lombaires. Les résultats de ces études, incluant au total 454 patients, démontrent que les deux types de thérapies induisent des diminutions de la douleur.

Un essai clinique publié en 2005 a comparé les effets de deux types de balnéothérapie, soit avec une eau minérale riche en soufre, soit avec une eau régulière auprès de 60 sujets souffrant de douleurs lombaires.

**II-2-c-Maladie de l'appareil urinaire, maladie métabolique :**

La cure thermale est aussi indiquée en cas de troubles urinaires, lithiase urinaire, prostatites, cystite récidivante et douleurs pelvi-péritonéales. La cure de boisson est le traitement thermal principal qui a pour objectif l'élimination des résidus de calcul et le rééquilibrage de l'appareil urinaire. Elle prescrit un litre et demi d'eau riche en Magnésium et en Calcium qui réduit significativement le risque de lithiase et la douche en position verticale inversée calme la douleur. **(DIB.H, 2004).**

**II-2-d-Voies respiratoires :**

Les cures thermales sont indiquées pour soigner les affections respiratoires chroniques tel que l'asthme, la trachéite, la bronchite, la sinusite, l'otite, la rhino-pharyngite, l'angine, la laryngite ou encore la rhinite. L'objectif principal est d'amener l'eau et/ou le gaz thermal au contact des tissus qui tapissent les voies respiratoires par les différentes techniques d'aérosolthérapie afin de nettoyer (Détersion), désencombrer et réguler les voies respiratoires. Ces différents soins stimulent les défenses locales et on obtient une cicatrisation ou une diminution de la fréquence de crises (DIB.H, 2004)

**II-2-e-Phlébologie :**

Les douches au jet améliorent la circulation veino-lymphatique, la régule (effet phlébodynamique) et à forte pression provoque une décontraction musculaire et un drainage tissulaire (Élimination l'œdème). **(DIB.H, 2004)**

**II-2-f-Irritation des intestins (lavage du colon et cure de boisson) :**

Dans les maladies digestives, la cure thermique est indiquée en cas d'irritation du colon, de dégénérescence du tissu intestinal, colopathie. Pour endiguer ces maux, sont pratiquées

L'entéroclise (lavage du colon) et la cure de boisson. (DIB.H, 2004)

**II-2-g-Maladies de l'appareil digestif :**

La cure de boisson est le traitement thermal principal des colites, des troubles de la digestion ou encore des troubles fonctionnels hépatiques. Elle est associée aux bains ou aux douches qui ont un effet régulateur et laxatif de l'appareil digestif et à une éducation nutritionnelle adaptée.

**II-2-h-Obésité et Diabète (éducation nutritionnelle) :**

Dans les maladies métaboliques, la cure thermique est indiquée pour soigner les problèmes d'obésité et de diabète grâce à un programme d'éducation nutritionnelle sur mesure. (DIB.H,

2004)

**II-2-i-Douche thérapeutique contre l'anxiété :**

Dans les maladies psychiatriques, la cure est indiquée en cas des dépressions de troubles du sommeil et de servage médicamenteux. Les douches thérapeutiques sont pratiquées par un psychiatre. (DIB.H, 2004)

**II-2-j- Maladies neurologiques :**

La cure est utilisée en cas de traumatisme crânien, maladie de Parkinson, sclérose en plaques, d'hémiplégie consécutive à un accident vasculaire cérébral ou lors de séquelles d'encéphalite, de névrite ou d'encéphalite chronique.

**II-2-k-Maladies cardio - artérielles :**

Les bains et les douches, associées à du gaz therma augmentent le calibre des vaisseaux sanguins, améliorent et régulent la circulation sanguine (vaso-réflexe, vasodilatation). Le couloir de marche permet d'effectuer une rééducation active des membres inférieurs. (DIB.H, 2004)

**II-2-l-Affections bucco – linguales :**

La douche des gencives nettoie les tissus de la bouche et le bain local calme la douleur. (DIB.H, 2004)



**II-2-m-Gynécologie :**

Les bains et techniques spécifiques (irrigation, columnisation) associés à l'eau minérale permettent de lutter contre les infections et apaisent les douleurs pelviennes (douleurs post – opératoires, règles douloureuses, ...). **(DIB.H, 2004)**

**II-2-n-Troubles du développement de l'enfant :**

Les différentes techniques thermales utilisées calment la douleur, stimulent et sont proposées dans le cadre d'une prise en charge globale de l'enfant (psychologique et éducation sanitaire). **(DIB.H, 2004)**

**III-Conclusion :**

Finalement, on peut dire que notre région possède une source thermale (Hammam Sidi Yahia) de type Chloruré sodique et sulfaté, et qui a montré son efficacité dans le traitement de quelques maladies d'infections dermatologiques et des voies de respiration [**S. Guigue (1947) et Dib, H (2004, 2008)**]

Nous recommandons de prendre cette source avec plus de considération et profiter de ses caractéristiques géochimiques, minéralogiques et thérapeutiques.

## **Conclusion générale**

## CONCLUSION GENERALE

Le travail d'exploration sur la source thermale de Sidi Yahia situé à l'Meridj-Ouenza, W. de Tébessa, et le traitement des données recueillis nous permettent de faire une synthèse préliminaire globale sur les conditions d'émergence de la source thermale et l'identification de son contexte hydrogéologique et hydro chimique. L'étude a permis de mettre en évidence les informations suivantes :

- Selon l'étude géologique et structurale de la région de Ouenza, on peut dire que les formations géologiques à l'émergence de la source, en surface, sont cachées par des formations travertineuse, qui sont étalées sur la zone où les eaux thermales s'écoulent ;
- Les formations triasiques sont fortement présentes dans la zone d'étude et qui peuvent influencer certainement sa qualité chimique (Teneur en sulfates est très élevée) ;
- La source thermale de Sidi Yahia donne un débit de 4l/s,
- Une étude géophysique a montré qu'il y a une faille de direction NE-SE (F2) sur la partie NE du Dj.DEF. Le rapprochement de cette faille au site du Hammam Sidi Yahia (2 Km) ainsi que le probable plongement de cette faille en profondeur et dans le sens de la source thermale nous laisse supposer qu'elle est la cause principale de son émergence.
- Le faciès chimique de la source thermale est Chloruré Sodique et Sulfaté,
- La minéralisation totale de la source est 10735 mg/l ; sa résistivité égale 57 Ohm.m Cette minéralisation élevée est certainement dû à l'influence du trias et les formations de crétacé supérieur ;
- Selon la température des eaux, elle est classée comme source hypo thermale ( $T < 40^{\circ}\text{C}$ )
- La source contient une quantité importante de Strontium ( $\text{Sr} = 12,75 \text{ mg/l}$ )
- Les eaux thermales de sidi Yahia est utilisées pour des fins thérapeutiques : la dermatologie, la rhumatologie et les maladies des voies respiratoires.

L'existence d'un patrimoine important des sources thermo-minérales dans notre région exige une action concertée et intégrée entre les principaux secteurs que sont les collectivités locales, les structures de la santé, du tourisme, l'Energie et des Mines ainsi que celles des Ressources en Eaux. L'assistance du ministère de Culture serait également d'une grande utilité pour la protection des sites archéologiques et ce qui reste des thermes romains [Dib,H, 2008]

Enfin, nous recommandons de prendre ces patrimoines précieux en considération et si possible de les réhabiliter pour profiter de ses caractéristiques thérapeutiques.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Carte Topographique de Djebel Ouenza N° 125 ECHELLE (1/50 000)**

**La carte géologique de Djebel Ouenza N° 125 ECHELLE (1/50 000)**

**G. DUBOURDIEU 1957.** Étude géologique de la région de l'Ouenza (confins Algéro tunisiens).

**BOUAICHA Foued ; 2018** « LE GEOTHERMALISME DE LA REGION DE GUELMA », Thèse de doctorat, Hydrogéologie, UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI – CONSTANTINE 1 – ; FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE DE LA GEOGRAPHIE ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES.

**Dib. H, 2008.** Guide pratique des sources thermales de l'Est algérien. Editions du Service Géologique national (Alger) : 106 pp.

**Chanbi Saleh et Bouchareb Mohamed Elamine. 2017** « Etude minéralogique et géologique du gisement ferrifère de Ouenza et son impact sur l'environnement » Mémoire de Master Géologie, Université L'Arbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi

**STAMBOUL Mohammed Elamine 2017** « Analyses de l'état quantitatif et qualitatif des eaux superficielles et souterraines de la zone El Aouinet-Ouenza (Wilaya de Tébessa) » Mémoire de magister en Hydrogéologie, UNIVERSITE LARBI TEBESSI-TEBESSA.

**BEKKOUCHE Mohamed Faouzi 2016** « CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES SOURCES THERMALES DE L'EXTREME NORD-EST ALGERIEN » Mémoire de Doctorat en Hydrogéologie, UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA.

**Castany G.1963.** Traité pratique des eaux souterraines : 657 pp.

**Site Internet :**

[EncyclopaediaUniversalis2015].

(<https://www.universalis.fr>).

# **Annexes**

---

**ANNEXES**

**Quelques photos de la source thermale (Sidi Yahia) :**









