

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCCEN
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du
Diplôme de Master II en Géo-Ressources
Option : Géo-Ressources

Par

SEMGHOUNI Abdelbasset



Contribution à l'étude Hydrogéologique
de Hammam Sidi Ayd (Aïn Témouchent, Algérie)



Soutenu le, 31/10/2013

Devant les membres du jury composé de:

| | | |
|--------------|--------------------------|--------------|
| Président | M TALEB M.K. | Univ Tlemcen |
| Encadreur | M. BAGHLI A. | Univ Tlemcen |
| Co-encadreur | M. TABET HELAL A. | Univ Tlemcen |
| Examineur | M. BENCHOUK M. | Univ Tlemcen |
| Examinatrice | Mme. BOUANANI K. | Univ Tlemcen |

Année universitaire : 2012-2013

Remerciements

Je remercie d'abord le bon Dieu de nous avoir donné la volonté pour réaliser ce travail.

*Mes plus vifs remerciements s'adressent à Monsieur **A.BAGHLI** qui a accepté de diriger ce travail, et pour ses orientations en nous faisant profiter de son expérience, de sa disponibilité, ses idées et ses conseils, ainsi que pour son aide précieuse durant toute l'année spécialement pour l'enseignement de la matière d'anglais scientifique.*

*J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur **A. TABET HELAL** d'avoir accepté de diriger ce travail, ses directives, sa compétence et ses critiques ont été pour nous une aide appréciable.*

*Mes remerciements reviennent également à Monsieur **H.BENRAMDANE** pour avoir honoré de sa présidence du jury.*

*Je remercie aussi Monsieur **M. BENCHOUK** et Monsieur **M.K. TALEB** pour avoir accepté d'examiner mon mémoire.*

*Mes remerciements vont également Monsieur **YAZID CHERIF BEN MOUSSA** pour leurs encouragements et leurs aides.*

*Je voudrais remercier aussi la direction des ressources en eau de la wilaya d'Ain Témouchent pour l'aide précieuse spécialement Monsieur **H. ABABOU**.*

*Je remercie également mon collègue Monsieur **O.ALLIOUA** pour sa chaleureuse présence et pour son aide.*

Enfin à tous ceux qui nous aidé de prés ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A la femme qui m'a porté toute ma vie et m'a enveloppé de gentillesse. Mère, je t'exprime mon profond amour.

A mon père que je lui exprime mon profond respect et j'espère que j'ai été à la hauteur. Ma joie est que tu sois fier de moi.

A mes chers frères et mes chères sœurs.

A mes neveux et mes nièces spécialement Abdelelah, Mouna et Abdelmoudjib.

A tous mes amis.

A tous ceux qui éprouvent un sentiment d'amitié et fraternité envers moi.

Abdelbasset

Résumé :

L'objectif de notre travail a consisté à contribuer à l'actualisation de l'étude hydrogéologique de Hammam Sidi Ayd qui fait partie de la zone thermale de Hammam Bouhdjar (Wilaya d'Aïn Temouchent)

Les sources chaudes de cette dernière émergent près et dans les falaises des travertins qui caractérisent la région et qui donnent un système dit de « failles en fer à cheval ».

Les analyses physico-chimiques et la comparaison avec les sources avoisinantes ont permis de déterminer le faciès chimique des eaux de Hammam Sidi Ayd et d'essayer de comprendre le chemin traversé par ces eaux avant d'arriver aux émergences actuelles.

Mots-clé :

Sidi Ayd-sources chaudes-travertins-falaise.

Summary:

The objective of our work was to contribute to the updating of Hammam Sidi Ayd hydrogeological study which is part of the spa area of Hammam Bouhdjar (Wilaya of Ain Temouchent).

The hot springs of the latter emerge near and in the travertine cliffs that characterize the region and provide a system called "horseshoe shaped faults."

The physico-chemical analyzes and comparison with neighboring sources were used to determine the Hammam Sidi Ayd chemical water facies and try to understand the path crossed by that water before reaching the current emergences.

Key words :

Sidi Ayd-hot spring- travertine- cliffs

الملخص :

الهدف من عملنا يكمن في استكمال و تحديث الدراسة الهيدروجيولوجية لحمام سيدي عايد الذي يعتبر جزء من منطقة الحمام المعدني لبوحرر (ولاية عين تموشنت).

الينابيع الساخنة لهذه الأخيرة تظهر قرب و في واجهات الحجر الجيري التي تميز المنطقة و تعطي نظاما يسمى " انكسارات على شكل حدوة الحصان".

التحاليل الفيزيائية و الكيميائية و المقارنة مع الينابيع المجاورة مكنت من تحديد النمط الكيميائي لمياه سيدي عايد و محاولة فهم المسار المقطوع من طرف المياه قبل وصولها الى المخارج الحالية.

كلمات مفتاحية :

سيدي عايد-الينابيع الساخنة - الحجر الجيري- واجهة.

SOMMAIRE

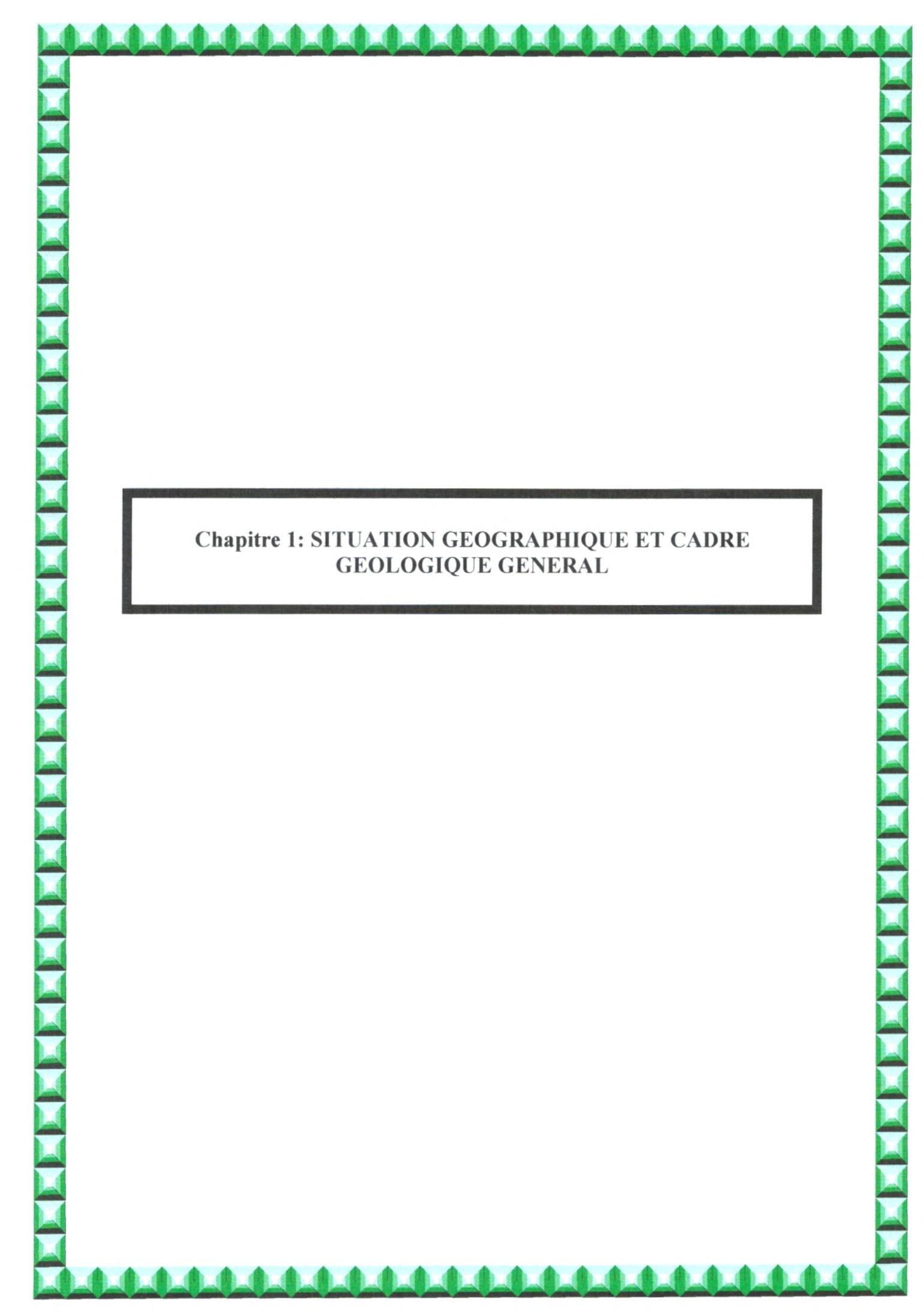
| | |
|--|--------------|
| Introduction générale | 01 |
| CHAPITRE 1..... | 02-12 |
| 1. Situation géographique..... | 02 |
| 2. Cadre géologique général..... | 03 |
| 2.1 Introduction..... | 03 |
| 2-2. Description lithologique des différents ensembles..... | 04 |
| 2.3. L'édifice structural..... | 07 |
| 2.4. Le volcanisme de la région..... | 07 |
| 2.5. La sismicité..... | 08 |
| 2.6. Tectonique..... | 10 |
| 2.6.1. La faille de l'Oued el Melah..... | 10 |
| 2.6.2 Les failles de Hammam Bouhdjar et Hammam Sidi Ayd..... | 10 |
| Conclusion | 11 |
| CHAPITRE 2..... | 13-17 |
| 1. Introduction | 13 |
| 2. Etude des précipitations | 13 |
| 2.1. Précipitations annuelles | 13 |
| 2.2. Précipitations mensuelles..... | 13 |
| 2.3. Répartition saisonnière des Précipitations | 14 |
| 3. Etude des températures | 15 |
| 4. Etude de Climat | 16 |
| -Diagramme Ombrothermique | 16 |
| Conclusion | 17 |

| | |
|--|--------------|
| CHAPITRE 3 : | 18-25 |
| 1. Introduction | 18 |
| 2. Hydrogéologie de Hammam Sidi Ayd | 18 |
| 3. les forages..... | 19 |
| 3.1. Le forage de Hammam Bouhdjar | 19 |
| 3.2. Le forage d'El Maleh | 21 |
| 4. Les aquifères | 21 |
| 4.1-L'aquifère Plio-Quaternaire | 21 |
| 4.2-Aquifère du Miocène Supérieur | 22 |
| 5. Le Thermalisme | 22 |
| CHAPITRE 4: | 26-39 |
| 1. Inventaire des points d'eau | 26 |
| 2. Contrôle des analyses par la balance ionique (BI) | 28 |
| 3. Température et pH des eaux | 28 |
| 4. Analyses physico-chimiques des eaux | 31 |
| 4.1. Diagramme de Schoeller et Berkloff..... | 33 |
| 4.2. Diagramme de Piper..... | 34 |
| 4.3. Comparaison avec d'autres sources thermales de la zone de Hammam Bouhdjar | 35 |
| 4.5. Minéralisation et conductivité | 37 |
| 5. interprétation des résultats | 38 |
| 6. périmètre de protection | 39 |
| CONCLUSION GÉNÉRALE | 40-41 |
| BIBLIOGRAPHIE | |
| ANNEXES | |
| LISTE DES FIGURES | |
| LISTE DES TABLEAUX | |

Introduction générale

Les eaux thermales sont des eaux qui ont leurs origines dans les profondeurs de la Terre où la température est supérieure à la température moyenne des eaux de la 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.

Notre travail consiste à étudier la source thermale de Hammam Sidi Ayd faisant partie de la zone thermale de Hammam Bouhdjar (Ain Témouchent), d'actualiser son hydrogéologie constitution de la faille ; origine géologique et nature lithologique, faire un inventaire des points d'eaux de la source de Sidi Ayd (faire des analyses physico-chimiques). S'agit-il d'un thermalisme fissural en liaison avec drainage et une circulation des eaux grâce à des accidents tectoniques ? D'où proviennent ces eaux ? Comment sont-elles chauffées et à quelles profondeurs ?



**Chapitre 1: SITUATION GEOGRAPHIQUE ET CADRE
GEOLOGIQUE GENERAL**

1. Situation géographique :

Hamam Bouhdjar est connue principalement pour son Hamam et ces sources thermales. Située à 20 km d'Aïn Témouchent, 45 km de Sidi Bel Abbès et 65 km d'Oran, elle constitue un véritable carrefour entre les trois wilayas.

La zone d'étude est limitée administrativement par :

- La wilaya de Tlemcen au Sud et au Sud-Ouest
- La wilaya de Sidi Bel Abbès à l'Est.
- La Sebkhia d'Oran au Nord-Est
- La Méditerranée au Nord et au Nord-Ouest

Elle occupe une superficie d'environ 65.07 km² (figure 1).

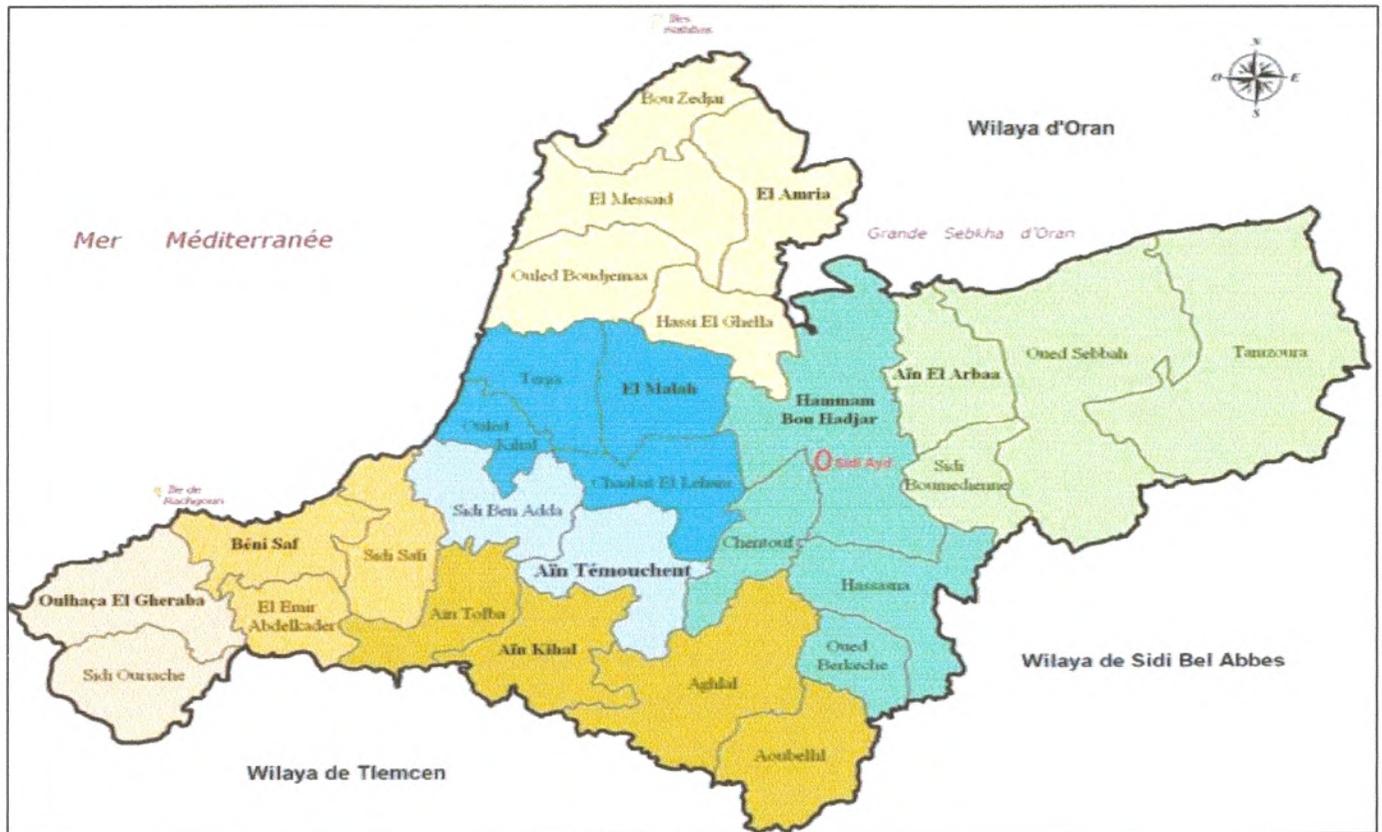


Figure 1 : Situation géographique de Hammam Bouhdjar.

Hamam Sidi Ayd se situ à environ 2 km au Sud-Est de la ville de Hammam Bouhdjar (figure 2).

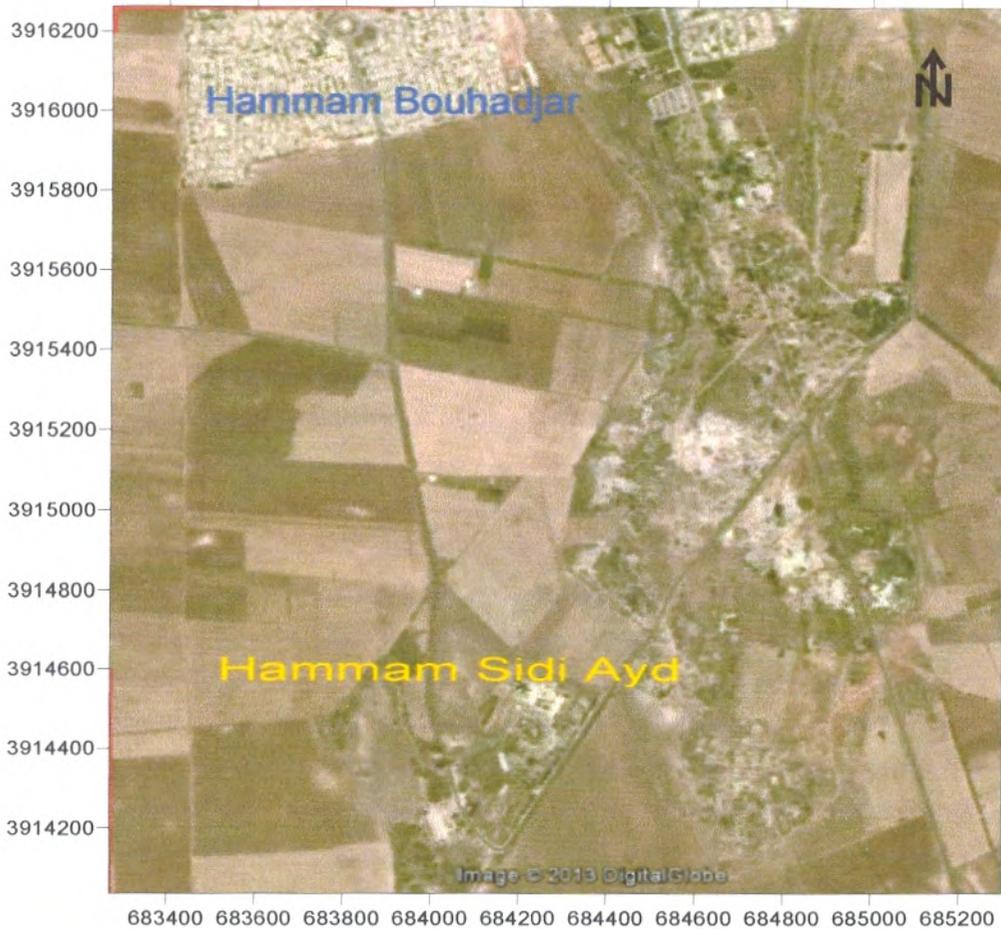


Figure2 : Situation géographique de la Source se Hammam Sidi Ayd

2. Cadre géologique général :

2.1 Introduction

la partie géologique a été menée par Mr Djellit (maitre de recherche, CRAAG).

Le thermalisme de la région de Hammam Bouhdjar est localisé dans l'étroite dépression dessinant la plaine de la M'leta, connue pour être un espace « géologiquement effondré », ménagé, après la mise en place des nappes telliennes, entre les massifs littoraux oranais, au Nord, et les monts des Tessala, au Sud. Son histoire est intimement liée aux structures tectoniques post-nappes (failles essentiellement et volcanisme accessoirement), responsables des effondrements néogènes qui caractérisent cette région. Les manifestations thermales qui s'expriment en surface par des sources à débit faible, sont disséminées en plusieurs points le long de la bordure sud du bassin de la M'leta, dont l'orientation générale NE-SW, calque de façon remarquable la limite Nord des Monts des Tessala qui se

plusieurs unités structurales tectoniquement superposées au-dessus desquelles reposent, en discordance, d'épaisses accumulations post-nappes, datant de la période récente allant de la fin du Miocène au Quaternaire (Serravallien terminal à l'actuel). De façon schématique, cet édifice montre de bas en haut dans la région de Hammam Bouhdjar :

- Un substratum tellien du Jurassique/Crétacé, d'affinité africaine, pouvant atteindre localement le Miocène anté-nappe,
- Un ensemble hétérogène allochtone, composé de Marnes du Miocène emprisonnant çà et là, des blocs isolés et/ou en forme d'écailles plus ou moins continues provenant, pour l'essentiel, de la dilacération des nappes de glissement, issues du domaine tellien.
- les dépôts post-nappes du Néogène (Serravallien terminal à l'actuel).

Hammam Sidi Ayd, notre secteur d'étude, fait partie de cet ensemble.

2-2. Description lithologique des différents ensembles :

L'étude des séries de la région nous permet de les synthétiser en trois grandes unités stratigraphiques (figure 3). Il s'agit de bas en haut de :

- Du substratum tellien (Jurassique à Crétacé) parautochtone.
- De l'unité des nappes telliennes, essentiellement marno-gréseuse, mais pouvant contenir quelques rares intercalations d'épaisseur réduite de bancs calcaires (5 à 10m d'extension verticale) susceptibles d'être le siège de petits aquifères de dimensions réduites. Les nappes telliennes qui occupent le centre du bassin de la M'leta correspondent aux séries allant du Vraconien à l'Oligocène. Elles sont représentées par deux unités. La première du Vracono-Sénonien a une épaisseur d'environ 500 m et la seconde du Sénono-Oligocène a environ 500 m d'extension verticale. Ces nappes ont glissé de façon gravitaire au cours du Miocène pour venir s'intercaler à l'intérieur des dépôts de même âge (figure 3) qui s'accumulaient à cette époque dans ces secteurs. En somme, l'épaisseur totale du matériel allochtone qui compose ces nappes et celui qui s'est déposé pendant le Miocène (environ 250 m), au moment de leur glissement, avoisine les 1200m.
- De l'unité des dépôts post-nappe (environ 500 m).

A ces grandes unités stratigraphiques et structurales, s'ajoutent d'importants corps magmatiques dont les modalités d'affleurements et la géométrie, montrent qu'il s'agit d'un volcanisme en partie fissural (Louni-Hacini et al.1995 ; Megartsi 1985 ; Fenet 1975; Guardia 1975; Maury et al 2000) qui s'est mis en place le long de grandes failles.

La superposition dans l'espace de ces grandes unités permet de voir sans ambiguïté que le champs d'alimentation, ou aquifère principal, des sources chaudes de Hammam Bouhdjar ne peut s'effectuer qu'à partir de l'unité la plus basse située à environ 1500 m (plus ou moins 100m), où comme nous l'avions signalé précédemment la nature sédimentologique, calcaires et dolomies, s'y prête bien à de grandes accumulations de réservoirs aquifères. Ou à partir d'aquifère de dimension moindre (piégeage dans des lentilles) situés dans les unités telliennes

allochtones. Un aquifère situé dans le substratum parautochtone donnerai des eaux en surface de composition variable où les minéraux dissout proviendraient de tous les ensembles géologiques traversés au cours de leur remontée. C'est-à-dire des eaux de ce type contiendraient des minéraux provenant du substratum et des unités telliennes sus-jacentes.

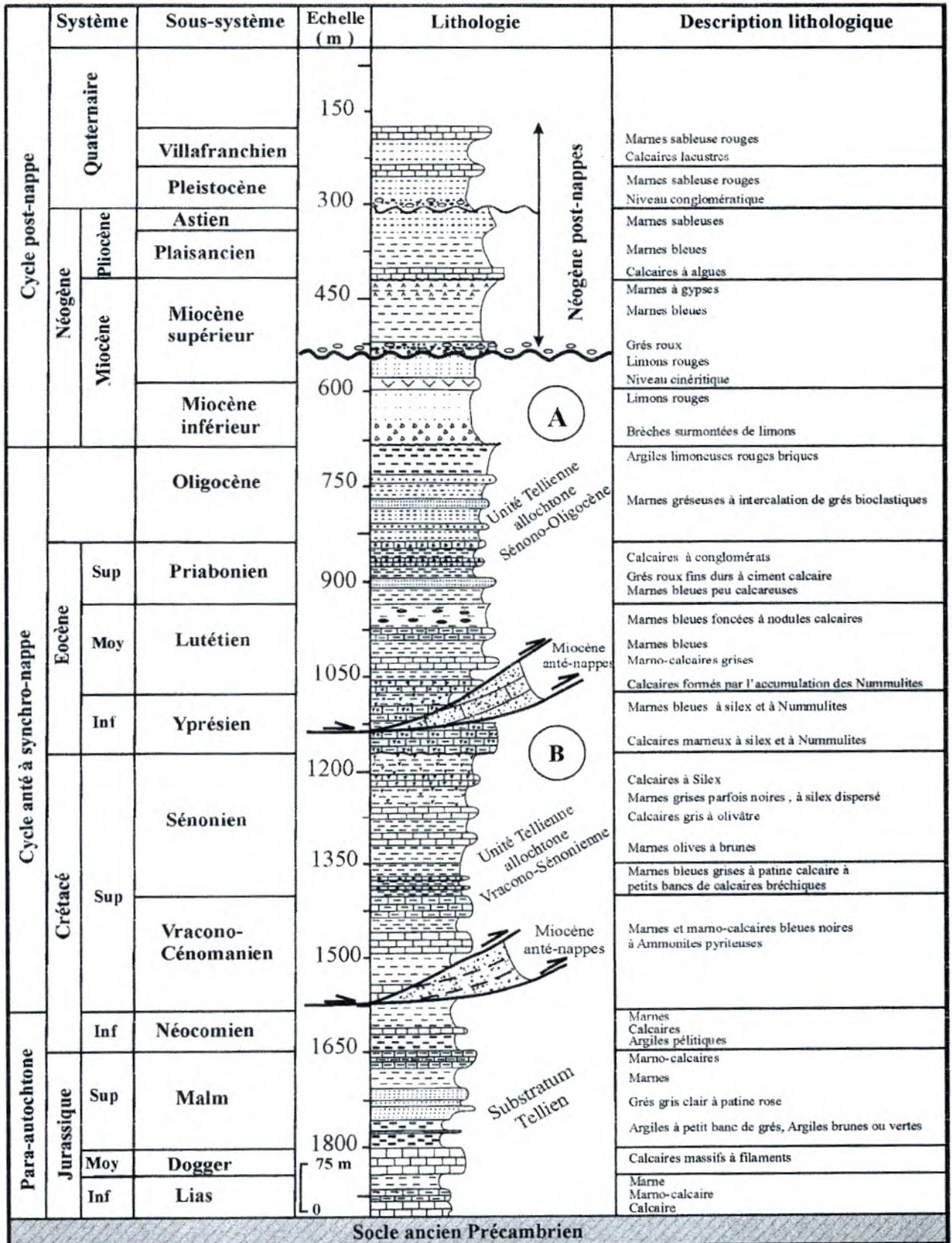


Figure 3 : Colonne Stratigraphique des unités Tectono-Sédimentaires dans la région de Hammam Bouhdjar (Djellit, CRAAG, 2005).

2.3. L'édifice structural :

Les réflecteurs importants en profondeur dans l'édifice sont :

- a)- la base des nappes telliennes qui représentent la surface tectonique majeure sur laquelle ont glissé les nappes. Ce réflecteur qui représente en fait une surface mécanique (base de nappe) est d'autant plus marqué puisqu'il souligne une discontinuité majeure entre deux ensembles fortement opposés sur le plan lithologique.
- b)- la base des dépôts Néogène qui sépare les séries essentiellement marneuses du Néogène des unités allochtones telliennes sous-jacentes, et, dont le toit est représenté par l'unité grésopélique du Sénono-Oligocène.
- c)- les épontes des corps volcaniques, les sills et les dykes volcaniques que l'on observe dans le bassin s'opposent fortement aux dépôts sédimentaires qui les entourent.

Notons que la dépression de la M'léta est le résultat de jeux distensifs des failles normales qui l'encadrent. L'examen détaillé des sédiments néogènes qui comblent cette dépression révèle la présence de verres volcaniques (très nombreux le long de la route joignant Chentouf à Ain Témouchent) qui démontrent que l'activité volcanique dans ces secteurs s'est manifesté par des épanchements de surface dont les centres d'émissions n'étaient pas très éloignés de l'endroit où émergent actuellement les sources thermales notre zone d'étude. D'ailleurs, un des centres actifs de ces époques peut être observé aisément au niveau du lieu Bled el Megane, au sommet du Djebel Kerroulis. Les failles visibles dans l'axe de la dépression sont situées à l'aplomb des sources thermales de Hammam Bouhdjar et se prolongent vers l'W à SW en direction des grands affleurements des corps volcaniques d'Ain Témouchent.

La géométrie des corps volcaniques de petites taille qui soulignent ces failles entre Hammam Bouhdjar et Ain Témouchent, assurant la liaison entre les structures des deux localités, ne laisse aucun doute quant au relations qui existent entre le réchauffement des eaux, les failles et la présence d'apophyses volcaniques connectées à des chambres magmatiques chaudes piégées en profondeur.

2.4. Le volcanisme de la région :

Le réservoir aquifère important de la région est incontestablement soit le substratum parautochtone tellien, compte tenu de sa nature calcaro-dolomitique ; soit les lentilles gréseuses et/ou calcareuses situées dans les unités allochtones telliennes sus-jacentes. Il est important de signaler que les unités visibles sur l'édifice – que ce soit les nappes ou les dépôts néogènes qui les recouvrent sont traversés par des corps volcaniques dont les dernières venues se sont mis en place à une époque relativement récente. Il s'agit d'un volcanisme d'âge Néogène caractérisé par la coexistence de deux types de laves (acides et basiques). Celles-ci dérivent de deux sources que les auteurs (Louni-Hacini et al, 1995) associent à, en premier, un épisode de subduction évoluant progressivement vers des conditions de volcanisme intra plaque, suggérant une percolation des magmas, guidée par des fractures tectoniques. En Somme, une partie du volcanisme oranais peut être considéré comme un volcanisme fissural qui se serait mis en place le long d'accidents profonds.

2.5. La sismicité :

La zone d'étude est caractérisée par la sismicité comme la plus part des régions du tell.

Un zoning sismique actualisé a été établi par le Règlement Parasismique Algérien (R.P.A 2003) suite au séisme du 21 Mai 2003 qui a touché la région de Boumerdes et ses environs.

Le territoire algérien a été subdivisé en cinq zones de sismicité croissante (figure 5), soit :

- Zone 0 : Sismicité négligeable
- Zone I : Sismicité faible
- Zone IIa et IIb : Sismicité moyenne
- Zone III : Sismicité élevée

Dans cette nouvelle classification, notre zone d'étude est située dans **la zone sismique IIa**.

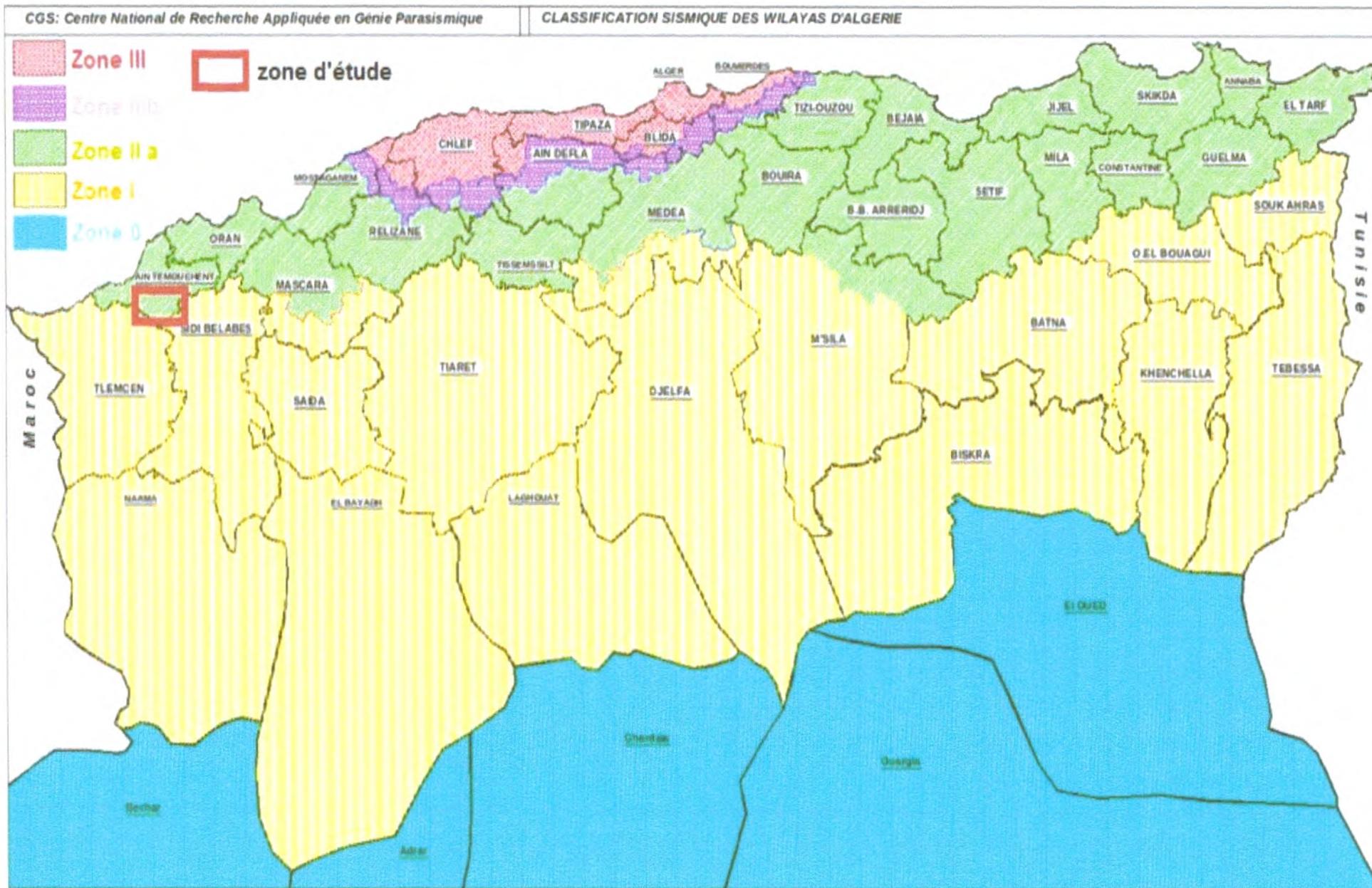


Figure 4: Carte sismique de la région d'Ain Témouchent

2.6. Tectonique :

L'élément structural majeur est représenté par la faille NNE-SSW qui longe la bordure Est du Bled Megane visible à proximité de l'Oued El Melah (figure 5). Cette faille divise la région en deux compartiments structuraux :

- a)- à l'Est le compartiment structural soulevé du Bled el Megane.
- b)- à l'Ouest celui du Hammam Bouhdjar effondré et traversé par un sous-système de failles connectées à la faille principal.

Les jeux déterminés à partir des marqueurs structuraux de la déformation visibles à proximité du village de Hammam Bouhdjar et le long du piémont Nord des Monts du Tessala, sont clairs et expriment des transports dextres avec effondrement relatifs des blocs les uns par rapport aux autres arguments microtectoniques prouvant l'existence des failles NE-SW :

2.6.1. La faille de l'Oued el Melah :

Un certain nombre d'arguments ont été déjà présentés par Fenet (1975) concernant l'existence de cette faille. Le compartiment occidental de la faille est constitué de terrain allant du Jurassique au Bled Kerroulis jusqu'au Miocène, avec dans le détail des représentations du Crétacé et localement à la base, quelques témoins du Trias. Par opposition aux séries du compartiment oriental qui ne présente ici que les termes superficiels du Néogène (Miocène à Quaternaire). En fait la faille juxtapose côte à côte des séries anciennes avec des séries plus récentes. Cette observation est suffisante pour déduire que la faille a provoqué un important effondrement du compartiment oriental.

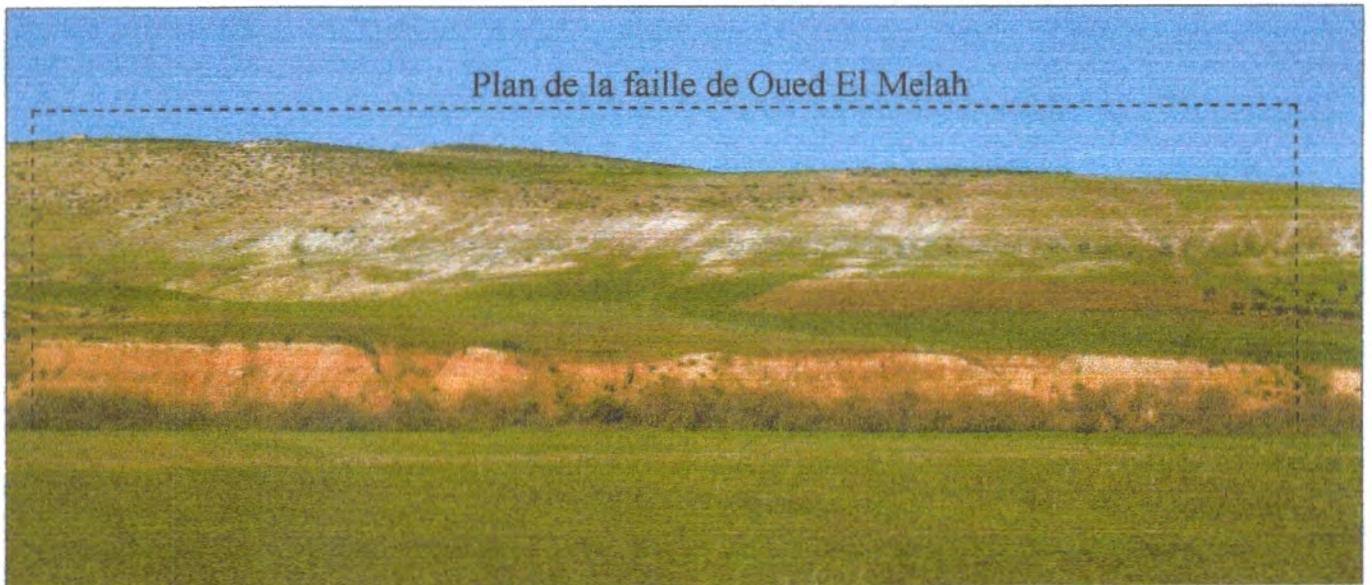


Photo 1 : La faille de l'Oued El Maleh

2.6.2 Les failles de Hammam Bouhdjar et Hammam Sidi Ayd :

Le système de failles qui découpent le secteur de Hammam Bouhdjar constitue un cas d'école (exemple typique).

Le « fer à cheval » cartographique fabriqué par les dépôts des travertins le long de fractures ou vertes par lesquelles giclent les eaux chaudes thermales correspond en fait à des fentes tectoniques.

En fait, les dépôts de travertins continuent plus au Sud du « fer à cheval ». Leur examen détaillé permet de reconnaître de part et d'autre d'un accident dirigé N40, la région du fer à cheval au NW, et une seconde région, riche en sources chaudes disposée au SE de l'accident.

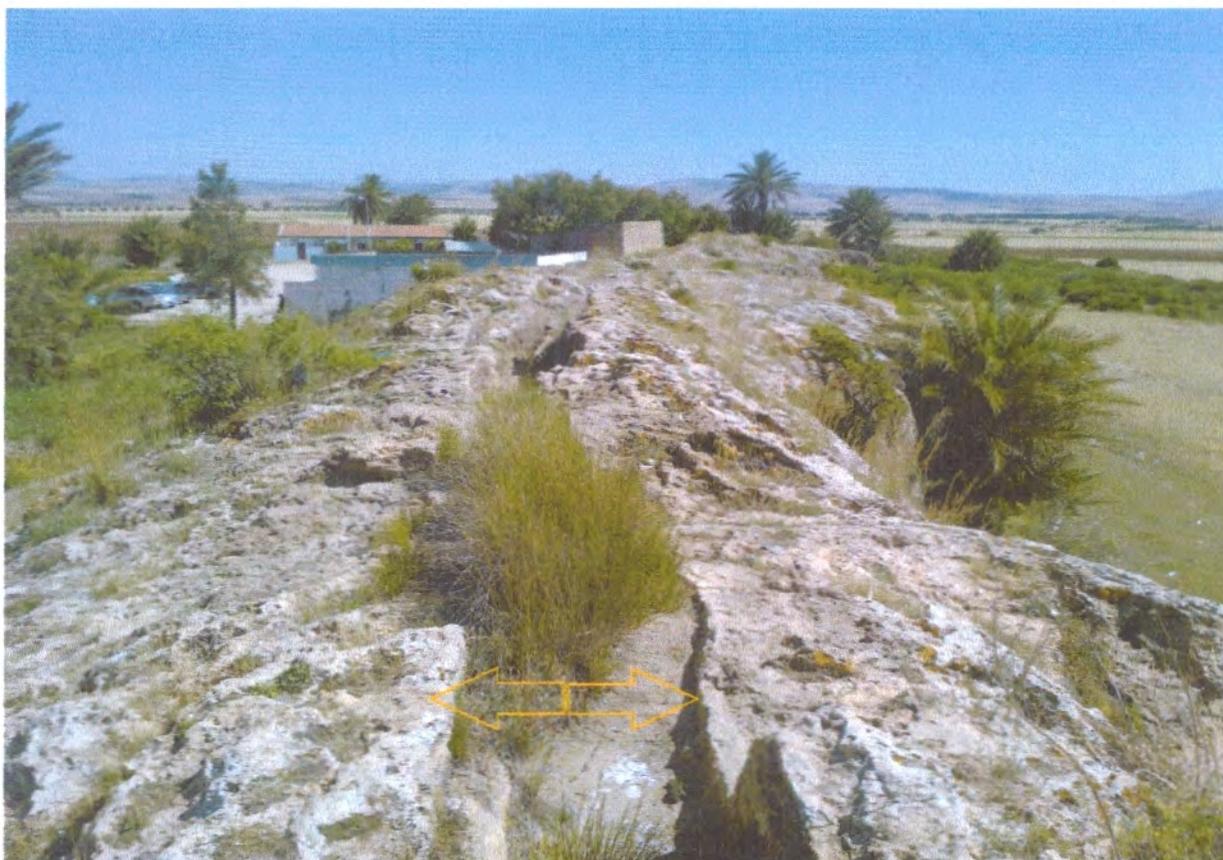


Photo 2 : Faille de Hammam Sidi Ayd

Conclusion :

Les dépôts de carbonates dressés en forme de muraille qui caractérisent la région de Hammam Bouhdjar correspondent en fait à des précipitations accumulées en surface des produits dissous en profondeur par les eaux. Ces précipitations se sont déposées le long de fractures ouvertes orientées sensiblement N170, dont la forme arquée dessine des fentes de tensions, bien connues dans les zones faillées. La disposition des fibres de croissance qui

crystallisent au cœur de la fente donne la direction d'extension et permet de dégager la cinématique des jeux des failles qui leur donnent naissance (fig.5). Le cas de Hammam Bouhdjar constitue sur ce plan un modèle pédagogique remarquable. La figure ci-après donne un exemple de type de modèle de Riedels.

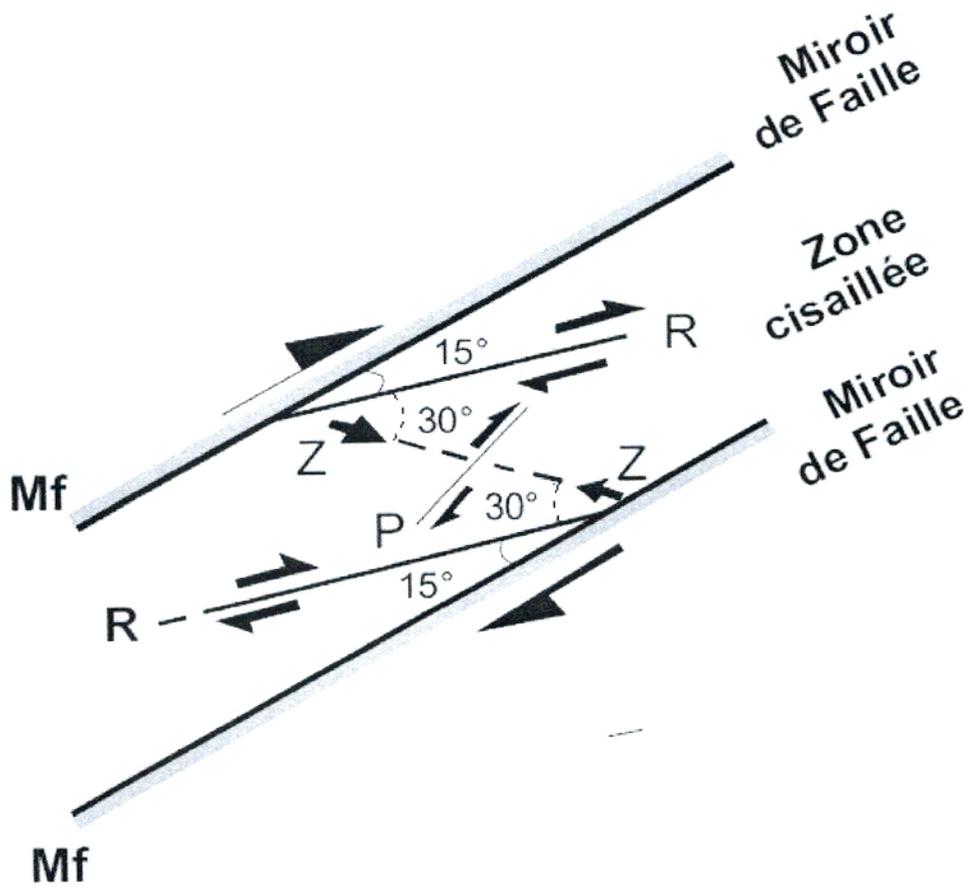
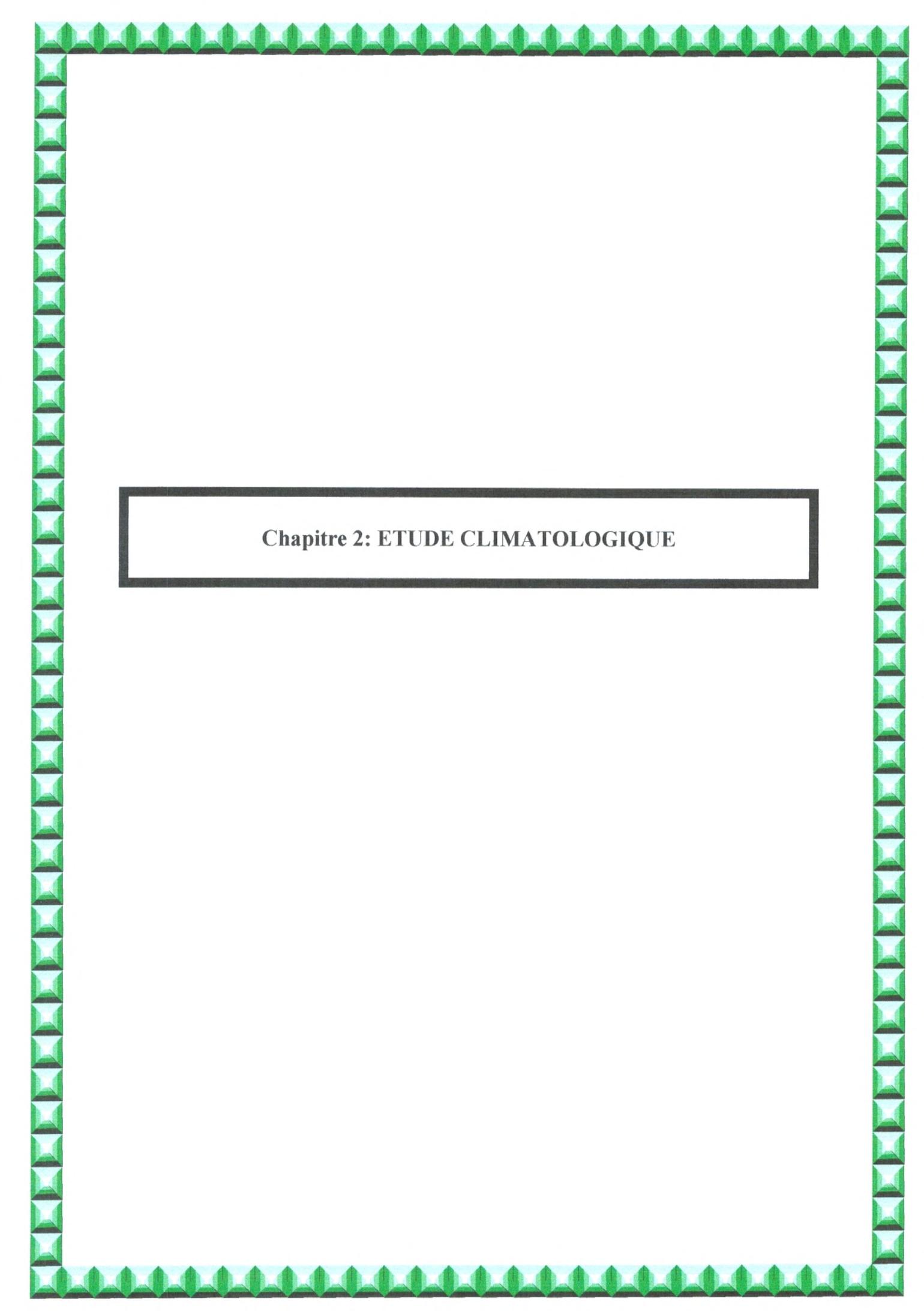


Figure 5: Schéma de modèle de Riedels (Djellit, CRAAG, 2005).



Chapitre 2: ETUDE CLIMATOLOGIQUE

1. Introduction :

Le travail mené par le bureau d'étude Nationale Eau et Environnement (NEE), relatif à l'étude d'un système d'épuration des eaux usées à Hammam Bouhdjar a pris pour l'étude climatique les données des températures et des précipitations de la période entre 1950 et 2010. Ainsi, le climat de notre zone d'étude fait partie de l'étude hydrogéologique de la zone thermale de Hammam Bouhdjar réalisée par une équipe de chercheurs du Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (CRAAG) en utilisant des données climatiques de la station de Beni Saf durant deux décennies (1986-2005).

Pour notre travail et vu que le climat de notre zone d'étude n'a pas marqué de grands changements (Climat Semi-aride à Hiver chaud), on a pris les températures et les précipitations données par la station de Beni Saf, de la période entre 2001 et 2012.

2. Etude des précipitations :

2.1. Précipitations annuelles :

Les précipitations annuelles et mensuelles sont reportées dans l'annexe (Tableau A) durant la période (2001-2012). La série représentée dans la figure 10 montre que le maximum de la pluviométrie a été observé en 2011 avec **549,8 mm** alors que le minimum est de **229,3 mm** en 2005. La moyenne est de **434,4 mm**.

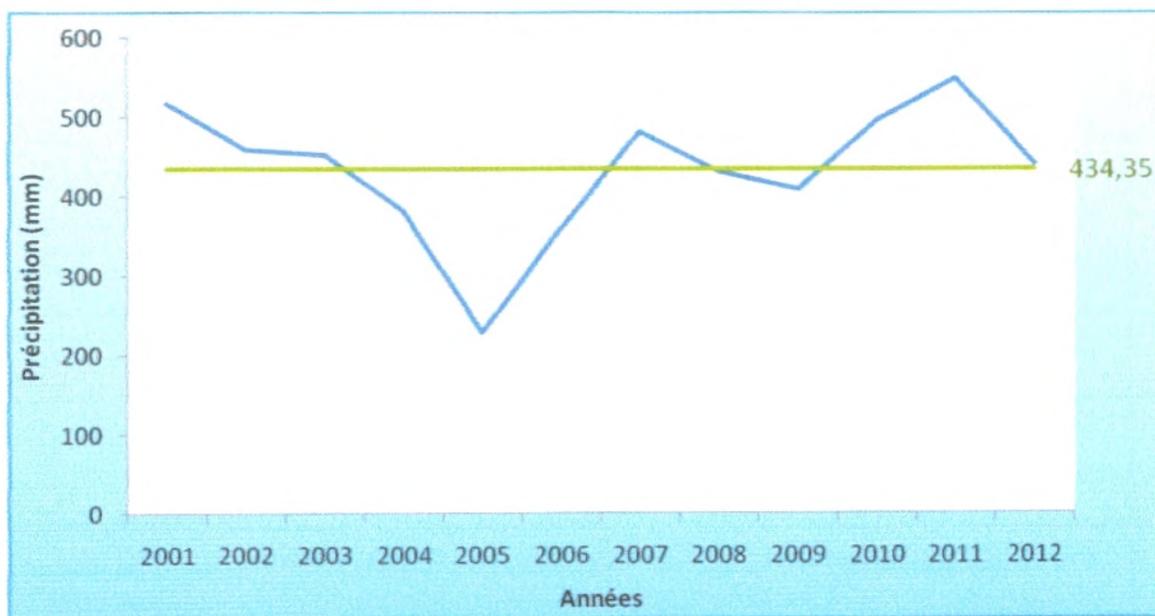


Figure 06: Variation des précipitations annuelles au niveau de la station de Beni Saf (2001/2012).

2.2. Précipitations mensuelles

Les valeurs des précipitations mensuelles reportées au tableau.1

Tableau 1 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations

| Mois | Jan. | Fev. | Mar. | Avr. | Mai. | Jui. | Jet. | Aou. | Sep. | Oct. | Nov. | Dec. | Moy. |
|--------------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| P(mm) | 63,1 | 52,01 | 38,65 | 39,97 | 22,41 | 3,55 | 1 | 5,18 | 17,32 | 55,54 | 85,33 | 55,06 | 434,35 |

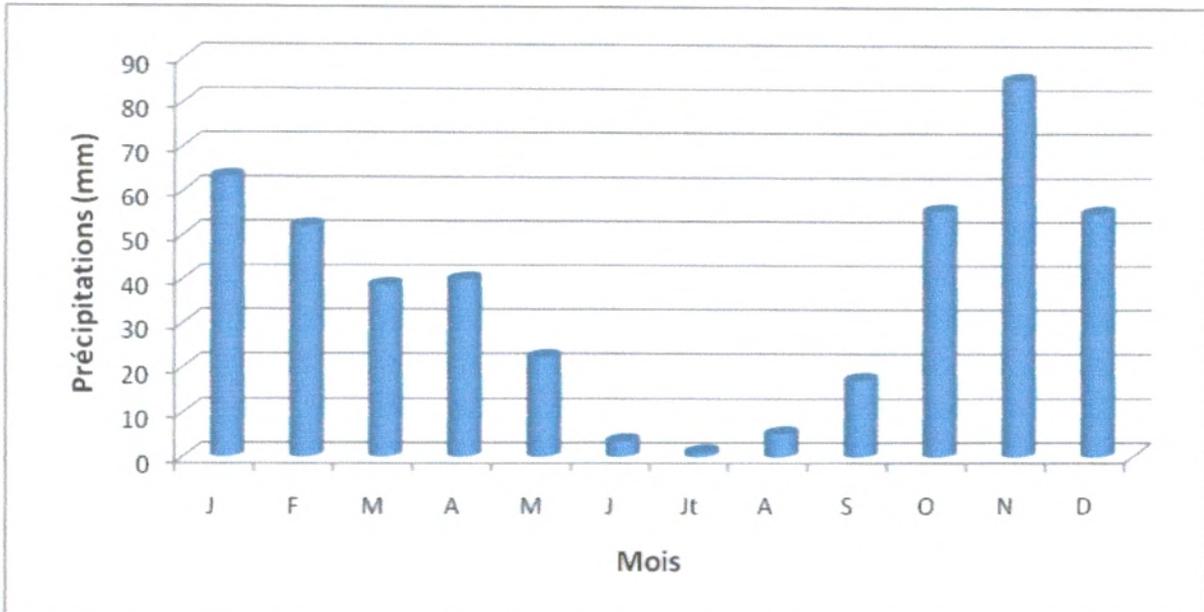


Figure 07 : Histogrammes des précipitations mensuelles à la station de Beni Saf (2001/2012)

L'analyse de la figure 11 montre que le mois le plus pluvieux c'est le mois de Novembre, avec une valeur de **85,33 mm** alors que le mois le plus faible c'est le mois de juillet avec une valeur de l'ordre de **1 mm**.

2.3. Répartition saisonnière des Précipitations :

- Automne : Septembre, Octobre, Novembre.
- Hiver : Décembre, Janvier, Février.
- Printemps : Mars, Avril, Mai.
- Eté : Juin, Juillet, Août.

Les précipitations saisonnières de la station de Beni Saf sont données au tableau.2.

Tableau.2 : Valeurs moyennes saisonnières des précipitations.

| Saison | Automne | Hiver | Printemps | Eté |
|---------------------------|---------|--------|-----------|------|
| Précipitation (mm) | 158,19 | 170,17 | 101,03 | 9,73 |

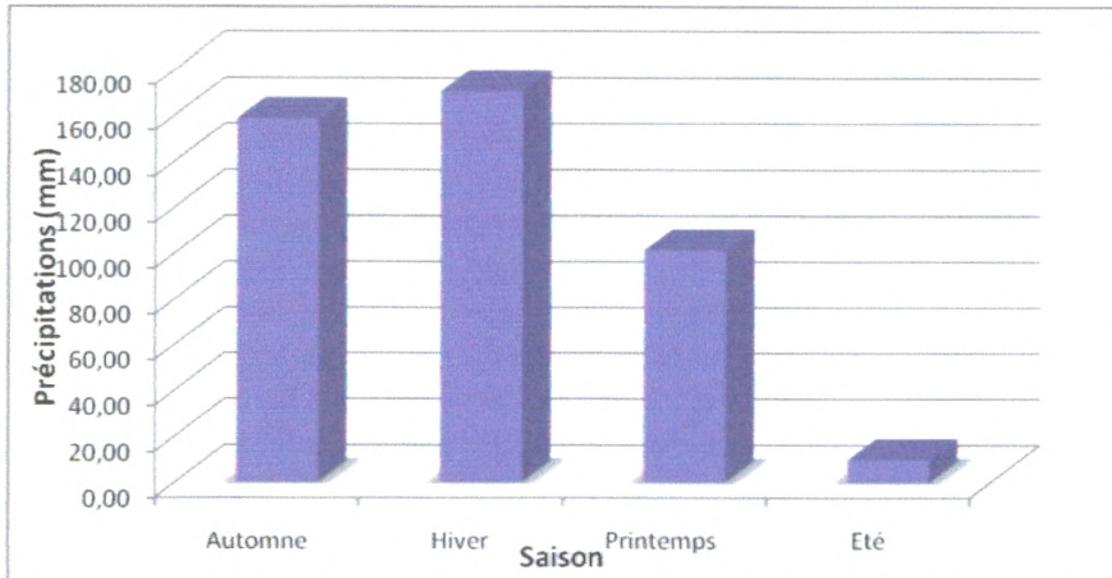


Figure 08: Histogrammes des précipitations saisonnières (2001/2012)

La figure 12, traduit clairement les variations saisonnières de la distribution des précipitations à l'échelle interannuelle.

L'hiver et l'automne sont les saisons les plus humides, l'été la saison la plus sèche.

3. Etude des températures :

Les valeurs des températures moyennes mensuelles, maximales et minimales sont reportées en annexes B, C, D sur une période de 12 ans (2001-2012). Les valeurs moyennes sont données au tableau.3.

Tableau.3 : Valeurs moyennes mensuelle des températures.

| Mois | Jan. | Fev. | Mar. | Avr. | Mai. | Jui. | Jet. | Aou. | Sep. | Oct. | Nov. | Dec. | Moy. |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T min (°C) | 7,72 | 8,00 | 9,78 | 11,45 | 14,53 | 19,09 | 22,39 | 23,75 | 19,23 | 16,18 | 11,29 | 8,85 | 14,28 |
| T Max (°C) | 15,44 | 16,12 | 18,87 | 21,46 | 25,94 | 29,02 | 32,78 | 31,74 | 29,16 | 25,52 | 18,68 | 16,22 | 23,40 |
| T moy (°C) | 11,59 | 11,94 | 14,67 | 16,45 | 19,91 | 23,60 | 27,05 | 27,76 | 24,19 | 20,86 | 15,00 | 12,65 | 18,75 |

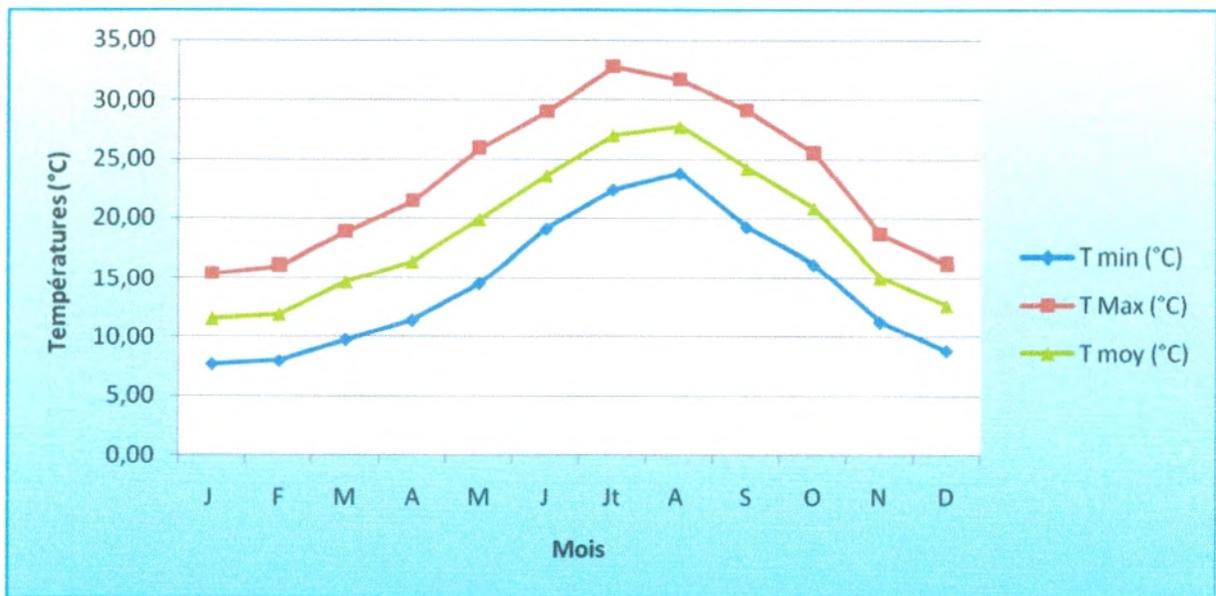


Figure 09: Variation des températures moyennes mensuelles à la station de Beni Saf.

Les courbes de cette figure montrent que :

- Le mois le plus froid est celui de Janvier avec 11,59 °C,
- Le mois le plus chaud est celui d'Aout avec 27,76 °C.

4. Etude de Climat

-Diagramme Ombrothermique :

En appliquant la formule $P = 2T$ (P en mm et T en °C), le diagramme permet de déterminer la période sèche, où le mois sec est celui où le total moyen des précipitations est inférieure ou égale au double de la température moyenne mensuelle.

Quand la courbe de température est au-dessus de celle des précipitations, la zone délimitée représente la zone sèche. Etabli par la station de Beni Saf, il ressort une période sèche qui s'étale du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre.

Tableau.4 : Valeurs moyennes mensuelles des températures et des précipitations.

| Mois | Jan. | Fev. | Mar. | Avr. | Mai. | Jui. | Jet. | Aou. | Sep. | Oct. | Nov. | Dec. |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T (°C) | 11,59 | 11,94 | 14,67 | 16,45 | 19,91 | 23,60 | 27,05 | 27,76 | 24,19 | 20,86 | 15,00 | 12,65 |
| P(mm) | 63,1 | 52,01 | 38,65 | 39,97 | 22,41 | 3,55 | 1 | 5,18 | 17,32 | 55,54 | 85,33 | 55,06 |

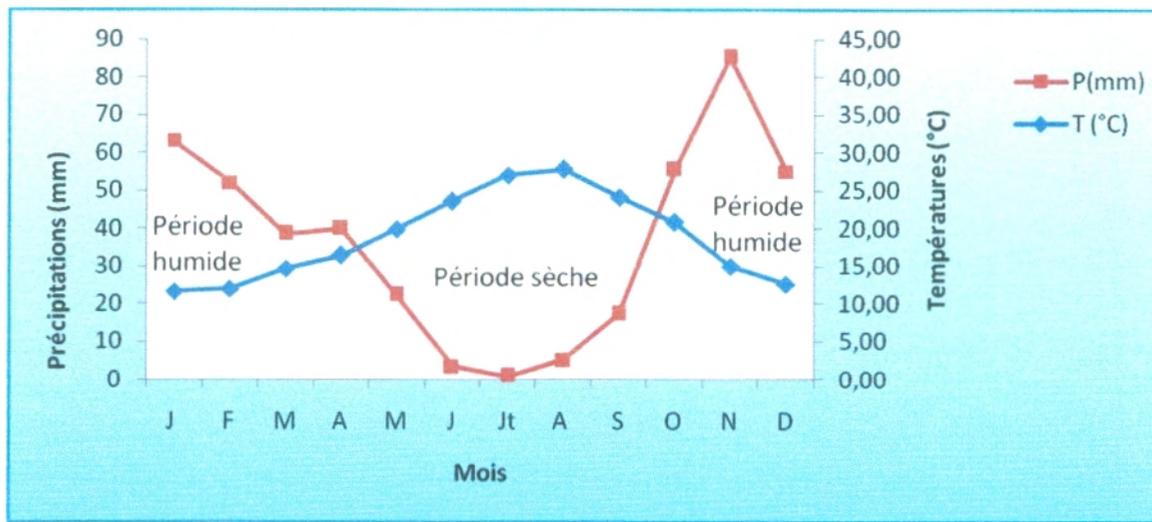
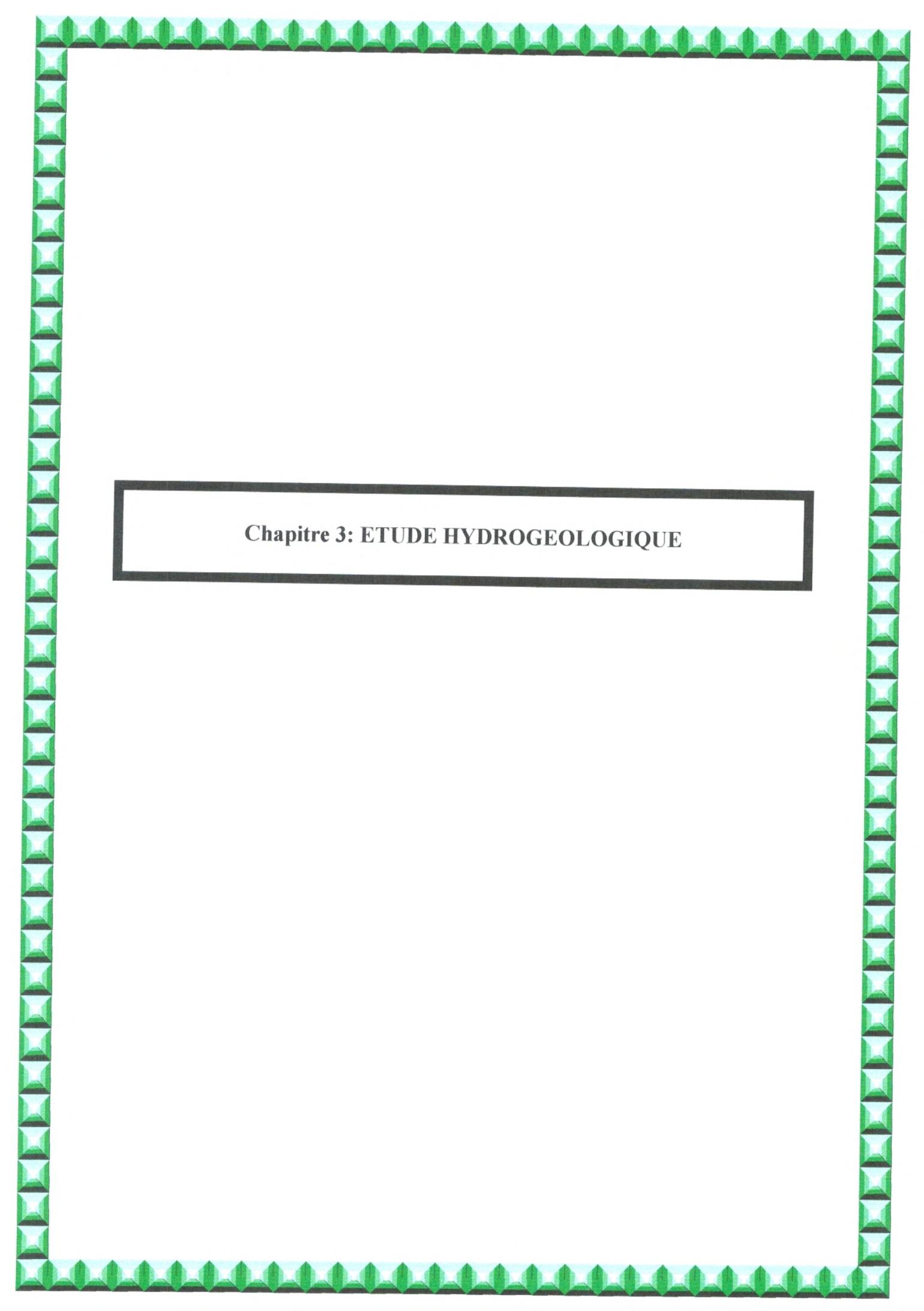


Figure 10 : Diagramme Ombrothermique

Conclusion :

Le climat de la région est **semi aride à hiver chaud**, ainsi que la période sèche s'étale du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre. Pour notre étude on a pris les données climatiques (températures et précipitations) de la période entre 2001-2012. Les autres paramètres climatiques réalisés par le C.R.R.A.G. étaient les mêmes, donc on peut consulter ce document.



Chapitre 3: ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

1. Introduction :

La région de Hammam Bouhdjar est caractérisée par un thermalisme qui se manifeste par des sources localisées dans des fissures. Dans cette partie, on s'intéresse essentiellement à comprendre l'hydrogéologie de Hammam Sidi Ayd en ce qui concerne les potentialités en aquifère et le cheminement vertical de l'eau.

2. Hydrogéologie de Hammam Sidi Ayd :

L'analyse des séries lithologiques montrées dans la partie géologie, nous permet de déterminer deux grands ensembles :

-Le substratum tellien (Jurassique à Crétacé) parautochtone dont la nature calcaire et dolomique, définit un réservoir potentiel très important.

-l'unité des dépôts post-nappe (environ 500 m), dont les potentialités en aquifères sont négligeables et de toutes les manières sont suffisamment situées en surface, donc froides, pour être la source des manifestations des sources chaudes connues dans le secteur.

La figure ci après illustre le positionnement des deux ensembles l'un par rapport à l'autre, ainsi le cheminement verticale de l'eau à travers les failles caractérisant la région.

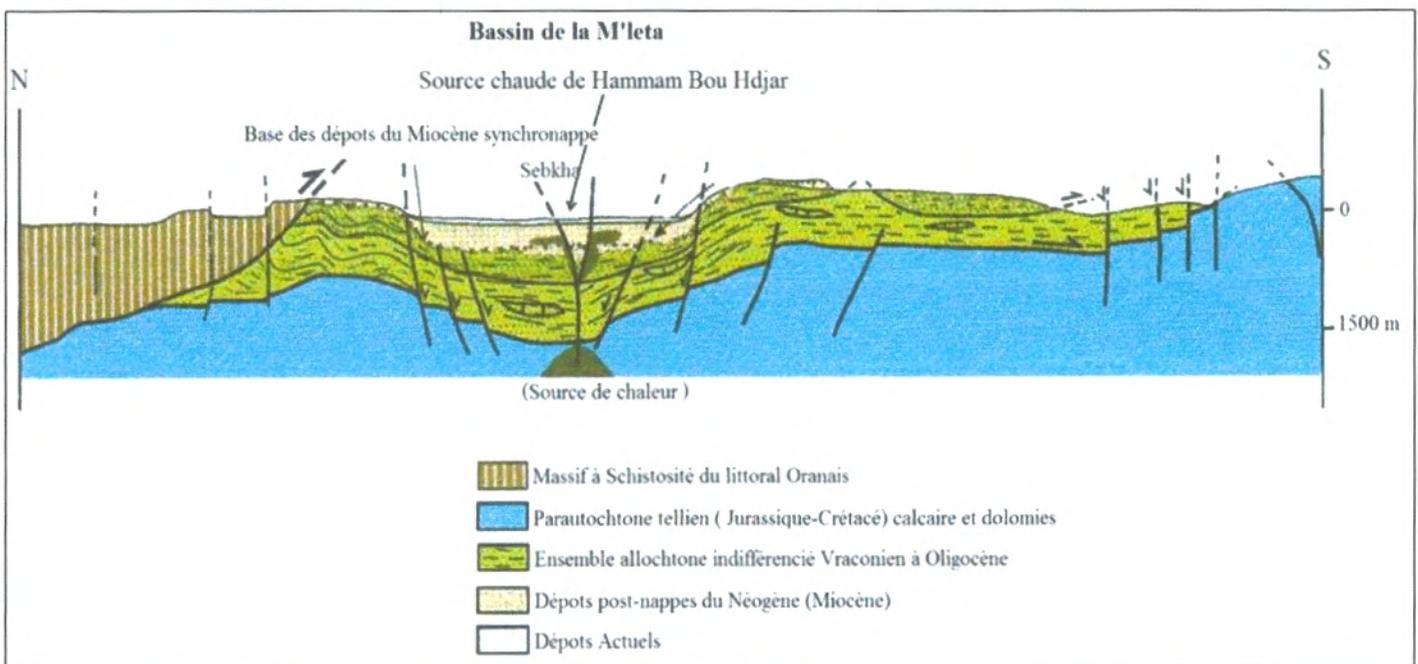


Figure 11: Coupe synthétique montrant la disposition spatiale des unités engagées dans l'hydrogéologie Hammam Bouhdjar. (Baghli, CRAAG, 2005).

la présence de verres volcaniques (très nombreux le long de la route joignant Chentouf à Ain Témouchent) qui démontrent que l'activité volcanique dans ces secteurs s'est manifesté par des épanchements de surface dont les centres d'émissions n'étaient pas très éloignés de l'endroit où émergent actuellement les sources thermales notre zone d'étude. D'ailleurs, un des centres actifs de ces époques peut être observé aisément au niveau du lieu Bled el Megane, au sommet du Djebel Kerroulis. Les failles visibles dans l'axe de la dépression sont situées à l'aplomb des sources thermales de Hammam Bouhdjar et Hammam Sidi Ayd et se prolongent vers l'W à SW en direction des grands affleurements des corps volcaniques d'Ain Témouchent.

La géométrie des corps volcaniques de petites taille qui soulignent ces failles entre Hammam Bouhdjar et Ain Témouchent, assurant la liaison entre les structures des deux localités, ne laisse aucun doute quant au relations qui existent entre le réchauffement des eaux, les failles et la présence d'apophyses volcaniques connectées à des chambres magmatiques chaudes piégées en profondeur.

3. les forages :

Un certain nombre de forages (travaux antérieure), au niveau des formations Plio-Quaternaires, et les nombreuses sources peuvent donner une idée sur l'hydrogéologie du secteur de Hammam Bouhdjar et Hammam Sidi Ayd. Voyons d'abord les eaux froides :

3.1. Le forage de Hammam Bouhdjar :

Avec **154 m** de profondeur, il capte les grès et les sables rouges et fins du Pliocène continental sur une épaisseur de **40 m**.

L'eau est pompée à un débit faible.

Forage : Hammam Bouhdjar

X = 170.000

Feuille : Ain Témouchent N° 209

Y = 239.450

Echelle : 1/1000.

Z = 140 m

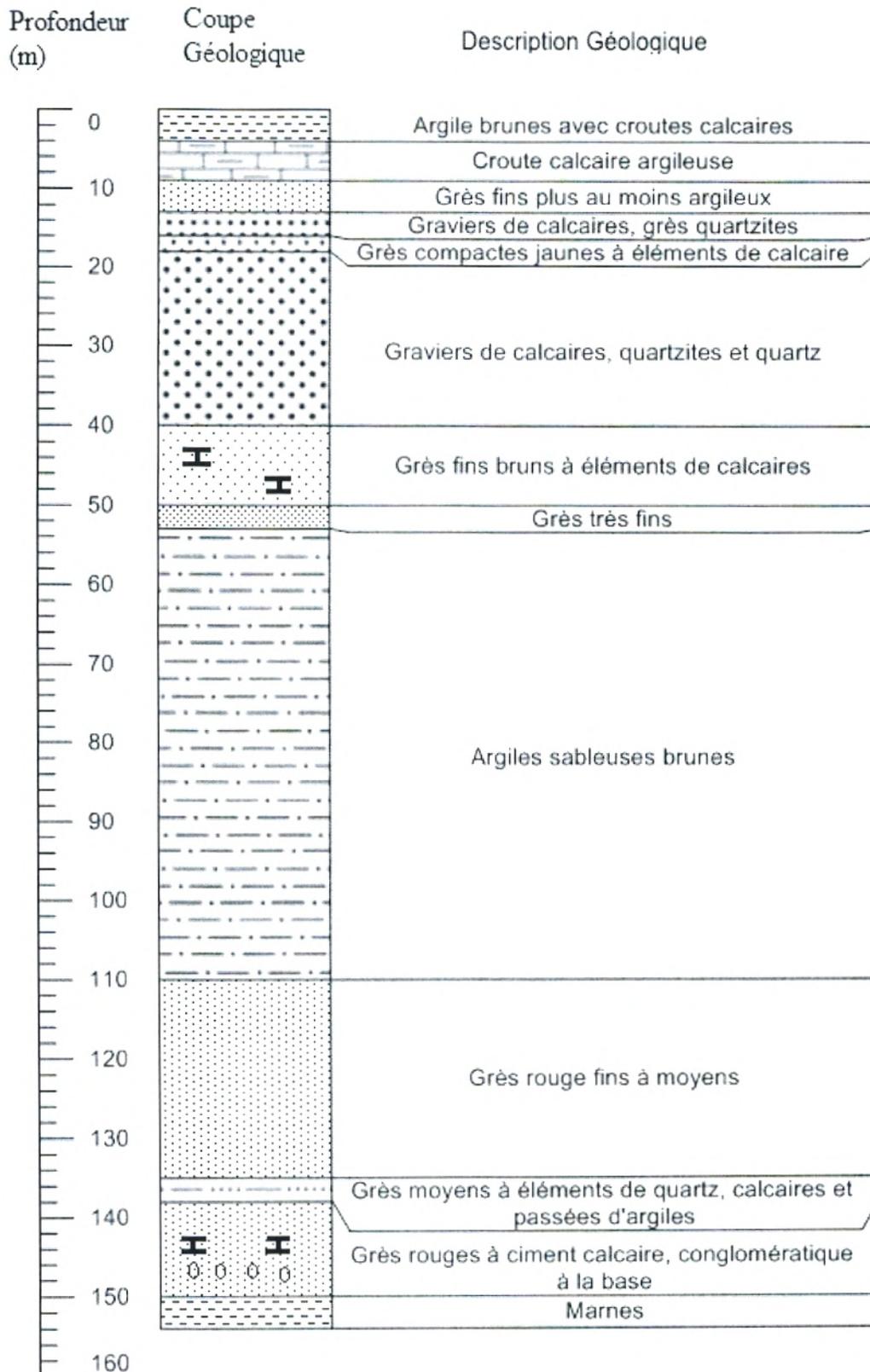


Figure 12: Les différentes formations lithologiques du forage de Hammam Bouhdjar (Baghli, CRAAG, 2005).

3.2. Le forage d'El Maleh :

Ce forage de **65 m** de profondeur (à sec) traverse des formations calcaires à fine passées d'argiles. la coupe ci-après présente sa coupe lithologique (fig.13).

Forage : El Maleh X = 152.600
Feuille : Ain Témouchent N° 209 Y = 238.050
Echelle : 1/1000.

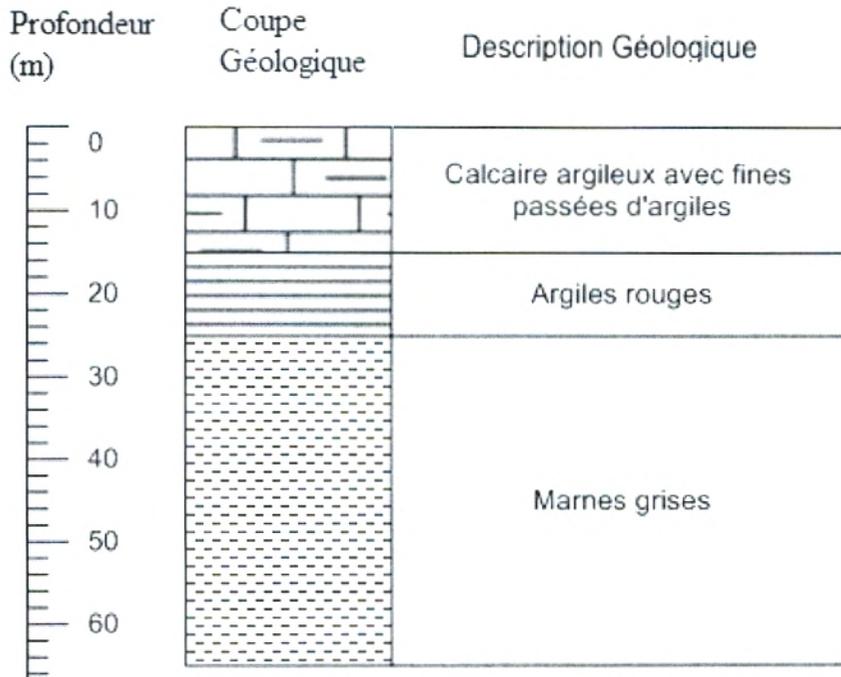


Figure 13 : Les différentes formations lithologiques du forage d'El Maleh

4. Les aquifères :

4.1-L'aquifère Plio-Quaternaire :

La nappe se trouve localisée dans les formations argilo-sableuses à lentilles de gravier, de tufs et de grès grossiers.

Etroite au Sud, la nappe s'étend vers le Nord pou être cachée sous la grande Sebkh. Au Nord-Est elle se poursuit pour confluer avec la nappe de la plaine de la M'léta. A l'Ouest, elle est limitée par la nappe du Pliocène.

L'eau fournie par cette nappe présente une minéralisation de 2 à 3 g/l.

4.2-Aquifère du Miocène Supérieur :

Ces calcaires du massif du Bled El Megane sont massifs, karstifiés, fissurés et diaclasés. Ils renferment une nappe captée par les puits du domaine Yebka Brahim et reposent sur les argiles du miocène moyen (Marnes).

Ces eaux ne sont pas minéralisées (moins de 2 g/l), l'écoulement se fait vers le Nord-Est.

5. Le Thermalisme :

Le thermalisme de Hammam Bouhdjar se manifeste par des sources localisées au niveau des fissures c'est-à-dire dans l'axe de ces ouvertures et/ou au niveau des flancs de celle-ci. Ces travertins ont été « construits » déposés par les écoulements de ces sources chaudes (thermo-minérales) chargées de carbonates en liaison avec les fractures et les failles affectant la région (fig.14).

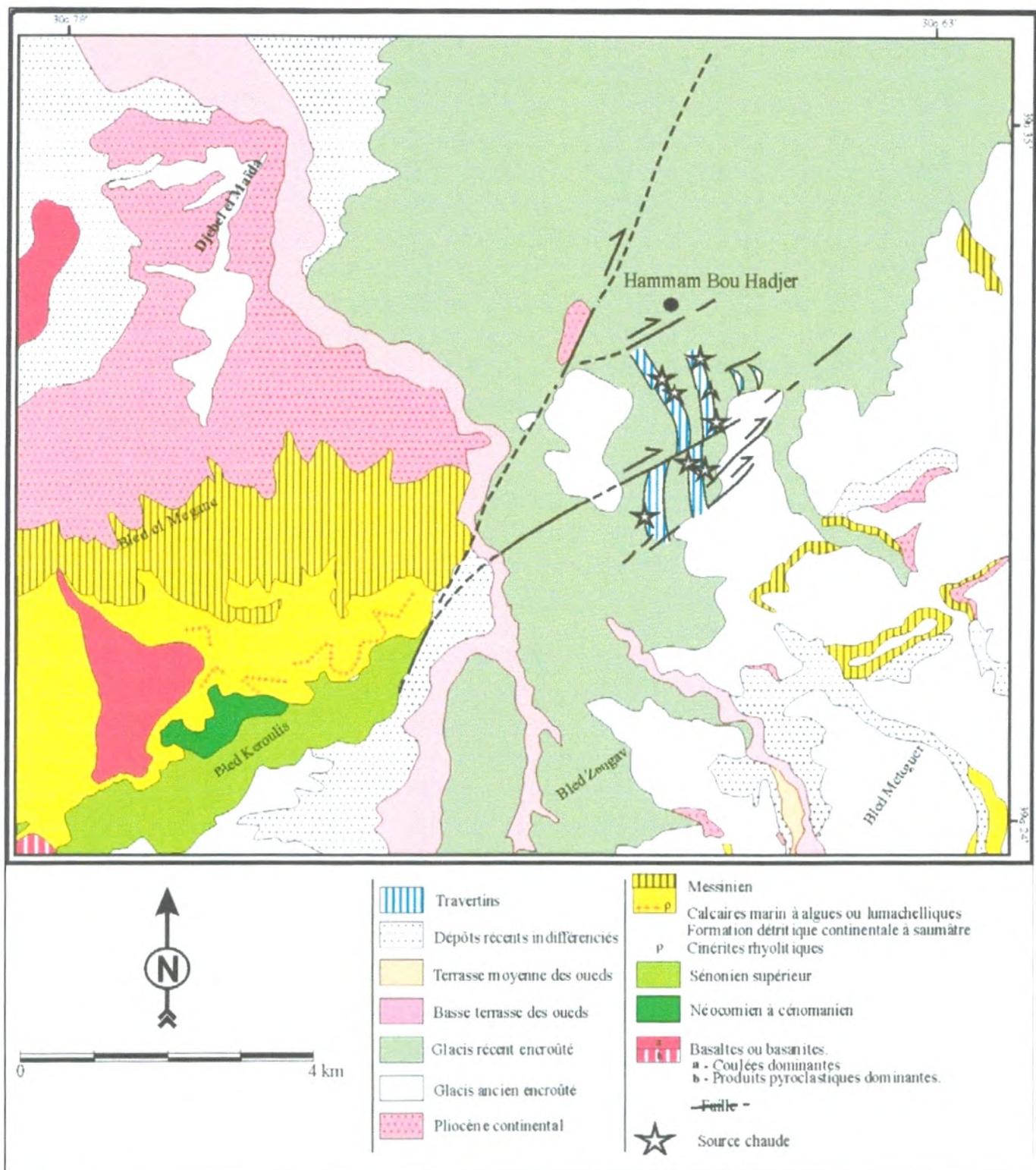


Figure 14: Carte géologique de la région de Hammam Bouhdjar.

(D'après la carte géologique d'Ain Témouchent, 1987, modifiée et complétée par des observations sur le terrain). (Baghli, CRAAG, 2005).

Autour de la station thermale, ces murailles de travertins (de direction N 175) donnent l'impression de dessiner une forme de fer à cheval, long de 800 m sur 6 à 10 m d'épaisseur. Au Nord les deux terminaisons sont surélevées et peuvent atteindre 15m, tandis qu'au Sud le relief diminue pour donner un plateau travertineux.

Les fentes de tension de la région d'étude dessinent cartographiquement des fractures ouvertes disposées N 170 le long desquelles ont précipités les dépôts travertineux issues de la dissolution et la cristallisation des éléments géochimiques ramenés par les eaux chaudes à partir des profondeurs. La disposition de ces fentes et les fibres de cristallisation de croissance qui les remplissent, permettent de dire que les failles de type R qui affectent la région ont eu un jeu dextre (photo 3).

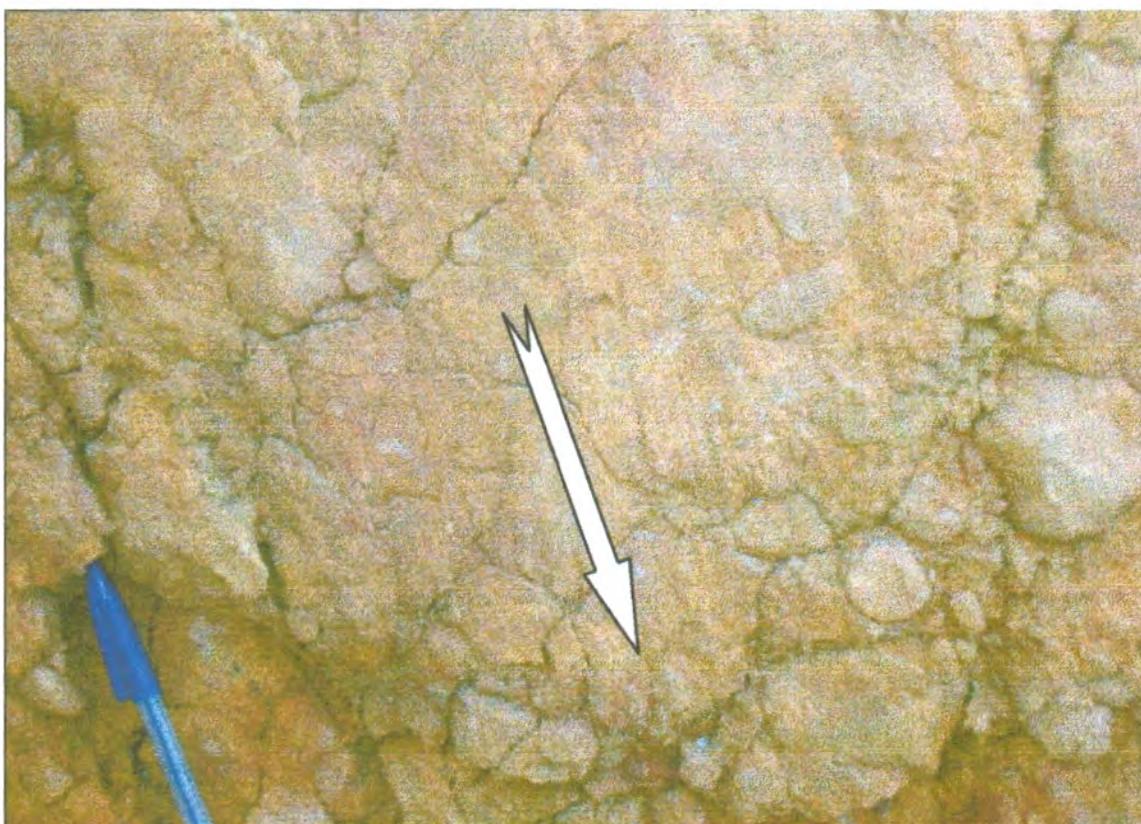


Photo 3 : la croissance des cristaux des carbonates.

Au niveau de Hammam Sidi Ayd, au Sud de la station thermale, une autre muraille de travertins s'allonge vers le Nord sur une longueur de 300 m environ, elle présente une fissure d'environ 10 cm de large et d'une quinzaine de mètres de long laissant apparaître des émergences d'eau chaude (photo 4).

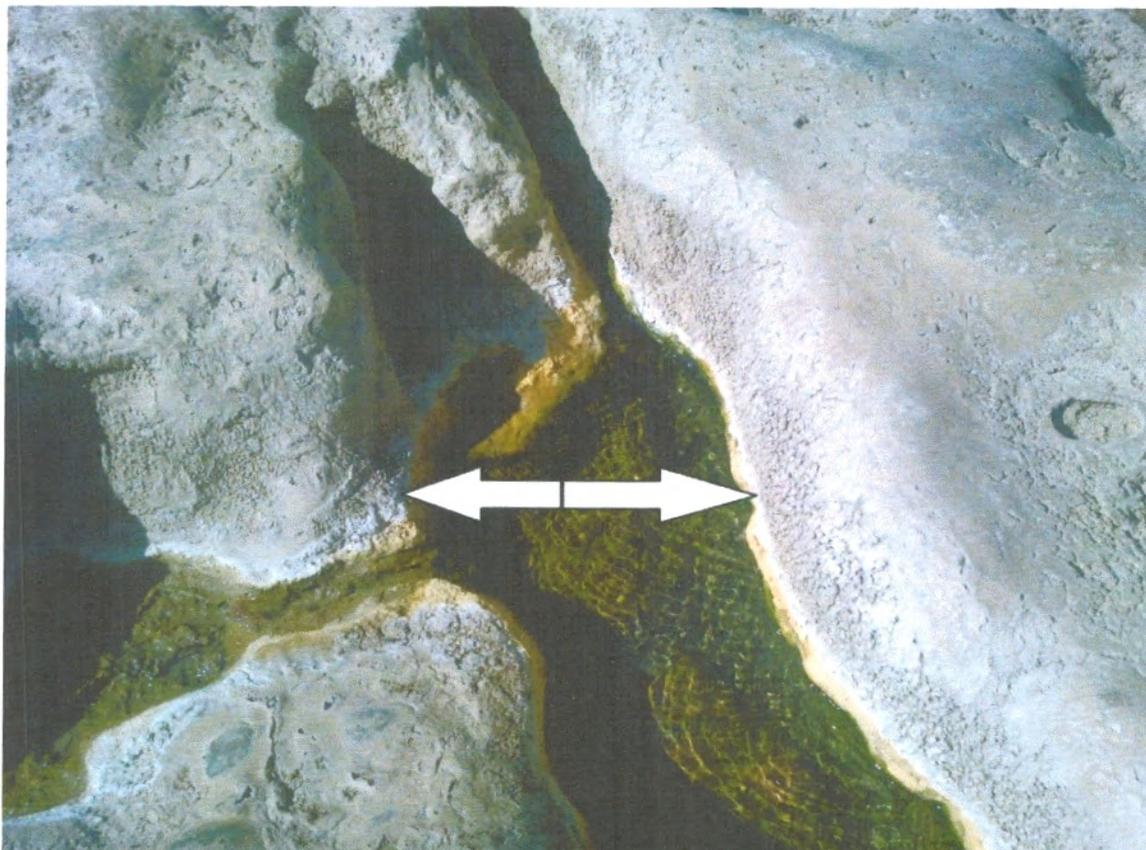
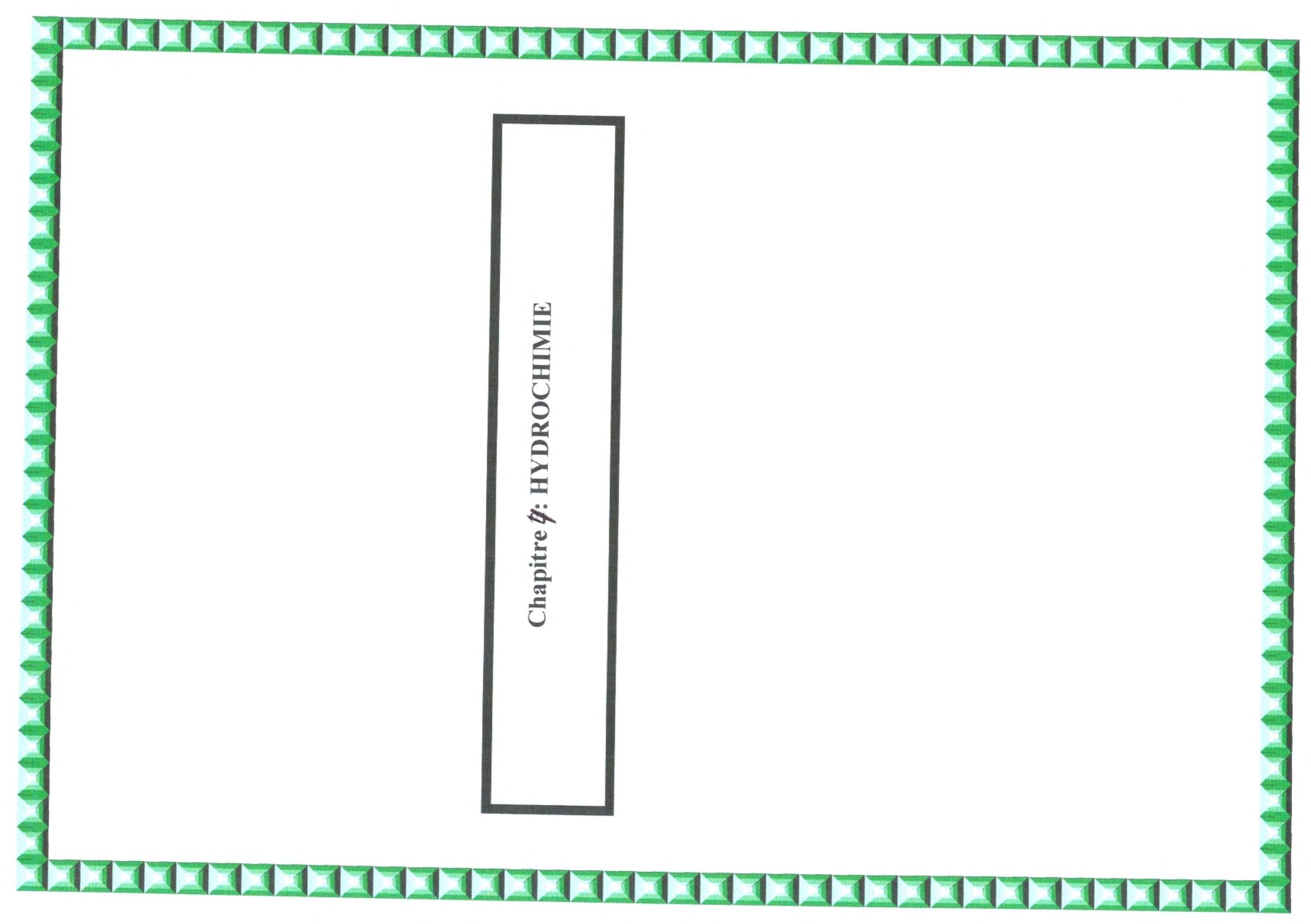


Photo 4 : émergence d'eau chaude dans la faille de hammam Sidi Ayd.

L'ensemble travertineux apparait aussi au niveau des alluvions quaternaires et des sables et grès rouges du pliocène continental. Selon l'étude de Dalloni (1925), les basaltes d'Aïn Témouchent seraient prolongés par quelques apophyses dans le sous-sol de la grande Sebkha. La température élevée (30°C à 70°C) de ces eaux thermales peut être due à la présence de ces apophyses. Notons par ailleurs, dans certaines de ces sources comme la source de Sidi Ayd, la teneur exceptionnelle en CO₂.



Chapitre 4: HYDROCHIMIE

1. Inventaire des points d'eau :

Nous avons pris le maximum d'échantillons des points d'eau qui se trouvent au niveau de Hammam Sidi Ayd, en essayant d'avoir une répartition spatiale aussi importante que possible. Au total, neuf (09) points d'eau ont été échantillonnés.

Les caractéristiques de cet échantillonnage sont représentées dans le tableau 6 qui inclut :

Le numéro de la source et sa nomination, la date et l'heure de prélèvement, ses coordonnées UTM (fuseau 30) et son altitude, la température ambiante ainsi que la température de l'eau, sa conductivité (en mS/cm) et son pH.

| Date | Heure | Points d'eau | Lieu | Coordonnées UTM | | | Température °C | | Conduct. mS/cm | pH | observations |
|------------|--------|--------------|----------|-----------------|----------|-------|----------------|------|----------------|------|-----------------------------|
| | | | | 30 X (E) | Y (N) | Z (m) | Air | Eau | | | |
| 02/06/2013 | 15h25 | P1 | Sidi Ayd | 684 093 | 3913 785 | 151 | 34 | 48,5 | 5,90 | 5,52 | Extrimité Nord de la faille |
| / | 16h35 | P2 | / | 684 127 | 3914 042 | 145 | 34 | 47 | 5,72 | 5,45 | Bulles de gaz |
| / | 16h43 | P3 | / | 684 102 | 3914 041 | 140 | 32 | 48 | 5,92 | 5,51 | / |
| / | 17h05 | P4 | / | 684 108 | 3913 950 | 158 | 32 | 49 | 5,78 | 5,40 | / |
| / | 17h30. | P5 | / | 684 112 | 3913 990 | 162 | 32 | 55 | 5,26 | 5,26 | Source captée du Hammam |
| / | 17h45 | P6 | / | 684 128 | 3913 784 | 135 | 32 | 26 | 6,10 | 5,17 | Eau froide |
| / | 17h52 | P7 | / | 684 138 | 3913 994 | 135 | 32 | 24 | 6,43 | 5,22 | Eau froide |
| / | 18h15 | P8 | / | 684 154 | 3913 960 | 133 | 32 | 25 | 6,70 | 5,51 | Bulles de gaz |
| / | 18h30 | P9 | / | 684 201 | 3913 712 | 130 | 32 | 45 | 5,80 | 5,40 | / |

Tableau 5 : Caractéristiques des points d'eau de Hammam Sidi Ayd.

2. Contrôle des analyses par la balance ionique (BI) :

Les analyses peuvent être contrôlées par la balance ionique (BI) donnée par la formule suivante :

$$BI = \left| \frac{\sum r^+ - \sum r^-}{\sum r^+ + \sum r^-} \right| \times 100 \quad (\%)$$

r : quantité en réaction.

- Si BI < 2 bonne analyse
- Si 2 % < BI < 5 analyse acceptable
- Si BI > 5 mauvaise analyse

Les valeurs des quantités sont exprimées en meq/L dans le tableau porté en annexe (B).

Le tableau ci-après représente les valeurs des balances ioniques des neufs point d'eau analysées.

| Point d'eau | Balance ionique BI (%) | Qualité de l'analyse |
|-------------|---------------------------|----------------------|
| P1 | 7,97 | Mauvaise |
| P2 | 4,38 | Acceptable |
| P3 | 5 | Acceptable |
| P4 | 6,01 | Mauvaise |
| P5 | 5 | Acceptable |
| P6 | 3,27 | Acceptable |
| P7 | 4,46 | Acceptable |
| P8 | 6,19 | Mauvaise |
| P9 | 8,4 | Mauvaise |

Tableau 6: Valeurs des balances ioniques

3. Température et pH des eaux :

La température de l'eau varie entre 24° à 55 °C, la température la plus élevée est celle de la source captée de Hammam Sidi Ayd.



Photo 5 : Source captée de Hammam Sidi Ayd

Les températures les plus faibles sont enregistrées au points d'eau N° 6 et 7.



Photo 6 : points d'eau N° 6 et 7 de Hammam Sidi Ayd.

Dans le graphe ci-après sont présentées les températures des points d'eau.

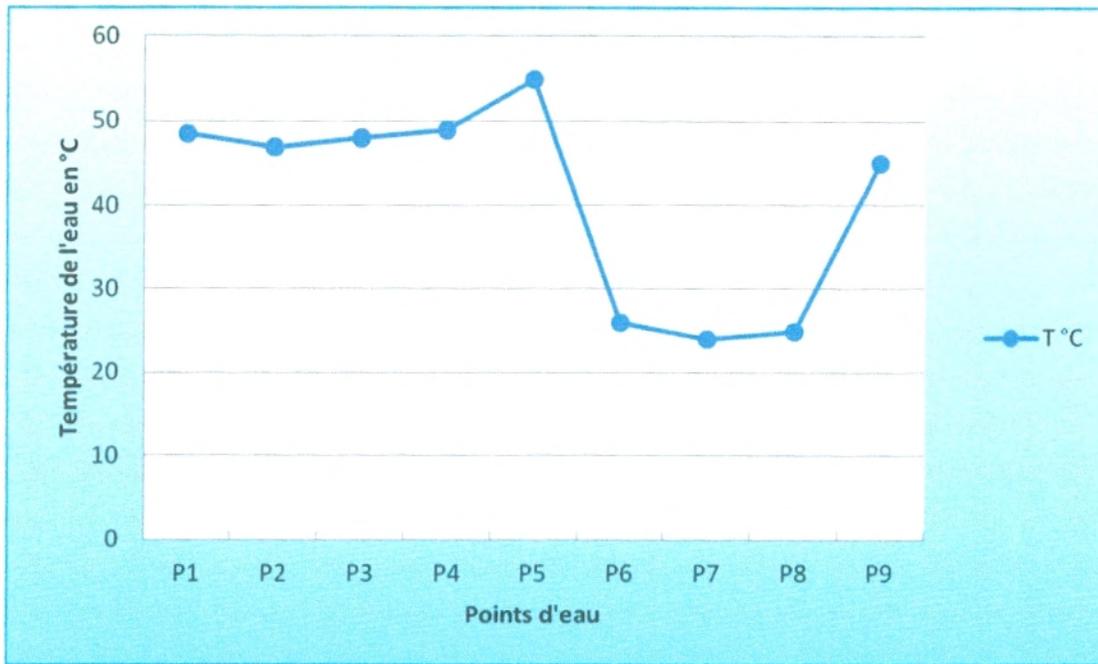


Figure 15: Température des points d'eau.

La température des eaux permet de faire un classement allant des basses températures aux hautes températures (Tabel A.)

| | |
|---------------------|---|
| Eaux froides | $T < 15^{\circ}\text{C}$ |
| Eaux hypothermales | $15^{\circ}\text{C} < T < 35^{\circ}\text{C}$ |
| Eaux Mésothermales | $35^{\circ}\text{C} < T < 50^{\circ}\text{C}$ |
| Eaux Hyperthermales | $50^{\circ}\text{C} < T$ |

| Point d'eau | Température de l'eau | Classification des eaux en fonction de la température |
|-------------|----------------------|---|
| P7 | 24 | Eaux Hypothermales |
| P6 | 25 | |
| P8 | 26 | |
| P9 | 45 | Eaux Mésothermales |
| P2 | 47 | |
| P3 | 48 | |
| P1 | 48,5 | |
| P4 | 49 | Eau Hyperthermale |
| P5 | 55 | |

Tableau 7: Classification des eaux en fonction de la température

Le pH des eaux montre que les eaux de Hammam Sidi Ayd sont très légèrement acides avec un pH qui varie entre 5,17 à 5,52.

Notons que ces eaux sont assez homogènes comme le montre le graphe ci-après.

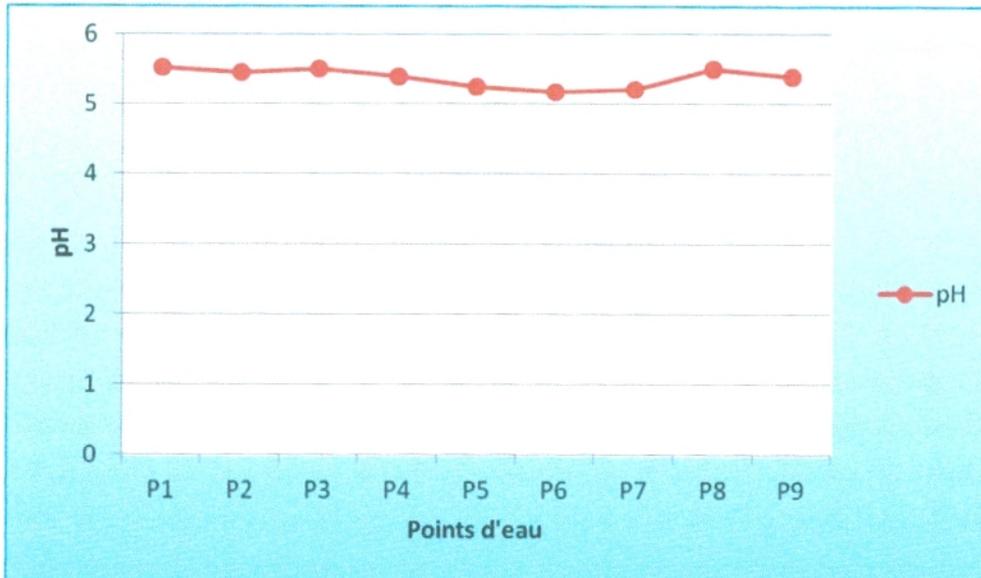


Figure 16: pH des eaux de Hammam Sidi Ayd

4. Analyses physico-chimiques des eaux :

Les neufs échantillons ont été analysés au niveau du labo 25.

L'ensemble des résultats des analyses est reportées dans le tableau 8.

| Points d'eau | Ca ²⁺ | | Mg ²⁺ | | Na ⁺ | | K ⁺ | | Cl ⁻ | | SO ₄ ²⁻ | | HCO ₃ ⁻ | | NO ₃ ⁻ | |
|--------------|------------------|-------|------------------|-------|-----------------|-------|----------------|-------|-----------------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|------------------------------|-------|
| | mg/l | meq/l | mg/l | meq/l | mg/l | meq/l | mg/l | meq/l | mg/l | meq/l | mg/l | meq/l | mg/l | meq/l | mg/l | meq/l |
| P1 | 220 | 11,00 | 30 | 2,50 | 861 | 37,00 | 45 | 1,15 | 1509 | 42,50 | 150 | 3,12 | 670 | 10,98 | 4 | 0,06 |
| P2 | 229 | 11,45 | 11 | 0,91 | 905 | 39,00 | 45 | 1,15 | 1498 | 42,10 | 147 | 3,06 | 738 | 12,09 | 5 | 0,08 |
| P3 | 210 | 10,50 | 32 | 2,66 | 885 | 38,00 | 46 | 1,17 | 1587 | 44,70 | 140 | 2,91 | 674 | 11,04 | 4 | 0,06 |
| P4 | 240 | 12,00 | 20 | 1,66 | 896 | 39,00 | 44 | 1,12 | 1594 | 44,90 | 160 | 3,33 | 755 | 12,37 | 4 | 0,06 |
| P5 | 231 | 11,55 | 40 | 3,33 | 863 | 38,00 | 44 | 1,12 | 1562 | 44,00 | 160 | 3,33 | 752 | 12,32 | 4 | 0,06 |
| P6 | 349 | 17,45 | 32 | 3,00 | 920 | 40,00 | 46 | 1,17 | 1637 | 46,11 | 306 | 6,37 | 806 | 13,21 | 5 | 0,08 |
| P7 | 351 | 17,55 | 32 | 3,00 | 920 | 40,00 | 45 | 1,15 | 1697 | 47,80 | 306 | 6,37 | 807 | 13,22 | 5 | 0,08 |
| P8 | 255 | 12,75 | 51 | 4,00 | 922 | 40,00 | 45 | 1,15 | 1828 | 51,49 | 67 | 1,39 | 768 | 12,59 | 5 | 0,08 |
| P9 | 208 | 10,40 | 12 | 1,00 | 860 | 37,00 | 45 | 1,15 | 1544 | 43,49 | 140 | 2,91 | 742 | 12,16 | 5 | 0,08 |

Tableau 8 : Résultats des analyses physico-chimiques.

4.1. Diagramme de Schoeller et Berkaloff

On a utilisé l'ensemble des données pour tracer les diagrammes de Schoeller et Berkaloff d'un côté et le diagramme de Piper d'un autre côté. Nous représentons ici les résultats relatifs aux neuf (09) points d'eaux échantillonnées.

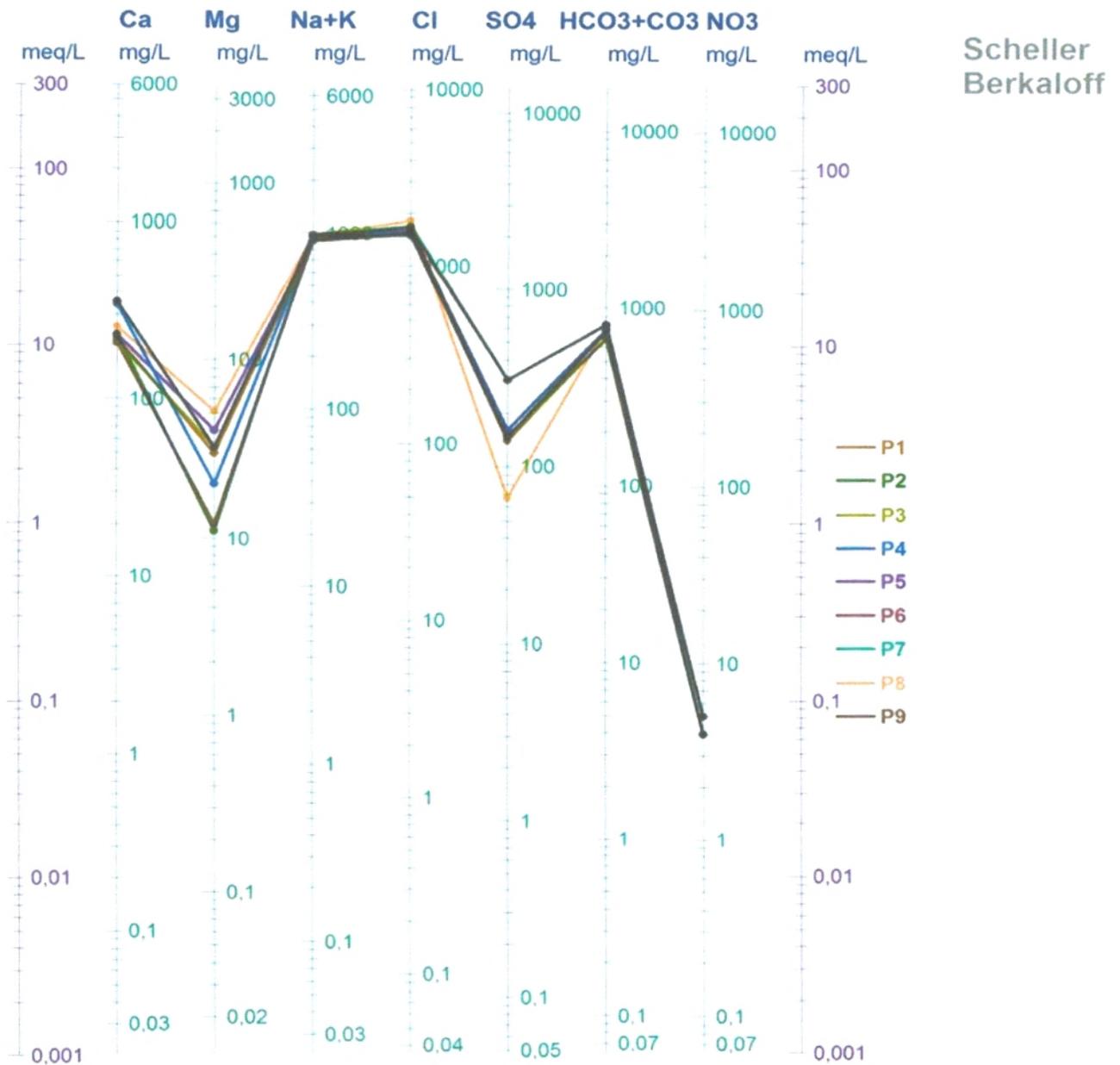


Figure 17: Diagramme de Schoeller et Berkaloff (Hammam Sidi Ayd)

4.2. Diagramme de Piper

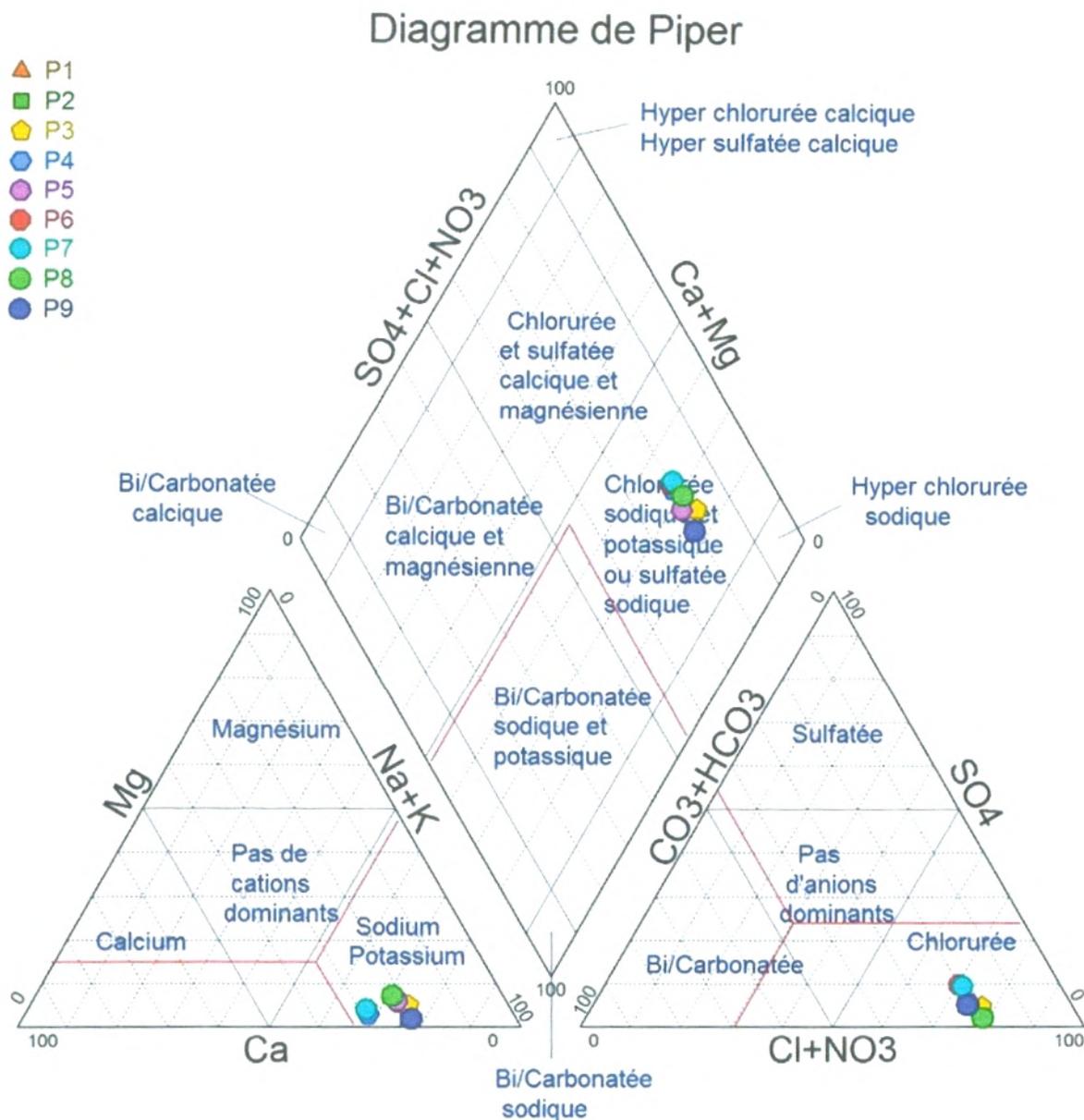


Figure 18 : Diagramme de Piper (Hammam Sidi Ayd)

4.3. Comparaison avec d'autres sources thermales de la zone de Hammam Bouhdjar :

Pour une meilleure fiabilité de nos résultats on va comparer l'eau de Hammam Sidi Ayd avec les eaux thermales de la zone thermique de Hammam Bouhdjar. On a pris les sources de : Ain Begra, Louise Yousfi et Douar Debdab (analyses effectuées au niveau de l'Agence Nationale des Ressources Hydrique, ANRH- Oran, visualisé en annexe).

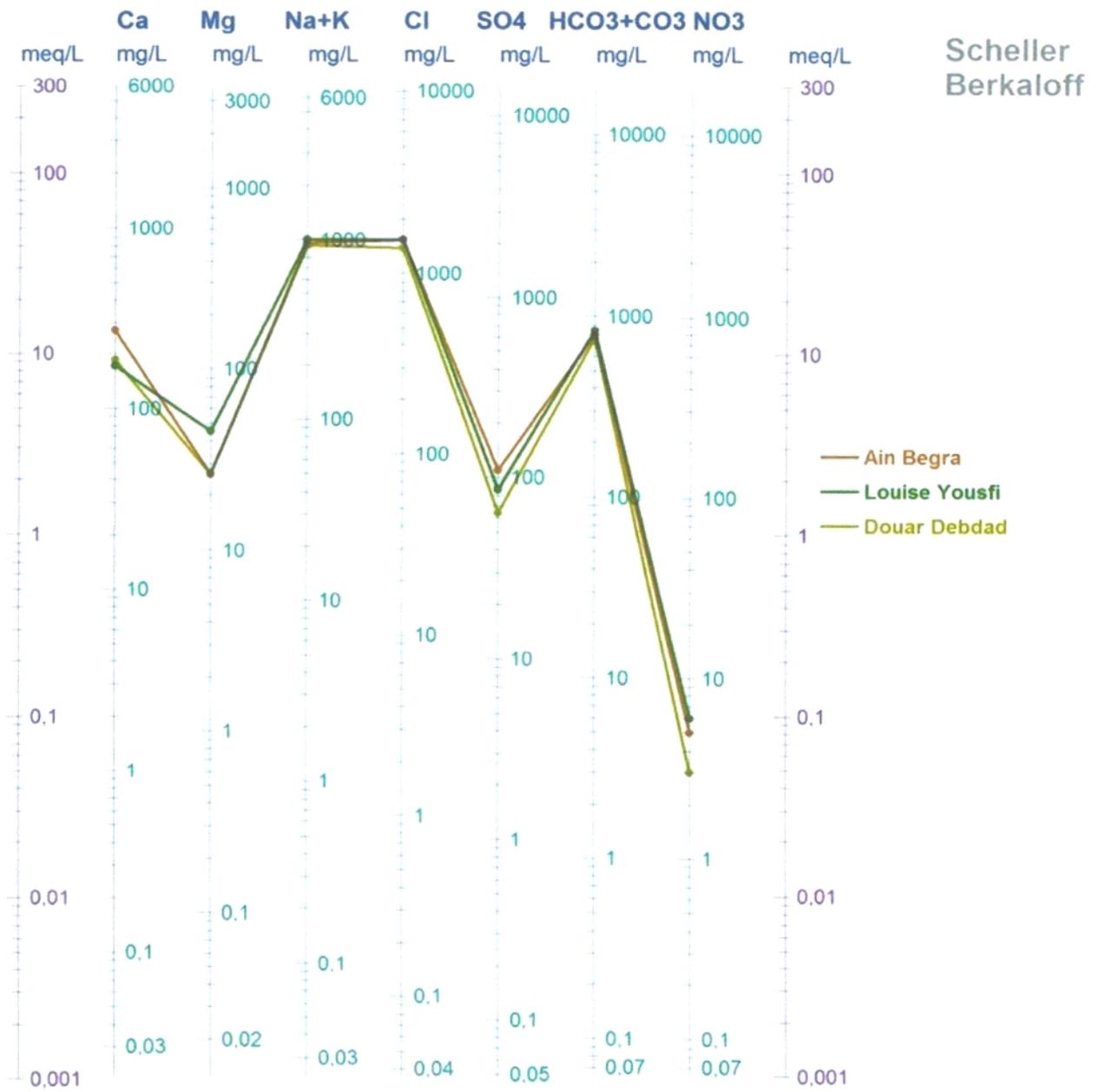


Figure 19: Diagramme de Schoeller et Berkaloff

(Ain Begra, Louise Yousfi, Douar Debdad)

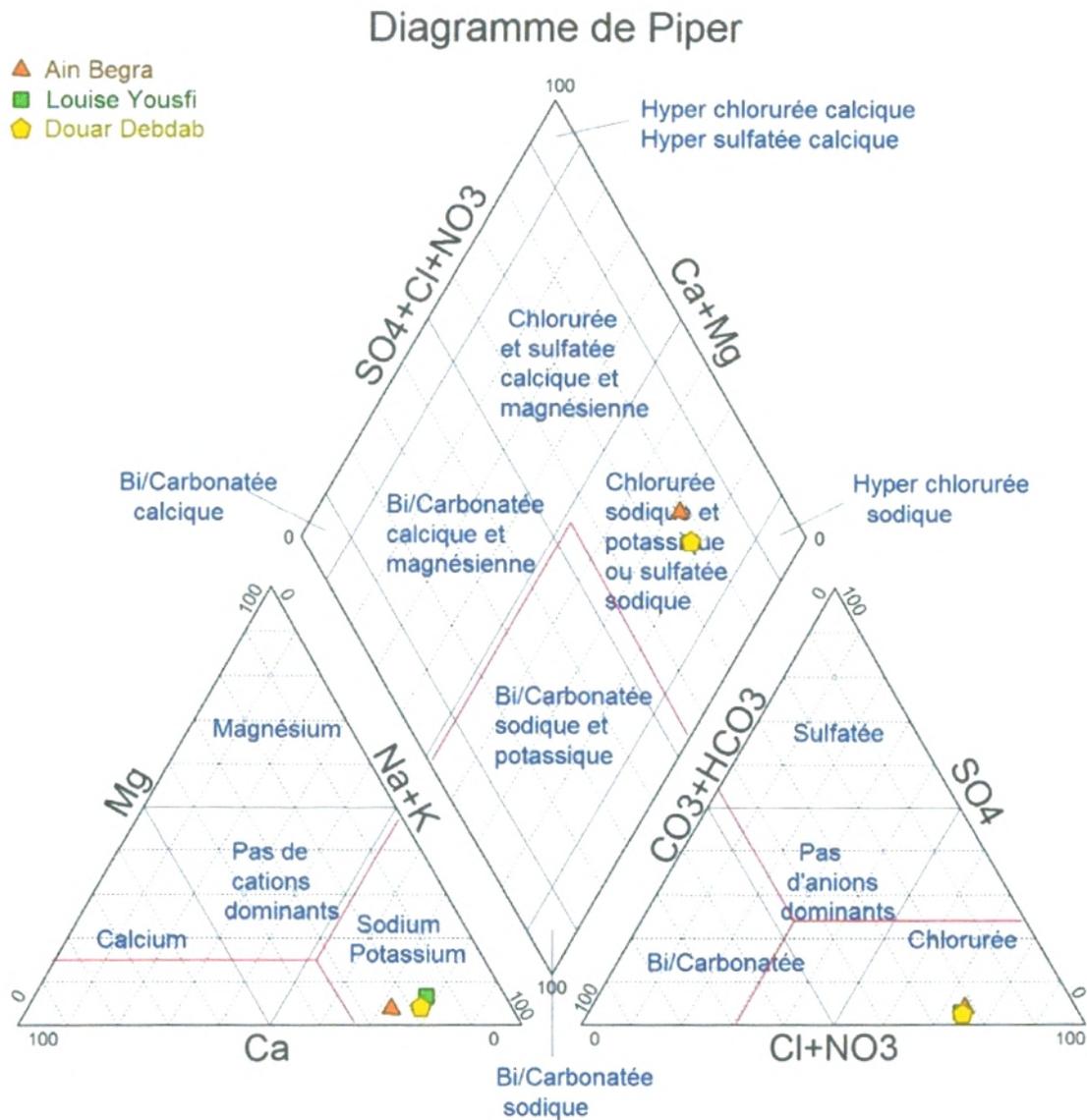


Figure 10 : Diagramme de Piper

(Ain Begra, Louise Yousfi, Douar Debdab)

On comparant Les diagrammes de Schoeller et Berkaloff et de Piper concernant les eaux de Hammam Sidi Ayd et les eaux des sources, Ain Begra, Louise Yousfi et Douar

Debdab, on trouve que : $r \text{Na}^+ \gg r \text{Ca}^{2+} \gg r \text{Mg}^{2+} \gg r \text{K}^+$

$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^-$

Donc le type du faciès chimique est **Chloruré-Sodique**.

4.5. Minéralisation et conductivité :

Le tableau suivant montre la relation entre la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et la minéralisation (en mg/l) des différents points d'eau.

| Conductivité ($\mu\text{S} / \text{cm}$) | Minéralisations (mg/L) |
|--|--|
| Conductivité < 100 | Très faible |
| 100 < Conductivité < 200 | Faible |
| 200 < Conductivité < 333 | Moyennement accentuée |
| 333 < Conductivité < 666 | Moyenne |
| 666 < Conductivité < 1000 | Importante |
| Conductivité > 1000 | Elevée |

Tableau 9 : Relation existant entre la minéralisation et la conductivité

Pour notre étude, les valeurs de la conductivité des neuf points d'eau sont supérieures à 1000, donc la minéralisation est élevée.

Les deux graphes suivants montrent une homogénéité entre ces deux paramètres.

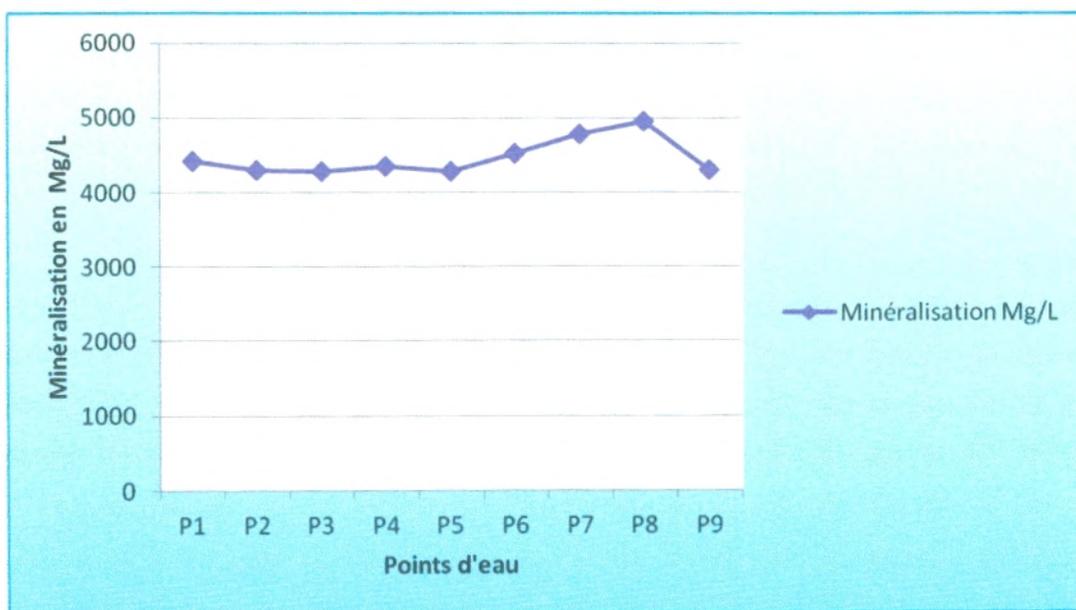


Figure 24 : Minéralisations des eaux de Hammam Sidi Ayd.

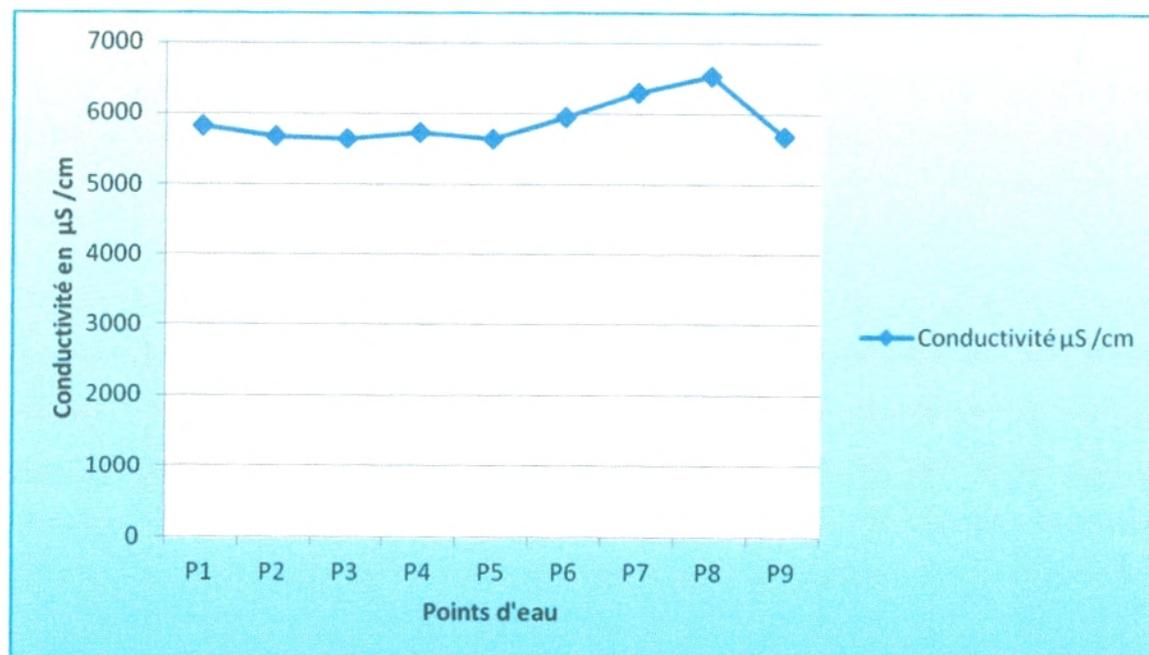


Figure 28: conductivités des eaux de Hammam Sidi Ayd.

5. interprétation des résultats :

A travers ce qui précède nous pouvant tirer les informations suivantes :

Le pH acide est dû au CO_2 dissous dans l'eau, provenant des profondeurs, et qui réapparaît à l'émergence sous forme de bulles gaz.

Les Chlorure et les Sodium rangent les eaux de Hammam Sidi Ayd dans la catégorie des eaux Chlorurées Sodiques.

La conductivité exprime la minéralisation globale. Elle montre que le taux des sels dissous est élevé. La variation est faible.

Les analyses concernant les eaux de Hammam Sidi Ayd et Hammam Bouhdjar ont montré que toutes ces eaux auraient une même origine (même faciès). Elles ont traversé éventuellement les mêmes terrains et formations lithologiques, car elles présentent une similitude particulière quant à leur minéralisation.

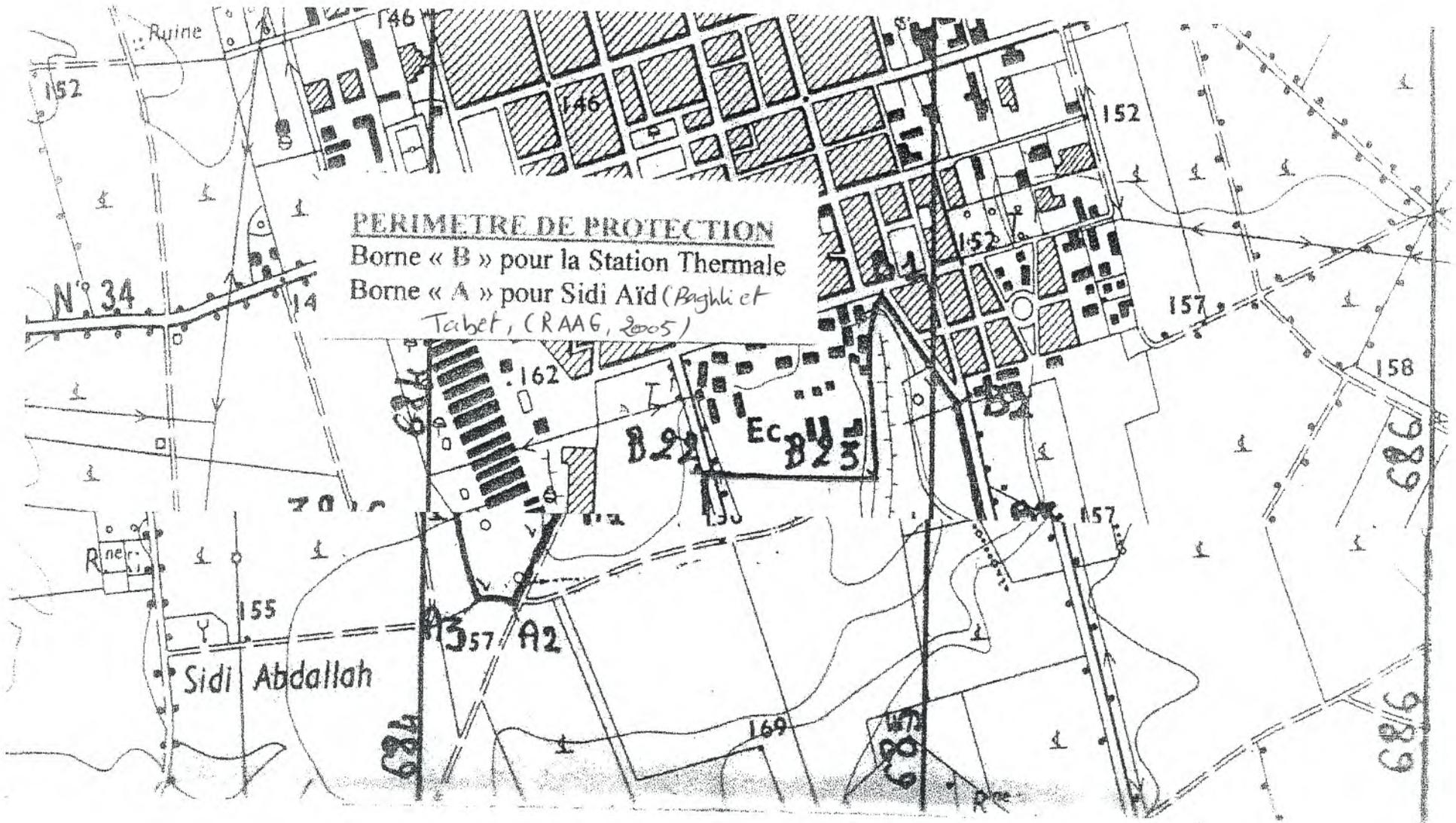
6. périmètre de protection :

Etant données l'importance de Hammam Sidi Ayd, il serait nécessaire d'accéder à la mise en place d'un périmètre de protection qui permettra d'éviter toute contamination des eaux thermales. Pour cela, et au niveau de notre zone d'étude un périmètre de protection à été proposé avec les coordonnées de bornes indiqués dans le tableau ci-après.

| Borne | 30 | X | Y |
|-------|---------|---|----------|
| A1 | 684 280 | | 3913 875 |
| A2 | 684 196 | | 3913 712 |
| A3 | 684 112 | | 3913 712 |
| A4 | 684 056 | | 3913 950 |
| A5 | 684 084 | | 3914 075 |
| A6 | 684 056 | | 3914 312 |
| A7 | 684 140 | | 3914 075 |
| A8 | 684 168 | | 3913 937 |

Tableau 8: Coordonnées des bornes délimitant le périmètre de protection

(Voire sur carte)



Conclusion générale :

Au terme de cette étude nous pouvons conclure ce qui suit :

L'étude géologique a permis de synthétiser les données existantes suites à des observations sur le terrain. Une disposition des failles en modèle de Riedels de type R a été montrée. Les grandes unités stratigraphiques ont été synthétisées ainsi que leurs épaisseurs ont été estimées.

L'étude climatologique a montré que le climat de la zone d'étude est semi-aride à hiver chaud.

L'étude hydrogéologique nous a permis de connaître les formations aquifères susceptibles d'être traversées par les eaux thermales venant des profondeurs.

L'étude Hydrochimique a montré que les eaux de Hammam Sidi Ayd est de type **Chlorurées Sodiques**.

La figure ci-dessous donne une image de la disposition dans l'espace de tous les éléments ayant un rôle dans la manifestation des sources thermales de la région de Hammam Bouhdjar et Hammam Sidi Ayd.

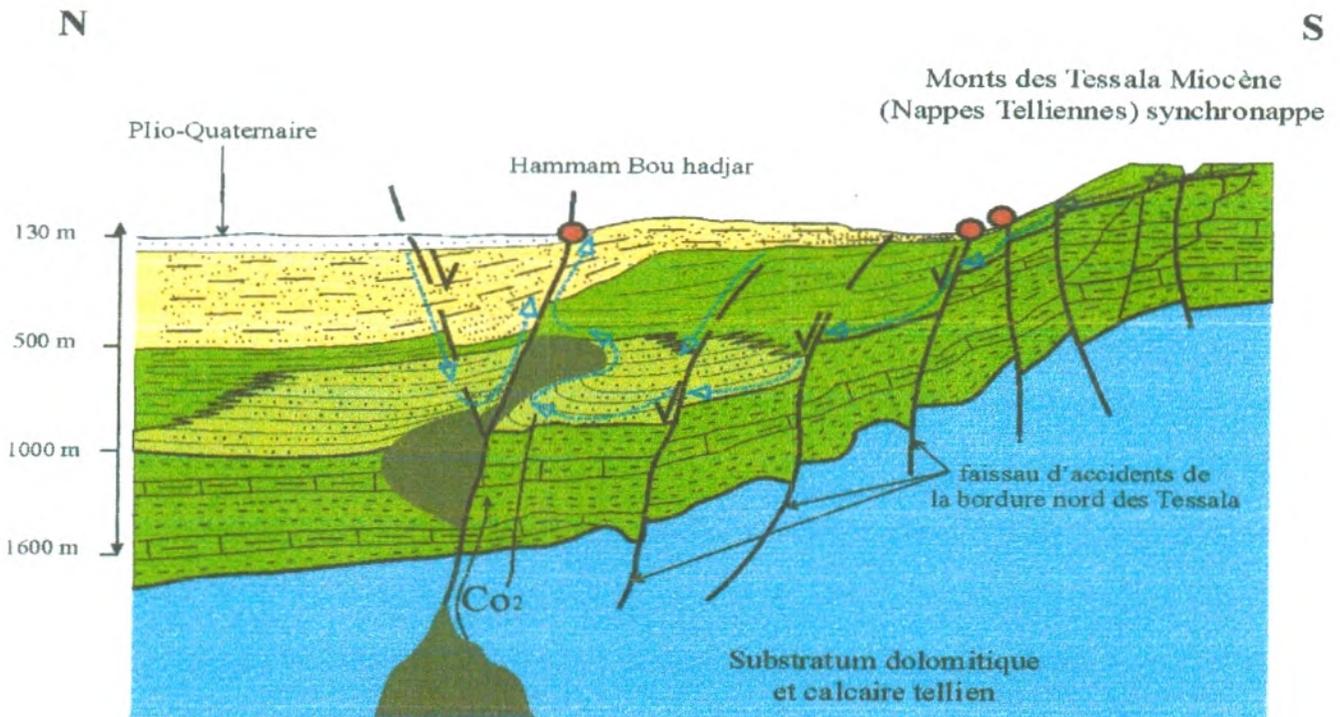


Figure 23: Coupe de détail synthétisant le dispositif général expliquant les sources thermales de la région de Hammam Bouhdjar (en noir la chambre magmatique et ses apophyses supérieure).

Le dispositif d'ensemble s'articule autour d'un effondrement à l'endroit même des murailles de travertins dessinant le fer à cheval de la région. Les failles responsables de cet effondrement ont joué en dextre causant des basculements des blocs qu'elles délimitent et sont connectées à la faille principale de l'Oued El Maleh.

Dans ces conditions l'aquifère se trouvait situé entre 600 et 800 m, en effet, si on considère un gradient géothermique normal de 1°C pour 30 m, ces eaux proviendraient de profondeurs dépassant aisément 1000m. La seule possibilité en accord avec l'ensemble des données que nous possédons fait que cet aquifère serait réchauffé par des apophyses volcaniques restées connectées à une chambre magmatique demeurés en profondeur sous le bassin. Ainsi, ce dispositif nous explique les fortes teneurs en CO₂ rencontrées dans les eaux thermales de Hammam Sidi Ayd et Hammam Bouhdjar.

Bibliographie

- NEE-SPA (2013)**, *Etude d'un système d'épuration des eaux usées à Hammam Bouhdjar, Mission II, Etude préliminaire, direction des ressources en eau de la wilaya d'AIN témouchent.*
- In étude Hydrogéologique de la zone thermale de Hammam Bouhdjar**, dans le cadre de la convention N° 16/2004 commune de Hammam Bouhdjar- **CRAAG**(O.D.S. n° 01/2005, en date du 19 Mars 2005).
- Ammar N. et Lakhel K. (2000)**, Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin versant de l'Oued El Maleh. Mém.d'ing. d'état. Université d'Oran ES Senia. Algérie.
- Ben Hammadi H. (1998)**, Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de TAFRAOUI- TLELAT. Mém.d'ing. d'état. Université Es Senia. Oran.132 p.
- Boudjafriou V.R. et Lazreug K. (1992)**, Contribution à l'étude hydrogéologique du complexe thermal de Hammam Bouhdjar. Mém.ing. d'état. Université Es Senia. Oran.138 p.
- Dalloni M. (1915)**, Recherche sur la période néogène dans l'Algérie occidentale. Bull.Soc. Géol. Fr. Paris. 4^{ème} série, t. 15, p.428-457,3 fig.
- Dalloni M. (1928)**, esquisse de l'évolution géologique de l'Oranie. Bull. Soc. Géogr. Archéol. Oran, 15 avril 1928.
- Djaffar A. (2001)**, Contribution au contrôle de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux thermo-minérales de Hammam Bouhdjar.Mém. ing. D'état en biologie, Université Tlemcen. 90 p.
- Fenet B. (1975)**, Recherche sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain, à partie de l'étude d'un élément de l'orogène nord maghrébine : les Monts du Djebel Tessala et les Massifs du littoral Oranais. Thèse doc Es Sci. Université de Nice. N° C.N.R.S.A.O.12.045.
- Gourinard Y. (1952)**, Le littoral oranais (Mouvements verticaux et anomalies gravimétrique). Pub. XIX CGL, Alger, Mono Rég.lère série, Algérie, n° 22, 62 p.
- Gourinard Y. (1958)**, I) Recherche sur la Géologie du littoral oranais. II) Epirogenèse et Nivellement. Pub. Serv. Car Géol. Algérie. N° 6, 20.
- Guardi P. (1975)**, Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'oranaie nord occidentale. Relations structurales et paléogéographique entre le Rif externe, le Tell et l'avant-pays atlasique. Thèse Doc Es Sci. Université de Nice. N° A.O.11 417.
- Guigue S. (1940)**, Les eaux thermales en Algérie. Bull. du Service de la Carte géologique de l'Algérie. Tomes I et II, 3^{ème} et 5^{ème} Fasc.

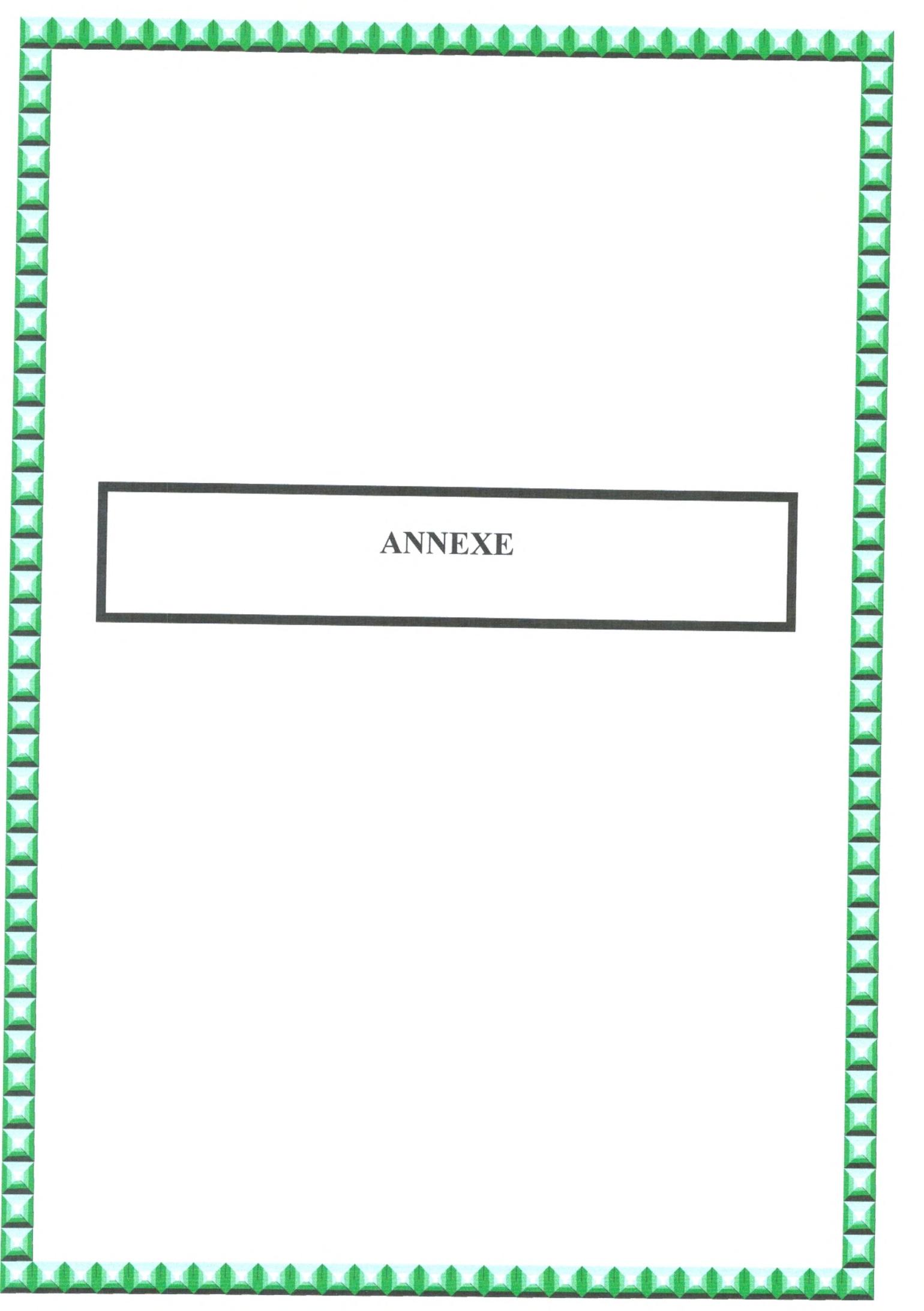
- Hammouti M. (1986)**, *Etude hydrogéologique et hydrochimique de la région de Hammam Bouhdjar, Ain Témouchent. Mém.ing. en Hydrogéologie. 127 p. Université Es Senia.Oran. Algérie.*
- Issadi A. (1996)**, *Mécanisme de fonctionnement des systèmes hydrothermaux. Application aux eaux thermominérales algériennes et aux eaux de Hammam Bouhdjar. Bull du Ser Géol de l'Algérie. Vol 7, n° 1, pp. 71-85, 8 fig, 4 tabl.*
- Louni-Hacini A. (1995)**, *Datation ^{40}K - ^{40}Ar de la transition du volcanisme calco-alcalin au volcanisme alcalin en Oranie au Miocène inférieur. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 321, série II a, p. 975 à 982.*
- Mansouri H. (1989)**, *Hydrogéologie des complexes dunaires à l'Ouest d'Oran- de Cap Falcon (Oran) à Terga (Béni Saf). Thèse Doc. 359 p. Université d'Oran Es Senia.*
- Maury R C. (2000)**, *Post- collisional Néogène magmatism of the Mediterranean Margin : a consequence of slab breakoff. C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre des planètes/ Earth and Planetary Sciences 331 (2000), P.159-173.*
- Meddane K., Bakadi Z. et Messaoud F. (2000)**, *Etude physico-chimique des sources thermales de Hammam Bouhdjar. Mém.ing. d'état en Hydrogéologie. 102 p. université de Tlemcen.*
- Megartsi M. (1985)**, *Le volcanisme mi-plio-quaternaire de l'Oranie Nord occidentale. Thèse Doc. Etat. U.S.T.H.B, Alger, 296 p.*
- Thoma G. (1985)**, *Géodynamique d'un bassin intra montagneux. Le bassin du bas- chélif occidental (Algérie) durant le mi-plio-quaternaire. Thèse Doc Es Sci. Université de pau et des pays de l'ADOUR , n° 53, 565p.*

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Situation géographique de Hammam Bouhdjar..... | 02 |
| Figure 2 : Situation géographique de la Source se Hammam Sidi Ayd..... | 03 |
| Figure 3 : Colonne Stratigraphique des unités Tectono-Sédimentaires dans la région de Hammam Bouhdjar..... | 06 |
| Figure 4 : Carte sismique de la région d'Ain Témouchent..... | 09 |
| Figure 5 : Schéma de modèle de Riedels | 12 |
| Figure 6 : Variation des précipitations annuelles au niveau de la station de Beni Saf (2001/2012)..... | 13 |
| Figure 7 : Histogrammes des précipitations mensuelles à la station de Beni Saf (2001/2012)..... | 14 |
| Figure 08 : Histogrammes des précipitations saisonnières (2001/2012)..... | 15 |
| Figure 09 : Variation des températures moyennes mensuelles à la station de Beni Saf..... | 16 |
| Figure 10 : Diagramme Ombrothermique..... | 17 |
| Figure 11 : Coupe synthétique montrant la disposition spatiale des unités engagées ans l'hydrogéologie Hammam Bouhdjar..... | 18 |
| Figure 12 : Les différentes formations lithologiques du forage de Hammam Bouhdjar..... | 20 |
| Figure 13 : Les différentes formations lithologiques du forage d'El Maleh..... | 21 |
| Figure 14 : Carte géologique de la région de Hammam Bouhdjar..... | 23 |
| Figure 15 : Température des points d'eau | 30 |
| Figure 16 : pH des eaux de Hammam Sidi Ayd..... | 31 |
| Figure 17 : Diagramme de Schoeller et Berkaloff (Hammam Sidi Ayd)..... | 33 |
| Figure 18 : Diagramme de Piper (Hammam Sidi Ayd)..... | 34 |
| Figure 19 : Diagramme de Schoeller et Berkaloff (Ain Begra,Louise Yousfi,Douar Debdab)..... | 35 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 01: Valeurs moyennes mensuelles des précipitations..... | 14 |
| Tableau 02: Valeurs moyennes saisonnières des précipitations..... | 14 |
| Tableau 03: Valeurs moyennes mensuelles des températures..... | 15 |
| Tableau 04 Valeurs moyennes mensuelles des températures et des précipitations..... | 16 |
| Tableau 05: Caractéristiques des points d'eau de Hammam Sidi Ayd..... | 27 |
| Tableau 06: Valeurs des balances ioniques..... | 28 |
| Tableau 07: Classification des eaux en fonction de la température..... | 30 |
| Tableau 08: Résultats des analyses physico-chimiques..... | 32 |



ANNEXE

Tableau A : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles**Période : 2001-2012**

| Mois | J | F | M | A | M | J | Jt | A | S | O | N | D |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|-------|-------|-------|-------|
| 2001 | 123 | 125,3 | 5,5 | 3,3 | 17,7 | 0 | 0,5 | 0 | 21,3 | 19 | 159,6 | 42,3 |
| 2002 | 2,1 | 6,7 | 24,1 | 72,3 | 31,7 | 1,5 | 0,1 | 39,8 | 2 | 130 | 139 | 9,7 |
| 2003 | 97,1 | 105 | 33,7 | 24,4 | 15,7 | 0,9 | 0 | 0,7 | 0,7 | 37,1 | 41 | 96,2 |
| 2004 | 41,5 | 19,2 | 25,1 | 24,6 | 70,4 | 13,4 | 0 | 0 | 0,2 | 49,5 | 60,7 | 77,9 |
| 2005 | 23,6 | 29,7 | 39,2 | 22,5 | 0,8 | 0 | 0 | 0,8 | 4,6 | 18 | 55,7 | 34,4 |
| 2006 | 59,6 | 88,2 | 18 | 37,4 | 37,8 | 2,2 | 0 | 0,4 | 23,2 | 3,9 | 10 | 80 |
| 2007 | 18,7 | 37,5 | 127,9 | 73,9 | 0,9 | 0 | 0,2 | 0,6 | 36,7 | 125,2 | 45,2 | 15,5 |
| 2008 | 21,4 | | 15,6 | 11,4 | 21,5 | 0 | 0 | 0 | 21,3 | 100,9 | 93,8 | 145,3 |
| 2009 | 135,1 | 24,2 | 35,3 | 38,2 | 10 | 0,5 | 0 | 0,7 | 80,6 | 1,5 | 18,7 | 64,4 |
| 2010 | 114,4 | 66,1 | 82,5 | 22 | 9,9 | 15 | 0,2 | 12 | 3,5 | 83,9 | 62,5 | 24,6 |
| 2011 | 81,6 | 39,6 | 24,9 | 105,1 | 44,3 | 8,8 | 0 | 2 | 5,2 | 52,5 | 154,6 | 31,2 |
| 2012 | 39,1 | 30,6 | 32 | 44,5 | 8,2 | 0,3 | 11 | | 8,5 | 45 | 183,2 | 39,2 |
| Moyenne | 63,1 | 52,01 | 38,65 | 39,97 | 22,41 | 3,55 | 1 | 5,18 | 17,32 | 55,54 | 85,33 | 55,06 |

Tableau C : Valeurs des températures minimales mensuelles

| Mois | J | F | M | A | M | J | Jt | A | S | O | N | D |
|----------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2001 | 8,7 | 10,6 | 12,5 | 11,2 | 13,3 | 18,3 | 17,3 | 21,3 | 19,1 | 17 | 9,9 | 9,2 |
| 2002 | 7,6 | 9 | 10 | 11,4 | 13,2 | 17,8 | 25,6 | 20,9 | 19,6 | 15,1 | 12,2 | 10,5 |
| 2003 | 6,9 | 7,1 | 10,1 | 10,7 | 13,9 | 19,3 | 21,9 | 21,7 | 18,9 | 15,7 | 11,9 | 8,57 |
| 2004 | 8,27 | 8,75 | 8,84 | 10,6 | 12,6 | 18 | 27,4 | 32,5 | 19,4 | 16,7 | 9,8 | 7,82 |
| 2005 | 5,45 | 4,8 | 9,35 | 11,16 | 15,87 | 16,88 | 22,4 | 33,7 | 18,6 | 16,87 | 10,66 | 7,97 |
| 2006 | 6,98 | 7,66 | 10,3 | 12,97 | 15,92 | 17,35 | 21,21 | 21,48 | 18,94 | 17,08 | 14,74 | 9,32 |
| 2007 | 8,26 | 9,87 | 8,47 | 10,6 | 15,49 | 17,95 | 20,59 | 20,96 | 18,71 | 15,25 | 10,73 | 8,61 |
| 2008 | 8,08 | / | 9,33 | 11,72 | 14,28 | 17,22 | 24,26 | 22,07 | 19,61 | 15,79 | 9,97 | 7,03 |
| 2009 | 7,58 | 7,4 | 9,29 | 10,28 | 14,68 | 19,19 | 22,45 | 21,77 | 18,89 | 16,99 | 8,59 | 10,72 |
| 2010 | 9,31 | 9,9 | 10,2 | 12,64 | 14,18 | 18,1 | 22,58 | 22,34 | 19,44 | 15,23 | 11,49 | 7,72 |
| 2011 | 8,26 | 7,6 | 9,61 | 12,9 | 15,99 | 18,66 | 21,63 | 22,55 | 19,45 | 16,1 | 12,74 | 8,73 |
| 2012 | 7,21 | 5,34 | 9,38 | 11,21 | 14,9 | 30,36 | 21,33 | / | 20,1 | 16,37 | 12,77 | 9,96 |
| Moyenne | 7,72 | 8,00 | 9,78 | 11,45 | 14,53 | 19,09 | 22,39 | 23,75 | 19,23 | 16,18 | 11,29 | 8,85 |

Période : 2001-2012

Tableau D : Valeurs des températures maximales mensuelles**Période : 2001-2012**

| Mois | J | F | M | A | M | J | Jt | A | S | O | N | D |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2001 | 15,6 | 14,8 | 19,7 | 21,4 | 30,9 | 30,4 | 27,6 | 32,6 | 27,8 | 27 | 16,4 | 14,6 |
| 2002 | 14,9 | 17,7 | 20 | 21,2 | 23,4 | 28,2 | 30,2 | 29,3 | 28,8 | 23,8 | 19,6 | 17,6 |
| 2003 | 13,7 | 14,9 | 18,5 | 20,4 | 25,2 | 25,1 | 32,5 | 32,4 | 28,9 | 24,6 | 20,1 | 15,8 |
| 2004 | 16 | 16,4 | 17,7 | 21,8 | 24 | 29,6 | 33,5 | 33,7 | 30,8 | 27,4 | 17,8 | 15,4 |
| 2005 | 17,9 | 14,1 | 17,3 | 21 | 28,3 | 30,3 | 33,72 | 21,19 | 30,2 | 27,52 | 19,25 | 15,93 |
| 2006 | 14,18 | 14,97 | 20,4 | 23,51 | 26,3 | 28,52 | 34,02 | 33,57 | 29,38 | 27,72 | 22,74 | 15,44 |
| 2007 | 16,36 | 20,5 | 19,21 | 18,83 | 26,9 | 28,97 | 31,7 | 32,9 | 28,99 | 23,61 | 18,59 | 15,73 |
| 2008 | 16,17 | / | 19,02 | 23,58 | 23,26 | 28,01 | 36 | 33,07 | 28,72 | 23,81 | 17,82 | 13,96 |
| 2009 | 13,93 | 17,04 | 19,76 | 21,06 | 26,14 | 30,8 | 34,76 | 32,68 | 27,11 | 26,47 | 14,57 | 19,02 |
| 2010 | 15,81 | 18,06 | 18,03 | 21,56 | 24,57 | 28,11 | 34,05 | 33,98 | 29,64 | 23,88 | 18,87 | 17,86 |
| 2011 | 15,69 | 15,47 | 19,51 | 23,72 | 25,83 | 29,96 | 33,04 | 33,79 | 29,65 | 25,49 | 19,7 | 16,17 |
| 2012 | 15,04 | 13,33 | 17,28 | 19,5 | 26,48 | 30,26 | 32,29 | / | 29,88 | 24,99 | 18,7 | 17,12 |
| Moyenne | 15,44 | 16,12 | 18,87 | 21,46 | 25,94 | 29,02 | 32,78 | 31,74 | 29,16 | 25,52 | 18,68 | 16,22 |

Tableau E : Valeurs des températures moyennes mensuelles**Période : 2001-2012**

| Mois | J | F | M | A | M | J | Jt | A | S | O | N | D |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2001 | 12,2 | 12,7 | 16,1 | 16,3 | 22,1 | 24,3 | 22,4 | 27 | 23,4 | 22 | 13,2 | 11,9 |
| 2002 | 11,3 | 13,4 | 15 | 16,3 | 18,3 | 23 | 27,9 | 25,1 | 24,2 | 19,5 | 15,9 | 14,5 |
| 2003 | 10,3 | 11 | 14,3 | 15,6 | 15,7 | 25,1 | 27,2 | 27,1 | 23,9 | 20,2 | 16 | 12,19 |
| 2004 | 12,12 | 12,59 | 13,25 | 16,2 | 18,31 | 23,83 | 30,45 | 33,09 | 25,09 | 22,03 | 13,8 | 11,59 |
| 2005 | 11,68 | 9,47 | 13,34 | 16,07 | 22,11 | 23,58 | 27,88 | 27,45 | 24,39 | 22,2 | 14,96 | 11,95 |
| 2006 | 10,58 | 11,32 | 15,3 | 18,24 | 21,1 | 22,94 | 27,62 | 27,53 | 24,16 | 22,4 | 18,74 | 12,38 |
| 2007 | 12,31 | 13,86 | 13,84 | 14,71 | 21,19 | 23,46 | 26,17 | 26,93 | 23,85 | 19,43 | 14,66 | 12,17 |
| 2008 | 12,12 | / | 14,18 | 17,65 | 18,77 | 22,61 | 30,13 | 27,57 | 24,16 | 19,8 | 13,9 | 10,5 |
| 2009 | 10,76 | 12,2 | 14,53 | 15,67 | 20,41 | 24,99 | 22,45 | 27,23 | 23 | 21,73 | 11,68 | 14,87 |
| 2010 | 12,56 | 14 | 14,11 | 17,1 | 19,38 | 23,11 | 28,31 | 28,16 | 24,54 | 19,55 | 15,17 | 13,79 |
| 2011 | 11,98 | 11,5 | 18,75 | 18,31 | 20,91 | 20,96 | 27,33 | 28,17 | 24,55 | 20,79 | 16,22 | 12,45 |
| 2012 | 11,13 | 9,3 | 13,33 | 15,28 | 20,69 | 25,31 | 26,81 | / | 24,99 | 20,68 | 15,75 | 13,54 |
| Moyenne | 11,59 | 11,94 | 14,67 | 16,45 | 19,91 | 23,60 | 27,05 | 27,76 | 24,19 | 20,86 | 15,00 | 12,65 |

Mémoire de Master

Type de Master : Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de L'Univers

Filière : Sciences de la Terre

Spécialité : Géo-ressources

Titre de mémoire : Contribution à l'étude Hydrogéologique de Hammam Sidi ayd.

Auteurs : SEMGHOUNI ABDELBASSET

Résumé :

L'objectif de notre travail a consisté à contribuer à l'actualisation de l'étude hydrogéologique de Hammam Sidi Ayd qui fait partie de la zone thermale de Hammam Bouhdjar (Wilaya d'Aïn Temouchent)

Les sources chaudes de cette dernière émergent près et dans les falaises des travertins qui caractérisent la région et qui donnent un système dit de « failles en fer à cheval ».

Les analyses physico-chimiques et la comparaison avec les sources avoisinantes ont permis de déterminer le faciès chimique des eaux de Hammam Sidi Ayd et d'essayer de comprendre le chemin traversé par ces eaux avant d'arriver aux émergences actuelles.

Mots-clé :

Sidi Ayd-sources chaudes-travertins-falaise.

Abstract:

The objective of our work was to contribute to the updating of Hammam Sidi Ayd hydrogeological study which is part of the spa area of Hammam Bouhdjar (Wilaya of Ain Temouchent).

The hot springs of the latter emerge near and in the travertine cliffs that characterize the region and provide a system called "horseshoe shaped faults."

The physico-chemical analyzes and comparison with neighboring sources were used to determine the Hammam Sidi Ayd chemical water facies and try to understand the path crossed by that water before reaching the current emergences.

Key words :

Sidi Ayd-hot spring- travertine- cliffs