

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار- عنابة

Année : 2016

Faculté des Sciences de la Terre

THESE

Présentée En vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat En Sciences

Option: Hydrogéologie

THEME

***CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES
SOURCES THERMALES DE L'EXTREME
NORD-EST ALGERIEN***

Présenté par : **BEKKOUCHE Mohamed Faouzi**

Directeur de Thèse : **BENHAMZA Moussa**

Pr. Univ- Badji Mokhtar-Annaba

DEVANT LE JURY:

Président: **DERRADJI El Fadel**

Pr. Univ - Badji Mokhtar-Annaba

Examineurs:

KACHI Slimane

Pr. Université de Guelma

MAOUI Amar

Pr. Université de Guelma

GHERIEB Lassaad

M.C.A. Université de Guelma

LARABA Abdelaziz

M.C.A. Univ - Badji Mokhtar-Annaba

Dédicace

A l'issu de cette thèse de recherche je dédie ce travail à mes

Très chers parents

Ma chère mère pour sa tendresse sa patience et son soutien moral.

*Mon cher père pour son éducation vers le droit chemin sa
générosité, ses encouragements et soutien sans limite.*

A tous mes frères et mes sœurs.

A la mémoire de mon grand père et ma grande mère, que dieu

Les bénisse et les accueille dans son vaste paradis.

A mes oncles et mes tantes.

A tous mes amis et mes cousins.

A tous mes collègues de travail.

Remerciement

A la fin de ce travail, j'adresse mes sincères remerciements au bon dieu le tout puissant qui m'a ouvert les portes de la réussite, comme je tiens à remercier toute personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail et en particulier un très grand remerciement à mon promoteur M^r BENHAMZA Moussa, pour son soutien, sa gentillesse et ses conseils judicieux.

J'adresse également mes sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.

J'adresse aussi mes sincères remerciements à M^{me} DIB.H de l'université de Constantine et à M^r DJORFIS pour l'aide et les conseils prodigués.

J'adresse également mes remerciements à mon ami AHMED AHZILAD pour sa disponibilité.

Je remercie également mon oncle AZZEDINE et toute l'équipe du laboratoire central de la Raffinerie de la zone industrielle de Skikda.

Je remercie aussi le docteur BELAITAR.A pour sa participation dans ce travail.

Aussi ma reconnaissance à tout le personnel de l'O.R.G.M de Tebessa, la DHW de Skikda et l'ANRH de Constantine.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

Chapitre I : Situation géographique		Page
I-1. Situation géographique.....		1
I-2. Géomorphologie.....		1
I-3. Réseau hydrographique.....		3
I-4. Végétation et Agriculture.....		4
I-5. Climat.....		4
I-6. Habitat, Voies de communication et Tourisme.....		4
I-7. Les eaux thermominérales en Algérie.....		5
I-8. Situation géographique des sources thermales de la région d'étude.....		8
I-8.1. Les sources thermales de Guelma.....		8
I-8.1.1. Source thermale de Hammam Belhachani.....		8
I-8.1.2. Source thermale de Hammam Guerfa.....		8
I-8.1.3. Source thermal de Hammam N'Baïls.....		10
I-8.1.4. Source thermale de Hammam Ouled Ali.....		12
I-8.1.5. Source thermale de Hammam Meskhoutine.....		12
I-8.2. Les sources thermales de Skikda.....		13
I-8.2.1. Source thermale d'El Hamma.....		13
I-8.2.2. Source thermale d'Oued Hmimine.....		14
I-8.3. Les sources thermales d'El Tarf.....		14
I-8.3.1. Source thermale de Hammam Sidi Djaballah.....		14
I-8.3.2. Source thermale de Hammam Sidi Trad.....		16
I-8.3.3. Source thermale de Hammam Zattot.....		16
I-8.3.4. Source thermale de Hammam Sidi Zid.....		17
I-8.3.5. Source thermale de Hammam Beni Salah.....		18
I-8.4. Les sources thermales de Souk Ahras.....		18
I-8.4.1. Source thermale de Hammam Tassa.....		18
I-8.4.2. Source thermale de Hammam Ouled Zaïd.....		20
Chapitre II: Cadre géologique		
II-A. La Géologie.....		22
II-A.1. Localisation de la zone d'étude.....		22

II-A.2. Etude lithostratigraphique des unités tectoniques.....	22
II-A.2.1. Les unités antérieures au Lutétien.....	25
II-A.2.1.1. Le socle kabyle.....	25
II-A.2.1.2. La chaîne calcaire.....	25
II-A.2.1.3. La série des flysch kabyles.....	29
II-A.2.1.4. Les séries telliennes.....	31
II-A.2.1.5. La nappe néritique constantinoise.....	33
II-A.2.2. Les unités stratigraphiques postérieures au Lutétien.....	33
II-A.2.2.1. Les séries stratigraphiques à la phase tectonique d'âge Alpin.....	33
II-A.2.2.2. Les formations post-nappes.....	34
II-A.2.2.3. Les roches éruptives miocènes.....	34
II-A.3. Alimentation des aquifères.....	34
II-B. La tectonique.....	36
II-B.1. Paléogéographie de la région.....	36
II-B.1.1. Les phases tectoniques anté- miocènes et miocènes.....	36
II-B.1.1.1. Les mouvements précoces.....	36
II-B.1.1.2. La phase tectonique atlasique.....	36
II-B.1.1.3. La phase alpine.....	37
II-B.2. Les temps modernes.....	39
II-B.3. Le thermalisme dans son cadre géo structural.....	41
II-B.3.1. Influence de la lithologie.....	41
II-B.3.2. Influence du complexe structural.....	44
II-B.4. Conditions géologiques d'émergences.....	45
II-B.4.1. Les sources thermales de Guelma.....	45
II-B.4.1.1. Source thermale de Hammam Belhachani	45
II-B.4.1.2. Source thermale de Hammam Guerfa.....	45
II-B.4.1.3. Source thermale de Hammam N'Baïls.....	45
II-B.4.1.4. Source thermale de Hammam Ouled Ali	47
II-B.4.1.5. Source thermale de Hammam Meskhoutine.....	47
II-B.4.2. Les sources thermales de Skikda	52
II-B.4.2.1. Source thermale d'El Hamma.....	52
II-B.4.2.2. Source thermale d'Oued Hmimine.....	58
II-B.4.3. Les sources thermales d'El Tarf.....	58
II-B.4.3.1 : Source thermale de Hammam Sidi Djaballah.....	58

II-B.4.3.2. Source thermale de Hammam Sidi Trad.....	58
II-B.4.3.3. Source thermale de Hammam Zattot.....	60
II-B.4.3.4. Source thermale de Hammam Sidi Zid.....	60
II-B.4.3.5. Source thermale de Hammam Beni Salah.....	60
I-B.4.4. Les sources thermales de Souk Ahras.....	60
II-B.4.4.1 : Source thermale de Hammam Tassa.....	60
II-B.4.4.2. Source thermale de Hammam Ouled Zaïd	60
II.C. Conclusion	65

Chapitre III : Etude hydroclimatologique

III-1. Introduction.....	67
III-2. Les données disponibles.....	67
III-3. Caractéristiques climatiques.....	68
III – 3.1. Précipitations.....	68
III-3.2. Température.....	72
III – 4. Courbe ombro-thermique.....	72
III – 5. Bilan hydrique.....	79
III – 5.1. L'évapotranspiration.....	79
III – 5.1.1. L'évapotranspiration réelle.....	79
III – 5.1.2. L'évapotranspiration potentielle.....	80
III – 5.2. Calcul du déficit agricole.....	80
III – 5.3. L'étude du bilan hydrique.....	81
III – 5.4. Interprétation des données du bilan.....	81
III – 5.4.1. Station de Guelma.....	81
III – 5.4.2. Station de Skikda.....	82
III –5.4.3. Station d'El Tarf.....	83
II – 5.4.2. Station de Souk Ahras.....	83
III – 6. Conclusion.....	90

Chapitre IV : Etude hydrogéologique

IV-1. Introduction.....	91
IV-2. Généralités.....	91
IV-2.1. Recherche et exploitation des eaux thermales.....	91
IV-2.2. Captage, problème des arrivées diffuses.....	91
IV-2.3. Les circuits hydrothermaux (thermosyphon).....	92

IV-3. Classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologiques.....	94
IV – 4. Contexte hydrogéologique.....	95
IV – 4.1. Formations aquifères du Mio-plio-quadernaire.....	95
IV – 4.2. Formations aquifères de l'Eocène supérieur.....	95
IV – 4.3. Formations aquifères du Jurassique.....	96
IV – 4.4. Le Trias.....	96
IV – 4.5. Le paléocène.....	96
IV- 5. Alimentation des aquifères.....	96
IV-6.Conclusion	99

Chapitre V : Etude hydrochimique

V-1. Introduction.....	100
V-2. Quelques définitions.....	100
V-3. Les deux types d'eaux thermales fréquentes.....	103
V-4.L'altération des caractéristiques physico –chimiques des eaux à leur remontée.....	104
V-5. Description détaillée des sources.....	106
V-5.1. Inventaire des sources thermales.....	106
V-6.Etude des paramètres physico-chimique des eaux thermominérales.....	114
V-6.1. Etude des paramètres physiques.....	114
V-6.1.1. La thermalité.....	114
V-6.1.3. La conductivité électrique.....	123
V-6.1.4. La dureté totale (TH).....	123
V-6.2. Etude des paramètres chimiques.....	123
V-6.2.1. Origines des éléments majeurs.....	123
V-6.2.2. Etude des valeurs relatives.....	126
V-6.2.3. Résultats des analyses et faciès chimique.....	130
V-6.2.4. Classification chimique des eaux.....	130
V-6.2.4.1. Diagramme de Piper.....	130
V-6.2.4.2. Diagramme de Schoeller – Berkaloff.....	135
V-6.2.4.3. Diagramme de Stiff.....	135
V-6.2.4.4. La classification de Stabler.....	140
V-6.2.5. Comparaison entre les trois représentations graphiques.....	144
V-6.2.6. Les oligo-éléments.....	144
V-6.2.7. Conclusion.....	145
V-7. Analyse en composantes principales (A.C.P).....	146

V-7.1. Introduction	146
V-7.2. Représentation des variables : (Cercles de corrélations).....	147
V-7.3. Représentation des individus.....	148
V-7.4. Application de l'A.C.P.....	148
V-7.4.1. Etude des variables.....	149
V-7.4.2. Cercle de corrélation.....	149
V-8. Indice de saturation.....	153
V.9. Conclusion	160

Chapitre VI : Etude thérapeutique

VI-1. Introduction.....	162
VI-2. Historique de la thérapie par les eaux thermominérales.....	162
VI-3. Les principaux soins et leurs effets.....	163
VI-3.1. Douches externes.....	163
VI-3.2. Irrigations et douches internes.....	163
VI-3.3. Grottes et étuves chaudes (thérapie en grotte)	163
VI-3.4. Inhalations.....	164
VI-3.4.1. Nébulisations.....	164
VI-3.4.2. Aérosols.....	164
VI-3.4.3. Humages.....	164
VI-3.4.4. Insufflations.....	165
VI-3.5. Balnéothérapie.....	165
VI-3.6. Fangothérapie.....	165
VI-3.7. Bains de sable (psammatothérapie).....	165
VI-4. Les propriétés thérapeutiques.....	166
VI-4.1. L'eau au secours de la peau	166
VI-4.2. Rhumatologie, séquelle de traumatisme ostéo-articulaires / neurologie.....	166
VI-4.3. Maladie de l'appareil urinaire, maladies métabolique.....	166
VI-4.4. Voies respiratoires.....	167
VI-4.5. Phlébologie.....	167
VI-4.6. Irritation des intestins (lavage du colon et cure de boisson)	167
VI-4.7. Maladies de l'appareil digestif.....	167
VI-4.8. Obésité et Diabète (éducation nutritionnelle)	167
VI-4.9. Douche thérapeutique contre l'anxiété.....	167
VI-4.10. Maladies neurologiques	167

VI-4.11. Maladies cardio - artérielles	168
VI-4.12. Affections bucco – linguales.....	168
VI-4.13. Gynécologie	168
VI –4.14. Troubles du développement de l’enfant	168
VI-5. Les minéralisations requises pour les affections	168
VI-5.1. Eaux bicarbonatées (Eaux de basse minéralisation, alcalines et froides)	168
VI –5.2. Eaux Ferrugineuses	169
VI –5.3. Eaux Sulfureuses	169
VI –5.4. Eaux Sulfatées	169
VI-5.5. Eaux Radioactives (Eaux à haute teneur en gaz radon, un gaz radioactif d’origine naturelle)	170
VI –5.6. Eaux Sulfurées	170
VI-5.7. Eaux Carboniques	170
VI-6. Crénothérapie des sources thermales du secteur d’étude	170
VI-6.1. Sources thermales de Guelma.....	170
VI-6.2. Sources thermales de Skikda.....	171
VI-6.3. Sources thermales d’El Tarf	172
VI-6.4. Sources thermales de Souk Ahras.....	173
Conclusion générale.....	175

Résumé :

Depuis les temps les plus reculés, l'homme s'est intéressé aux eaux chaudes qui émergeaient du sol.

Les sources thermales de l'extrême Nord est Algérien émergent à la faveur des grands accidents tectoniques d'après la carte de la néotectonique, sur la bande thermique d'Annaba et de Constantine.

Les résultats des analyses chimiques effectuées dans les sources hydrothermales de la zone d'étude ont révélé les faciès chimiques : bicarbonaté sodique, sulfaté calcique, chloruré sodique et sulfaté sodique.

L'étude de l'indice de saturation a montré que pour les éléments évaporitiques, la halite est en sous saturation dans les eaux ce qui provoque sa dissolution et l'enrichissement des eaux en Na et en Cl. Concernant le Gypse et l'Anhydrite les eaux thermales de Guelma et Skikda sont sursaturées, ce qui provoque une précipitation sous forme de Gypse et Anhydrite.

Les eaux sont sursaturées en Calcite, Dolomie et Aragonite dans tous les points analysés, entraînant ainsi la précipitation des éléments carbonatés sous forme de Calcite, d'Aragonite et surtout sous forme de Dolomie.

Les résultats des analyses chimiques effectuées sur les différentes sources hydrothermales de la zone d'étude, montrent des minéralisations requises pour les diverses infections.

Les spécificités curatives des eaux thermales de l'extrême Nord Est Algérien sont mentionnées dans un tableau synthétique, indiquant pour chaque source hydrothermale, le faciès chimique correspondant, la température à l'émergence et le type de maladies traitées selon le chimisme des eaux.

Mots clés : Sources thermales – tectonique – température - faciès chimiques – Indices de Saturations, hydrothérapie.

Abstract :

Since the earliest times, man was interested in warm waters that emerged from the ground.

The thermal springs of the far north eastern Algeria emerge in favor of large tectonic from the map neotectonics on the thermal band of Annaba and Constantine.

The results of chemical analyzes in the hydrothermal vents of the study area revealed the chemical facies sodium bicarbonate, calcium sulfated sodium and sodium chloride-sulfated. he study of the saturation index showed that for evaporite elements, halite is in saturation in the water causing the dissolution and enrichment of water in Na and Cl.

Regarding Gypsum and Anhydrite the thermal waters of Skikda and Guelma are oversaturated, causing precipitation as gypsum and anhydrite.

The waters are supersaturated with calcite, dolomite and aragonite in all points analyzed, resulting in the precipitation of carbonate elements as Calcite, Aragonite and especially in the form of dolomite.

The results of chemical analyzes of the various hot springs in the study area, show mineralization required for various infections.

he healing characteristics of thermal waters of the far north eastern Algeria are mentioned in a summary table, indicating for each source hydrothermal chemical facies corresponding temperature for the emergence and the type of diseases treated by the chemistry of the water.

Keywords: Hot Springs - tectonics - temperature - chemical facies – indices Saturations, hydrotherapy.

ملخص:

منذ القدم ، كان الإنسان مهتما بالمياه الساخنة التي تدفقت من باطن الأرض. ينباع الساخنة للأقصى شمال الشرق الجزائري تخرج الى السطح عبر الشقوق التكتونية الكبيرة كما تبين الخريطة التكتونية الحديثة الأشرطة الحرارية لعنابة وقسنطينة. نتائج التحاليل الكيميائية للينابيع المائية الساخنة لمنطقة الدراسة كشفت السحنات الكيميائية التالية: بيكربوناتية صودية, سلفاثية كلسيكية, كلوريرية صودية و سلفاثية صودية. أظهرت دراسة مؤشر التشبع لعناصر المتبخرات أن الهاليت في حالة تحت التشبع في الماء مما تسبب في تحلله وتغنية المياه ب Na و Cl. وفيما يتعلق الجبس والأنهيدريت فإن المياه الساخنة لسكيدة وقالمة في حالة فوق التشبع مما يتسبب في ترسبها على شكل جبس و أنهيدريت. المياه الساخنة في حالة فوق التشبع بالكالسيث, دولومي و الأرقونيث في كامل العينات مما يؤدي الى ترسب هذه العناصر على شكل كالسيث, ارقونيث و خاصة دولومي. نتائج التحاليل الكيميائية المنجزة على عينات الينابيع الحارة لمنطقة الدراسة تبين غناها بالمعادن و هي مفيدة لمختلف انواع الإلتهابات. الخاصة العلاجية للمياه الساخنة لأقصى الشمال الشرقي للجزائر موضحة في جدول جامع يوضح السحنة الكيميائية, درجة حرارة المنبع و نوعية الأمراض المعالج حسب التركيبة الكيميائية لكل منبع. **الكلمات المفتاحية:** الينابيع الساخنة - تكتونية - درجة الحرارة - سحنة كيميائية - مؤشرات. تشبع، العلاج المائي.

Introduction Générale

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

A l'origine, c'est-à-dire avant tout aménagement, l'émergence d'une source d'eau thermo minérale apparait comme un événement singulier, voire rare dans le paysage hydrogéologique. Le point précis de l'émergence étant appelé "Griffon". (*DIB.H, 1985*)

Nous connaissons mieux aujourd'hui l'origine de quelques émergences thermales et le mécanisme de leur manifestation : connaissances géologiques des gisements, chimie des eaux, relation entre structures géologiques, compositions des eaux thermales et orientations thérapeutiques. (*DIB.H, 2004*)

Dans le but de détailler ces connaissances sur les sources thermales de l'extrême Nord-est Algérien, on a considéré un secteur d'étude qui fait partie du Tell oriental Algérien, sur une superficie de 106778 km², allant d'Ouest en Est de l'axe Azzaba – Oued Zénati jusqu'à la frontière Algéro-Tunisienne et du Nord vers le Sud, de la mer Méditerranée à Sedrata.

Notre problématique consiste à donner une description aussi détaillée que possible de toutes les sources hydrothermales de l'extrême Nord est Algérien.

La cartographie des différentes sources, l'interprétation des résultats des analyses chimiques, dans le but de sortir avec une conclusion sur les caractéristiques chimiques des différentes sources hydrothermales.

Les caractéristiques hydro chimiques seront d'un très grand intérêt, dans l'explication des caractéristiques thérapeutiques des différentes sources hydrothermales.

Pour pouvoir éclaircir cette problématique et détailler tous les points soulevés,

Les chapitres suivants ont été abordés :

- Le premier chapitre a concerné une introduction et une situation géographique, où on a présenté les différentes sources hydrothermales de la zone d'étude.
- Le deuxième chapitre présente un cadre géologique, d'une importance capitale dans la présente étude, qui met en évidence le thermalisme dans son cadre géo structural et l'influence de la lithologie sur l'émergence des sources hydrothermales.
- Le troisième chapitre concerne l'étude hydro climatologique, qui nous renseignera sur le bilan hydrique et le remplissage des nappes.
- Le quatrième chapitre concerne l'étude hydrogéologique, l'explication de l'alimentation des aquifères et la relation nappes souterraines et sources hydrothermales.
- Le cinquième chapitre concerne l'étude hydro chimique, qui expliquera les différents paramètres physico-chimique des eaux thermo minérales de la zone d'étude. Cette partie mettra en relief les différents faciès chimiques caractéristiques des différentes sources hydrothermales.
- Le sixième chapitre concernera la partie thérapeutiques des différentes sources hydrothermales de l'extrême Nord est Algérien.
Les spécificités curatives des différentes sources hydrothermales de l'extrêmes Nord est Algérien sont résumés dans un tableau synthétiques
 - Une conclusion générale, où on synthétisera les points importants de la présente étude.

CHAPITRE I :
SITUATION GEOGRAPHIQUE

I-1. Situation géographique:

Le secteur d'étude fait partie du Tell oriental Algérien d'une superficie de 106778 km², allant d'Ouest en Est de l'axe Azzaba – Oued Zénati jusqu'à la frontière Algéro-Tunisienne et du Nord vers le Sud, de la mer Méditerranée à Sedrata. (*Fig.1*)

Le secteur d'étude est délimité par les coordonnées Lambert suivantes:

X₁₋₂ = 890.000 m à 1004.000 m

Y₁₋₂ = 330.000 m à 402.000 m

Plusieurs wilayas sont concernées par cette étude: Skikda, Annaba, El Tarf, Guelma et Souk Ahras.

Sur le plan hydrographique, notre zone d'étude fait partie des bassins suivants:

- Le bassin des côtières Constantinois centre et Est;
- Le bassin de la Seybouse;
- Et le bassin de la Medjerda. (*d'après DIB.H, 2004*)

I-2. Géomorphologie:

Le Tell Algérien est divisé en plusieurs ensembles topographiques présentant chacun des caractères et des structures géomorphologiques propres.

De l'ouest vers l'Est et du Sud vers le Nord, cette région décroît en altitude, on passe donc des régions à modelé montagneux à des plaines littorales marquées par les accumulations Quaternaires.

Les ensembles topographiques qui dominent le secteur d'étude sont:

- La partie Est de la chaîne numidique (les monts de Constantine, Djebel Taya, Djebel Debagh, Djebel Aouara et la Mahouna). A l'Ouest les monts de Medjerda, A l'Est la frontière Algéro-Tunisienne, plus au Nord, les plaines côtières (la plaine d'EL Tarf, la plaine d'Annaba et la plaine d'Azzaba) avec le lac de Fetzara.

Le secteur est délimité au Nord par la série cristallophyllienne de l'Edough et Djebel Filfila et au Sud par les hauts plateaux Constantinois.

- Le Tell Guelmois présente une allure nettement dissymétrique: le versant Sud dominé par de fortes pentes, les vallées d'Oued Bouhamdane et le bassin de Guelma drainé par l'Oued Seybouse, en revanche, le versant Nord descend plus lentement vers le bassin d'Azzaba et le lac de Fetzara séparé l'un de l'autre par le massif de Djebel Safia.

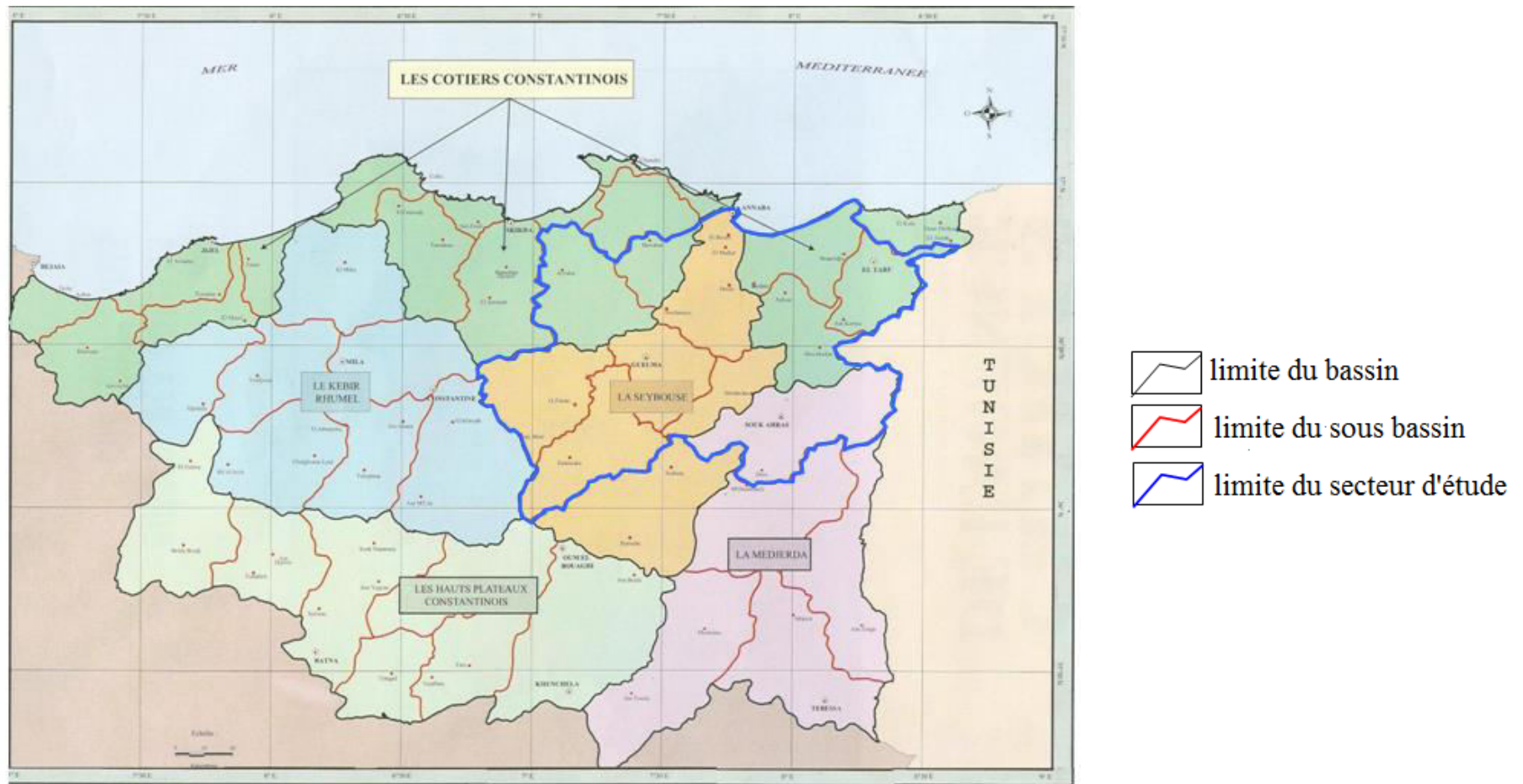


Fig. 01: Carte de situation géographique du secteur d'étude (d'après A.B.H.C.S.M Constantine).

- La succession des sommets Kef Hahouner (1023 m), Djebel Taya (1208 m), Djebel El Grar (1078 m), Djebel Debagh (1060 m), Djebel Aouar (981 m) joue aussi le rôle de ligne de partage des eaux entre les affluents de l'Oued Seybouse (Oued Bouhamdane) au Sud et les affluents de l'Oued El Kebir d'Azzaba du lac Fetzara au Nord.
- Plusieurs petits bassins intra-montagnard sont à signaler: Aïn Charchar, Azzaba, etc...
- Le long de la frontière Algéro-Tunisienne, les monts de la Medjerda constituent une barrière topographique. Cette topographie sommitale peut être suivie depuis les monts de la Medjerda jusqu'au dessus de la plaine d'Annaba et la mer. A El Kala, elle s'incline régulièrement de 500 m à 180m au Nord. Cependant, par endroits elle reste dominée par des massifs comme: Djebel Rhora (1202 m), Djebel Souani (808 m) et Djebel Oum Ali (659 m).

Deux types de bassins peuvent être distingués:

- Des bassins montagneux (le bassin de la Chefa et d'Aïn Kerma).
- Un bassin de plaine (le bassin d'El Tarf et d'Ain El Assel).
- Enfin tout à fait à l'Est, la plaine de Bouteldja correspond à la basse vallée de l'Oued El Kebir – Bougous, occupée sur ses bordures par des étangs marécageux, elle est légèrement bombée de part et d'autre de l'Oued. (*d'après DIB.H, 2004*)

I-3. Réseau hydrographique:

Le secteur étudié est jalonné par un réseau hydrographique très développé dans lequel s'écoulent de grands Oueds tels que: La Seybouse, Oued El Kebir Ouest, Oued Bounamousa, Oued El Kebir Est et Oued Medjerda, qui sont tous exoréiques à l'exception de l'Oued Medjarda qui draine d'une partie la Tunisie.

Ces Oueds prennent naissance des massifs montagneux et au cours de leur trajet, ils sont alimentés par les sources thermales de la région.

La totalité des Oueds sont de direction Sud –Nord.

L'Oued Seybouse dans sa partie amont est de direction Ouest –Est, puis il change sa direction pour devenir rectiligne Sud – Nord.

Selon une direction SW-NE, l'Oued Medjerda prend naissance des sommets se Djebel Rass El Alia (1317 m) de longueur de 106,16 km jusqu'à la frontière Tunisienne.

I-4. Végétation et Agriculture:

Le secteur d'étude est caractérisé par une couverture végétale très dense dominée par les forêts boisées (forêt de l'Oued Soudan, forêt de Bouredine, forêt d'Ouarda, forêt de Ben-Mezzlin et la forêt d'El Hachani, etc...).

Les vastes plaines alluviales (Annaba, El Tarf, Guelma,...) sont occupées par l'arboriculture et maraîchères (cultures des légumes, primeurs, etc...). (d'après *DIB.H, 2004*)

I-5. Climat:

Le climat est de type méditerranéen caractérisé par un hiver froid et humide et un été chaud et sec, influencé par les irrégularités topographiques, il est subhumide dans les régions montagneuses, avec des précipitations allant de 700 mm/An à 1200 mm/An et semi-aride dans les plaines d'Azzaba, où les valeurs de précipitations sont comprises entre 500 et 600 mm/An. (d'après *DIB.H, 2004*)

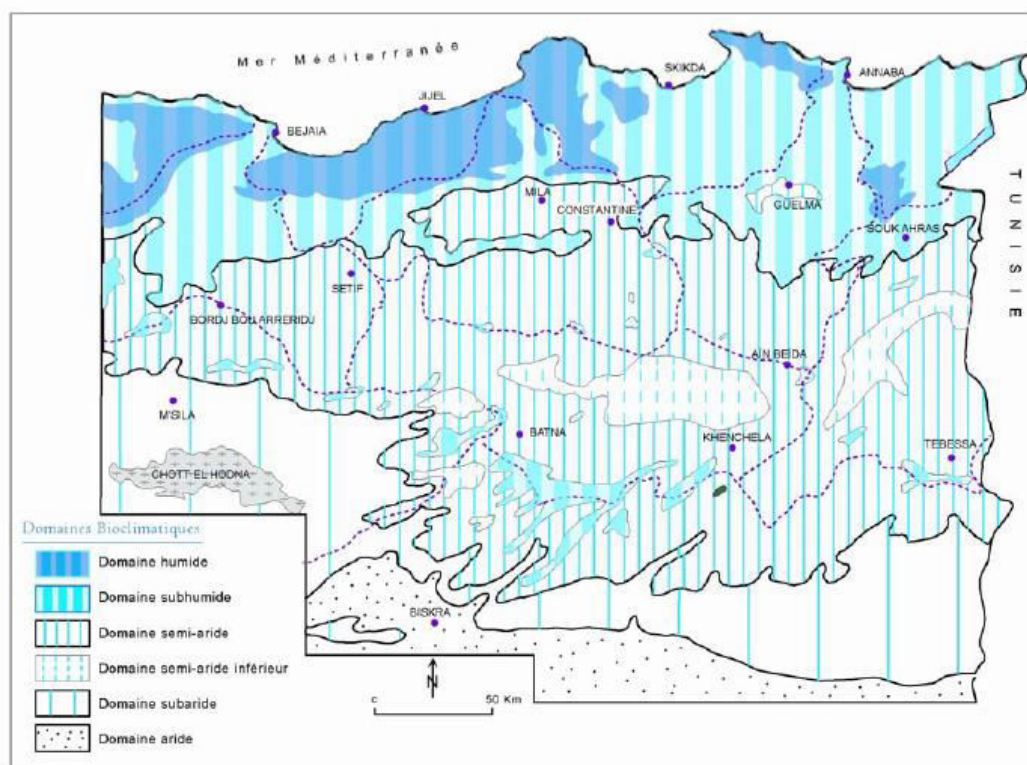


Fig. 02: Carte simplifiée des zones bioclimatiques du Nord -Est Algérien (Établie d'après Cote M, 1998a).

I-6. Habitat, Voies de communication et Tourisme:

Depuis longtemps, l'homme s'installe près de l'eau (chaude ou froide), qui est la source de vie (les ruines romaines) très remarquées dans notre région d'étude, l'habitat est condensé

et localisé au niveau des grandes villes (Souk Ahras, Guelma, Azzaba, Bouhadjar, Héliopolis et Oued Zenati,...).

Les voies de communication sont nombreuses, des routes nationales qui relient les grandes agglomérations et des voies secondaires menant vers les petites agglomérations (villages, mechtats, douars, communes,...).

La présence des sources thermominérales (Belhachani, Guerfa, Zattot, Sidi Trad, Oued Hmimine, Tassa), exige une voie de communication qui est sous forme de routes secondaires ou pistes.

Notre secteur d'étude a de grandes capacités touristiques soit du côté paysage ou de côté archéologique (ruines romaines) ou bien pour le côté sanitaire et loisirs. Mais, malheureusement, on remarque un manque d'investissement dans ce domaine au niveau de la plupart des Hammams, excepté le complexe de Hammam Debagh et de Bouchahrine à Ouled Ali (Guelma).

Pour développer le tourisme et l'économie, il est indispensable d'aménager certaines sources thermales. *(d'après DIB.H, 2004)*

I-7. Les eaux thermominérales en Algérie :

On sait que, depuis les temps les plus reculés, l'homme s'est intéressé aux eaux chaudes qui émergeaient du sol. Cependant les rares informations dont nous disposons en ce domaine ne nous permettent guère de faire remonter l'utilisation des eaux thermales au-delà du néolithique. La découverte à Hammam Meskhoutine de trois petites stèles à figures naïves montre qu'il existait un établissement balnéaire à cet endroit et ce, dès l'époque punique.

Les romains lorsqu'ils occupèrent le royaume numide devaient construire des établissements thermaux sur les principaux griffons et des agglomérations et se développèrent à :

- Aquae Calidae —————> Hammam Righa;
- Aquae Sirenses —————> Hammam Bou Hanifia;
- Aquae Tibilitanae —————> Hammam Meskhoutine;
- Thanera Masa Castra —————> Hammam Berrouaghia.

Mais à coté de ces grands ensembles, on peut constater que partout où l'on trouve une source d'eau chaude, on rencontre également des restes de piscines romaines. De nombreux restes de ces établissements thermaux sont encore visibles dans l'Est Algérien, en particulier :

- Hammam Salihine de Khenchela ou Amamrhas qui est sans doute le monument de ce type le mieux conservé en Algérie ; avec ses deux piscines, l'une rectangulaire, l'autre circulaire, il se trouve à 6Km de l'agglomération en contre bas de la route de Batna ;
- Hammam Meskhoutine avec ses restes de piscines entourées de "villas" et d'établissements militaires ;
- Hammam Bradaa (Heliopolis) et sa piscine ;
- Hammam Beni Guéchat avec également sa piscine ;
- Les piscines et restes d'établissement thermaux ou de galeries de captage de Sidi El Hadj, du Hammam Djendel, d'Oued Cheddi, de N'Bails Nador, de youks les Bains.

Depuis cette époque, l'utilisation des eaux thermales n'a jamais été interrompue, renforcée peut être par l'islamisation qui recommande aussi bien la propreté morale que celle du corps.

C'est en 1823 que furent effectuées les premières études scientifiques sur les thermalismes Algérien et que fut mise en place une réglementation portant sur des données médicales précises.

C'est ainsi que les bains de la Reine à Oran devaient recevoir un agrément le 21 Septembre 1842, celui du Hammam Meskhoutine de Guelma le 12 Décembre 1862. (*d'après DIB.H, 2008*)

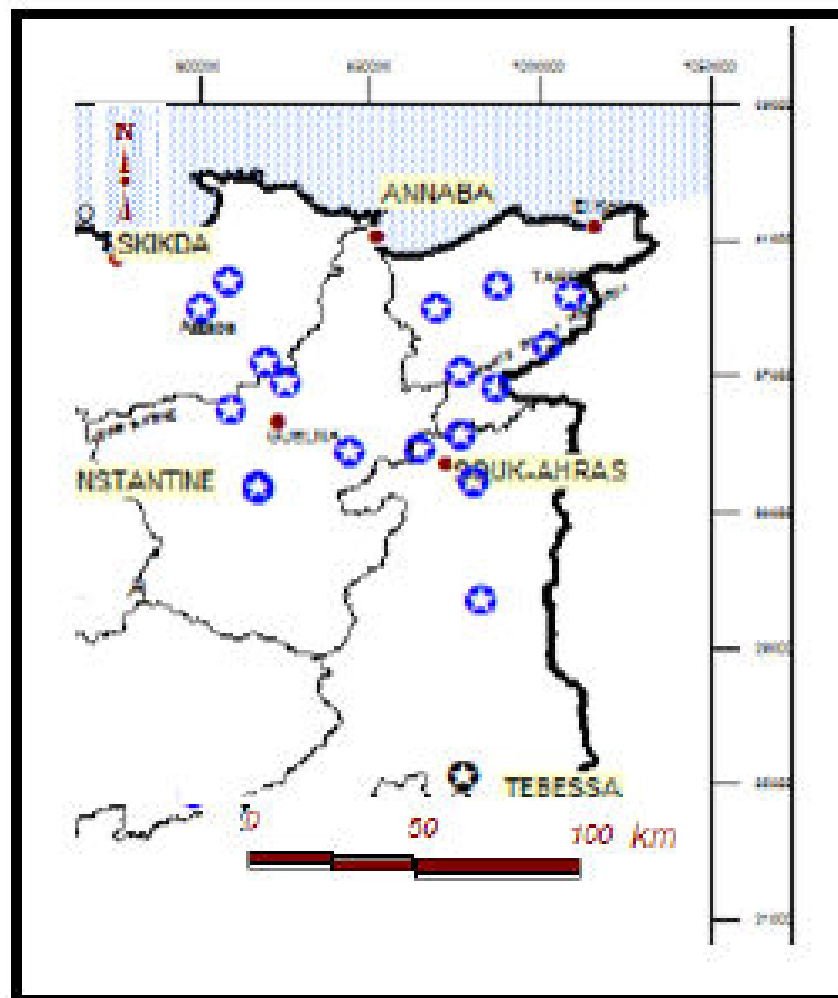


Fig. 03: Les principales sources thermales de l'extrême Nord Est Algérien (d'après fatima zohra Bouchareb Hoouchine, 2012)

I-8. Situation géographique des sources thermales de la région d'étude :

I-8.1. Les sources thermales de Guelma:

I-8.1.1. Source thermale de Hammam Belhachani: (Fig.05)

La source thermale du Hammam Belhachani est située au Sud de Guelma. Elle est située à 10 km d'Aïn Makhoulouf et à 10 km d'Aïn El Arbi.

Cette source se trouve dans une Mechta à 2 km à droite de la route Aïn Mekhlouf – Aïn El Arbi.

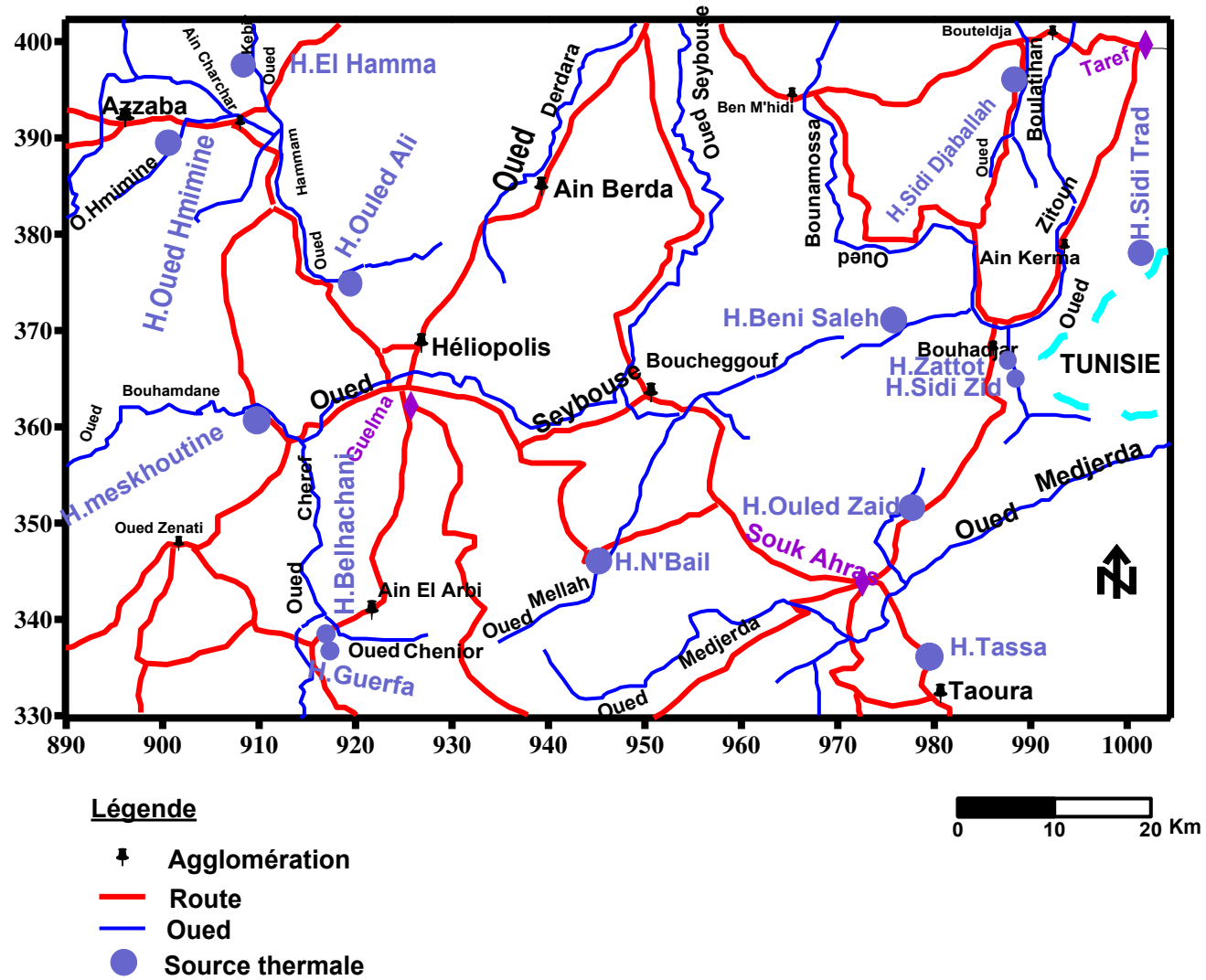
- **Morphologie et allure des griffons:**
 - Source de terrasse;
 - Emergence bien localisée;
 - Eau sort dans une vasque;
 - Présence des dépôts de tufs et de travertins.
- **Aménagement et usage:**
 - Source captée et utilisée;
 - Captage ancien;
 - L'eau sort directement dans un bain (chambre très ancienne) (les autres sources sont utilisées pour l'irrigation).
- **Régime d'écoulement :**
 - Débit sortant constant (365 jours);
 - Débits capté: 0,5 l/s ;
 - Débit des fuites: faible ($\approx 0,50$ l/s).
- **Caractères organoleptiques des eaux:**
 - **Odeur:** de soufre;
 - **Couleur:** incolore;
 - Dégagement de gaz H_2S . (*d'après DIB.H, 2004*)

I-8.1.2. Source thermale de Hammam Guerfa: (Fig.05)

Le Hammam Guerfa est situé à 37 km au Sud de Guelma, sur la route Aïn Mekhlouf – Aïn El Arbi.

La source est située à 500 m de la rive gauche de l'Oued Cheniour.

- **Morphologie et allure des griffons:**
 - Emergence bien localisée;
 - L'eau sort dans un terrain à grande pente;
 - Présence d'anciens griffons et travertins.



Fi g. 04 : Principales sources thermales de la zone d'étude (d'après DIB.H, 2004).

Aménagement et usage:

- Source captée par une conduite à 50 m du bain;
- Utilisée comme une petite station thermale.

- **Régime d'écoulement :**

- Débit constant;
- Nombre de jours d'écoulement: 365 jours;
- Observation des débits: 1,1 l/s

- **Caractères organoleptiques des eaux:**

- **Odeur:** hydrogène sulfuré;
- **Couleur:** incolore;
- Dégagement de gaz H₂S. (*d'après DIB.H, 2004*)

I-8.1.3. Source thermal de Hammam N'Baïls: (Fig. 05)

La station thermale du Hammam N'Baïls est située à 40 km au Sud -Est de la ville de Guelma, au centre de la commune de Hammam N'Baïls et à 2 km de la mine du Nador (Pb, Zn, Fe, An, ...), qui se trouve à l'arrêt actuellement.

- **Morphologie et allure des griffons:**

- Source de terrasse;
- Emergence bien localisée;
- L'eau sort dans une vasque

- **Aménagement et usage:**

- Source captée directement dans les bains;
- Captage ancien;
- Utilisée pour la cure thermale ;
- Débit constant et permanent 5,33 l/s.

- **Caractères organoleptiques des eaux:**

- **Odeur:** inodore ;
- **Couleur:** incolore;
- Présence d'entartrage dans les bains.

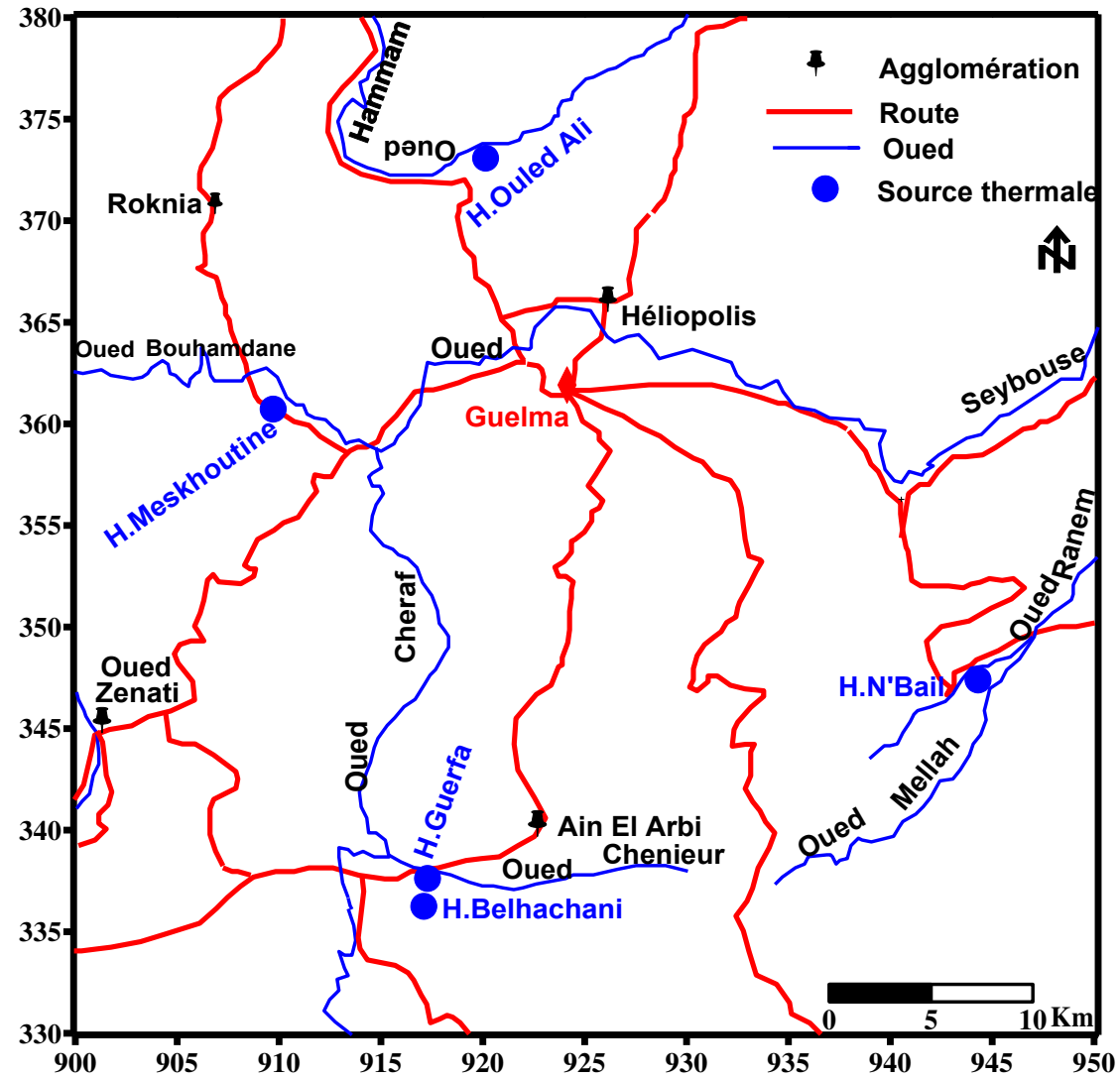


Fig. 05: Carte d'inventaire des sources thermales de Guelma (d'après DIB.H, 2004).

I-8.1.4. Source thermale de Hammam Ouled Ali: (Fig. 05)

La station thermale du Hammam Ouled Ali est située à 12 km au Nord de la ville de Guelma et à 2 km environs à droite de la route Nationale Guelma – Skikda.

Cette station comporte quatre émergences.

- **Morphologie et allure des griffons:**
 - Source de thalweg;
 - Emergence diffusée avec des griffons secondaires;
 - L'eau sort dans une vasque;
 - Présence de dépôts sulfureux, des boues avec des algues.
- **Aménagement et usage:**
 - Source captée et utilisée;
 - Le captage se fait par des conduites des griffons aux réservoirs puis sera pompé pour alimenter les bains;
 - deux complexes thermaux privés bien équipées et une station bain - douche de la commune;
 - Les sources sont utilisées pour la cure thermale;
 - Le débit est constant et permanent;
 - Débit capté: entre 4 et 17 l/s
 - Débit des fuites est de l'ordre de 1 l/s.
- **Caractères organoleptiques et physiques des eaux:**
 - **Odeur:** œufs pourris;
 - **Couleur:** incolore. (*d'après DIB.H, 2004*)

I-8.1.5. Source thermale de Hammam Meskhoutine: (Fig.05)

La station thermale du Hammam Meskhoutine appartient aux eaux hyperthermales, les plus chaudes du monde après les Geysers de l'Islande. Elle est située à 19 km à l'Est de la ville de Guelma et à 4 km sur le coté droit de la route Nationale Guelma – Constantine. Ce Hammam a été construit par les turcs.

Cette station comprend plusieurs griffons hyperthermaux, et nous tiendrons compte surtout la description de l'émergence de cascade.

- **Morphologie et allure des griffons:**
 - Source bien localisée avec des griffons secondaires;
 - L'eau sort jaillissante et en cascade;
 - Présence de dépôts des tufs ou de travertins.

- **Aménagement et usage:**
 - Source captée et utilisée depuis longtemps;
 - Usage: cure thermique et irrigation.
- **Régime:**
 - Débit constant et permanent;
 - Le débit mesuré dans Chebat Aïoun est égal à 70 l/s (selon ANRH d'Annaba, 1969);

NB:

- Plusieurs émergences sont visibles, dont le débit total est très important.
- **Caractères organoleptiques des eaux:**
 - **Odeur:** œufs pourris;
 - **Couleur:** incolore;
 - Dégagement d'Hydrogène sulfuré (H₂S) (*d'après DIB.H, 2004*)

I-8.2. Les sources thermales de Skikda:

I-8.2.1. Source thermique d'El Hamma: (Fig.06)

Le forage thermal d'El Hamma est situé à 15 Km au Nord - Est d'Azzaba. La source se trouve à 5 km au Nord du village d'Oued El Kebir au piémont du Djebel Safia.

- **Morphologie:**
 - C'est une source de plaine;
 - Emergence bien localisée;
 - L'eau sort par un forage.

N.B:

- L'ancien griffon est à 800 m à l'Est du forage;
- C'est une source jaillissante;
- A cause des deux forages, l'émergence a tari (à sec)

- **Aménagement et usage:**
 - Source captée et utilisée;
 - Captage moderne (depuis 2001);
 - Le captage se fait par pompage électrique à 60 m de profondeur;
 - Utilisée pour la cure thermique et l'irrigation;
 - Débit constant et non permanent;
 - Débit capté de l'ordre de 2,25 l/s.
- **Caractères organoleptiques de l'eau:**
 - **Odeur:** inodore;

- **Couleur:** incolore. (*d'après DIB.H, 2004*)

I-8.2.2. Source thermale d'Oued Hmimine: (Fig.06)

La station thermale d'oued Hmimine dite Hammam Essalihine est située au Sud Est de Skikda et à 7 Km à l'Est d'Azzaba. Piste de 3 km depuis la route nationale N°44 jusqu'au Hammam, se trouvant à 20 m de la rive gauche de l'Oued Hmimine.

- **Morphologie:**

- Eau de thalweg;
- Emergence bien localisée avec des griffons secondaires ;
- L'eau sort par un forage;

- **Aménagement et usage:**

- Source captée et utilisée;
- Captage moderne (depuis 1963);
- L'eau sort du puits par pompage électrique à 80 m de profondeur;
- Utilisée en crénothérapie ;
- Le débit de pompage est constant et non permanent. (*d'après DIB.H, 2004*)

- **Caractères organoleptiques de l'eau:**

- **Odeur:** œufs pourris;

- **Couleur:** incolore avec entartrage dans les bains.

I-8.3. Les sources thermales d'El Tarf:

I-8.3.1. Source thermale de Hammam Sidi Djaballah: (Fig.07)

Hammam Sidi Djaballah est situé à 7 km environs au Sud Ouest de Bouteldja à quelques mètres à droite de la route Bouteldja – Echafia.

Ce Hammam a été construit par les turcs.

- **Morphologie et allure des griffons:**

- Source de terrasse, bien localisée.

- **Aménagement et usage:**

- Source captée par une conduite de 20 m menant aux bains;
- Captage ancien;
- La source alimente quatre chambres de bains;
- L'eau est utilisée aussi pour l'alimentation humaine;
-

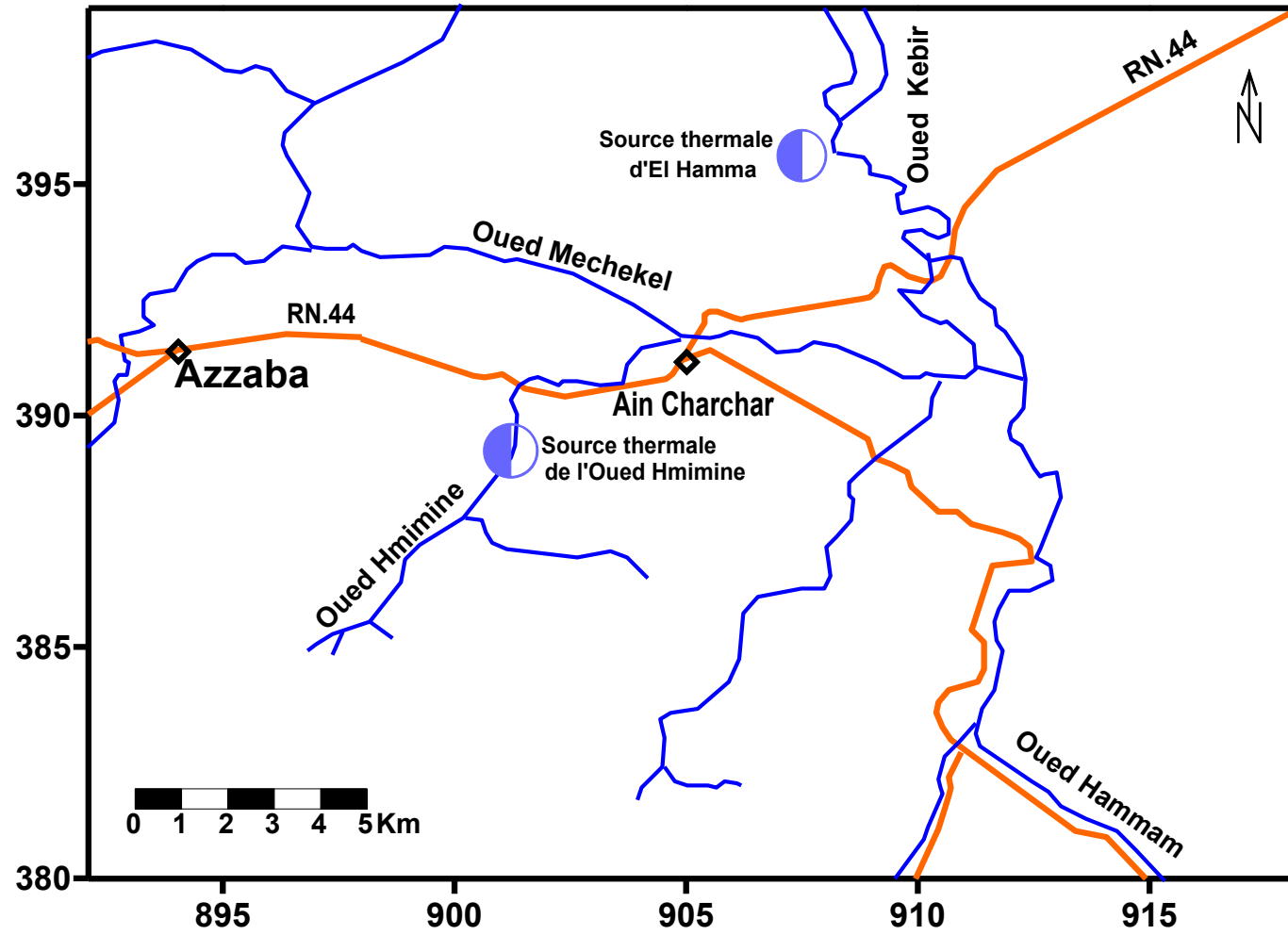


Fig. 06: Carte d'inventaire des sources thermales de Skikda.

- Le débit mesuré est égal 1l/s;
 - Le débit augmente en hiver du fait de mélange avec les eaux de la nappe superficielle ;
 - Débit des fuites: faible.
- **Caractères organoleptiques de l'eau:**
 - **Odeur:** inodore;
 - **Couleur:** incolore. (*d'après DIB.H, 2004*)

I-8.3.2. Source thermale de Hammam Sidi Trad: (Fig.07)

Situé à 1 km de la frontière Algéro-Tunisienne. Hammam Sidi Trad se situe à 40 km environs au Sud d'El Tarf et à 20 km au Sud-Est de Zitouna, dans une région montagneuse isolée.

Ce Hammam a été construit par les romains.

- **Morphologie et allure des griffons:**
 - Source de thalweg au dessous d'une petite falaise;
 - Emergence bien localisée avec des griffons secondaires;
 - L'eau sort en pente forte.
- **Aménagement et usage:**
 - Source captée et utilisée;
 - Captage ancien;
 - L'eau sort des fissures conduites directement au bain par une canalisation de 15 cm de largeur sur une pente forte de distance de 15 m environs ;
 - Utilisée pour crénothérapie;
 - Débit constant et permanent;
 - Débit capté faible;
 - Débit des fuites: faible.
- **Caractères organoleptiques de l'eau:**
 - **Odeur:** inodore;
 - **Couleur:** incolore. (*d'après DIB.H, 2004*)

I-8.3.3. Source thermale de Hammam Zattot: (Fig.07)

Se trouve près de la frontière Algéro-Tunisienne. Hammam Zattot est situé au Sud-Ouest d'El Tarf et à 7 km à l'Est de Bouhadjar.

C'est un ancien Hammam depuis 1830.

- **Morphologie et allure des griffons:**

- Source de thalweg;
 - Emergence bien localisée, constituée de deux griffons juxtaposés;
 - L'eau sort directement dans le bain;
 - Présence des tufs et des travertins.
- **Aménagement et usage:**
 - Source captée (les eaux d'émergence déjettent dans un seul bain);
 - Captage ancien;
 - Captage par une conduite de 1m de longueur;
 - Utilisée pour la cure thermique;
 - Débit constant et permanent.
 - **Caractères organoleptiques de l'eau:**
 - **Odeur:** œufs pourris;
 - **Couleur:** incolore et blanchâtre;
 - Présence d'Hydrogène sulfuré (H₂S).

I-8.3.4. Source thermale de Hammam Sidi Zid :(Fig.07)

Hammam Sidi Zid est situé au Sud-ouest d'El Tarf. Il se trouve à 1,5 Km au Sud de Hammam Zattot à 1 km de la frontière Algéro-Tunisienne, dans une région montagneuse isolée.

Ce Hammam est actuellement abandonné.

- **Morphologie et allure du griffon:**
 - Source de montagne et de thalweg;
 - Emergence diffuse avec des griffons secondaires ;
 - L'eau sort dans un endroit de forte pente et fortement boisé (Djebel Guern Aïcha) ;
 - Les autres émergences du Hammam sont situées en aval au piémont de la montagne sur le long d'Oued Bouhadjar.
- **Aménagement et usage:**
 - Source non captée et utilisée;
 - L'eau sort des grès ou dans le lit de l'Oued (plusieurs émergences sur la rive droite et au milieu de l'Oued) pour se déverser dans ce dernier;
 - Certaines émergences sont construites par des branches des arbres sous forme de petits refuges pour le bain;
 - Utilisée pour la cure thermique;

- Débit constant avec un écoulement de 365/365 jours;
- Le débit mesuré est de l'ordre de 0,5 l/s;
- Le débit des fuites est important.

- **Caractères organoleptiques de l'eau:**

- **Odeur:** inodore;
- **Couleur:** incolore.

I-8.3.5. Source thermale de Hammam Beni Salah: (Fig.08)

La station thermale de Beni Salah est située au Sud-Est d'El Tarf sur environ 10 Km à l'Est du Chef lieu de la Daïra de Bouhadjar. C'est une région peu peuplée.

- **Morphologie et allure du griffon:**

- Source de coteau;
- Emergence bien localisée.

- **Aménagement et usage:**

- Source construite et aménagée;
- Captage moderne mais la source est ancienne;
- L'émergence et les bains sont dans une même chambre;
- Utilisée pour la cure thermale;
- Débit constant et permanent;
- Le débit capté est de l'ordre de 1,5 l/s.

Caractères organoleptiques de l'eau:

- **Odeur:** inodore;
- **Couleur:** incolore. (*d'après DIB.H, 2004*)

I-8.4. Les sources thermales de Souk Ahras:

I-8.4.1. Source thermale de Hammam Tassa: (Fig.08)

Hammam Tassa est situé à 15 Km au Sud-Est de Souk Ahras sur la route Souk Ahras - El Kef. La source jaillit sur la rive droite de l'Oued El Hammam.

- **Morphologie:**

- Eau de thalweg;
- Emergence bien localisée;
- L'eau sort à travers une vasque;

On observe la présence de dépôt sulfureux.

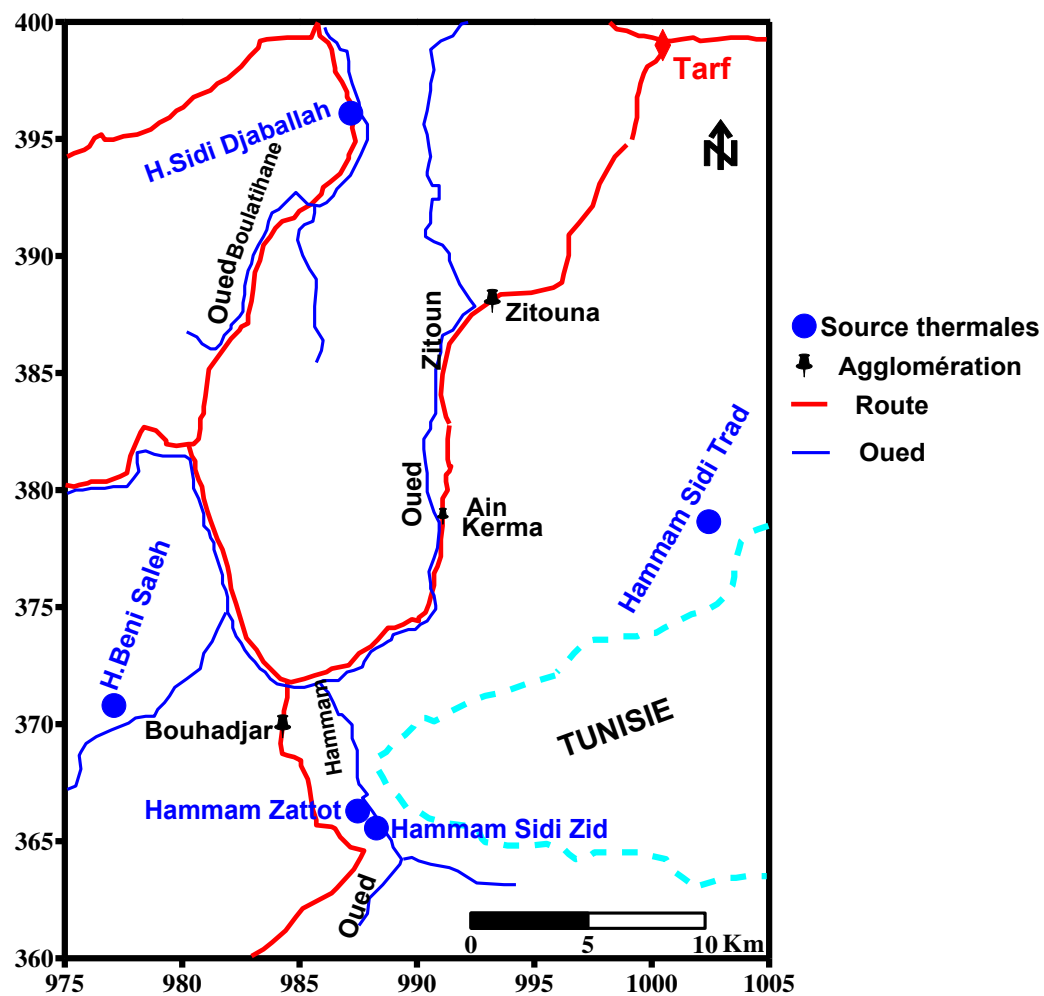


Fig. 07 : Carte d'inventaire des sources thermales d'El Tarf (d'après DIB.H, 2004)

- **Aménagement et usage:**
 - Source captée et utilisée;
 - Captage ancien;
 - L'eau sort directement dans un bain;
 - Débit sortant constant (365 jours);
 - Débit capté est de l'ordre de 2 l/s.
- **Caractères organoleptiques de l'eau:**
 - **Odeur:** œufs pourris;
 - **Couleur:** incolore;
 - Dégagement du gaz H₂S. (*d'après DIB.H, 2004*)

I-8.4.2. Source thermale de Hammam Ouled Zaïd: (Fig.08)

Hammam Ouled Zaïd se situe à 10 Km au Nord-Est de Souk Ahras à 3 Km au Nord-Ouest du Douar Sidi Serdouk, la source émerge dans des marnes noires et Marno - calcaires du Lutétien. Elle sort à quelques mètres sur la rive droite de l'Oued El Hammam.

- **Morphologie:**
 - L'émergence sort au piémont du Djebel El Hammam;
 - Emergence bien localisée;
 - L'eau sort à travers une fissure servant directement aux bains;
 - Présence de dépôts sulfureux.
- **Aménagement et usage:**
 - Source captée par une conduite de 10 mètres;
 - Utilisée pour le traitement thermal;
 - Le débit irrégulier, il augmente en hiver par le mélange des eaux avec les eaux pluviales qui s'infiltrent à travers les fissures;
 - Le débit capté est de l'ordre de 3 à 4 l/s.
- **Caractères organoleptiques de l'eau:**
 - **Odeur:** œuf pourri;
 - **Couleur:** incolore;
 - Dégagement du gaz H₂S. (*d'après DIB.H, 2004*)

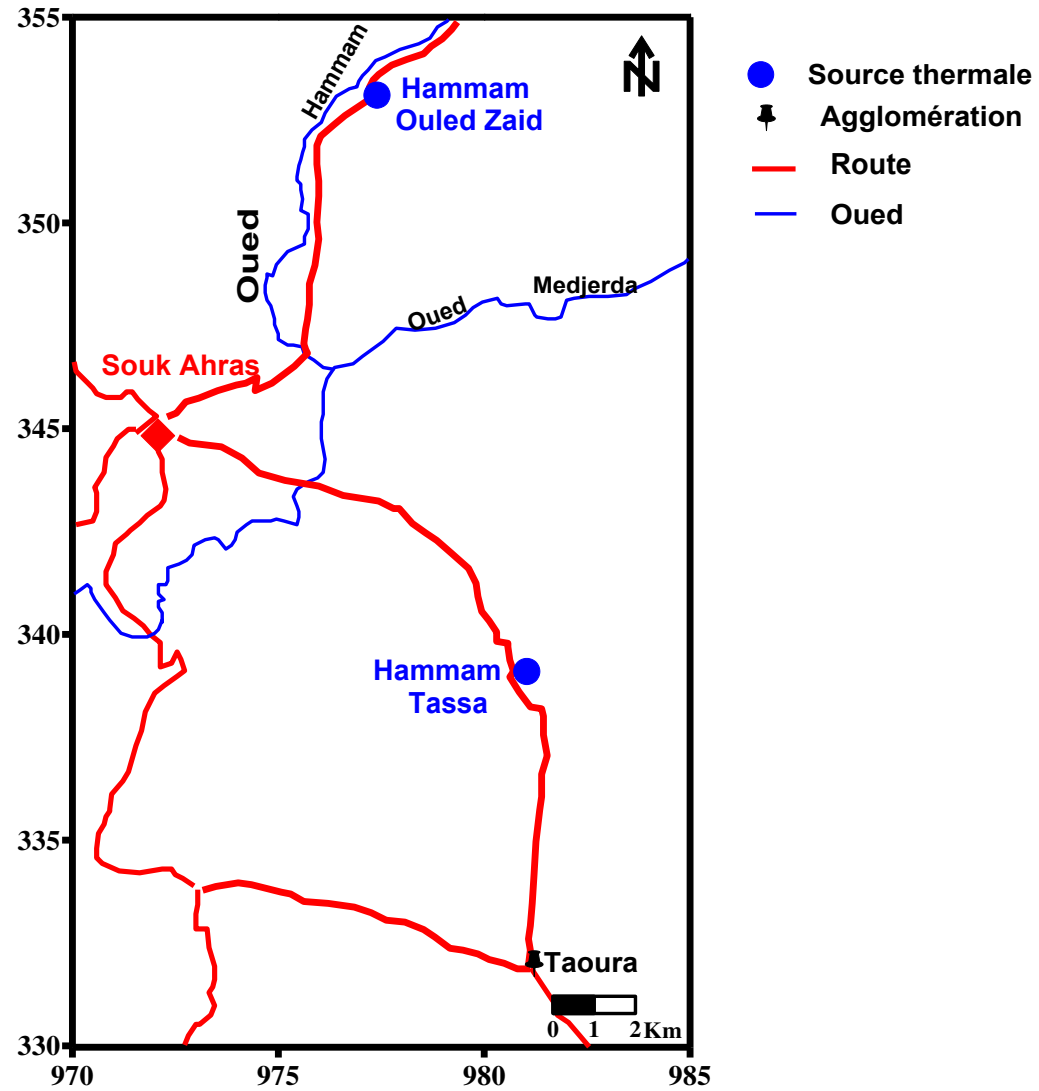


Fig. 08 : Carte d'inventaire des sources thermales de Souk Ahras (d'après DIB.H, 2004)

CHAPITRE II :
CADRE GEOLOGIQUE

L'étude géologique et structurale du secteur étudié est d'une importance capitale pour la connaissance des gisements hydrothermaux (origine, circulation des eaux etc...) et par conséquent, il existe une relation étroite entre la lithostratigraphie, la tectonique et les sources thermales.

Pour cela, un aperçu géologique et tectonique permet de comprendre les phénomènes des circuits hydrothermaux. (*DIB. H, 2004*)

II-A. La Géologie:

II-A.1. Localisation de la zone d'étude:

Le Tell Algérien n'est qu'une partie de l'Atlas tellien, en effet, il s'agit d'une montagne typiquement méditerranéenne (de par sa position, son climat, son relief et sa structure).

Les travaux des Géologues, dans l'Est Algérien, ont permis de mettre en évidence plusieurs unités structurales, du Nord vers le Sud:

- Le socle kabyle et la chaîne calcaire;
- Les séries des flysch (maurétanien et massylien);
- Les séries telliennes;

Par ailleurs, recouvrant ces unités, on trouve:

- Les argiles et les grès numidiens;
- Les formations continentales post-nappes d'âge Miocène du bassin de Constantine;
- Le Pliocène marin des plaines littorales.

Le caractère principal est un empilement de nappe qui implique un déplacement latéral de grande ampleur. Cette mise en mouvement est le résultat de plusieurs phases tectoniques importantes et de styles variés (écaillage, charriage, décrochement, failles normales, etc...). (*DIB. H, 2004*)

II-A.2. Etude lithostratigraphique des unités tectoniques: (Fig. 11)

Le tell Algérien apparaît comme une mosaïque d'affleurements de roches variées. Ainsi, on y rencontre des granites, flysch, calcaires, marnes, argiles, etc...

Les travaux de *J.F. Raoult, P.P. Bouillin* et *J.M. Vila* dans l'Est Algérien, ont permis de distinguer les unités antérieures au Lutétien et les unités postérieures à cette première phase tectonique et enfin les formations post-nappes. (*DIB. H, 2004*)

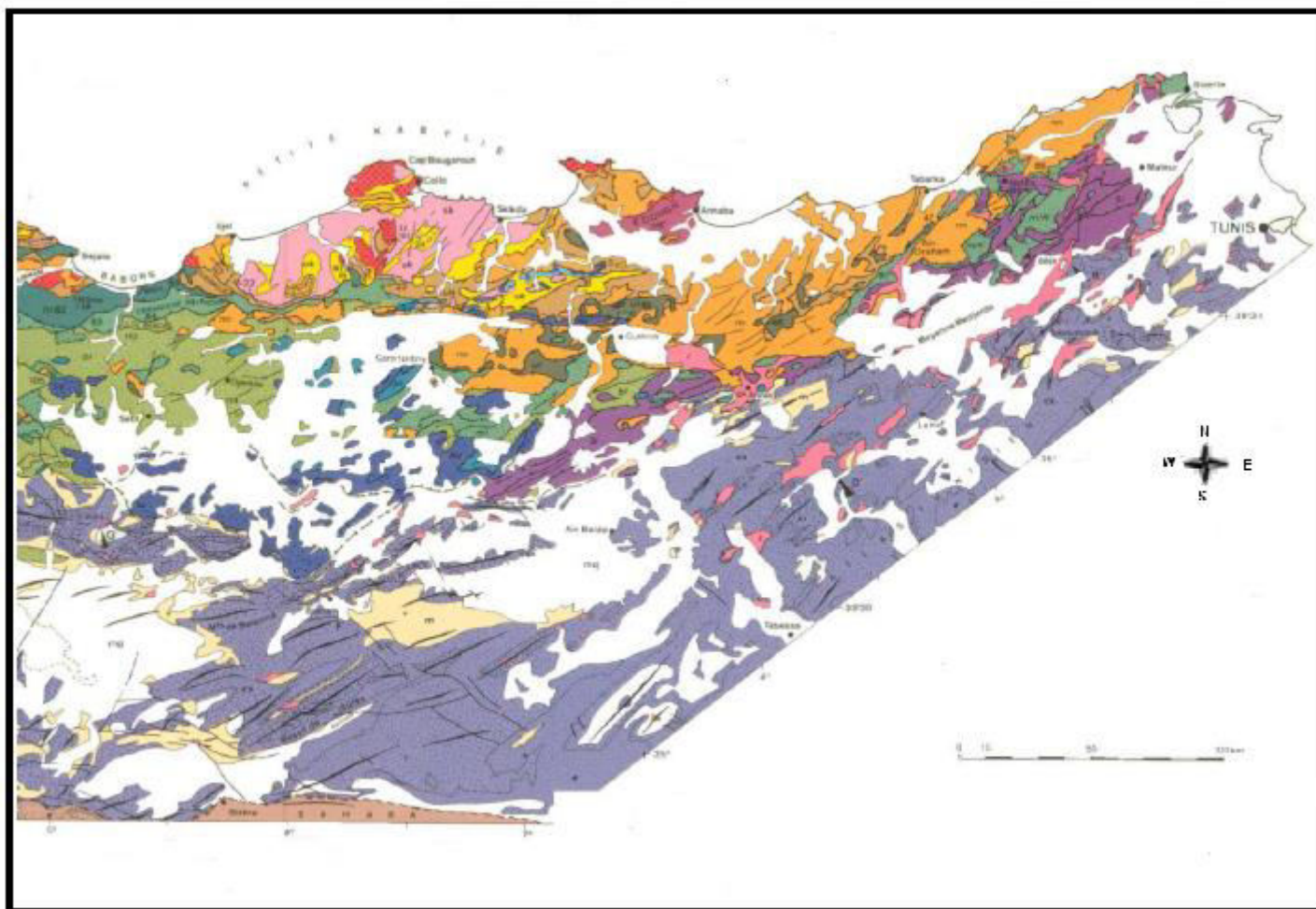


Fig. 09: Carte structurale de la chaîne alpine d'Algérie orientale (d'après J.M.Vila, 1978).



II-A.2.1. Les unités antérieures au Lutétien:

II-A.2.1.1. Le socle kabyle:

- On désigne par "le socle kabyle", toutes formations paléozoïques qui servent ou qui ont servi de substratum à la chaîne calcaire.
- Le socle kabyle affleure surtout à l'Ouest de Skikda. Ailleurs, et notamment dans la chaîne calcaire, on ne retrouve cette formation que sous la forme de petits lambeaux.
- Il paraît être constitué de trois ensembles superposés:
 - Deux ensembles métamorphiques et un ensemble principalement sédimentaire. L'ensemble métamorphique inférieur est formé de gneiss à biotites et muscovites avec intercalation de marbres et d'amphibolites.
 - Au dessus, vient reposer le deuxième ensemble métamorphique, constitué de phyllades ou de schistes satinés (200 à 300 m d'épaisseur) gris, gris bleuté, parfois bleu vif, rosé ou verdâtre, avec de nombreux quartz d'exsudation à la base, ainsi que des porphyroïdes ocellés blancs ou verdâtre, à litage grossier et filons de quartz.
 - Enfin, le troisième ensemble visible à l'intérieur, dans la chaîne numidique où il sert de base aux séries mésozoïques et cénozoïques calcaires. A la base de cet ensemble se trouvent des formations épaisses de 50 à 100 m attribuées à l'Ordovicien – Silurien, elles sont constituées de grawakes, de spilites, d'amphibolites et des schistes. Au dessus, des calcaires de faciès variables datés du Dévonien. Enfin cet ensemble se termine par des schistes et pélites gris verdâtres, avec débris de quartz et conglomérats à la base; ce matériel est attribué au Carbonifère.
- A l'Est de Skikda, le Djebel Safia apparaît en fenêtre sous le socle kabyle. (*DIB. H, 2004*)

II-A.2.1.2. La chaîne calcaire: (Fig. 12)

Elle est développée sur 90 km d'Ouest en Est depuis le Djebel Sidi Driss jusqu'à Bekkouche Lakhdar (ex: Gastu).

Les principaux sommets correspondent à des affleurements de calcaires dont la datation s'étend du Lias inférieur au Lutétien. Ces séries constituent la dorsale calcaire.

Dans cet ensemble les séries sont condensées, lacuneuses et de faciès variés.

J.F.Raoult(1974) et *J.M. Vila* (1980), ont défini trois sous zones: interne, médiane et externe. Pour chacun de ces ensembles, les faciès et l'épaisseur des calcaires sont différents.

a. la chaîne calcaire interne:

Le Permo-trias gréseux est toujours réduit à quelques affleurements. Après un Trias supérieur et un Lias basal, où se sont déposés des calcaires néritiques, la sédimentation prend, au Corixien – Domérien, un caractère pélagique qui se maintient jusqu'au Néocomien. Après une longue lacune qui va depuis le Barrémien jusqu'au Sénonien supérieur, la mer revient au Paléocène – Yprésien et dépose les calcaires massifs du Nummulitique I.

Ces calcaires massifs, dont la sédimentation a été interrompue par la phase tectonique du Lutétien supérieur, constituent un trait majeur du paysage de la chaîne calcaire interne.

b. la chaîne calcaire médiane:

- Les formations de la chaîne calcaire médiane ont comme caractère la présence de calcaires à microfaunes pélagiques du Crétacé supérieur au Lutétien. A la différence de la chaîne calcaire interne, le Nummulitique I ne présente pas de calcaires massifs. Ce caractère n'est pas favorable à la réalisation de belles formes karstiques.

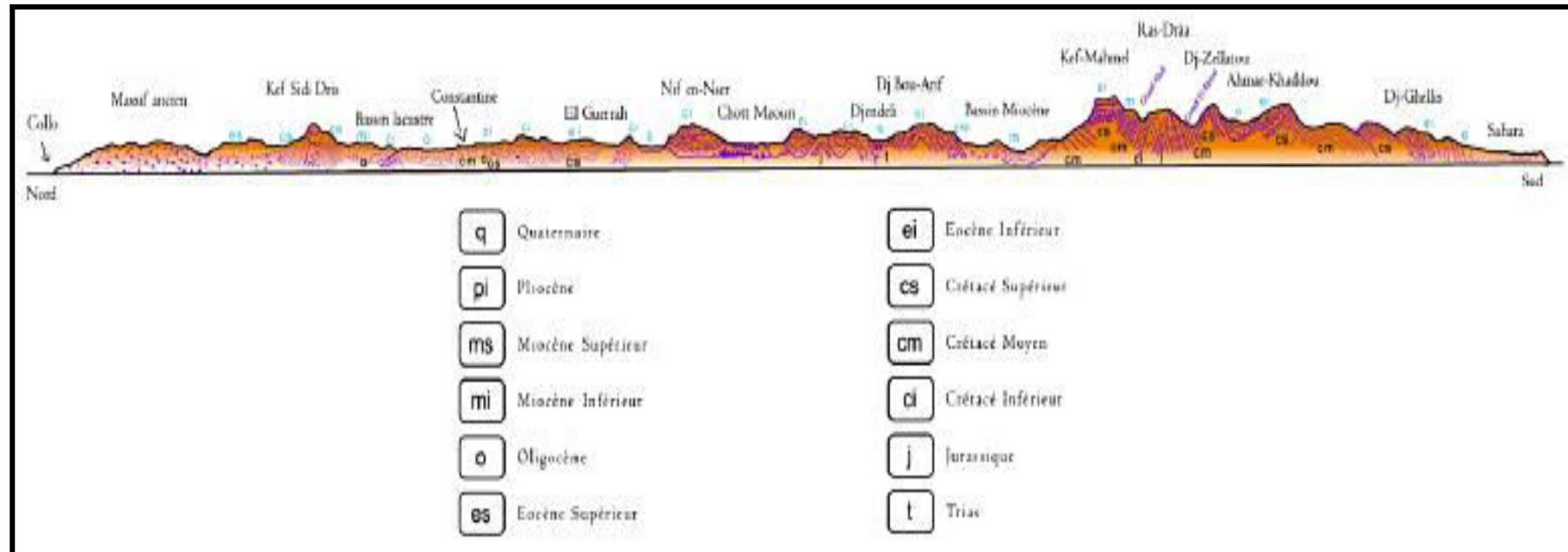


Fig. 10 : Profil géologique Nord-Sud de l'Est Algérien (d'après Atlas d'Algérie et de Tunisie, fasc. I, Carte géologique, 1925).

c. La chaîne calcaire externe:

Les séries de la chaîne calcaire externe ont pour caractère une forte épaisseur de calcaires massifs du Lias inférieur dans lesquels des formes karstiques ont pu se développer. En revanche, les calcaires du Nummulitique I ont laissé la place à des conglomérats à gros galets et blocs. (*d'après DIB. H, 2004*)

II-A.2.1.3. La série des flysch kabyles: (Fig.13)

Deux séries nettement caractéristiques ont été définies:

Paléo géographiquement et du Nord au Sud, ce sont les flysch mauritaniens et les flysch massyliens. Mais à côté on a pu reconnaître des séries dites "mixtes" ou apparentées au maurétanien et d'autre dites "atypiques" à microbrèches et à fortes affinités telliennes. Ce sont là des faciès de transition qui montrent le passage progressif entre ces différents faciès.

a. Les flysch maurétaniens et les séries apparentées:

Ces séries sont composées d'alternance de bancs argileux, calcaires et gréseux, ce qui multiplie les couples roches dures sur roches tendres. Cependant de nombreuses variations de faciès sont à signaler entre le flysch maurétanien et les séries qui lui sont apparentées.

Le terme maurétanien rassemble, aujourd'hui, les séries antérieurement distinguées par les noms de flyschs de Guerrouch et de flysch de Penthievre.

b. Le flysch massylien:

Il présente une part importante de marnes et d'argiles. Les bancs durs (grès et calcaires) sont très minces et n'empêchent pas l'érosion.

En 1974, *J.F.Raoult* le définit comme une série "ne comportant que le flysch "Albo-Aptien", argilo-quartzitiques à bancs décimétriques des niveaux du Vraconien au Turonien inférieur montrant soit des phtanites, soit des brèches colorées du Sénonien marno-microbréchique (flysch à microbrèches).

c. Les séries atypiques à microbrèches et à fortes affinités telliennes:

Ces séries ont été définies par *J.M.Vila* dans les confins Algéro-Tunisiens (série dite de type Adissa), dans la région de Guelma et surtout autour du lac Fetzara

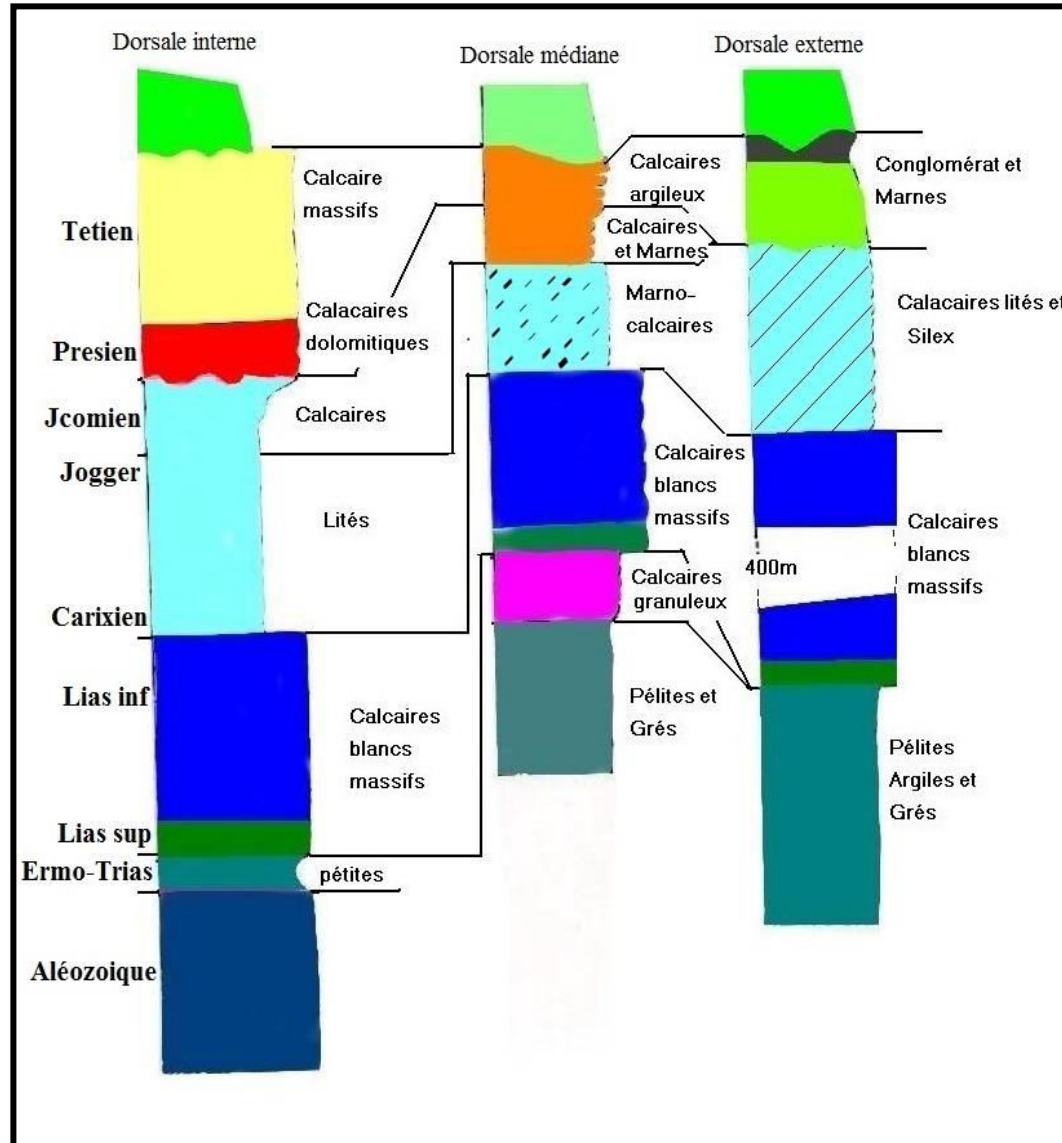


Fig. 12: Colonnes stratigraphiques et Synthétiques de la chaîne calcaire (d'après J.F.Raoult, 1974).

Dans ces séries, et par rapport au flysch massylien, on doit remarquer que le flysch à microbrèches du Sénonien a un faciès nettement plus riche en marnes. Enfin il existe un Eocène type "Adissa" avec des intercalations microbréchiqes claires semblables à celles du Sénonien à microbrèches avec des éléments remaniés de même nature et des silexites.

(d'après DIB.H, 2004)

II-A.2.1.4. Les séries telliennes:

On a pu définir plusieurs séries telliennes. Paléo géographiquement et du Nord au Sud, on distingue:

- les séries ultra-telliennes;
- les séries telliennes stricto-sensu;
- et les séries pénitelliennes.

Dans la partie du Tell oriental Algérien qui nous intéresse ce sont les séries ultra-telliennes.

✚ Les séries ultra-telliennes: (Fig. 13)

Elles se caractérisent par un faciès essentiellement marneux et clair avec quelques bancs de calcaires. De plus quelques bancs de calcaires plus ou moins épais sont responsables des petits espacements.

Dans le Djebel Bousbaa, au dessus de Guelma, **J.M.Vila** a pu observer une série allant de l'Aptien au Lutétien.

A l'Est de Skikda, les Djebels Safia et Filfila isolent la vallée de l'Oued Saf Saf de la plaine du Guerbès. Ces deux massifs présentent une série mésozoïque affectée par un épimétamorphisme net, plus marqué au Nord qu'au Sud.

M. Durand Delga, J.F.Raoult et J.M.Vila ont montré que le Djebel Safia est en position de fenêtre sous le socle kabyle et ils ont proposé l'appellation de "zone prékabyle". (Fig. 13)

Ces séries dites "prékabyles" présentent des caractères composites. En effet les faciès du Jurassique au Barrémien (calcaire et marne) ont des affinités avec les séries telliennes; les plus récentes sont de type flysch (Abo-Aptien).

- La série des Djebels Safia et Edough, est donc rattachée au domaine ultra-tellien.
- Le massif de l'Edough est donc le seul massif cristallin externe.
- Les séries telliennes stricto-sensu et les séries péni - telliennes sont quasiment inexistantes dans la partie du Tell oriental algérien qui nous intéresse. *(d'après DIB.H, 2004)*

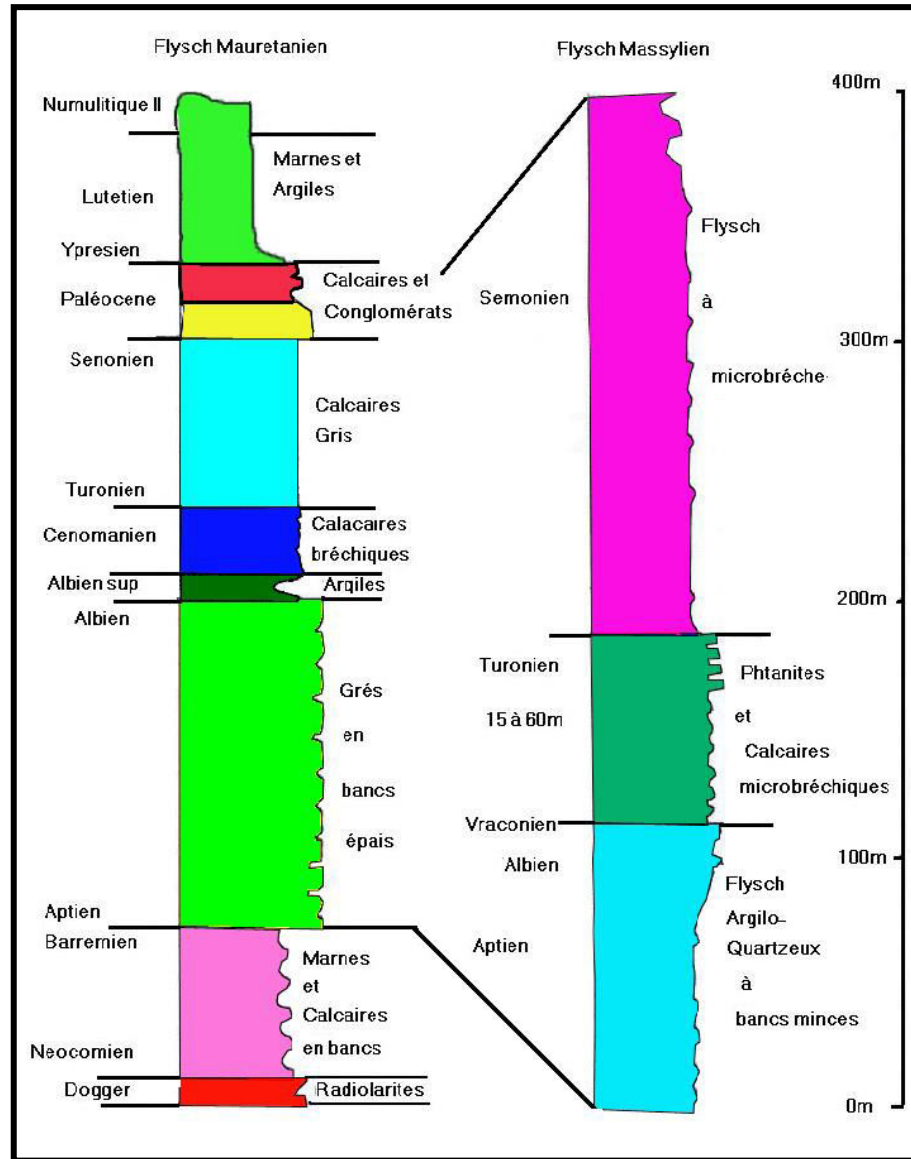


Fig. 13: Colonnes stratigraphiques et Synthétiques des séries du flysch Mauritanien et du flysch Massyien (d'après J.F.Raoult, 1974).

II-A.2.1.5. La nappe néritique constantinoise: (Fig.14)

Plusieurs affleurements, dispersés par la tectonique, sont visibles, dans la région étudiée. Au Nord-Ouest de Guelma, ce sont les Djebels Debagh, Taya, El grouz et le Kef Hahoune.

Les récents travaux de *J.M.Vila* (1977 et 1980) ont permis de mieux connaître cette série et de dégager la colonne stratigraphique synthétique.

Ces épaisses formations carbonatées sont le siège d'une grande variété de formes karstiques. (*d'après DIB.H, 2004*)

II-A.2.2. Les unités stratigraphiques postérieures au Lutétien:

A partir du Priabonien, des mouvements tectoniques se succèdent et modifient la paléogéographie. Ces diverses phases tectoniques sont responsables d'une série de discordances. Ceci nous amènera à distinguer plusieurs séries:

II-A.2.2.1. Les séries stratigraphiques à la phase tectonique d'âge Alpin:

a. Les formations priaboniennes à blocs:

Dans le Tell oriental Algérien, ces séries n'affleurent que dans la région d'Ain Kerma le long de la frontière Algéro-Tunisienne.

Il s'agit d'une formation à blocs de 2 m au maximum de longueur dont l'origine est à chercher dans les séries ultra-telliennes ou dans les flyschs massyliens. Les marnes encaissantes ont au contraire fourni une faune priabonienne.

Les formations du Nummulitique II et l'Oligo-Miocène Kabyle sont absentes dans notre région d'étude.

b. Les séries argilo-gréseuses numidiennes: (Fig.15)

Les séries numidiennes prennent une plus grande extension dans la chaîne numidique. Ce sont en effet, les séries qui constituent les reliefs autour d'Azzaba, au Sud du lac Fetzara et dans l'arrière pays d'Annaba, jusqu'à la frontière Tunisienne.

Elle est très étendue sur tout le Nord –Est de notre secteur.

On appelle série numidienne l'ensemble des trois termes suivants en continuité stratigraphique. (Fig.15)

- Argiles sous numidiennes varicolores contenant des Tubotomaculum;
- Grès numidiens de couleur blanc jaunâtre avec une patine ferrugineuse. Ils se présentent en bancs épais de 0,5 à 3 m. ils sont l'élément fondamental de la série.
- Argiles supranumidiennes de couleur verdâtre à rouge sombre avec intercalation de silixites à patine blanchâtre à rouille et à cassure grise.

En effet, les séries numidiennes jouent un rôle particulier dans les modelés, à cause de la présence des grès qui donnent naissance à des massifs boisés limités par des escarpements à corniches rocheuses. (*DIB.H, 2004*)

II-A.2.2.2. Les formations post-nappes:

Les dépôts du Miocène moyen et terminal, tant dans leur faciès marin que dans leur faciès continental, sont franchement discordants sur toutes les unités antérieures et représentent ainsi les formations "post nappes", affleurent surtout dans les régions littorales.

(*DIB. H, 2004*)

✚ Les petits affleurements orientaux:

J.M.Vila, 1980 signale seulement deux affleurements au Sud d'Azzaba qui présentent des marnes fini-Burdigalien, et les argiles gris bleu de Dréan datées aussi de la fin du Burdigalien.

(*DIB. H, 2004*)

II-A.2.2.3. Les roches éruptives miocènes:

Les granites sont visibles dans les massifs du Cap Bougaroun des Beni Touffout et dans le Djebel Filfila à l'Est de Skikda. Ce sont là les seules roches de ce type connues dans le tell.

II-A.3. Alimentation des aquifères:

Au niveau du Tell et du domaine kabyle, s'il est vraisemblable qu'une partie des eaux alimentant les griffons thermaux a pu être mise en réserve aux périodes de surabondance du quaternaire, il n'en est pas moins vrai que des recharges actuelles se produisent comme le montrent les datations effectuées sur le Hammam Grouz ou par *A.Isser* pour les Djebels Guérioun et Fortasse.

Etudiant "l'hydrogéologie du massif calcaire créacé des monts de Constantine" *G.Durozoy*, constatait qu'avec des précipitations moyennes de 450 mm et une infiltration qu'il estimait à 75 mm soit 16,7 % au niveau des Djebels Guérioun et fortasse, on avait pour un impluvium de 180 km² une mise en réserve de 13,5 millions de m³.

Pour *G.Durozoy*, les sources des environs de Constantine "étant la plupart thermales, l'eau remontant d'une profondeur assez grande a pu circuler sur des distances considérables...

On peut alors envisager une alimentation lointaine les liaisons hydrauliques pouvant s'effectuer en profondeur par le Jurassique moyen et supérieur qu'on est stratigraphiquement et paléo géographiquement fondé à supposer exister sous le créacé inférieur affleurant sous les formes de dolomies et de calcaires dolomitisés". (*DIB.H, 2004*)

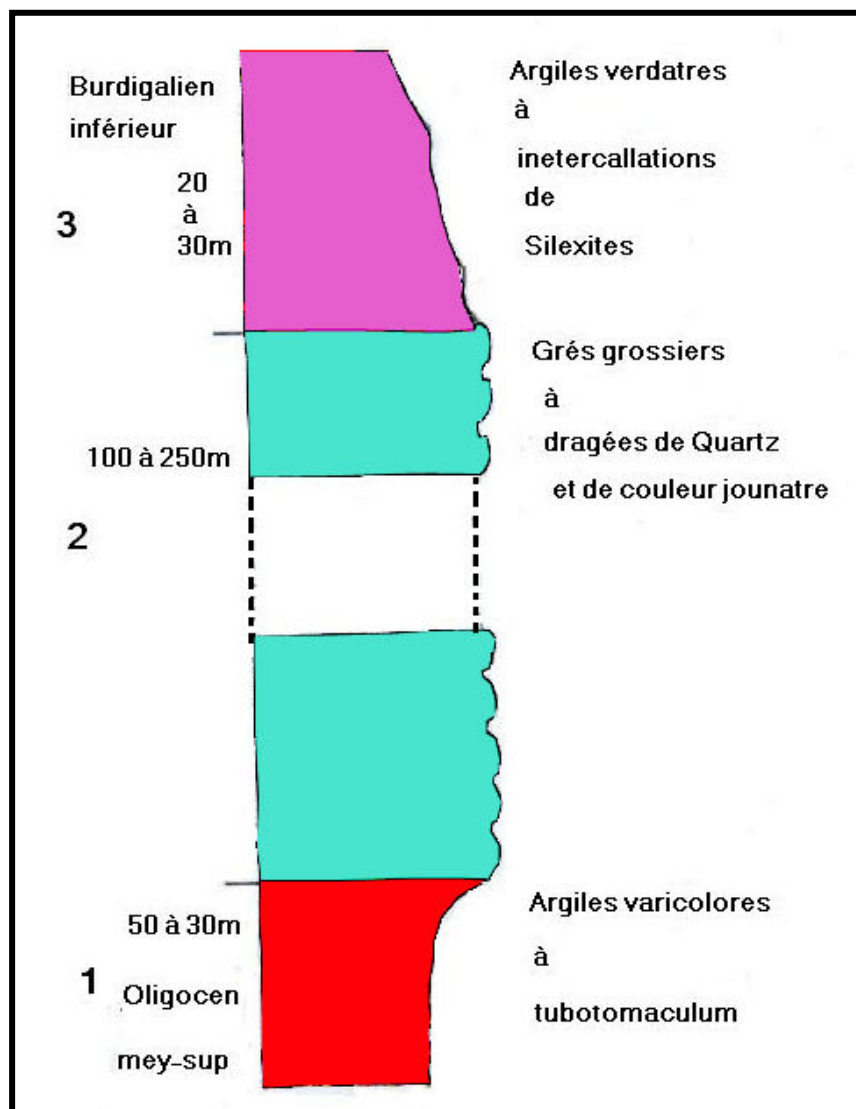


Fig.14 : Colonne stratigraphique et synthétique de la nappe Nérétique du Constantinois (d'après J.M.Vila, 1977).

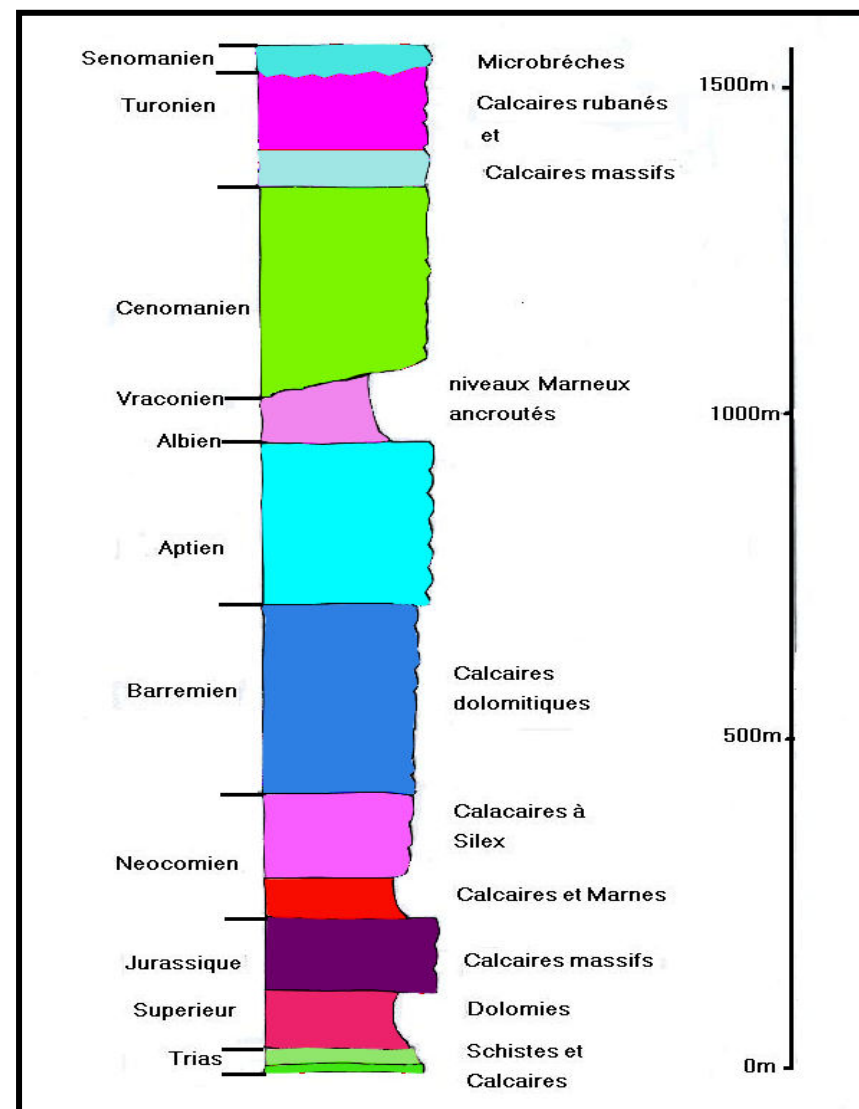


Fig. 15 : Colonne stratigraphique et synthétique de la série Numidienne (d'après J.F.Raoult, 1974).

Dans le fait que de nombreux massifs calcaires ne présentent pas d'exutoires visibles, semble militer en faveur de l'hypothèse de *Durozoy*. Dans leur grande majorité, les griffons – thermaux sont alimentés par les grands massifs calcaires de l'Est Algérien sans qu'il soit tenu compte de leur âge.

En général, les nappes profondes des massifs calcaires comporteraient des réserves exploitables assez importantes, mais difficiles à chiffrer avec précision à l'état actuel de nos connaissances. Le régime hydrogéologique de ces aquifères nécessite d'être précisé par des prospections géophysiques et des forages de reconnaissance ainsi que par des techniques isotopiques. (*DIB.H, 2004*)

II-B. La tectonique:

II-B.1. Paléogéographie de la région: (Fig.16)

II-B.1.1. Les phases tectoniques anté- miocènes et miocènes:

II-B.1.1.1. Les mouvements précoces:

Dans la chaîne calcaire, les indices de mouvements précoces sont nombreux et apparaissent dès le Jurassique où l'on observe des brèches liasiques.

Dans le sillon des flyschs, qui auraient enregistré les effets d'une phase tectonique ayant affecté une région plus ou moins lointaine sans être eux même touchés par la tectonique.

Le flysch massylien ne connaît plus aucune sédimentation après le Sénonien. Il y aurait donc là l'indice d'un premier rétrécissement du sillon des flyschs.

Dans les séries ultra –telliennes, des conglomérats sont les indices de mouvements d'âge Crétacé supérieur.

Le domaine néritique constantinois semble être resté assez stable pendant le Jurassique et le Crétacé, il a vraisemblablement émergé à la fin du Sénonien. (*DIB. H, 2004*)

II-B.1.1.2. La phase tectonique atlasique:

Dans la chaîne des calcaires, une phase tectonique tangentielle postérieure au dépôt du Nummulitique II, a pu être mise en évidence par *J.M.Raoult* dès 1974, dans la région du Djebel El Ghedir et du Djebel Bouabed, où l'on voit deux séries de la chaîne calcaire tectoniquement superposées avec une flèche de 1,5 km minimum.

Ainsi au "Lutétien terminal – Priabonien inférieur", une phase tectonique majeure a provoqué dans la chaîne calcaire des chevauchements importants. C'est à cette époque que les unités de la chaîne calcaire interne et médiane ont été charriées sur la chaîne calcaire externe.

En 1980, *J.M.Vila* montre que la phase priabonienne est responsable d'un raccourcissement de l'ordre de 200 à 250 km dans le Constantinois, et donc d'un rapprochement du même ordre entre la plaque africaine et le bloc d'Alboran. Il s'agit donc là d'une phase tectonique majeure. (*DIB. H, 2004*)

II-B.1.1.3. La phase alpine:

A la fin de l'Oligocène, on peut considérer que les structures impliquant la superposition: Socle kabyle, sur flysch maurétanien, sur flysch massylien, sur série tellienne, sont réalisées pour l'essentiel de la fin de l'Oligocène au Burdigalien.

En position méridionale, la sédimentation numidienne se développe sur le flysch massylien, qui est lui-même probablement charrié sur les unités telliennes. En position septentrionale, le domaine où s'est sédimenté le Nummilitque. Il est animé de mouvements actifs et constitue un bourrelet.

Ce bourrelet avait une morphologie dissymétrique puisque aucun élément n'a glissé vers le Sud, alors que des Olistostromes se sont mis en place vers le Nord, en effet, c'est à l'Oligocène supérieur et surtout à l'Aquitainien, que des lambeaux de flyschs se sont détachés et ont glissé vers la mer où se sédimentait l'Oligo- Miocène kabyle, avec la surrection progressive de ce bourrelet, on observe le plissement successif des lambeaux de flysch maurétanien posés tectoniquement sur le flysch massylien, puis des lambeaux de flysch massylien, et enfin les unités telliennes.

Cette surrection du bourrelet est probablement due au fait que la base de la région où se sont empilées les séries de flyschs était cristallisée par une avancée vers le Sud du socle kabyle. Cet épisode s'est prolongé avec un décalage dans le temps et dans l'espace, l'avancée du socle se continuant vers le Sud, la région où se sédimentait le Numidien joue à son tour en bourrelet, ce qui provoque le charriage vers le Sud de la nappe néritique du constantinois et la dislocation de la série numidienne qui glisse, vers le Nord, en position supra kabyle et vers le Sud, dans le Constantinois, au dessus des séries telliennes et de la nappe néritique, ce dernier épisode est placé au Burdigalien supérieur – Helvetien et atteint son paroxysme au Turonien, en effet, comme le montre *J.M.Vila* (1980), cette phase tectonique crée des nouvelles nappes dans l'avant pays, déforme fortement le bord Nord du système plissé atlasique, mais n'affecte pratiquement pas les régions telliennes actuelles. La tectonique tortonienne est donc responsable d'un raccourcissement de 200 km dans le constantinois, ceci explique la répartition actuelle des reliefs de L'Est Algérien avec une position très septentrionale de l'Atlas saharien. (*DIB. H, 2004*)

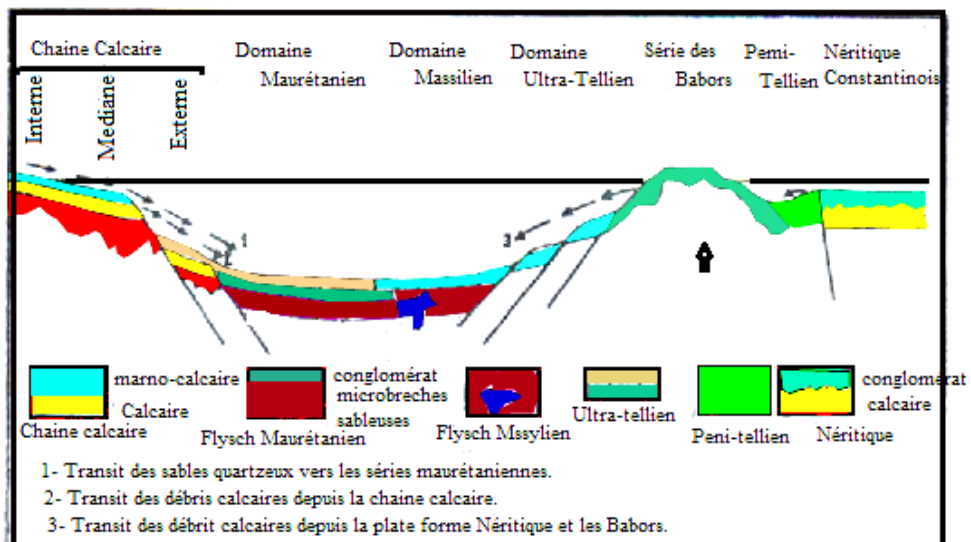
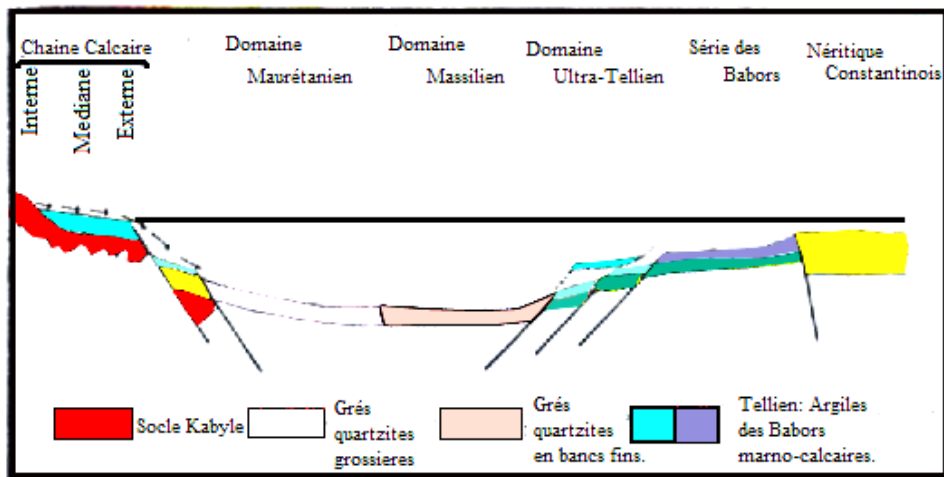
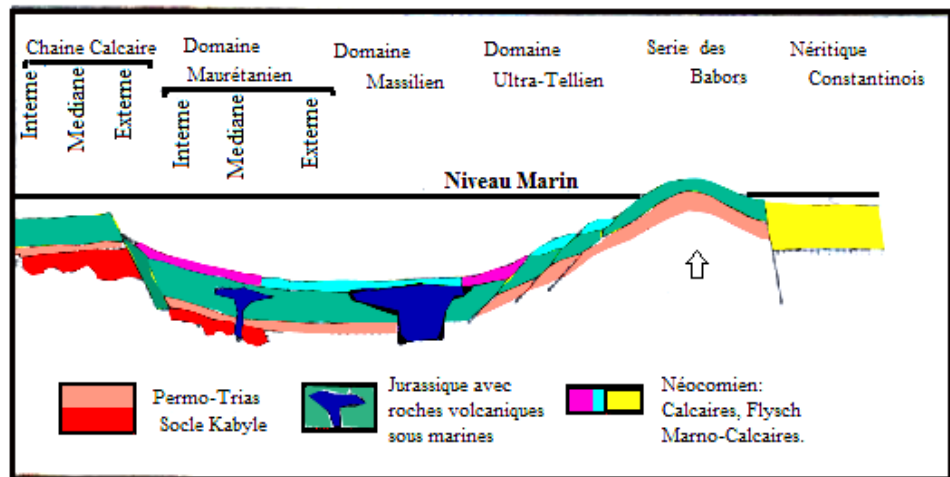


Fig. 16 : Schéma paléogéographique du Tell oriental Algérien au Néocomien du Barrémien à l'Albién et au sénonien.

Durant le Miocène supérieur et le Pliocène inférieur, parallèlement à la mise en place de roches intrusives (granodiorites) ou effusives de types divers, les effets de relaxation permettront l'ouverture de grands fossés subsidents les uns obliques par rapport à la zonalité Ouest – Est. Cet accident qui se suit à travers les territoires de l'Algérie, Tunisie, Libye jusqu'en Egypte.

Selon *P. Verdeil* : "Zone de circulation préférentielle par les eaux, il est jalonné par une série de griffons qui libèrent vers la surface une partie de l'énergie née de l'activité macro et micro sismique".

Ce couloir présente une série de répliques qui vont autant de failles transformantes, présentant une orientation similaire et également jalonnées par des griffons thermaux.

Pour *P. Verdeil*, ces bandes thermiques seraient d'Ouest en Est (*Fig.18*)

- La bande thermique d'Oran;
- La bande thermique de Cherchell, Ténès, Gafsa, Alexandrie;
- La bande thermique de Constantinois;
- La bande thermique d'Annaba.

Sur ces bandes thermiques, les griffons thermaux sont inégalement répartis, ils se regroupent en "nids" sur les zones d'interférences entre ces accidents N 115° et N 140°E et des réseaux de failles conjuguées d'âge Quaternaire et d'orientation voisine de N 20° E.

Les remontées d'eau thermale sur les accidents W-E ou N 60° E fonctionnant en extension sont relativement rares.

Au Pliocène supérieur et au Quaternaire, des mouvements plus ou moins violents vont déformer les séries tertiaires donnant des systèmes structuraux de types Jurassien suivant des directions calquées sur celles de l'orogénèse atlasique.

Dans le même temps, de grands mouvements associés à des décrochements horizontaux donneront à la région sa physionomie actuelle.

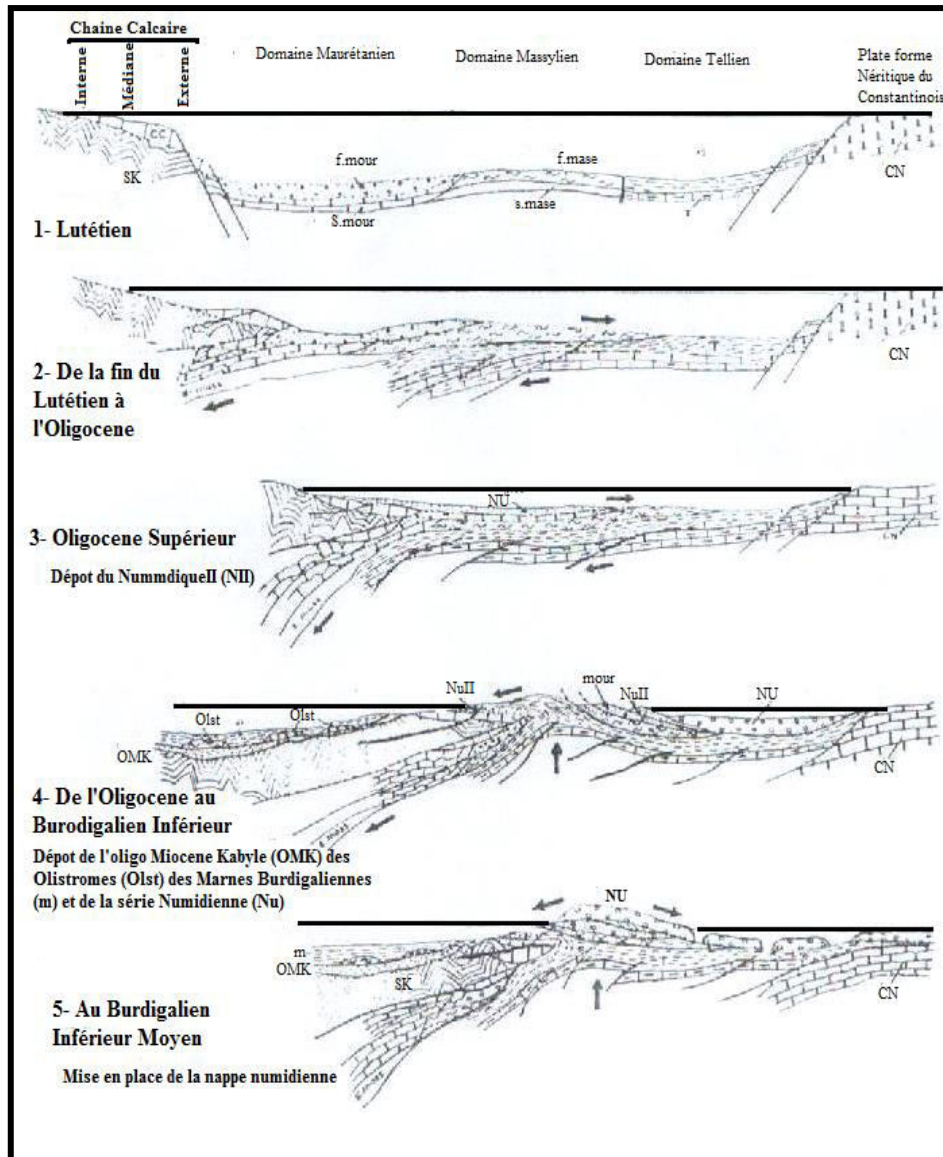
L'accident Kef-Mahouner – Djebel Debagh parcourt une centaine de kilomètres, cet axe majeur a joué en distension pendant tout le Miocène.

En effet, on trouve tout au long de cet accident des roches volcaniques ou des sources thermales (bassin de Guelma – Hammam Meskhoutine) de plus, au contact de cet accident les dépôts mio-pliocènes sont redressés, cet axe a donc rejoué très tardivement en faille normale avec un rejet total qui a été évalué à 3000 m, (*J.F. Raoult, 1974*). (*DIB. H, 2004*)

II-B.2. Les temps modernes:

L'histoire orogénique actuelle de l'Algérie paraît liée au rapprochement et à la confrontation de deux grands blocs, l'Eurasie au Nord, l'Afrique au Sud, il en résulte:

Le long du littoral Algérien, un mouvement de coulissage de grands panneaux entraînant celui d'un réseau de failles conjuguées et occlusion ou à l'inverse ouverture de circuits hydrothermaux selon la position par rapport au mouvement d'ensemble.



• *Fig. 17 : Schéma interprétatif de la mise en place des nappes du Tell oriental Algérien (D'après J.P.Bouillen, 1977).*

Le tout s'accompagne de séismes de forte intensité.

- Selon P.Verdeil, la faille de Souk Ahras – El Kala d'orientation voisine de N20°E, mise en évidence par la présence de familles d'eau bien caractérisées liées au socle cristallin ou cristallophyllien.

- Les mouvements du couloir transformant de Cherchell se répercutent au loin entraînant des mouvements du réseau de failles conjuguées ainsi la variation du Hammam Meskhoutine. (*DIB. H, 2004*)

II-B.3. Le thermalisme dans son cadre géo structural:

De manière schématique, la source d'eau thermale est un axe de forme souvent complexe. Il permet la montée d'eau chaude et minéralisée issue d'un réservoir profond.

L'hypothèse d'une eau juvénile (ou endogène) est aujourd'hui abandonnée pour l'explication de la quasi- totalité des cas étudiés, au profit de l'origine vadose (ou météorique).

L'exploration du sous sol a permis la construction de modèles géologiques explicatifs, puis plus récemment de modèles semi quantitatifs (exemple: le thermalisme en France) où sont pris en compte le flux de chaleur terrestre (gradient géothermique).

Le temps de résistance de l'eau souterraine et plus rarement les échanges chimiques roches – eau aux différentes températures.

Nous connaissons mieux aujourd'hui l'origine de quelques propriétés et le mécanisme de leur manifestation.

La source d'eau thermo- minérale correspond à un axe. Cet axe qui met en relation privilégiée les horizons géologiques profonds avec la surface, procède de l'intersection d'au moins deux plans (plan de faille) et souvent beaucoup plus.

Un minimum de complexité lui confèrera une forme contournée et indescriptible dans son détail.

La possibilité de la remontée et d'émergence de l'eau implique une fracturation ouverte et une permanence de l'ouverture. La distension apparaîtra, par exemple dans la conjugaison des failles normales avec des failles coulissantes, la décompression affectera la périphérie de massifs à caractère intrusif (granite par exemple).

Le déplacement du griffon ou son colmatage par un travertin pourra fossiliser l'émergence. Mais dans beaucoup de cas, la sismicité constitue un facteur d'entretien. (*DIB. H, 2004*)

II-B.3.1. Influence de la lithologie:

La nature du sédiment intervient à deux niveaux:

- ✚ Elle commande la composition chimique de l'eau : la minéralisation des eaux est fonction des éléments apportés à l'entrée du circuit hydrominéral par les précipitations et le sol, des éléments dissous en profondeur au contact de l'encaissant et éventuellement des éléments apportés des plus grandes profondeurs.
- ✚ La mise en solution est fonction de la température, de la pression et dans une moindre mesure de la vitesse de circulation de l'eau dans les zones de dissolution.

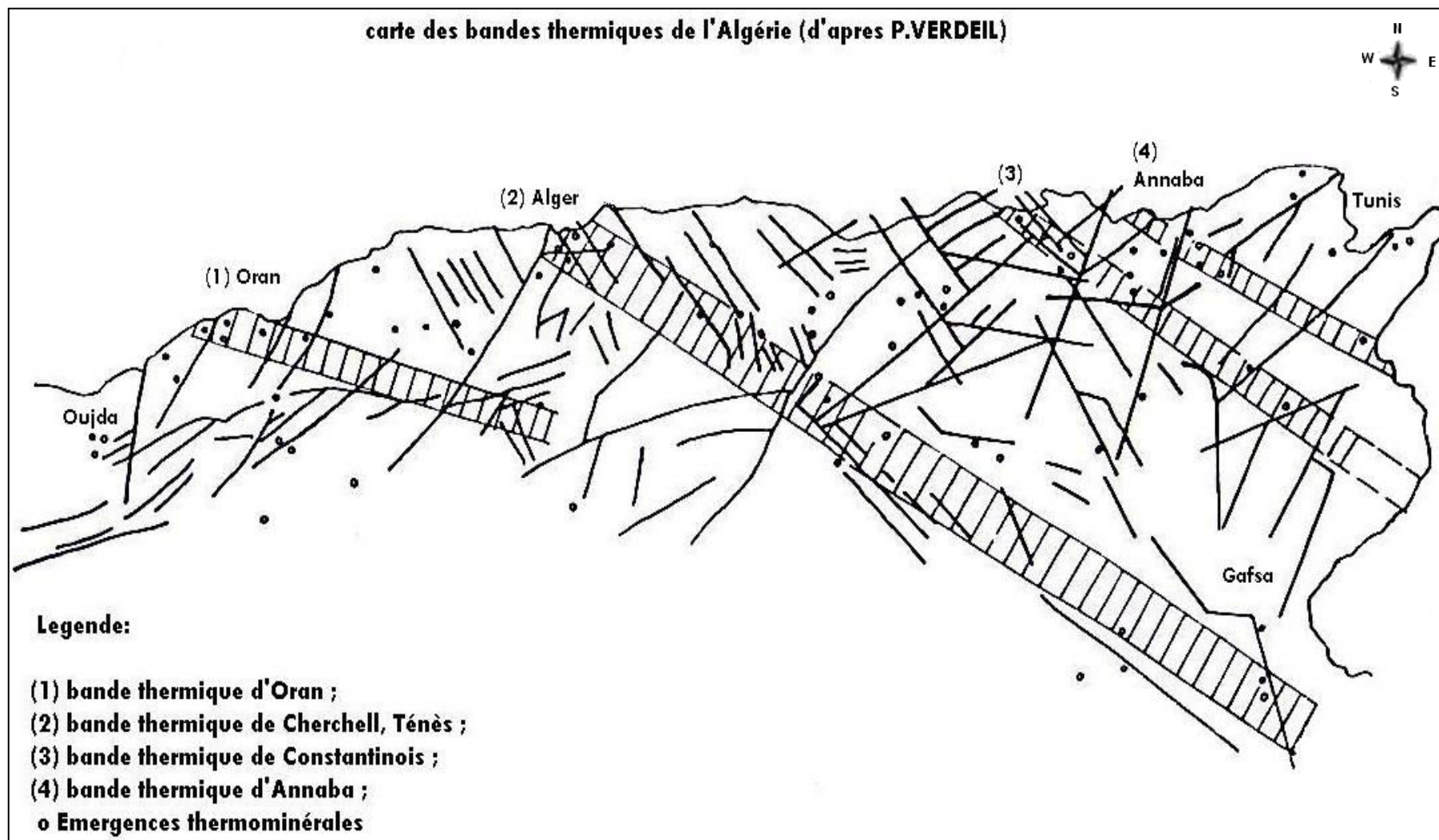


Fig. 18 : Les bandes thermiques de l'Algérie. (DIB. H, 2004)

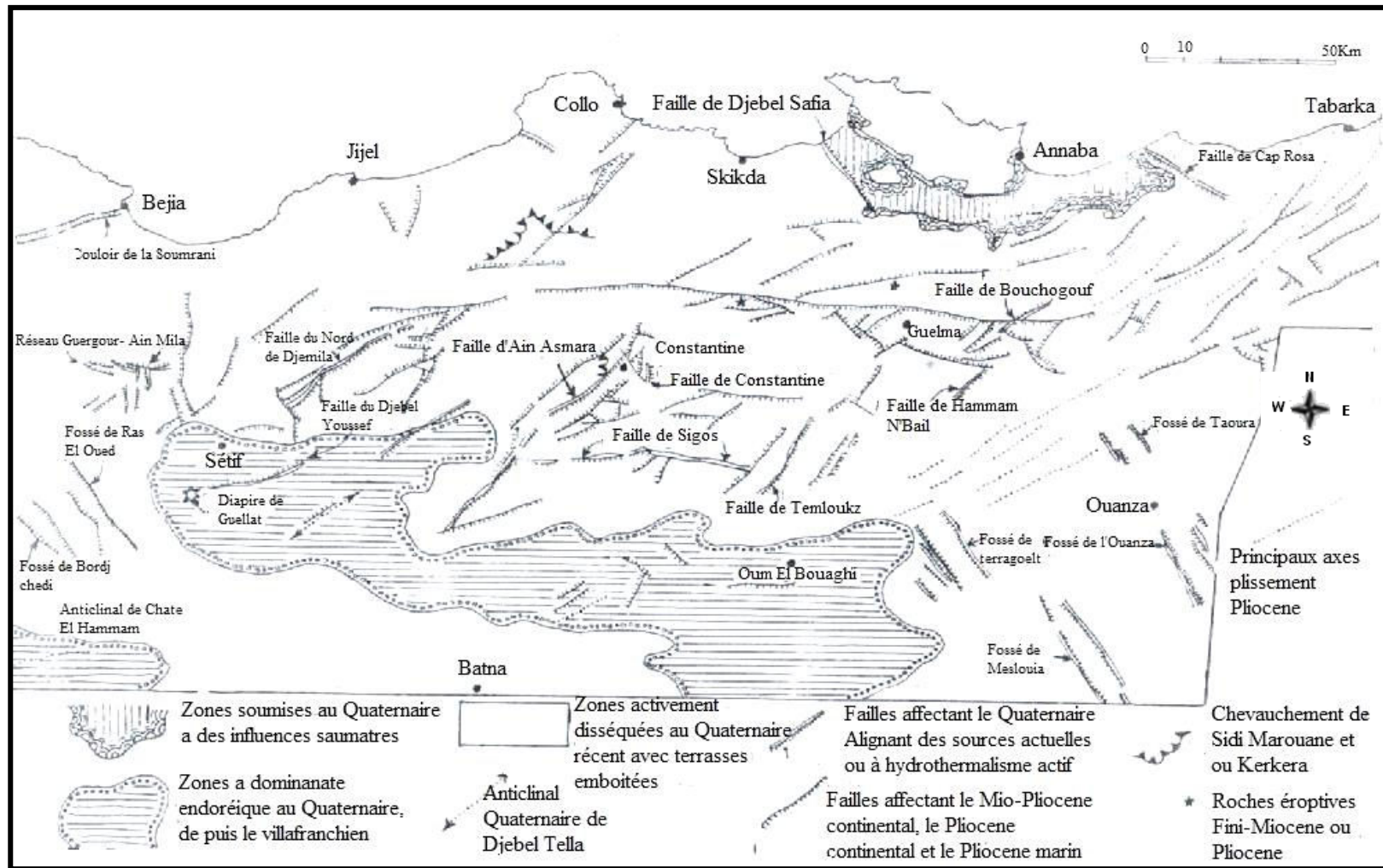


Fig. 19 : Représentation très schématique des principaux effets de la Néotectonique (d'après J.M.Vila, 1980).

Globalement les eaux des calcaires diffèrent des eaux des sables et des grès. En outre des eaux particulièrement typées apparaîtront au contact de certaines formations, comme par exemple: les eaux au contact des séries évaporitiques du Trias ou du crétacé supérieur.

- En surface, la lithologie intervient dans la localisation des zones d'infiltration et des griffons d'émergence;
- En profondeur, elle commande l'existence des zones d'accumulation et parallèlement à la fracturation et à la structure, la disposition des circuits thermaux.

Dans les domaines kabyle et tellien, ce sont les calcaires qui joueront un rôle majeur avec accessoirement les grés triasiques sous-jacents qu'ils peuvent injecter.

Les niveaux évaporitiques qu'ils soient triasiques ou crétacées interviendront également en liaison de leur forte solubilité. (*DIB. H, 2004*)

II-B.3.2. Influence du complexe structural:

L'importance de la tectonique:

L'apparition des sources minérales et surtout thermales est due à l'existence d'un court circuit hydraulique à forte perméabilité entre la profondeur et la surface résultant généralement d'une fracturation liée à un accident géologique récent. Les mécanismes qui permettent les circulations sont, obligatoirement, l'existence d'un gradient hydraulique important entre la zone d'alimentation et la zone d'émergence, accessoirement une élévation importante de température provoquant une baisse de densité de l'eau et / ou un dégagement abondant de CO₂ mantellique (gaz – lift) à la faveur de failles profondes et ouvertes, de ce fait les structures géologiques commandent l'apparition des sources thermominérales dans la région d'étude.

Dans le Tell, on pourrait s'attendre à priori à une influence prépondérante des formations allochtones.

Des mouvements posthumes du socle ont permis la mise en place d'un réseau de failles conjuguées d'orientation générale: N115° à N140°E, N20°E, N60°E ou même N90°. Elles même responsables du découpage des formations calcaires en grands panneaux les uns demeurés en surface et servent de zones d'infiltration, les autres affaissés et constituent les zones de gisement ou de circulation des eaux thermominérales e liées à cette fracturation profonde, les eaux thermominérales ne font que franchir la couverture des nappes en fonction des conditions lithologiques ou tectoniques locales qui commandent en dernier ressort la position des griffons, (*Fig.19*). (*DIB. H, 2004*)

II-B.4. Conditions géologiques d'émergences :**II-B.4.1. Les sources thermales de Guelma :****II-B.4.1.1. Source thermale de Hammam Belhachani : (Fig. 20)**

- Les sources émergent dans un terrain de travertins et de tufs quaternaires. Ces derniers couvrent des calcaires blancs d'âge Yprésien – Lutétien inférieur.
- L'eau chaude sort à travers les fissures de calcaires.
- Ces eaux viennent au jour à la faveur d'une faille ou pli-faille marquée par la présence des marnes crétacées au voisinage immédiat des sources en contact avec des terrains éocènes.
- Selon l'ANRH d'Annaba, l'aquifère à lequel se rattache notre émergence est situé à plus de 1000 m de profondeur. (*Dib Hania, 2008*)

II-B.4.1.2. Source thermale de Hammam Guerfa : (Fig. 20)

- La source sort dans des travertins et des tufs hydrothermaux du Quaternaire.
- L'émergence vient au jour par une faille ou pli-faille marquée par la présence des marnes crétacées au voisinage immédiat des sources en contact avec des terrains Eocènes.
- Lors des séismes, l'eau sort avec une couleur rouge pendant quelques jours, et ce qui indique que l'émergence se fait à travers une zone active sur des formations tendres (argiles).
- Selon l'ANRH d'Annaba, l'aquifère à lequel se rattache notre émergence est situé à plus de 1000 m de profondeur. (*Dib Hania, 2008*)

II-B.4.1.3. Source thermale de Hammam N'Bails :(Fig. 21)

- La source thermale émerge sur la rive droite de l'Oued El Hammam.
- On peut noter la présence d'un complexe gypsifère important (Trias – Crétacé supérieur), il y a lieu de penser que les eaux chaudes viennent au jour à la faveur d'importants accidents tectoniques.
- Les formations sédimentaires rencontrées dans le secteur sont d'âge Crétacé supérieur et Eocène, elles sont en contact anormal avec le complexe gypsifère.
- Les dépôts tuffacés indiquent la présence dans la vallée de l'Oued El Hammam d'anciennes sources thermales aujourd'hui taries. (*Dib Hania, 2008*)

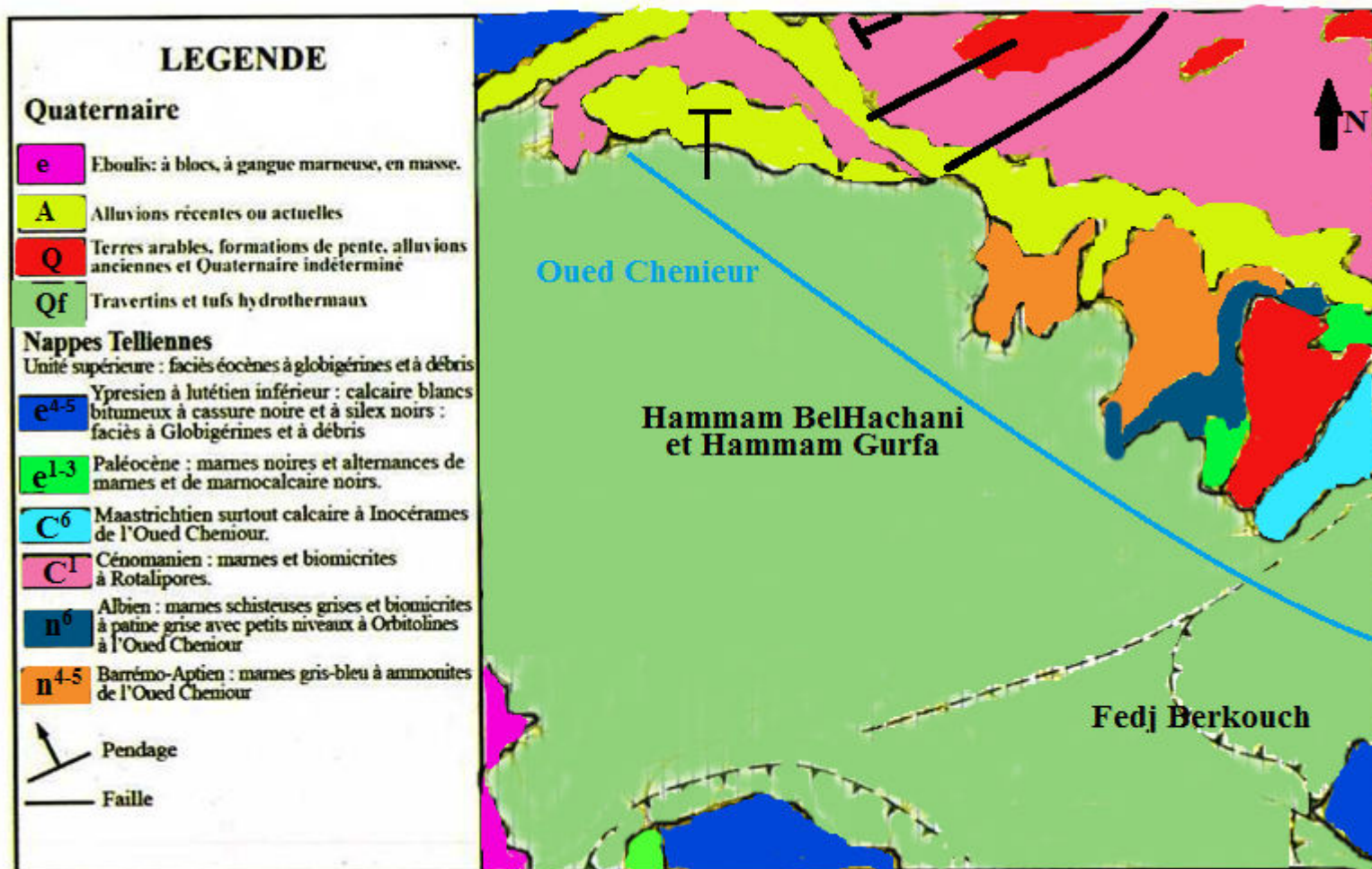


Fig. 20: Carte géologique des sources thermales des Hammams Belhachani et Guerfa (Guelma)(D'après la carte géologique de Sedrata au 1/50.000, n°99) Sonatrach ; 1977.

II-B.4.1.4. Source thermique de Hammam Ouled Ali : (Fig.22)

- Les émergences se trouvent sur la rive gauche de l'Oued El Hammam au Nord de la chaîne calcaire néritique de Djebel Debagh.
- Dans le lit de l'Oued on note la présence d'un affleurement marno-calcaire et schistes sénonien transgressif.
- Les sources chaudes sortent au niveau de la ligne de fracture (faille, selon *Delga*).
- L'unité hydrogéologique à laquelle les sources se rattachent ce sont des formations à plus de 1000m de profondeur (selon A.N.R.H d'Annaba). (*Dib Hania, 2008*)

II-B.4.1.5. Source thermique de Hammam Meskhoutine : (Fig.23, 24)

- Les sources thermales se trouvent dans un bassin miocène.
- Elles émergent dans des travertins quaternaires déposés par les eaux chaudes. Les eaux jaillissent à la faveur d'une faille N 20° E. (*Dib Hania, 2008*)

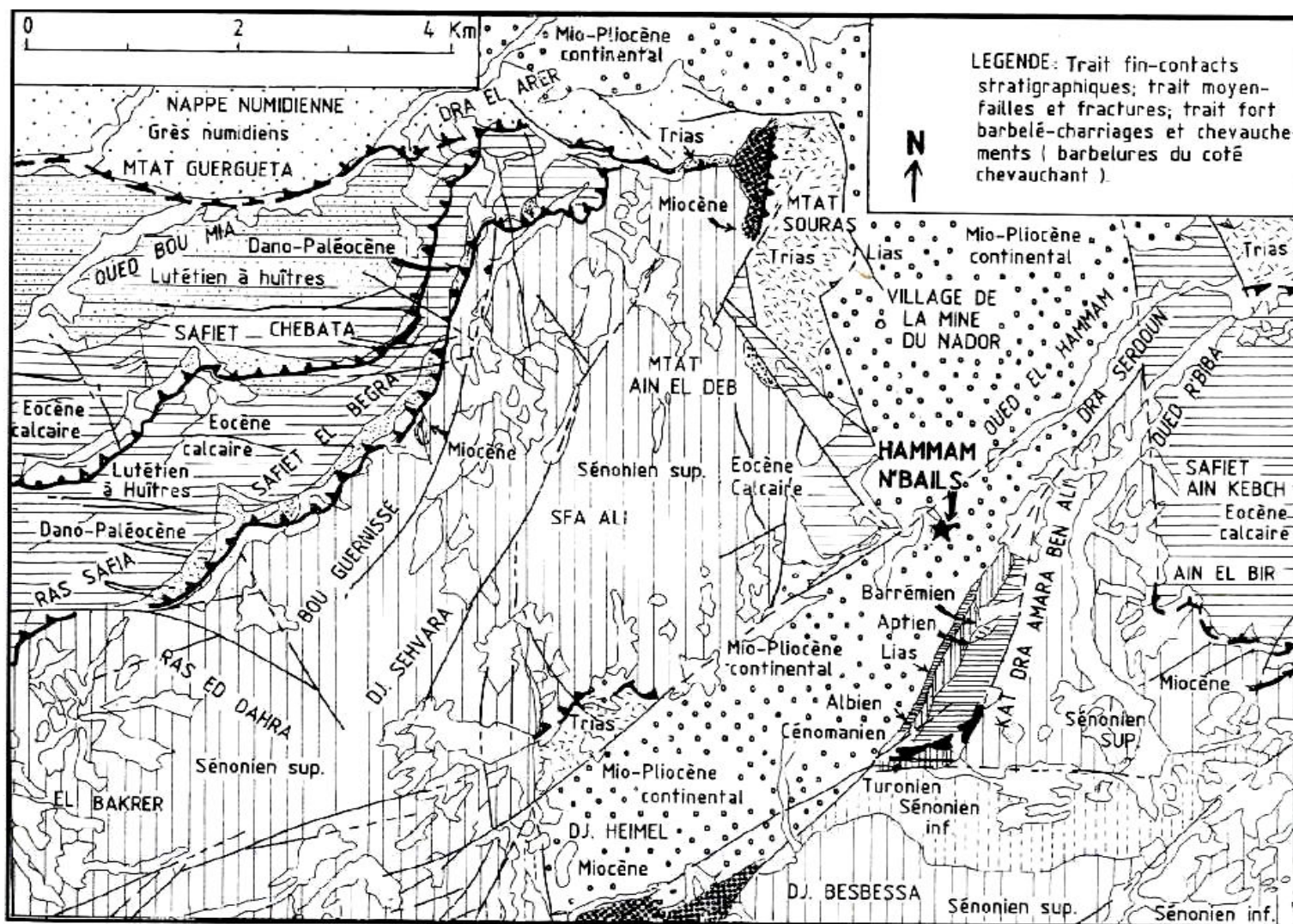


Fig. 21 : Carte géologique de la source thermique du Hammam N'bil (Guelma), (d'après J.M.Vila, 1980).
Source : Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien, H.Dib.

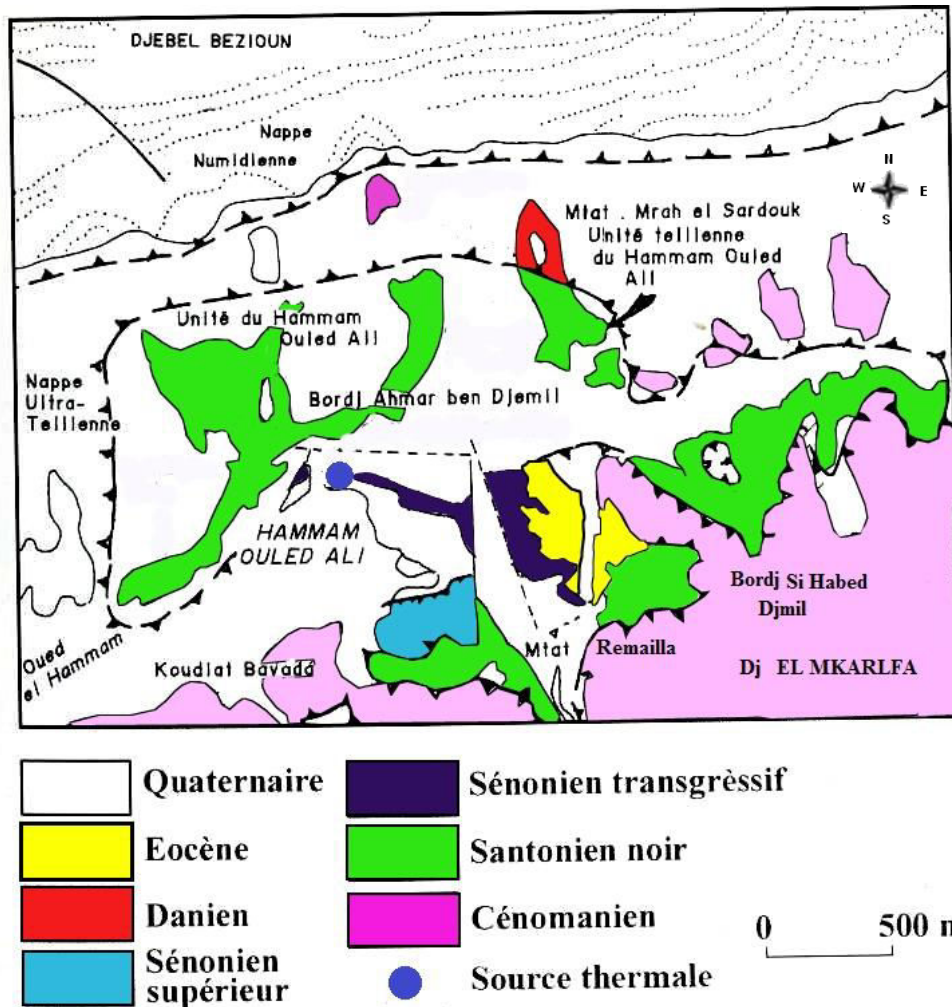


Fig. 22 : Carte géologique de la source thermique du Hammam Ouled Ali (Guelma) (d'après J.M.Vila, 1980).

Source : Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien, H.Dib.

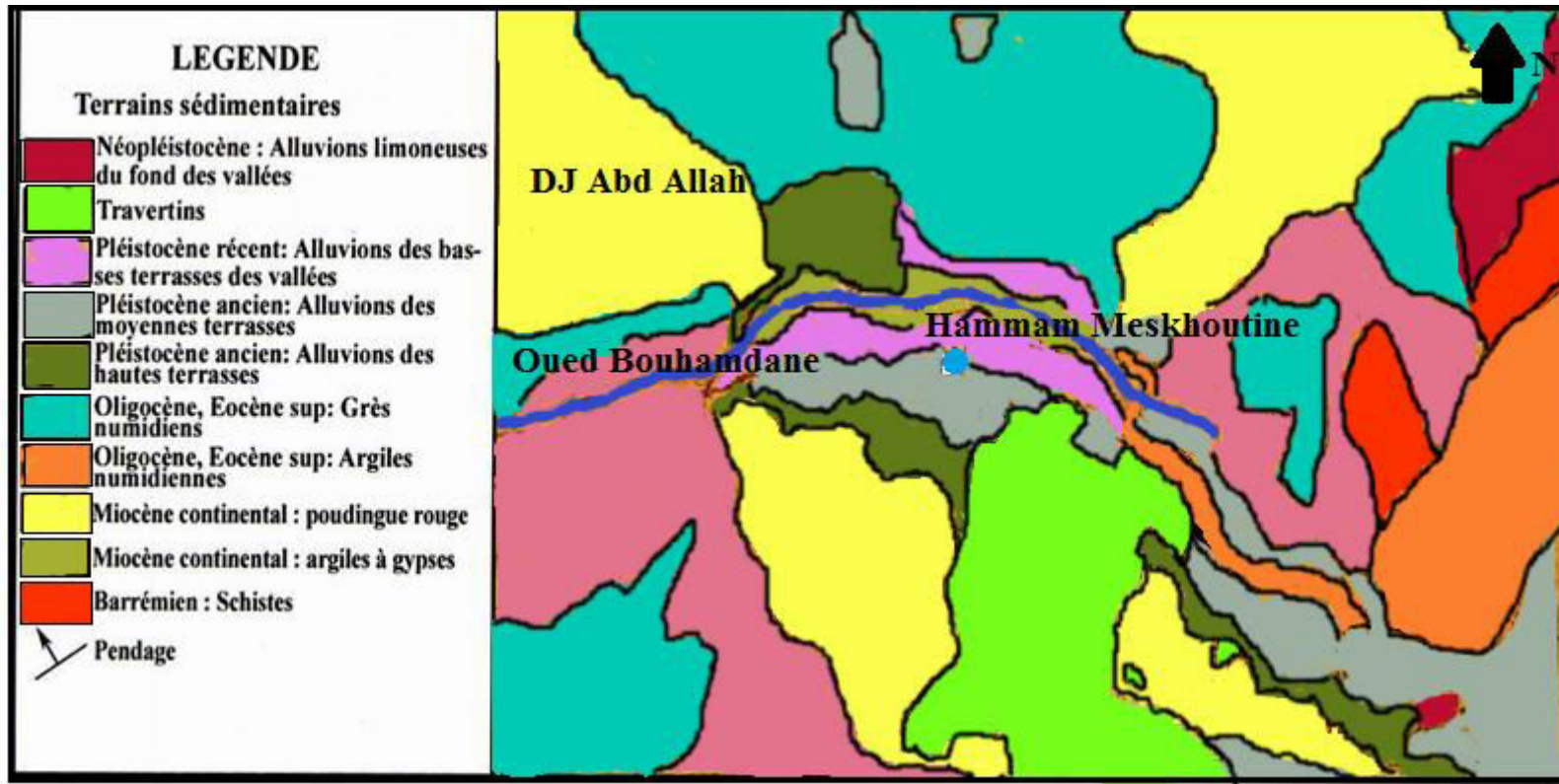


Fig. 23 : Carte géologique de la source thermale du Hammam Meskhoutine (Guelma), (P.Deleau, 1938)
Extrait de la carte géologique de Hammam Meskhoutine au 1/50 000, (feuille n°53).

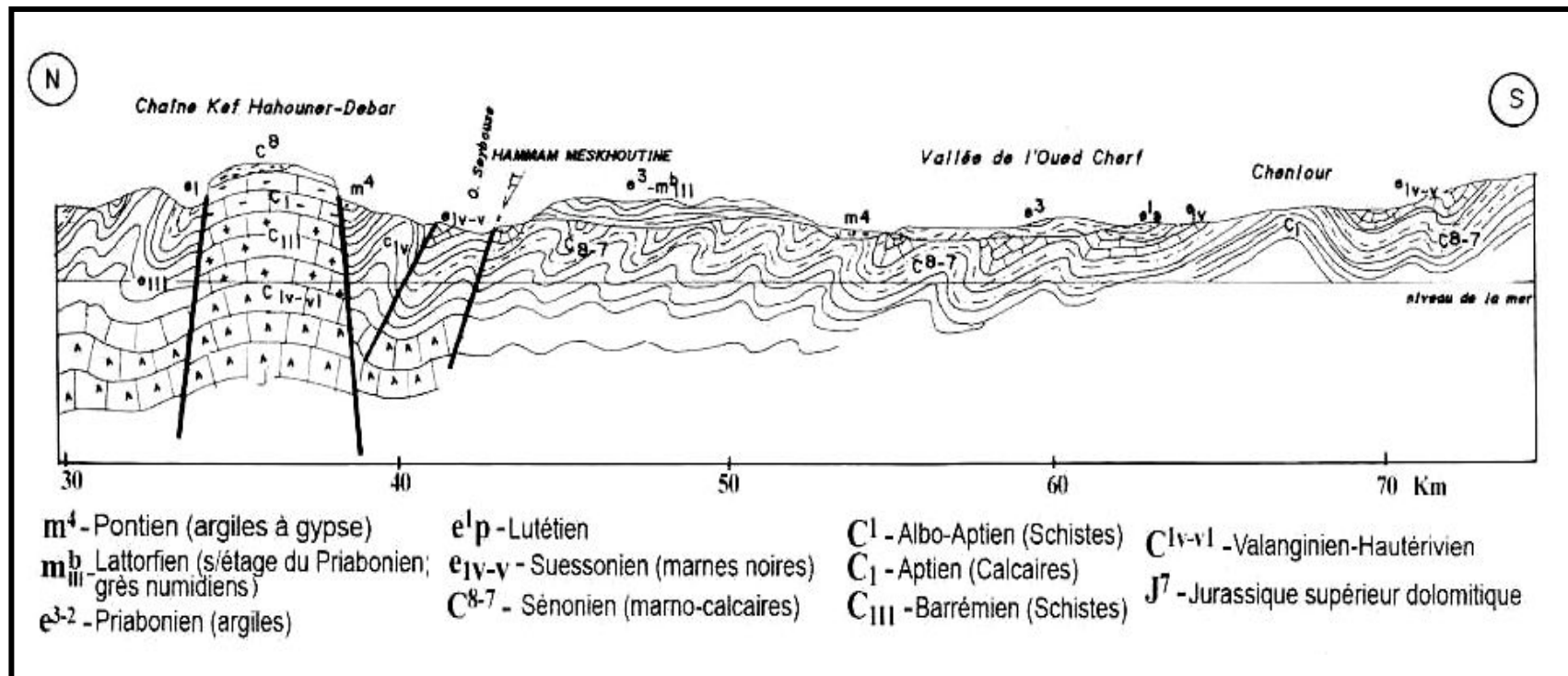


Fig. 24 : Coupe géologique de la source thermique du Hammam Meskhoutine (d'après Deleau , 1938).
 Source : Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien, H.Dib.

- Lors du séisme du 10 Octobre 1980 d'El Asnam, la température des eaux a diminué et le débit a beaucoup baissé.
- La température des eaux varie entre 73°C (E₁₅) et 97°C (E₁₈).
- Etudiant le Hammam Meskhoutaine et les conditions de gisement de son aquifère alimentaire, *J.Guoguel* (Géothermie. Edit 1975, page 44 – 47) proposait les hypothèses suivantes:
 - La plaine comporte des concrétions calcaires correspondant chacune à d'ancien griffon qui se sont arrêtés de couler lorsqu'ils ont atteint une hauteur voisine de 3 m pour être remplacés par d'autres exutoires.
 - "Lorsque le griffon fonctionnait, ses parois étaient réchauffées et toute la colonne d'eau se trouvait à une température de 100° C où le volume spécifique de l'eau est de 1,0434 ".
 - Au contraire, dans les fissures virtuelles, dépourvues de circulation, la température devait varier progressivement entre 100 °C au niveau de la couche aquifère profonde et 20 °C température moyenne de surface.
 - Le volume spécifique moyen sur cet intervalle est de 1,093.
 - La différence de pression à la base est donc de 0,024 h en mètres d'eau.
 - Si cette différence est capable de surmonter une surcharge sur le griffon de 3m d'eau c'est que: $0,024 h \geq 3m$ d'où $h = 125 m$.
 - On peut ainsi:
 - Estimer la profondeur du réservoir où se trouve l'eau à 100 °C;
 - Estimer le gradient 1° pour 1,60 m.
 - Cela entraînerait trop loin de discuter le régime thermique en profondeur, encore mal compris. (*Dib Hania, 2008*)

II-B.4.2. Les sources thermales de Skikda :

II-B.4.2.1. Source thermale d'El Hamma : (Fig.25, 26)

- Les sources sortent dans la plaine, elles sont nombreuses, certaines coulent dans une piscine romaine. Plus loin, un forage de 60 m de profondeur a été effectué en 2001, il traverse les alluvions limoneuses du Néopliocène

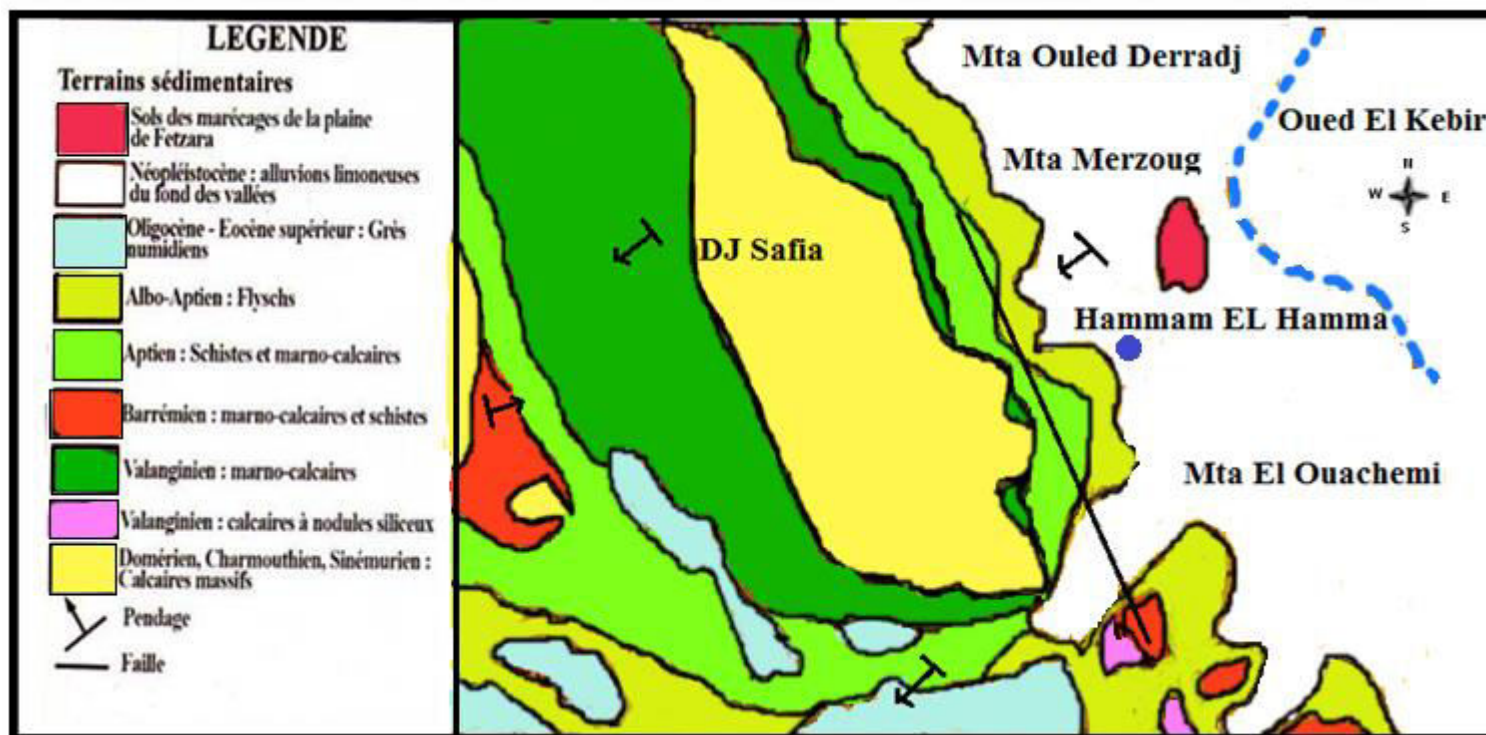


Fig. 25 : Carte géologique de la source thermale d'El Hamma (Skikda)
 (Extrait de la carte géologique Azzaba au 1/50 000 (feuille n°32).

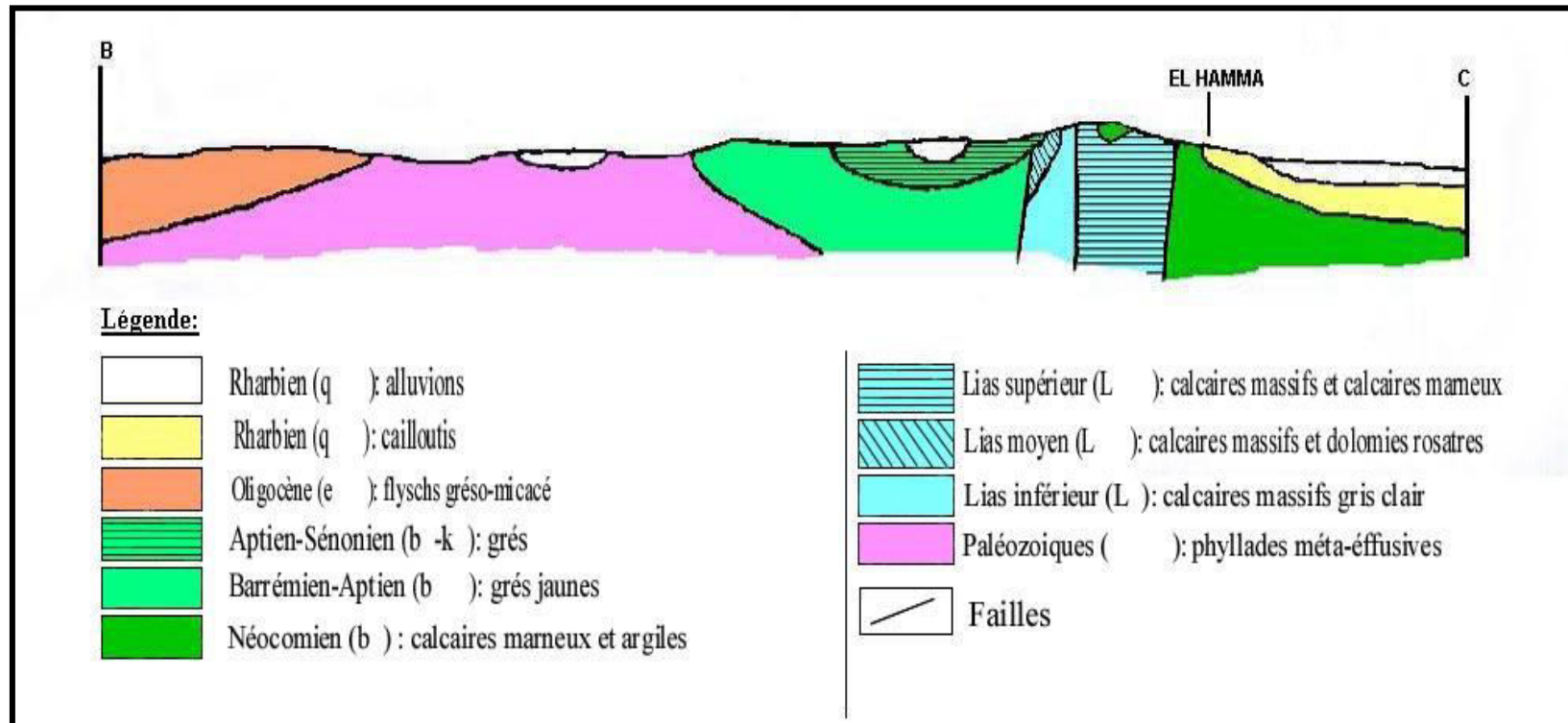


Fig. 26 : Coupe géologique de la source thermique d'El Hamma.

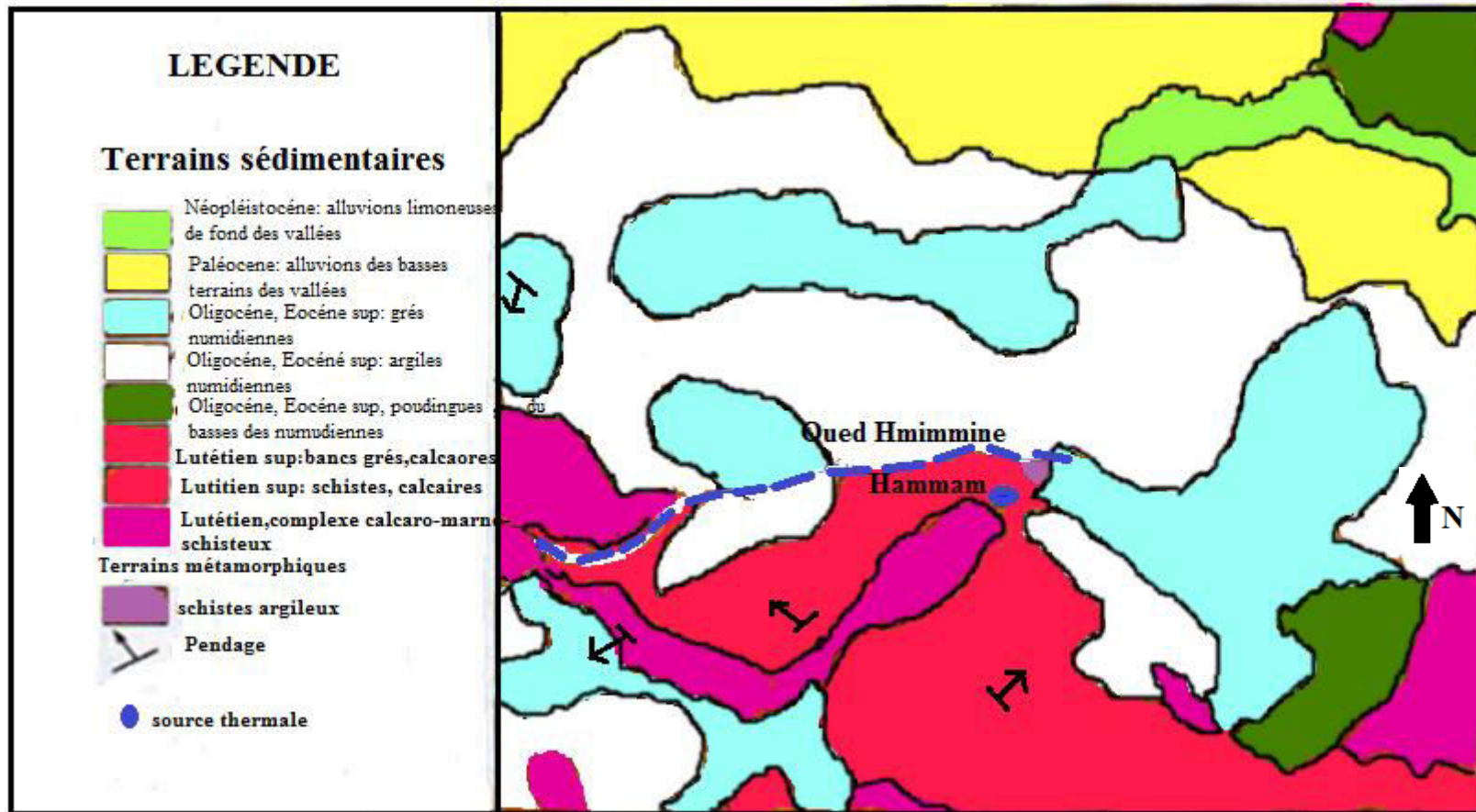


Fig. 27 : Carte géologique de la source thermique de l'Oued Hmimine (Skikda)
(Extrait de la carte géologique Azzaba 1/50000 (feuille n°32)).

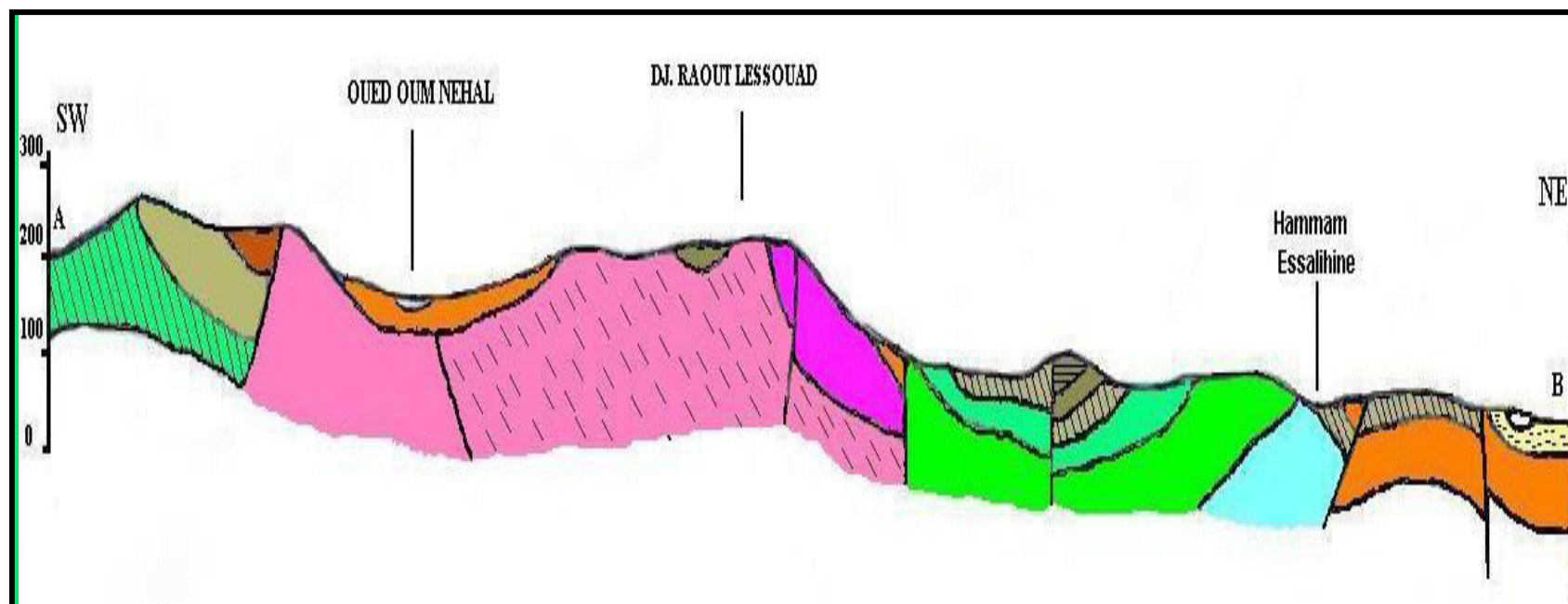
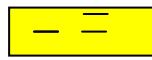
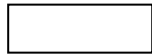


Fig. 28 : Coupe géologique de la source thermique de l'Oued Hmimine.

Légende :



Soltanien (q^5): alluvions des basses terrasses



Rharbien (q^6_a) : alluvions



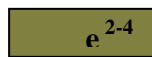
Oligocène (e^{8-9}) : flyschs grés-micacé



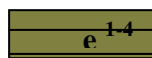
Eocène moyen et supérieur (e^{6-7}) : grés micacé



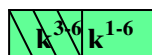
Eocène inférieur et moyen (e^{4-5}) : microbrèches et calcaires organogène (40 – 50m)



Paléocène (e^{2-4}, e^{1-4}) : conglomérats et calcaires gréseux



(e^3_b) Grés numidien



Cénomaniens – Sénoniens (k^{3-6}, k^{1-6}) : argilites et microbrèches



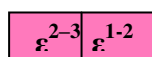
Néocomien (b^4) : grés fins, brèches et conglomérats



Lias inférieur (L^1) : calcaires massifs et dolomies



Permo – Trias ($P - T$) : grés rouges et conglomérats



Paléozoïque inférieur ($\varepsilon^{2-3}, \varepsilon^{1-2}$) : phyllades méta-éffusives

- emprunte les grès et les argiles du numidien et les calcaires. Le réservoir de l'eau chaude se trouve dans les calcaires fissurés.
- Le para –autochtone de Dj Safia représente une zone des failles et des chevauchements (d'après la carte géologique N°32_b).

II-B.4.2.2. Source thermale d'Oued Hmimine: (Fig. 27, 28)

- C'est entre les schistes anciens (noirs légèrement graphiteux) alternant avec de petits lits de quartzites et les grès calcaires d'âge Lutétien supérieur que sortent les eaux chaudes, on ne voit pas le plan de faille emprunté par l'eau chaude, il doit être vertical (d'après *Deleu*, 1938).
- A partir de la carte géologique (N°32_a) on observe que la zone de la source de l'Oued Hmimine est très broyée et elle comprend des failles de direction NNE –SSW qui se trouve sur le long de l'Oued Hmimine.

II-B.4.3. Les sources thermales d'El Tarf :

II-B.4.3.1 : Source thermale de Hammam Sidi Djaballah : (Fig. 29)

- La région du Hammam Sidi Djaballah est recouverte par les grès et les argiles numidiennes sur un vaste étendu, les sables du Miocène et les alluvions du Quaternaire occupent la vallée de l'Oued.
- La source sort au contact de deux failles de direction NE-SW et NNE – SSW, qui sont recouvertes par les argiles numidiennes d'âge Eocène supérieur. Les deux failles sont visibles sur les photos aériennes. (*DIB. H, 2008*)

II-B.4.3.2. Source thermale de Hammam Sidi Trad :

- Le périmètre d'émergence des eaux du Hammam Sidi Trad présente des affleurements de Barrémien à Turonien, Sénonien et d'Eocène inférieur avec affleurement important des formations numidiennes.
- Le griffon principal du Hammam sort à travers les fissures des grès numidiens d'âge Oligocène.

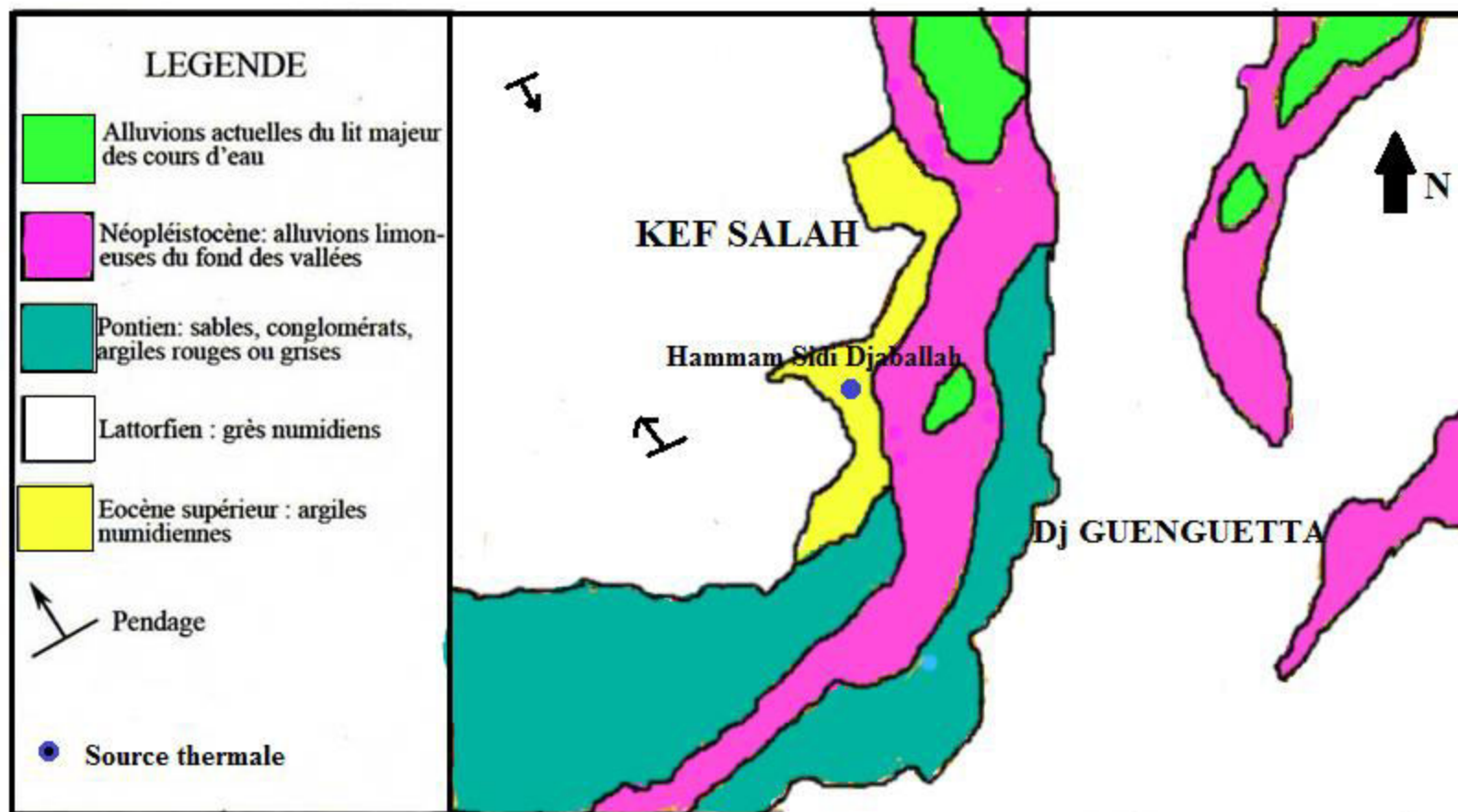


Fig. 29 : Carte géologique de la source thermale du Hammam Sidi Djaballah (Tarf)
 Extrait de la carte géologique d'Aïn Kerma (ex munier) au 1/50 000 (feuille n°35).

- L'analyse structurale des photos aériennes montre que l'émergence est due au contact de deux failles. Une avec la direction de l'oued et l'autre de direction NW-SE.
- Le long de l'oued, il y a présence d'autres griffons secondaires qui apparaissent en période sèche. *(DIB. H, 2008)*

II-B.4.3.3. Source thermique de Hammam Zattot : (Fig. 30)

- Les affleurements immédiats de l'émergence sont des formations alluviales de couleur jaunâtre.
- D'après la carte géologique, l'eau chaude sort par le contact anormal des grés numidiens avec les formations du Mio-Pliocène. Ce contact se fait par deux failles conjuguées de direction NE – SW et NW – SE. *(DIB. H, 2008)*

II-B.4.3.4. Source thermique de Hammam Sidi Zid : (Fig. 30)

- Toute la région du Hammam est recouverte par les formations gréseuses de la nappe numidienne.
- L'émergence (E₃₅) sort à travers des grés fracturés.
- L'eau chaude des autres émergences sort le long de l'Oued à la faveur d'une fracture de direction Nord – Sud à travers les alluvions de l'Oued. *(DIB. H, 2008)*

II-B.4.3.5. Source thermique de Hammam Beni Salah : (Fig. 31)

- Les formations de l'Oligocène et Priabonien du Numidien constituent la totalité des affleurements géologiques dans la région du Hammam.
- L'eau chaude sort dans des grés en blocs qui ne sont pas en place. *(DIB. H, 2008)*

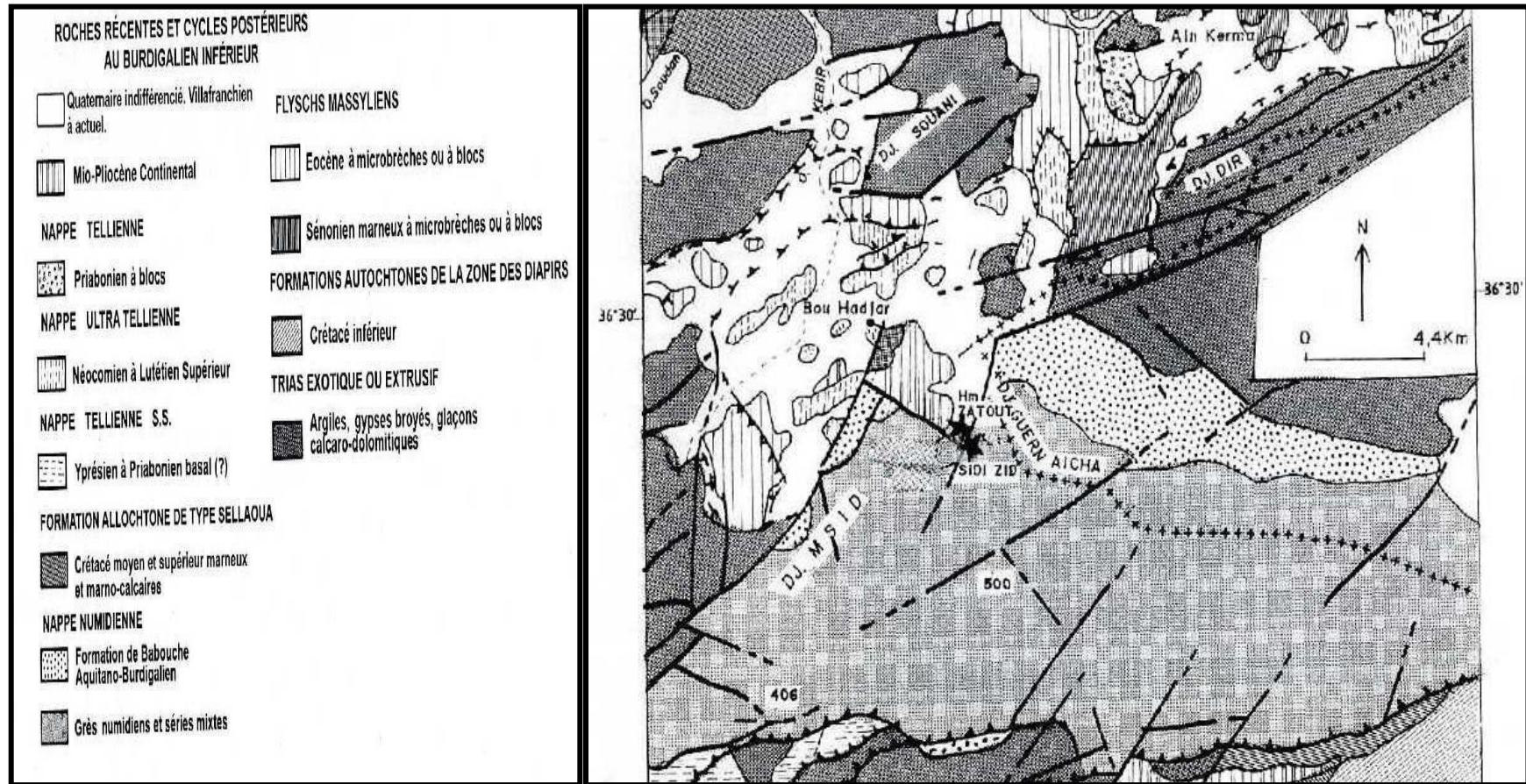
II-B.4.4. Les sources thermales de Souk Ahras :

II-B.4.4.1 : Source thermique de Hammam Tassa : (Fig. 32)

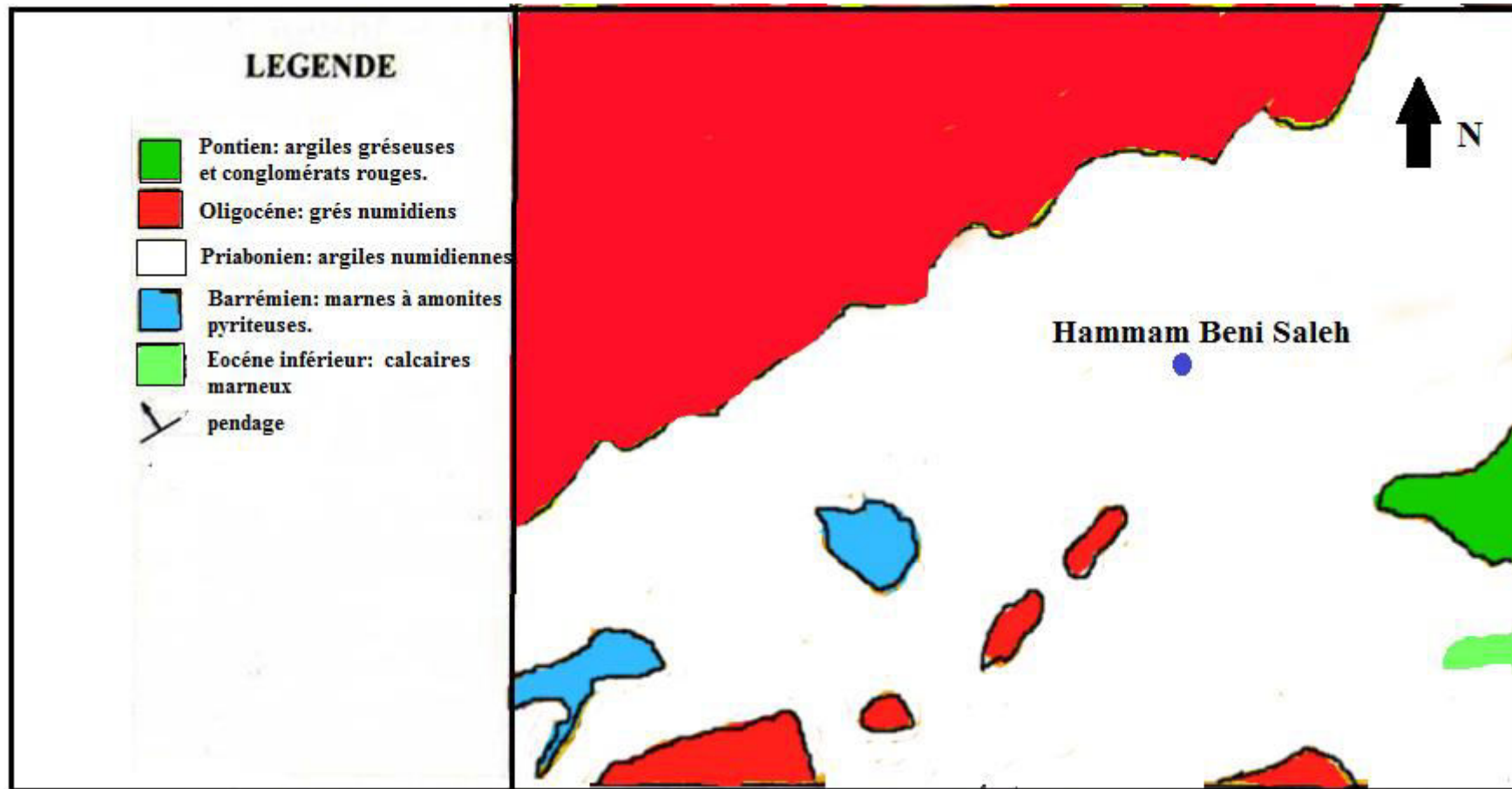
- L'eau chaude sort des calcaires blancs sénoniens et de grés de l'Eocène, elle coule au centre de l'anticlinal crétacé du Djebel Tassa.
- Le griffon principal est complètement invisible, recouvert par des constructions d'où l'impossibilité d'étudier le captage.
- Le contact grés – calcaire est orienté 70° NE, les bancs calcaires ont un pendage de 80°E. *(DIB. H, 2008)*

II-B.4.4.2. Source thermique de Hammam Ouled Zaïd : (Fig.33)

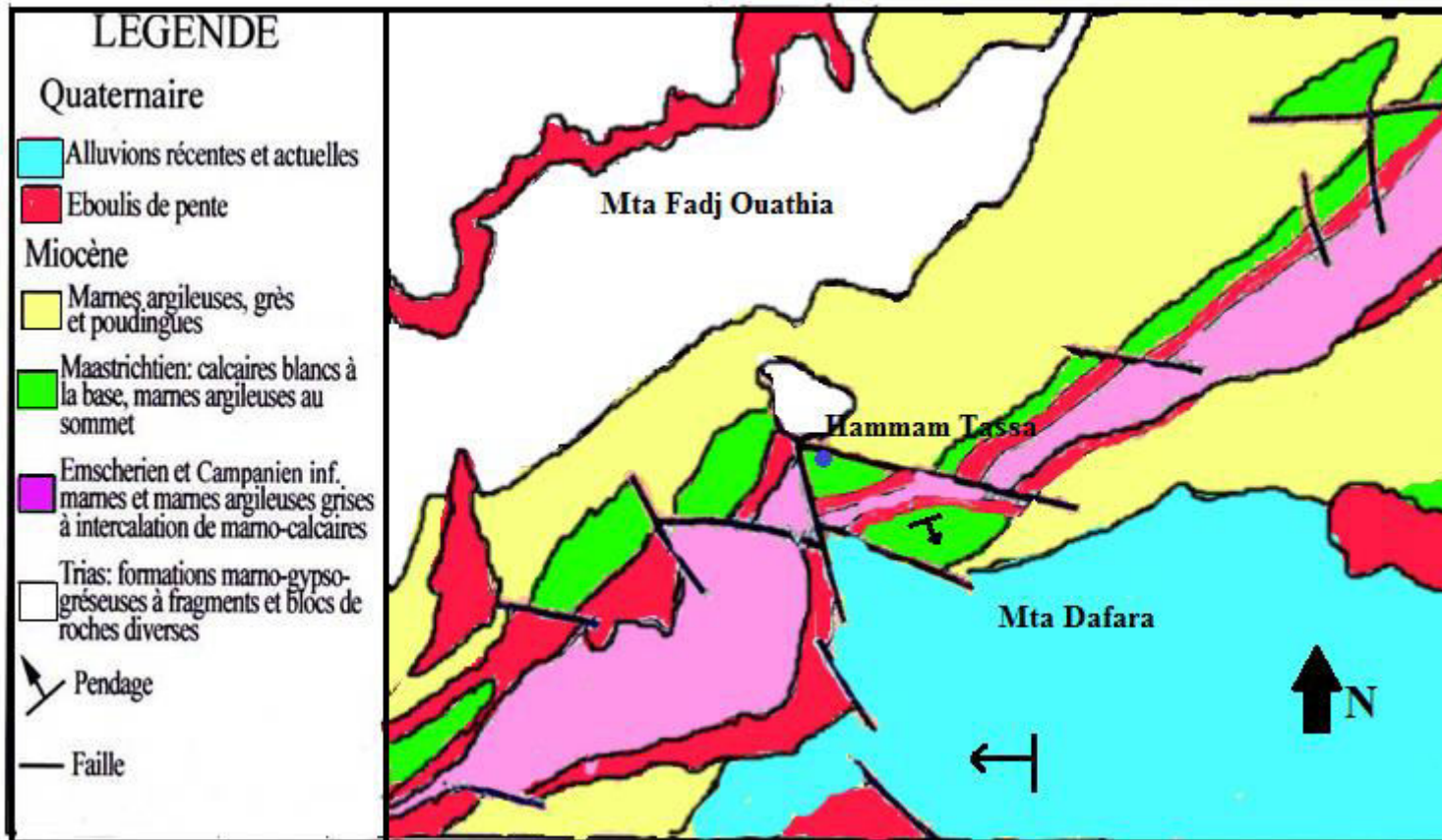
- La source thermominérale d'Oued Zaïd émerge dans les marnes noires du Lutétien. L'eau du Hammam sort à la faveur d'une faille bien visible dans les calcaires yprésiens. *(DIB. H, 2008)*



**Fig. 30 : Carte géologique des sources thermales des Hammams Zatout et Sidi Zid (Tarf) (d'après la carte géologique au 1/50 000, J.M.Vila, 1980).
Source : Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien, H.Dib.**



*Fig. 31 : Carte géologique de la source thermique du Hammam Béni Saleh (Tarf)
Extrait de la carte géologique de Boucheghouf au 1/50 000, n°55*



*Fig. 32 : Carte géologique de la source thermale du Hammam Tassa (Souk Ahras)
Extrait de la carte géologique de Souk Ahras au 1/200 000, 1985.*

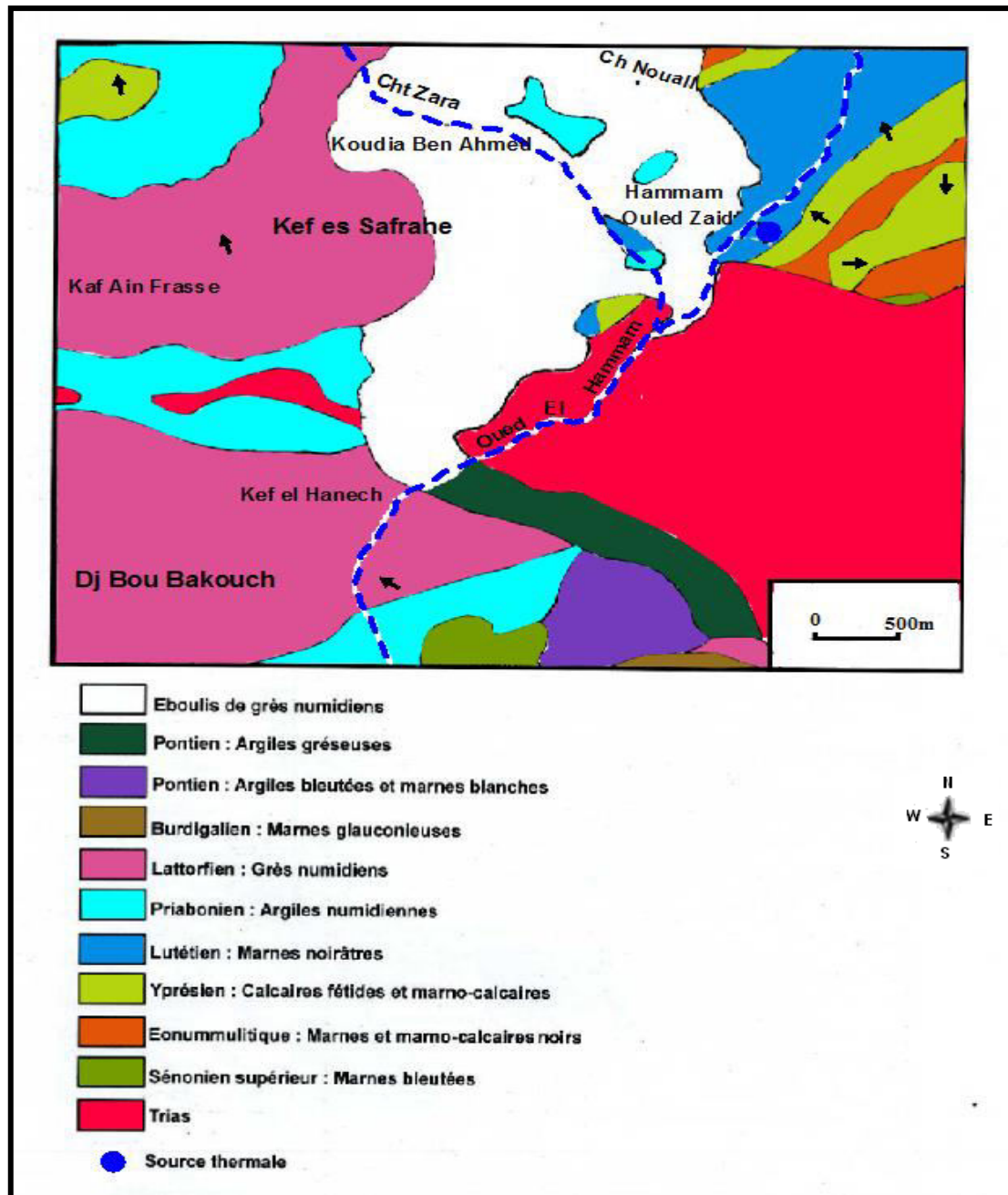


Fig. 33 : Carte géologique de la source thermale du Hammam Ouled Zaïd (Souk Ahras), (d'après Y.J.Flandrin , 1933).

Source : Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien, H.Dib.

II.C. Conclusion :

La région d'étude comprend plusieurs zones différentes : le socle kabyle, la chaîne calcaire, la série des flyschs kabyles, les séries telliennes et la nappe néritique constantinoise.

Désigne par "le socle kabyle", toutes formations paléozoïques qui servent ou qui ont servi de substratum à la chaîne calcaire.

Le socle kabyle affleure surtout à l'Ouest de Skikda. Ailleurs, et notamment dans la chaîne calcaire, on ne retrouve cette formation que sous la forme de petits lambeaux.

La chaîne calcaire est développée sur 90 km d'Ouest en Est depuis le Djebel Sidi Driss jusqu'à Bekkouche Lakhdar (ex: Gastu).

Les principaux sommets correspondent à des affleurements de calcaires dont la datation s'étend du Lias inférieur au Lutétien. Ces séries constituent la dorsale calcaire.

La série des flyschs kabyles Paléogéographiquement et du Nord au Sud, ce sont les flyschs mauritaniens et les flyschs massyliens.

On a pu définir plusieurs séries telliennes. Paléo géographiquement et du Nord vers le Sud.

Dans la partie du Tell oriental Algérien qui nous intéresse ce sont les séries ultra-telliennes.

Dans la nappe néritique constantinoise plusieurs affleurements, dispersés par la tectonique, sont visibles, dans la région étudiée. Au Nord-Ouest de Guelma, ce sont les Djebels Debagh, Taya, El grouz et le Kef Hahoune.

La tectonique de la région est très complexe, conditionnée par des formations faillées profondes et des écailles de couverture et des chevauchements.

Les conditions géologiques des émergences nous montrent que :

- Pour la source thermale de Hammam Belhachani l'eau chaude sort à travers les fissures de calcaires à la faveur d'une faille ou pli-faille marquée par la présence des marnes crétacées au voisinage immédiat des sources en contact avec des terrains éocènes.
- Pour la source thermale de Hammam Guerfa l'eau sort dans des travertins et des tufs hydrothermaux du Quaternaire.
- Concernant la source thermale de Hammam N'Baïls les eaux chaudes viennent au jour à la faveur d'importants accidents tectoniques.
- Pour la source thermale de Hammam Ouled Ali - Les sources chaudes sortent au niveau de la ligne de fracture.

- Pour la source thermale de Hammam Meskhoutine elle émerge dans des travertins quaternaires déposés par les eaux chaudes. Les eaux jaillissent à la faveur d'une faille N 20 °E.
- Les eaux thermales de la source d'El Hamma sont parvenues des calcaires fissurés pour atteindre les dépôts alluvionnaires du Rharbien (Quaternaire).
- Les eaux chaudes de la source de l'Oued Hmimine sortent à la surface par les grès numidien, après avoir passé par les calcaires et dolomies du Lias.
- Les eaux thermales de Hammam Sidi Djaballah sortent au contact de deux failles de direction NE-SW et NNE – SSW, qui sont recouvertes par les argiles numidiennes d'âge Eocène supérieur.
- Le griffon principal du Hammam Sidi Trad sort à travers les fissures des grès numidiens d'âge Oligocène.
- l'eau chaude du Hammam Zattot sort par le contact anormal des grès numidiens avec les formations du Mio-Pliocène.
- Les eaux chaudes du Hammam Sidi Zid sort à travers des grès fracturés et à la faveur d'une fracture de direction Nord – Sud à travers les alluvions de l'Oued.
- L'eau chaude de Hammam Tassa sort des calcaires blancs sénoniens et de grés de l'Eocène
- La source thermominérale d'Oued Zaïd émerge dans les marnes noires du Lutétien.

CHAPITRE III :

ETUDE

HYDROCLIMATOLOGIQUE

III-1. Introduction :

L'examen des paramètres climatiques nous permet l'établissement d'un bilan hydrologique dans le secteur étudié.

- Les précipitations qui nous renseignent sur les modalités d'alimentation des différents réservoirs aquifères, par les volumes d'eau infiltrés.
- Les températures sont nécessaires pour définir les limites de la thermalité des eaux de chaque région et pour estimer l'évaporation et l'évapotranspiration qui influent sur la concentration des sels minéraux dans les eaux.

L'Algérie est caractérisée par une variabilité climatique liée aux irrégularités topographiques et aux influences opposées de la Méditerranée et du Sahara.

Un climat méditerranéen au Nord, un climat froid et sec sur les hauts plateaux et un climat chaud désertique au Sud du pays.

En ce qui concerne notre secteur d'étude, deux types de climats font un climat humide (subhumide) (méditerranéen) tempéré en hiver, chaud en été (Skikda et Tarf) et un autre semi-aride (Guelma et Souk Ahras). (*DIB.H, 2004*)

III-2. Les données disponibles:

Pour notre étude, on a utilisé les données des stations météorologiques des régions de Guelma, Skikda (Azzaba), El Tarf (station de barrage Chaffia) et celle de Souk Ahras pour une période d'observation de 18 Ans. Pour la station de Guelma, 20ans pour la station de Skikda et Souk Ahras et 15ans pour la station de Tarf , dont les coordonnées sont mentionnées dans le *tableau N°01*.

Tableau N°1: Coordonnées des stations météorologiques.

<i>Stations</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>Période d'observation</i>
<i>Guelma</i>	923,815	361,249	/	<i>1990-2008</i>
<i>Skikda</i>	892,3	391,35	91 m	<i>1989-2009</i>
<i>El Tarf</i>	977,15	381,3	170 m	<i>1996-2011</i>
<i>Souk Ahras</i>	967,25	342,25	590m	<i>1988-2008</i>

III-3. Caractéristiques climatiques :

On peut considérer les précipitations (P), la température (T), l'infiltration (I), le ruissellement (R) et l'évapotranspiration (E) comme des caractéristiques qui influencent le régime hydrologique des régions d'étude.

III – 3.1. Précipitations :

Toutes les formes d'eau qui tombent sur la surface de la terre sont appelées précipitations. Les précipitations soient de la neige, de la pluie, du verglas ou de la grêle dépendent de la température de l'air à travers lequel l'eau tombe.

Nous nous intéressons dans cette étude uniquement aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur fondamental dans le comportement hydrogéologique de la région.

Mesure des précipitations :

Les résultats obtenus, à partir des pluviomètres implantés dans les stations de Guelma, Skikda, El Tarf et Souk Ahras, pour les périodes d'observation qui s'étalent successivement entre (1990-2008), (1989-2009), (1996-2011) et (1988-2008) ont servi à établir les quatre (4) histogrammes des précipitations moyennes mensuelles : le premier pour la station de Guelma (*Fig.34*), le second pour la station de Skikda (*Fig.35*), le troisième pour la station d'El Tarf (*Fig.36*) et le dernier pour la station de Souk Ahras (*Fig.37*).

En analysant les quatre histogrammes, on distingue qu'ils ont une allure similaire, avec quelques différences spécifiques.

Les maxima de la moyenne mensuelle des précipitations sont observés durant le mois de Décembre qui sont respectivement 110.56mm à la station de Guelma, 145.53mm à la station de Skikda, 132.44mm à la station d'El Tarf et 88.5mm à la station de Souk Ahras.

Les minima sont enregistrés durant le mois de Juillet pour les quatre stations, avec 5.37mm pour la station de Guelma, 1.14mm à la station de Skikda, 2.78mm à la station d'El Tarf et 8.42mm à la station Souk Ahras, (*Tableau N°2*).

Tableau N°2. : Moyenne des précipitations mensuelles (mm).

<i>Mois</i> <i>Station</i>	<i>Sept</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Janv</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Juil</i>	<i>Aou</i>	<i>Total</i> <i>annuel</i>
<i>Guelma</i>	37,76	34,95	70,12	110,56	82,60	64,16	55,82	58,96	53,33	18,70	5,37	10,33	602,66
<i>Skikda</i>	57,06	62,95	96,15	145,53	100,46	86,45	66,79	64,13	38,14	12,71	1,14	11,7	743,21
<i>El Tarf</i>	58.12	59.68	113.51	132.44	120.57	83.24	74.6	82.04	52.66	17.94	2.78	10.37	807.99
<i>Souk</i> <i>Ahras</i>	33,88	30,60	51,61	88,50	78,95	58,22	53	57,73	51,50	23,88	8,42	20,29	556,58

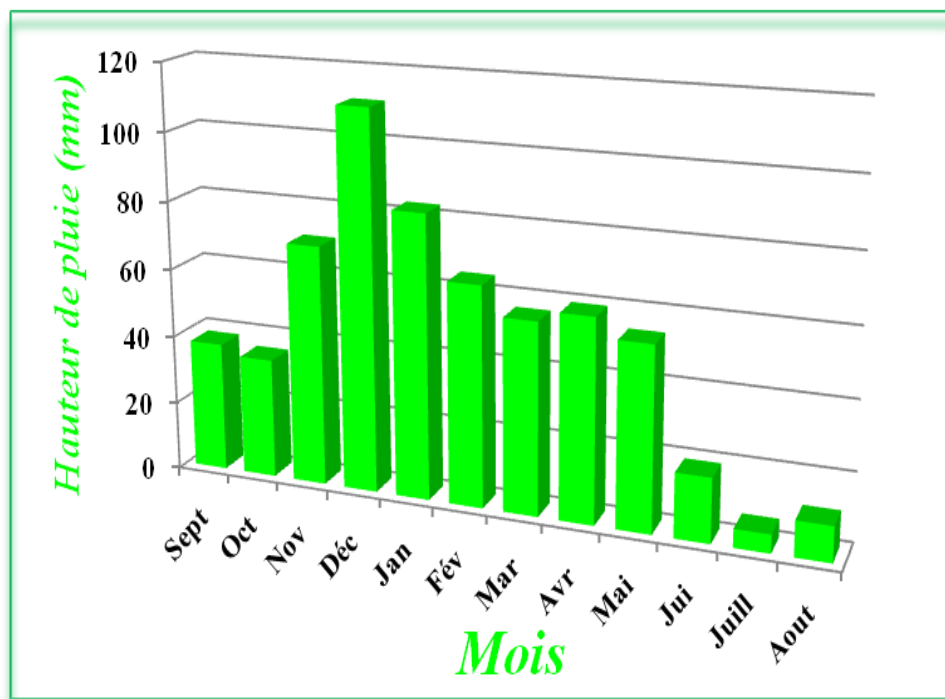


Fig. 34 : Moyenne des précipitations mensuelles (Station de Guelma, 1990-2008).

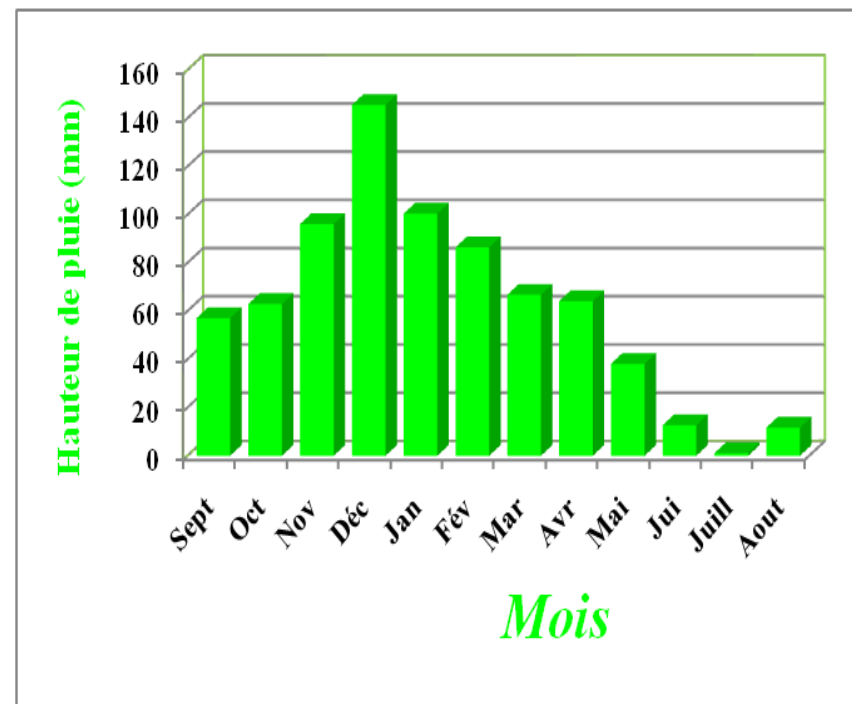


Fig. 35: Moyenne des précipitations mensuelles (Station de Skikda, 1989-2009).

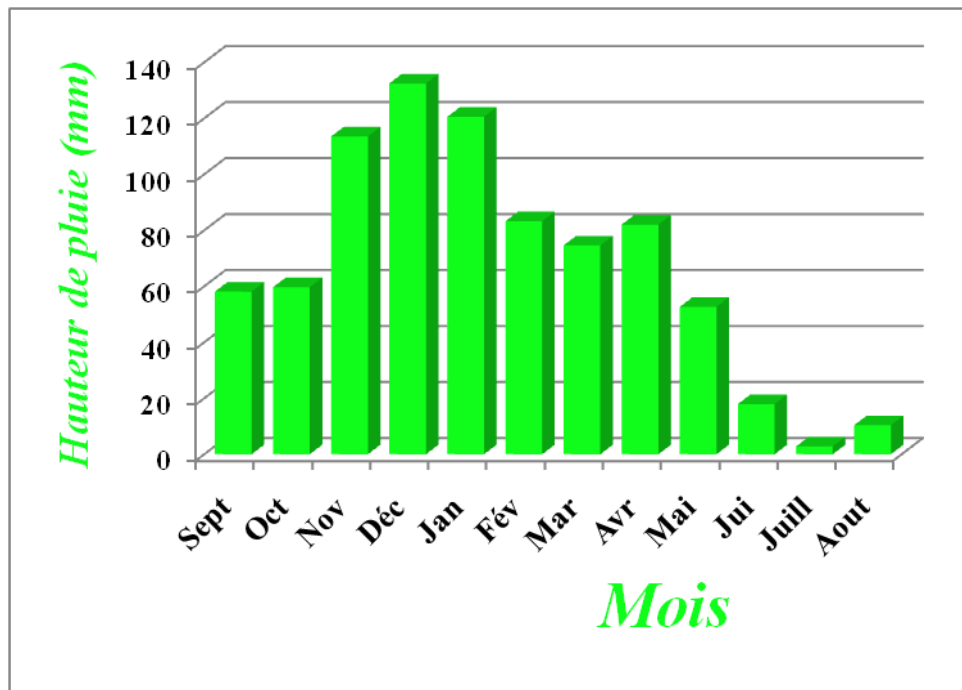


Fig. 36: Moyenne des précipitations mensuelles (Station d'El Tarf, 1996-2011).

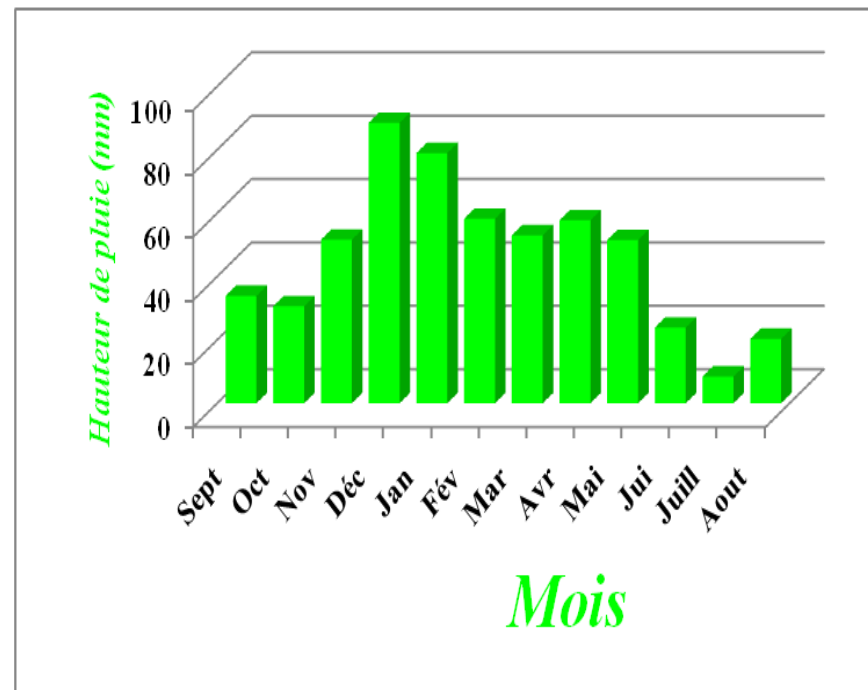


Fig. 37 : Moyenne des précipitations mensuelles (Station de Souk Ahras, 1988-2008).

III-3.2. Température :

La température étant étroitement liée au taux de radiation, lui-même directement corrélé à l'évaporation, il s'ensuit qu'une certaine relation existe entre l'évaporation et la température de la surface évaporant.

Les températures moyennes mensuelles maximales observées dans les quatre stations, sont enregistrées au mois d'Août avec 29.94 °C à Guelma, 26.39 °C à Skikda, 35.35 °C à El Tarf et 25.38 °C à Souk Ahras. Les températures moyennes mensuelles minimales sont observées au mois de Janvier, avec 9.15°C à la station de Guelma, 17.57°C à la station d'El Tarf et 8.22 °C à la station de Souk Ahras, mais à la station de Skikda elle est observée au mois de Février avec 12.52 °C. (*Tableau N°3*).

III – 4. Courbe ombro-thermique :

Une courbe ombro-thermique c'est la combinaison entre les facteurs pluviométriques (*P*) et les facteurs thermiques (*T*). L'avantage de ces courbes nous permettent de mettre en évidence les deux périodes sèche et humide.

Un mois sec est celui dont les précipitations totales exprimées en millimètres, sont égales ou inférieures au double de la température.

Dans notre cas, les diagrammes concernant les stations : Guelma (1990-2008), Skikda (1989-2009), El Tarf (1996-2011) et Souk Ahras (1988-2008).

Tableau N° 3 : Moyenne des températures mensuelles (°C).

<i>Mois</i> <i>Station</i>	<i>Sept</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Déc</i>	<i>Jan</i>	<i>Fév</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Juill</i>	<i>Aout</i>
<i>Guelma</i>	25,48	20,78	13,88	10,20	9,15	10,12	13,18	16,49	21,55	26,63	29,93	29,94
<i>Skikda</i>	24,14	21,14	16,63	13,61	12,57	12,52	14,29	16,08	19,26	22,64	25,31	26,39
<i>El Tarf</i>	30,54	27,34	22,23	18,78	17,57	17,66	20,10	22,62	26,4	31,75	35,18	35,35
<i>Souk Ahras</i>	22,21	18,38	12,90	9,24	8,22	8,73	11,31	13,34	18,04	22,55	25,53	25,88

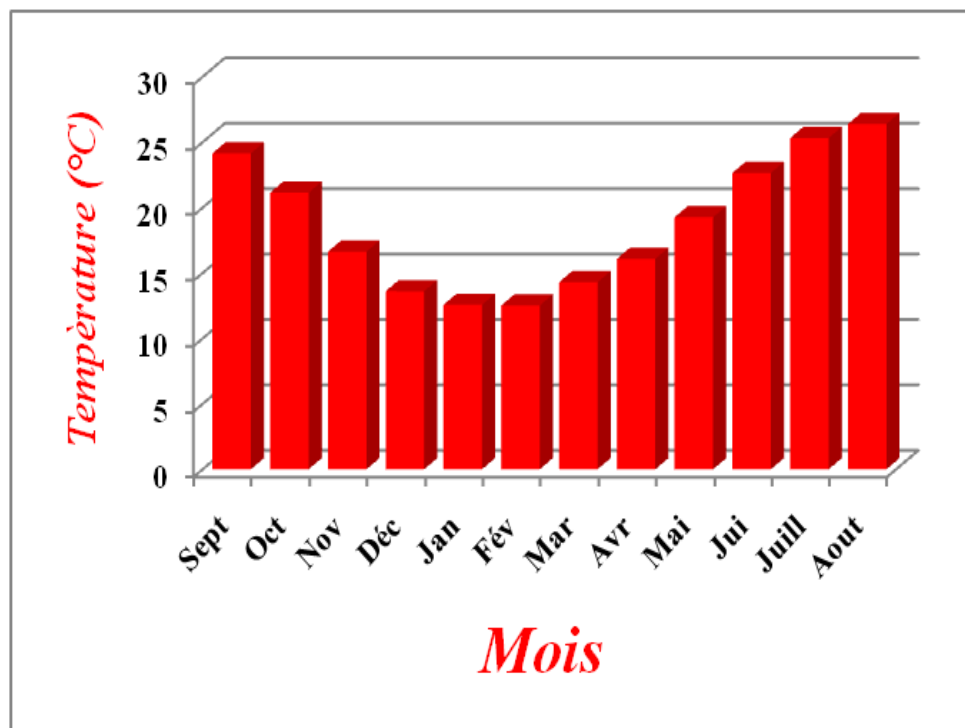


Fig. 38 : Moyenne des températures mensuelles (Station de Guelma, 1990-2008).

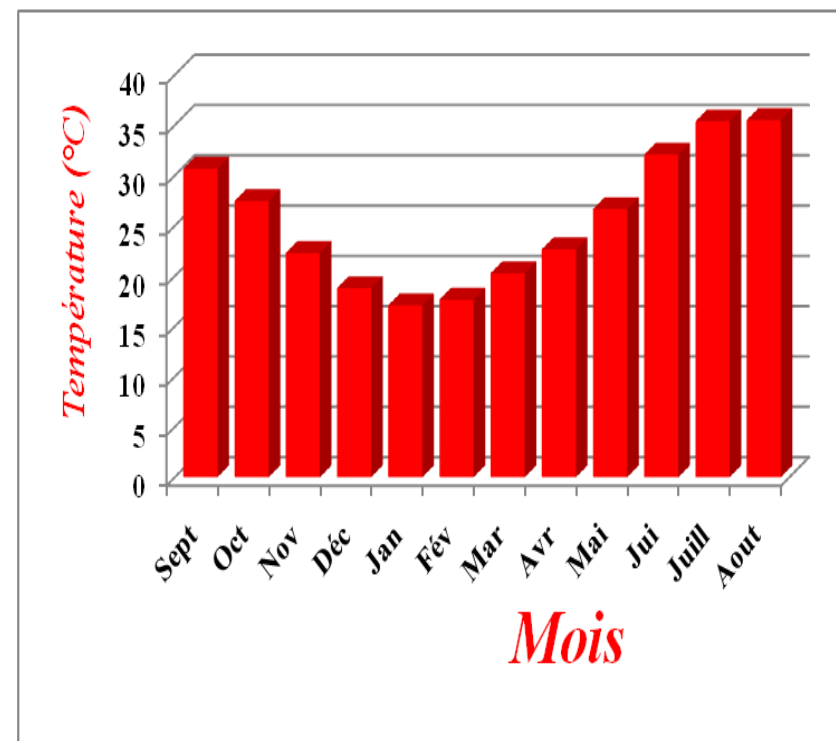


Fig. 39 : Moyenne des températures mensuelles (Station de Skikda, 1989-2009).

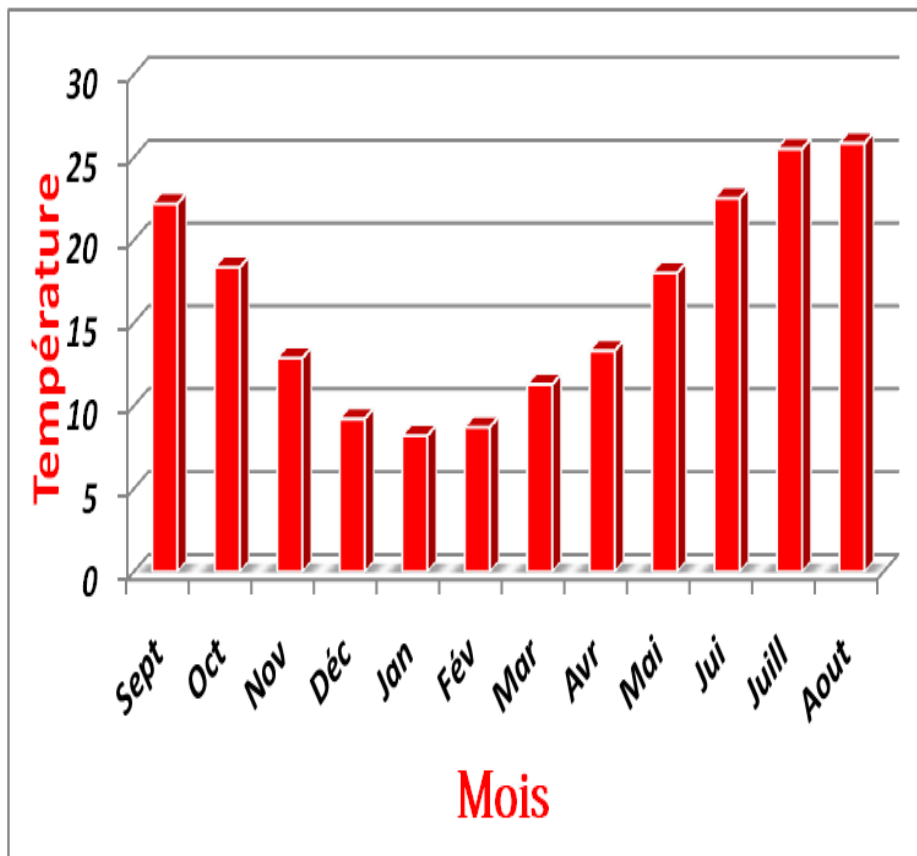


Fig. 40 : Moyenne des températures mensuelles (Station d'El Tarf, 1996-2011).

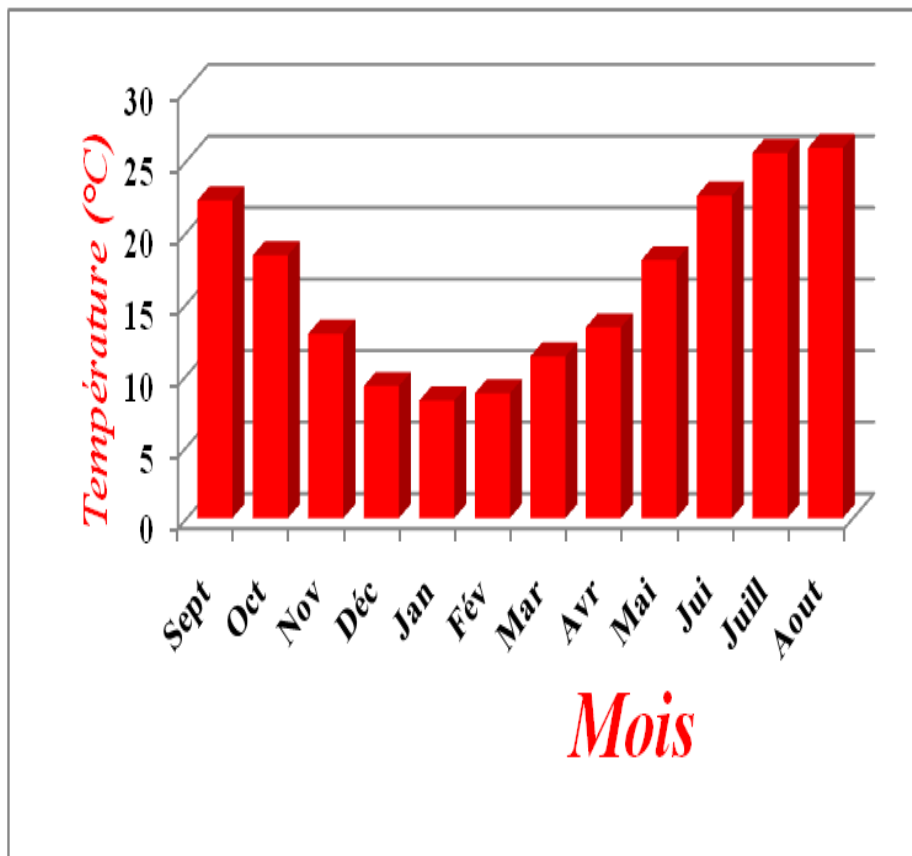
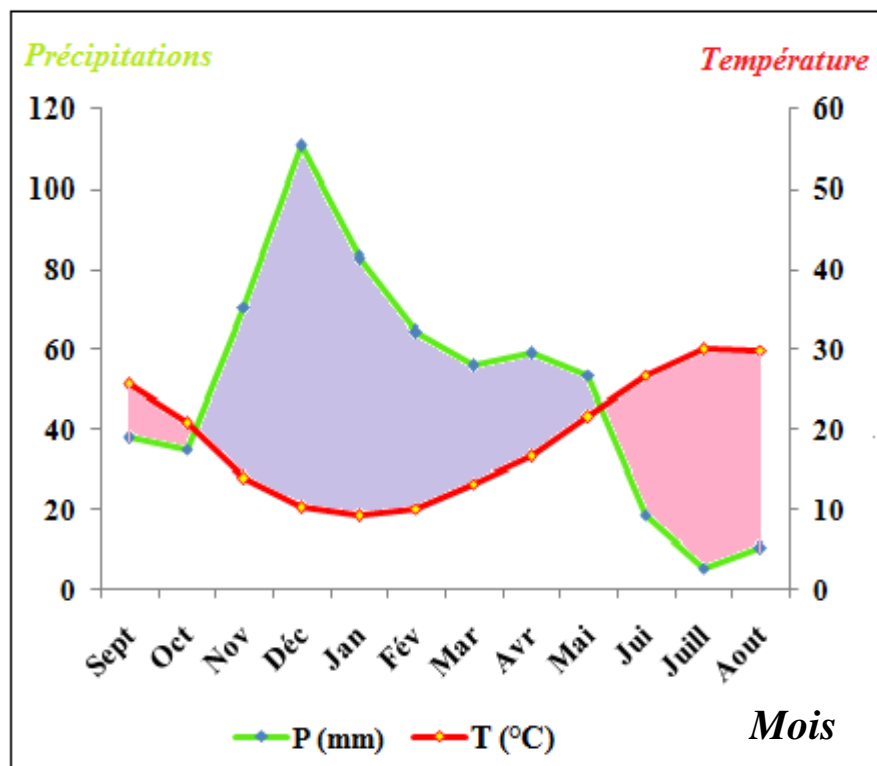


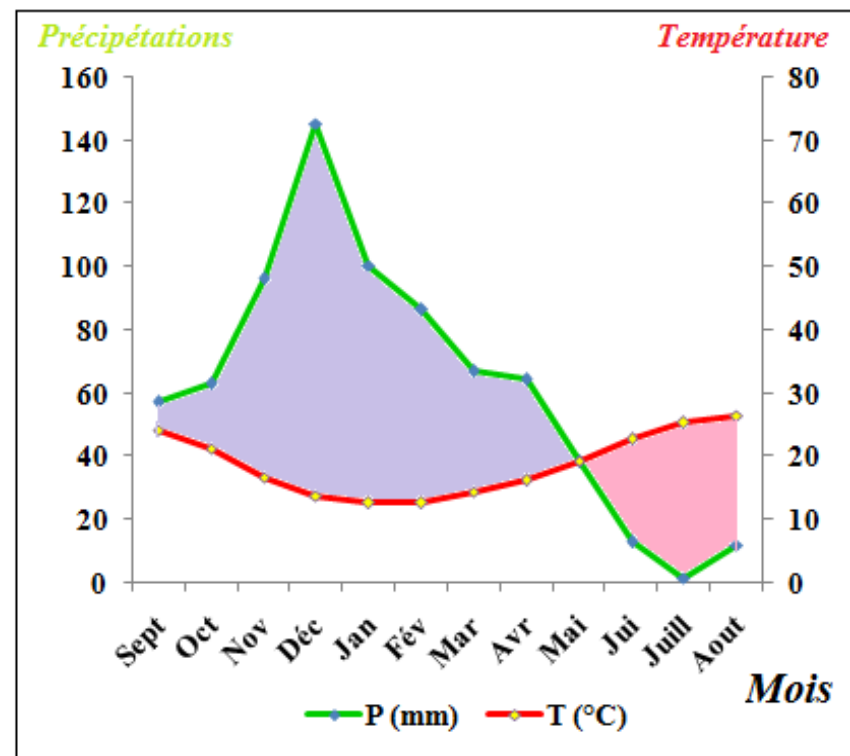
Fig. 41 : Moyenne des températures mensuelles (Station de Souk Ahras, 1988-2008).

- **La station Guelma :** la courbe ombro-thermique (*Fig.42*) présente deux (02) périodes :
 - La période sèche, qui s'étale à partir de mois de Mai jusqu'à la moitié de mois d'Octobre, avec un maximum de précipitation de 53.33mm et une température moyenne maximale égale à 29.94 °C au mois d'Août.
 - La période humide s'étalant de la moitié de mois d'Octobre jusqu' à la fin du mois d'Avril. Elle est caractérisée par un maximum de précipitation de 110.56 mm enregistré **durant le** mois de Décembre.
- **La station de Skikda :** à partir de la courbe ombro-thermique (*Fig.43*), on note la présence de deux (02) saisons :
 - Une saison sèche débutant de la moitié de mois de Mai jusqu'à la moitié du mois de Septembre, elle est caractérisée par une température moyenne maximale de 26.32 °C enregistrée au mois d'Août.
 - Une saison humide s'étalant de la moitié de Septembre jusqu'à la moitié du mois de Mai avec une précipitation moyenne maximale de 145.53 mm enregistrée au mois de Décembre.
- **La station d'El Tarf:** à partir de la courbe ombro-thermique (*Fig. 44*), on note la présence de deux (02) saisons:
 - Une saison sèche débutant de la moitié de mois de Mai jusqu'à la moitié du mois de Septembre, elle est caractérisée par une température moyenne maximale de 35.35 °C enregistrée au mois d'Août.
 - Une saison humide s'étalant de la moitié de Septembre jusqu'à la moitié du mois de Mai avec une précipitation moyenne maximale de 132.44 mm enregistrée au mois de Décembre.
- **La station Souk Ahras:** à partir de la courbe ombro-thermique (*Fig. 45*), on note la présence de deux (02) saisons:
 - Une saison sèche débutant de la moitié de mois de Mai jusqu'à la moitié du mois d'Octobre, Une saison humide s'étalant de la moitié d'Octobre jusqu'à la moitié du mois de Mai.



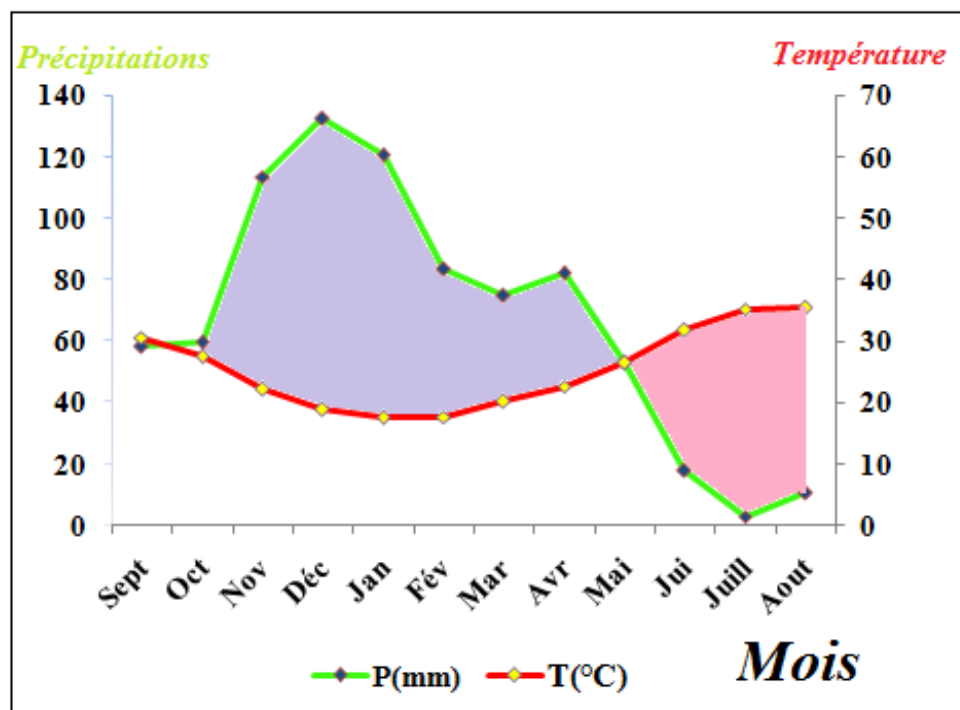
Période sèche
 Période humide

Fig. 42 : Courbe ombro-thermique (Station de Guelma, 1990-2008).



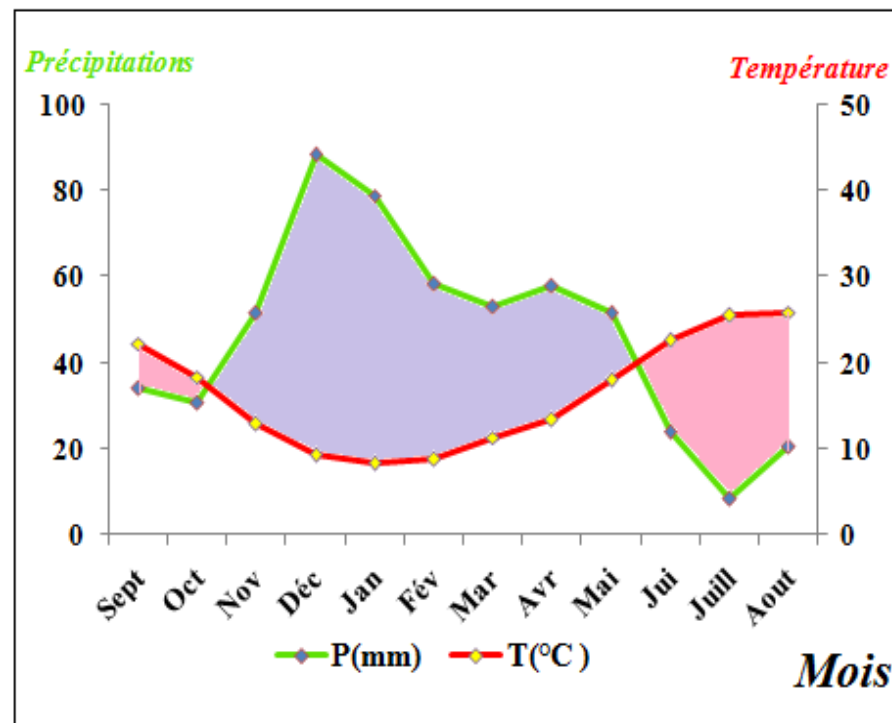
Période sèche
 Période humide

Fig. 43 : Courbe ombro-thermique (station de Skikda, 1989-2009).



 Période sèche  Période humide

Fig. 44 : Courbe ombro-thermique (Station d'El Tarf, 1996-2011).



 Période sèche  Période humide

Fig.45 : Courbe ombro-thermique (Station de Souk Ahras, 1988-2008).

III – 5. 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.

III – 5.1. 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.

III – 5.1.1. 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.

L'*ETR* peut être estimée à l'aide de mesures ou de méthodes de calcul. A titre illustratif, les formules de *TURC* et *COUAGNE* sont les suivantes :

✚ **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).

✚ **Formule de Coutagne :**

$$ETR = P - m \cdot P^2$$

Avec :

$$m = 1 / (0.8 + 0.16T)$$

ETR : l'évapotranspiration réelle en (mm) ;

P : la précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

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

III – 5.1.2. 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 : $i = (T / 5)^{1.5}$.

III – 5.2. 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.

III – 5.3. L'étude 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.

III – 5.4. Interprétation des données du bilan :

III – 5.4.1. Station de Guelma (Fig. 46):

L'étude du bilan hydrique de la station de Guelma (*Tableau N° 4*), sur une durée de 18 ans (1990 -2008), montre que lorsque la réserve facilement utilisable est pleine, il y a un

excédent d'eau et quand elle commence à diminuer, on a un épuisement de stock accompagné d'un déficit agricole.

- Le **RFU** atteint son maximum 100 mm durant le mois de Décembre, Janvier, Février, Mars, Avril.
- L'écoulement s'observe durant les même mois avec une somme de :
 $\sum (Exc) = 180.20\text{mm}$;
- $\sum ETR = 422.46\text{mm}$.

✚ Ruissellement (R) :

Le ruissellement est calculé par la formule de **TIXERONT BERKALOFF** appliquée pour ($P < 600\text{mm}$).

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

Où : **R** : ruissellement moyen en mm ;

P : précipitation moyenne (en mm) ;

ETP : évapotranspiration potentielle (en mm).

La quantité de ruissellement calculée pour la station de Guelma est de 71mm.

✚ Infiltration (I) :

L'infiltration est calculée à partir du bilan hydrique en remplaçant chacun des termes par sa valeur trouvée : $P = ETR + R + I$

La quantité d'eau infiltrée est égale à : 109.2 mm à la station de Guelma c'est-à-dire 18.11% de la pluie moyenne.

III – 5.4.2. Station de Skikda (Fig. 47) :

Pour la station de Skikda (**tableau N° 5**), le déficit agricole débute à partir du mois de Juin jusqu'à Octobre, la reconstitution de la **RFU** commence du mois de Novembre jusqu'au mois de Mai, avec un maximum de 100 mm du mois de Décembre jusqu'à Avril.

- $\sum \text{ETR} = 507.27\text{mm}$;
- $\sum \text{P} = 743,21\text{mm}$;
- Ruissellement : 163.10mm ;
- La quantité d'eau infiltrée : $I = 72.84\text{mm}$.

III – 5.4.3. Station d'El Tarf (Fig. 48) :

L'étude du bilan hydrique de la station d'El Tarf (*Tableau N°6*), sur une durée de 15 ans (1996 -2011), montre que lorsque la réserve facilement utilisable est pleine, il y a un excédent d'eau et quand elle commence à diminuer, on a un épuisement de stock accompagné d'un déficit agricole.

- $\sum \text{ETR} = 537,17 \text{ mm}$;
- $\sum \text{P} = 807.95 \text{ mm}$;
- Ruissellement : 114.76 mm ;
- La quantité d'eau infiltrée : $I = 156.02 \text{ mm}$.

II – 5.4.2. Station de Souk Ahras (Fig. 49) :

Pour la station de Souk Ahras (*tableau N°7*), le déficit agricole débute à partir du mois de Juin jusqu'à Octobre, la reconstitution de la *RFU* commence du mois de Novembre jusqu'au mois de Mai, avec un maximum de 100 mm du mois de Décembre jusqu'à Avril.

- $\sum \text{ETR} = 435,81\text{mm}$;
- $\sum \text{P} = 556,58 \text{ mm}$;
- Ruissellement : 76.18 mm ;
- La quantité d'eau infiltrée : $I = 44.59 \text{ mm}$.

Tableau N° 4 : Bilan hydrique C.W.THORNTWAITE (Station de Guelma, 1990-2008).

<i>Paramètre Mois</i>	T	<i>i</i>	CL	ETP	P	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
Sept	25,48	11.50	1,03	122.04	37,76	-84.28	-0.69	0.00	0.00	37,76	84.28	0.00
Oct	20,78	8.47	0,97	76.44	34,95	-41.49	-0.54	0.00	0.00	34,95	41.49	0.00
Nov	13,88	4.62	0,86	30.23	70,12	39.89	1.31	39.89	39.89	30.23	0.00	0.00
Déc	10,20	2.91	0,81	15.38	110,56	95.18	6.18	60.11	100	15.38	0.00	35.07
Jan	9,15	2.47	0,87	13.29	82,60	69.31	5.21	0.00	100	13.29	0.00	69.31
Fév	10,12	2.87	0,85	15.88	64,16	48.28	3.04	0.00	100	15.88	0.00	48.28
Mar	13,18	4.27	1,03	32.65	55,82	23.17	0.70	0.00	100	32.65	0.00	23.17
Avr	16,49	5.98	1,10	54.59	58,96	4.37	0.08	0.00	100	54.59	0.00	4.37
Mai	21,55	8.94	1,21	102.55	53,33	-49.22	-0.47	-49.22	50.78	102.55	0.00	0.00
Jui	26,63	12.29	1,22	157.90	18,70	-139.20	-0.88	-50.78	0.00	69.48	88.42	0.00
Juill	29,95	14.66	1,24	203.00	5,37	-197.63	-0.97	0.00	0.00	5,37	197.63	0.00
Aout	29,94	14.65	1,16	189.78	10,33	-179.45	-0.94	0.00	0.00	10,33	179.45	0.00
Annuel	18.94	93.63	/	1013.73	602,66	-411.07	/	/	/	422.46	591.27	180.20

P : Précipitations moyenne annuelle (mm).

i : indice thermique mensuel.

CL : coefficient de latitude.

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

RFU : Réserve facilement utilisable (mm).

Exc : Excédent (mm).

Def : Déficit agricole (mm).

$a = 2$

Tableau N° 5 : Bilan hydrique C.W.THORNTWAITE (Station de Skikda, 1989-2009).

<i>Paramètre Mois</i>	<i>T</i>	<i>i</i>	<i>CL</i>	<i>ETP</i>	<i>P</i>	<i>BH</i>	<i>CH</i>	<i>VR</i>	<i>RFU</i>	<i>ETR</i>	<i>Def</i>	<i>Exc</i>
<i>Sept</i>	24,14	10.60	1,03	111.79	57,06	-54.73	-0.48	0.00	0.00	57,06	54.73	0.00
<i>Oct</i>	21,14	8.69	0,97	81.60	62,95	-18.65	-0.22	0.00	0.00	62,95	18.65	0.00
<i>Nov</i>	16,63	6.06	0,86	45.63	96,15	50.52	1.10	50.52	50.52	45.63	0.00	0.00
<i>Déc</i>	13,61	4.49	0,81	29.25	145,53	116.28	3.97	49.48	100	29.25	0.00	66.53
<i>Jan</i>	12,57	3.98	0,87	26.97	100,46	73.49	2.72	0.00	100	26.97	0.00	74.31
<i>Fév</i>	12,52	3.96	0,85	26.15	86,45	60.30	2.30	0.00	100	26.15	0.00	60.30
<i>Mar</i>	14,29	4.83	1,03	40.85	66,79	25.94	0.63	0.00	100	40.85	0.00	25.94
<i>Avr</i>	16,08	5.76	1,10	54.72	64,13	9.41	0.17	0.00	100	54.72	0.00	9.41
<i>Mai</i>	19,26	7.56	1,21	85.12	38,14	-46.98	-0.55	-46.98	53.02	85.12	0.00	0.00
<i>Jui</i>	22,64	9.63	1,22	117.07	12,71	-104.36	-0.89	-53.02	0.00	65.73	51.34	0.00
<i>Juill</i>	25,31	11.38	1,24	147.39	1,14	-146.25	-0.99	0.00	0.00	1,14	146.25	0.00
<i>Aout</i>	26,39	12.12	1,16	149.40	11,7	-137.70	-0.92	0.00	0.00	11,7	137.7	0.00
<i>Annuel</i>	18.71	89.06	/	915.94	743,21	-172.73	/	/	/	507.27	408.67	236.49

$a=1.9$

Tableau N° 6 : Bilan hydrique C.W.THORNTWAITE (Station d'El Tarf, 1996-2011).

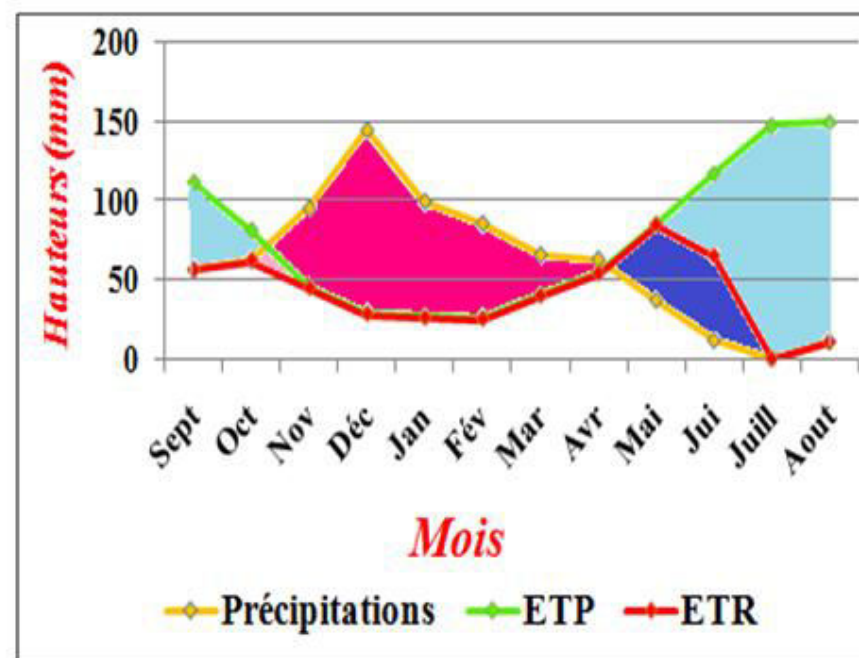
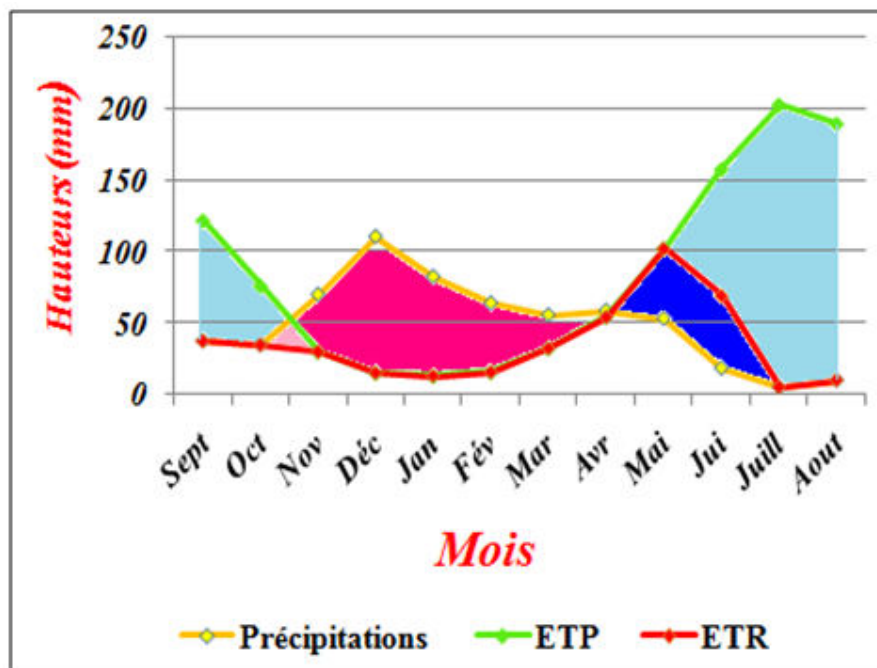
Paramètre Mois	T	i	CL	ETP	P	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
Sept	30.54	15.09	1,03	138.03	58.12	-79.91	-0.57	0.00	0.00	58.12	79.91	0.00
Oct	27.34	12.78	0,97	95.88	59.68	-36.20	-0.37	0.00	0.00	59.68	36.20	0.00
Nov	22.23	9.37	0,86	48.12	113.51	65.39	1.35	65.39	65.39	48.12	0.00	0.00
Déc	18.78	7.27	0,81	28.50	132.44	103.94	3.64	103.94	100	28.50	0.00	69.33
Jan	17.57	6.58	0,87	25.50	120.57	95.07	3.72	95.07	100	25.50	0.00	95.07
Fév	17.66	6.63	0,85	25.25	83.24	57.99	2.29	57.99	100	25.25	0.00	57.99
Mar	20.10	8.06	1,03	43.69	74.60	30.91	0.70	30.91	100	43.69	0.00	30.91
Avr	22.62	9.62	1,10	64.56	82.04	17.48	0.27	17.48	100	64.56	0.00	17.48
Mai	26.4	12.13	1,21	108.63	52.66	-55.97	-0.51	-55.97	44.03	108.63	0.00	0.00
Jui	31.75	16.00	1,22	181.93	17.94	-163.99	-0.90	-44.03	0.00	61.97	119.96	0.00
Juill	35.18	18.66	1,24	245.18	2.78	-242.40	-0.98	0.00	0.00	2.78	242.40	0.00
Aout	35.35	18.79	1,16	232.43	10.37	-222.06	-0.95	0.00	0.00	10.37	222.06	0.00
Annuel	25.46	141	/	1237,7	807.95	-429,75	/	/	/	537,17	700,53	270,78

$a=2.75$

Tableau N° 7 : Bilan hydrique C.W.THORNTWAITE (Station de Souk Ahras, 1988-2008)

<i>Paramètre Mois</i>	<i>T</i>	<i>i</i>	<i>CL</i>	<i>ETP</i>	<i>P</i>	<i>BH</i>	<i>CH</i>	<i>VR</i>	<i>RFU</i>	<i>ETR</i>	<i>Def</i>	<i>Exc</i>
<i>Sept</i>	22.21	9.36	1,03	104.56	33.88	-70.68	-0.67	0.00	0.00	33.88	71.18	0.00
<i>Oct</i>	18.38	7.04	0,97	71.37	30.60	-40.77	-0.57	0.00	0.00	30.60	40.77	0.00
<i>Nov</i>	12.90	4.14	0,86	34.66	51.61	16.95	0.48	16.95	16.95	34.66	0.00	0.00
<i>Déc</i>	9.24	2.51	0,81	18.51	88.50	69.99	3.78	69.99	86.94	18.51	0.00	0.00
<i>Jan</i>	8.22	2.10	0,87	16.30	78.95	62.65	3.84	62.65	100	16.30	0.00	49.59
<i>Fév</i>	8.73	2.30	0,85	17.64	58.22	40.58	2.30	40.58	100	17.64	0.00	40.58
<i>Mar</i>	11.31	3.40	1,03	33.19	53.00	19.81	0.59	19.81	100	33.19	0.00	19.81
<i>Avr</i>	13.34	4.34	1,10	46.94	57.73	10.79	0.22	10.79	100	46.94	0.00	10.79
<i>Mai</i>	18.04	6.85	1,21	86.25	51.50	-34.75	-0.40	-34.75	65.25	86.25	0.00	0.00
<i>Jui</i>	22.55	9.57	1,22	127.08	23.88	-103.20	-0.81	-65.25	0.00	89.13	37.95	0.00
<i>Juill</i>	25.53	11.53	1,24	159.51	8.42	-151.09	-0.94	0.00	0.00	8.42	151.09	0.00
<i>Aout</i>	25.88	11.77	1,16	152.72	20.29	-132.43	-0.86	0.00	0.00	20.29	132.43	0.00
<i>Annuel</i>	16.36	74,91	/	868,73	556,58	-312,15	/	/	/	435,81	433,42	120,77

$a=1.70$



Déficit agricole

Recharge du sol

Déficit agricole

Surplus d'eau

Surplus d'eau

Epuisement du stock

Recharge du sol

Epuisement du stock

Fig. 46 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite (station de Guelma ,1990-2008).

Fig. 47 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite (station de Skikda ,1989-2009).

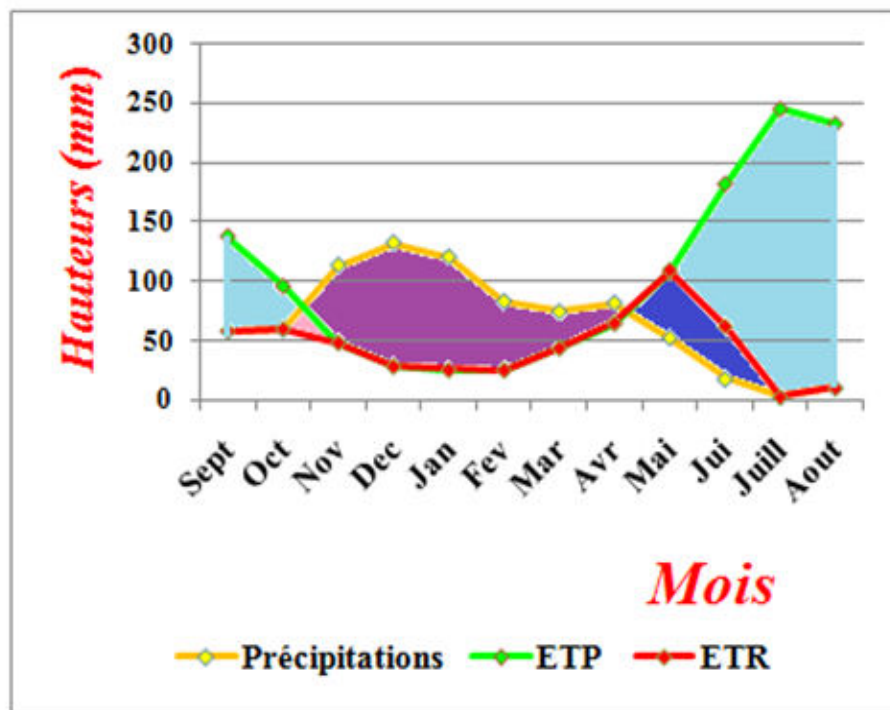


Fig. 48 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite (station d'El Tarf ,1996-2011).

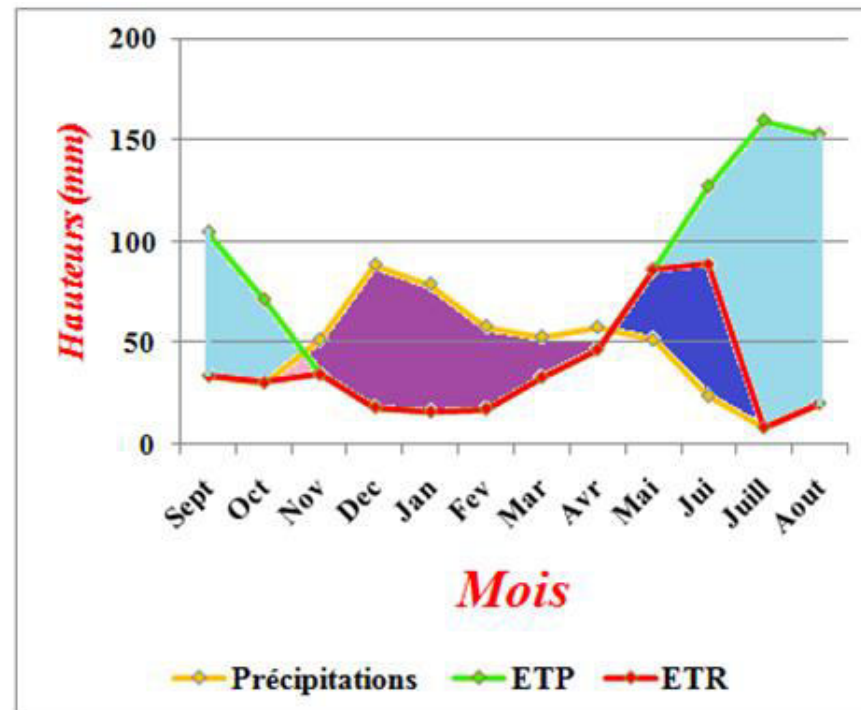


Fig. 49 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite (station de Souk Ahras ,1988-2008).

III – 6. Conclusion :

Le secteur d'étude fait partie des bassins (côtières constantinois centre et Est, la Seybouse et Medjarda – Melleg), il est caractérisé par un climat subhumide avec un hiver humide et froid, et un été sec et chaud.

La région d'étude reçoit des moyennes de précipitations de l'ordre de 602,66 mm/an à Guelma, 743,21 mm/an à Skikda, 807.95 mm/an à El Tarf et 556,58 mm/an à Souk Ahras. Les températures moyennes sont respectivement 18.94 °C, 18.71°C, 25.46°C et 16.36°C.

Les déficit agricole sont comme suit:

- 98.11% des précipitations correspondant à 591.27 mm dans la région de Guelma.
- 54.98% des précipitations correspondant à 408.67 mm dans la région de Skikda.
- 86.70% des précipitations correspondant à 700,53mm dans la région d'El Tarf.
- 77.87% des précipitations correspondant à 433,42 mm dans la région de Souk Ahras.

L'évapotranspiration réelle est de 422.46 mm à Guelma, 507.27mm à Skikda, 537,17mm à El Tarf et 435,81 mm à Souk Ahras, représentant respectivement 70.09% , 68.25% , 66.48% et 78.30% des précipitations.

Le coefficient de ruissellement calculé est de 71 mm dans la région de Guelma, 163.10 mm dans la région de Skikda, 114.76 mm à la région d'El Tarf et 76.18 mm dans la région de Souk Ahras.

Le calcul du bilan, nous montre que la quantité d'eau qui s'infiltré présente une valeur de 109.2 mm dans la région de Guelma, 72.84 mm à Skikda, 156.02 mm à El Tarf et 44.59 mm dans la région de Souk Ahras.

CHAPITRE IV :
APERÇU
HYDROGEOLOGIQUE

IV-1.Introduction

L'étude hydrogéologique consiste à préciser la structure géométrique des aquifères, permettant l'établissement des relations entre la géologie et les eaux souterraines et localiser l'habitat de l'eau dans les diverses formations géologiques. (*Bekkouch et Benhamza, 2009*)

IV-2.Généralités :

IV-2.1. Recherche et exploitation des eaux thermales :

Les eaux thermales remontant vers la surface en suivant des failles, ce même cheminement peut être emprunté par les gaz issus des couches profondes, les zones d'émergence seront les mêmes.

Une des techniques de recherche des points d'émergence consiste en la cartographie des teneurs en CO₂ ou en Radon. Le Radon émis par la désintégration des radioéléments contenus dans les granites par exemple va s'échapper en utilisant les failles.

Des prélèvements de gaz du sous-sol ou du sol peuvent être effectués avec géo référencement des points.

Ces données dûment traitées par un logiciel de géostatistique permettent de tracer la carte de teneur en gaz de l'atmosphère du sous sol. Les valeurs élevées peuvent trahir la proximité des zones d'émergence. (*VINCENT VALLES, 2002*)

IV-2.2. Captage, problème des arrivées diffuses :

Le cheminement de l'eau vers la surface est en général relativement complexe. Dans de nombreux cas, le tronç principal de remontée se divise avant d'atteindre la surface, en plusieurs cheminements différents, conduisant chacun à une propre sortie ou griffon.

Comme la dernière partie du cheminement est différent avec les interactions avec la surface (refroidissement, mélange,...), chaque griffon peut présenter des caractéristiques différentes.

➤ **Présence de plusieurs veines avec mélanges variables :**

Dans ce cas la descente de sondes de multi paramètres dans le forage permet de diagnostiquer les différentes arrivées d'eau dans le forage. Lorsque l'on trace l'évolution des différents paramètres avec la profondeur, il est possible dans certains cas de diagnostiquer la profondeur d'arrivée des différentes veines et le cas échéant de préciser quelle la veine le moins affectée par des mélanges. On réalise donc des logs.

➤ **Cas de l'arrivée diffuse en surface :**

Il convient alors de contraindre ces flux diffus à converger vers le même point. Pour cela, on crée un radier perméable surmonté d'une dalle bétonnée, l'eau ne peut alors sortir que par un orifice prévu à cet effet.

➤ **Forage :**

Pour éviter que l'altération des caractéristiques thermales de l'eau ne soient trop affectées lors des dernières phases de la remontée, on peut tenter de forer pour atteindre la veine avant que le mélange avec l'eau de surface ne se produit. Pour cela une bonne connaissance de la géologie locale est indispensable afin de déterminer l'orientation probable de circulation profonde (direction des systèmes de fractures locales) (VINCENT VALLES, 2002)

IV-2.3. Les circuits hydrothermaux (thermosyphon) : (Fig. 50)

✚ **Origines de l'eau thermale, la question de l'origine juvénile :**

Comme les eaux thermales sont chaudes par définition, qu'elles sont souvent liées à des zones relativement actives au niveau tectonique, différents auteurs se sont posés la question de l'origine « juvénile » de l'eau. Selon cette hypothèse, l'eau résulterait de la condensation des vapeurs d'eau échappées des magmas. La cuisson en profondeur des roches d'origine superficielles, hydratées, conduit en effet à la libération de vapeur d'eau. Différentes études ont montré que cette origine « juvénile » était nulle ou insignifiante dans la plupart des cas.

L'eau thermale est essentiellement une eau vadose. Parfois, il peut s'agir d'eau fossile, contenant des minéralisations caractéristiques de ses conditions de dépôt. On retiendra donc qu'en général, l'eau thermale participe à la circulation générale du cycle de l'eau.

✚ **Le thermosyphon :**

Le thermosyphon est constitué d'un circuit. La zone d'alimentation peut être située en altitude. A ce niveau une partie de l'eau de surface s'infiltré à la faveur d'un réseau de failles.

L'eau froide et dense circule vers la profondeur où elle gagne des couches chaudes, elle se charge en élément dissous par interaction avec les roches encaissantes, et se charge parfois en gaz. Les hautes températures accélèrent la cinétique de l'interaction eau roche (effet de la température sur la cinétique), l'eau chaude étant moins dense remonte vers la surface en empruntant une faille, la différence de densité entre l'eau froide et l'eau chaude, la présence de gaz qui diminue la densité apparente à partir du point de bulle, sont autant de phénomènes qui facilitent la circulation de l'eau.

Le temps de transfert dans le circuit du thermosyphon peut être relativement long et se chiffre en dizaines de milliers d'années.

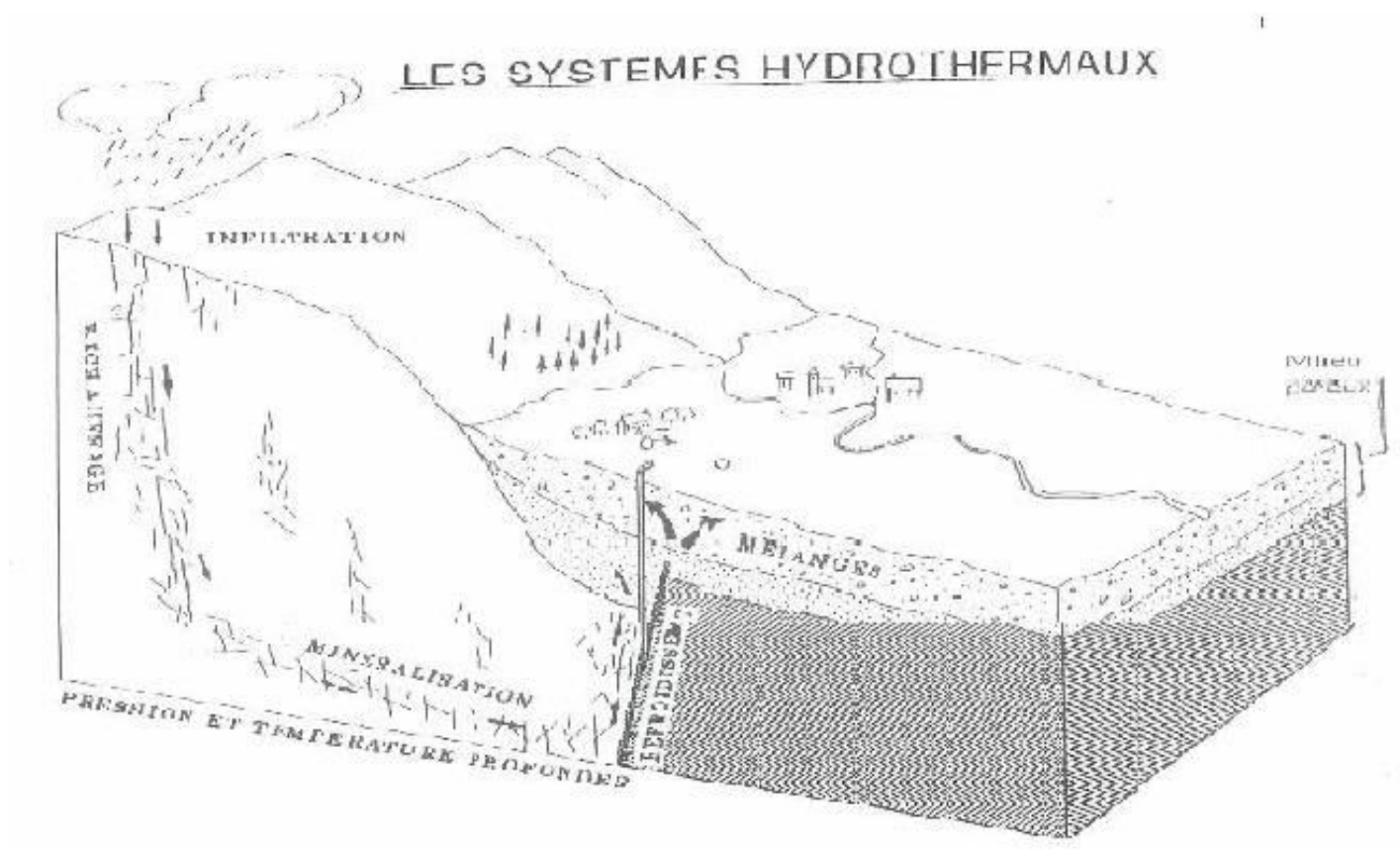


Fig. 50 : Les systèmes hydrothermaux (VINCENT VALLES, 2002)

✚ Isotopes pour préciser l'origine et l'âge des eaux thermales :

Il est important de connaître l'origine de l'eau ainsi que son temps de présence dans le circuit. En effet, si le temps de séjour est très long, le risque de voir une pollution récente affecter la qualité de l'eau thermale est très faible. Il peut s'agir de contamination lors d'un mélange partiel avec des eaux de surface lors de la remontée. De même, il est important de connaître la zone d'alimentation pour pouvoir définir des périmètres de protection. Or compte tenu du cheminement complexe des eaux thermales, la connaissance du bassin alimentant la ressource n'est pas aisée.

L'outil isotopique peut être d'un grand secours, l' O_{18} permet par exemple de déterminer l'altitude de la zone d'alimentation dans le cas où celle-ci se trouve dans une zone de montagne avec des gradients altitudinaux susceptibles de marquer les caractéristiques de la pluie.

De même, l'âge de l'eau en fait le temps de transit dans les circuits du thermosiphon, peuvent être déterminé par les datations en H_3 , uniquement pour des durées relativement brèves et compatibles avec ce type de traçage. (VINCENT VALLES, 2002)

IV-3. Classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologiques : (Fig. 51)

Cette étude a été réalisée sur la base des documents suivants :

- La carte géologique d'Azzaba au 1/ 50 000 et sa notice explicative (pour les eaux de Skikda) ;
- Les logs stratigraphiques des sondages mécaniques ;
- Les rapports de l'étude géophysique effectuée par la société **Strojexport – Prague – EX - TCHECISLOVAQUI** en 1983 ;
- Les travaux réalisés par **J.M. Vila** dans la région.

A partir de la nature lithologique du secteur étudié nous avons déterminé trois (03) types de formations :

- formation favorables au développement d'aquifères poreux : qui sont caractérisées par une perméabilité en petit liée à la présence des vides interstitiels interconnecté, assimilables macroscopiquement a un milieu continu.

- formations non favorables au développement d'aquifères : qui sont les formations imperméables.

- formations favorables aux développements d'aquifères karstiques : ce sont des formations carbonatées du Jurassique qui sont assez largement répandues. Elles sont représentées par trois (03) faisceaux :

- **Le faisceau jurassique inférieur:** Constitué de dolomies passant progressivement aux calcaires intercalés par l'intermédiaire de dolomies gréseux avec les argilites et des lentilles de conglomérats.
- **Le faisceau jurassique moyen :** prédominant des dépôts de grés microgrenus et des siltites rouges foncés avec des intercalations de siltites gris verdâtres, de brèche, de grés calcaires et des schistes calcaires.
- **Le faisceau jurassique supérieur :** Caractérisé par la présence des couches superposées de calcaires lités, des couches marneuses et dolomies.

Dans ces formations carbonatées, les indices de karstifications ont été confirmés lors de formation par des néo cristaux de calcites, pertes de boue..., l'épaisseur des formations jurassiques atteinte par le forage est de 86 m. (*BENHAMZA.M, 2008*)

IV – 4. Contexte hydrogéologique :

Les études géologique et géophysique du secteur d'étude ont permis une bonne reconnaissance des formations imperméables (argile et marne) et perméables susceptibles d'être le siège d'une circulation d'eau à travers les interstices ou les fissures.

Les niveaux perméables ont permis de définir un certain nombre des réservoirs souterrains ou aquifères. (*BEKKOUCH et BENHAMZA, 2009*)

IV – 4.1. Formations aquifères du Mio-plio-quadernaire :

Les formations du recouvrement mio-plio-quadernaire constituent un aquifère superficiel, qui regroupe principalement les alluvions anciennes et récentes des argiles et des grés.

L'épaisseur de ces formations varie d'un endroit à un autre. Elle est importante au niveau de la plaine. Le substratum imperméable est constitué généralement par des argiles et des marnes schisteuses de l'Eocène supérieur (Oligocène). (*BEKKOUCH et BENHAMZA, 2009*)

IV – 4.2. Formations aquifères de l'Eocène supérieur :

Ce second aquifère est constitué par des formations hétérogènes. Il s'agit des poudingues de base, complexe marno-schisteux de l'Eocène supérieur et une énorme épaisseur du complexe calcaire-schisteux du lutétien. Le substratum de cet aquifère constitue les marnes schisteuses de l'Albo- Aptien. (*BEKKOUCH et BENHAMZA, 2009*)

IV – 4.3. Formations aquifères du Jurassique :

Cet aquifère est constitué par les calcaires massifs du Jurassique.

En conclusion, il en résulte que le contexte hydrogéologique du secteur d'étude est principalement constitué de trois aquifères :

- L'un superficiel, correspondant au remplissage mio-plio-quadernaire de type poreux ;
 - Un deuxième aquifère, correspondant aux formations hétérogènes de l'Oligocène ;
- Un troisième aquifère plus profond, correspondant aux formations carbonatées du Jurassique.

C'est dans cet dernier aquifère où se trouve les nappes des sources thermales de notre région d'étude. (*BEKKOUCH et BENHAMZA, 2009*)

IV – 4.4. Le Trias :

Les dépôts triasiques sont généralement reconnus par des diapirs argilo-gypso-salifères localisés le long de grandes failles, ou attribués aux parties sommitales des anticlinaux failles. Vu leur faciès argileux, les formations triasiques sont très peu perméables et ne peuvent pas constituer de véritables réservoirs aquifères. En effet, de nombreuses sources qui émergent dans ces formations ou à leur proximité, sont très minéralisées et présentent des faciès chimiques typiques, hyper-chlorurés, chlorurés sodiques ou sulfatés. (*d'après F.Z. Haouachine, 2012*)

IV – 4.5. Le paléocène :

La fin du Mésozoïque et le début du Paléogène sont bien marqués par le passage d'une sédimentation carbonatée à une sédimentation essentiellement argilo-marneuse. (*d'après F.Z. Haouachine, 2012*)

Le Paléogène inférieur :

Il est formé:

- de marnes foncées et d'argiles parfois bitumeuses (Constantine)
- d'argiles à bancs dolomitiques calcareux;
- de marnes gypsifères à passées calcaires (Tebessa). (*d'après F.Z. Haouachine, 2012*)

Le Paléogène moyen :

Le Paléogène moyen débute par des roches carbonatées et se poursuit d'argiles et de marnes gypsifères. (*d'après F.Z. Haouachine, 2012*)

IV – 5. Alimentation des aquifères :

Au niveau du Tell et du domaine kabyle, s'il est vraisemblable qu'une partie des eaux alimentant les griffons thermaux a pu être mise en réserve aux périodes de surabondance du quadernaire, il n'en n'est pas moins vrai que des recharges actuelles se produisent comme le

montrent les datations effectuées sur le Hammam Grouz ou par **A. Isser** pour les Djebels Guérioun et Fortasse.

Etudiant "l'hydrogéologie du massif calcaire crétacé des monts de Constantine" **G. Durozoy**, constatait qu'avec des précipitations moyennes de 450 mm et une infiltration qu'il estimait à 75 mm soit 16,7 % au niveau des Djebels Guérioun et fortasse, on avait pour un impluvium de 180 km² une mise en réserve de 13,5 millions de m³.

Pour **G. Durozoy**, les sources des environs de Constantine " étant la plupart thermales, l'eau remontant d'une profondeur assez grande a pu circuler sur des distances considérables.

On peut alors envisager une alimentation lointaine, les liaisons hydrauliques s'effectuer en profondeur par le Jurassique moyen et supérieur qu'on est stratigraphiquement et paléo géographiquement fondé à supposer exister sous le Crétacé inférieur affleurant sous les formes de dolomies et de calcaires dolomités.

Suite au fait que de nombreux massifs calcaires ne présentent pas d'exutoires visibles, semble militer en faveur de l'hypothèse de **Durozoy**. Dans leur grande majorité, les griffons thermaux sont alimentés par les grands massifs calcaires de l'Est algérien sans qu'il en soit tenu compte de leur âge

En général, les nappes profondes de **Durozoy**, dans leur grande majorité, les griffons thermaux sont alimentés par les grands massifs calcaires comporteraient des réserves exploitables assez importantes, mais difficiles à chiffrer avec précision à l'état actuel de nos connaissances. Le régime hydrogéologique de ces aquifères nécessite d'être précisé par des prospections géophysiques et des forages de reconnaissances ainsi que par des techniques isotopiques. (*BENHAMZA.M, 2008*)

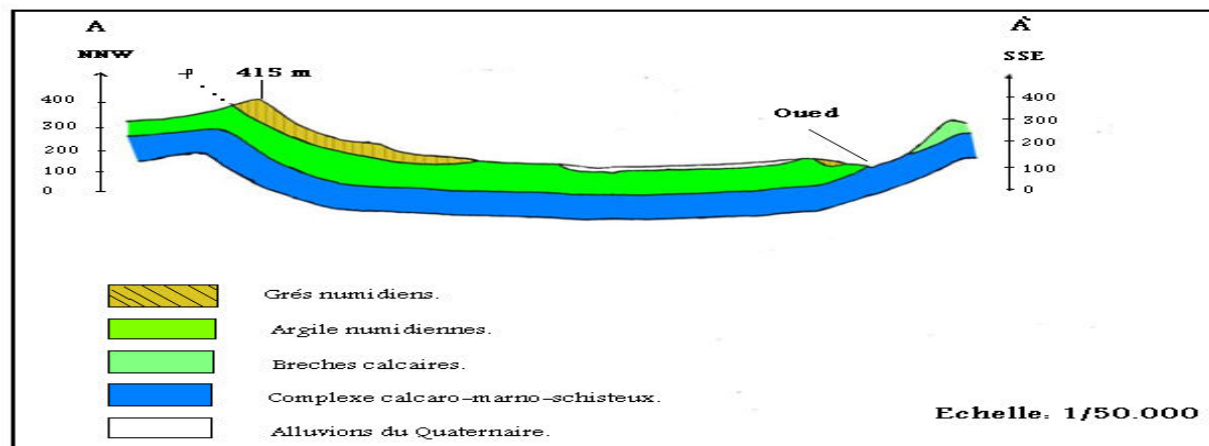


Fig.51 .Coupe géologique AA'

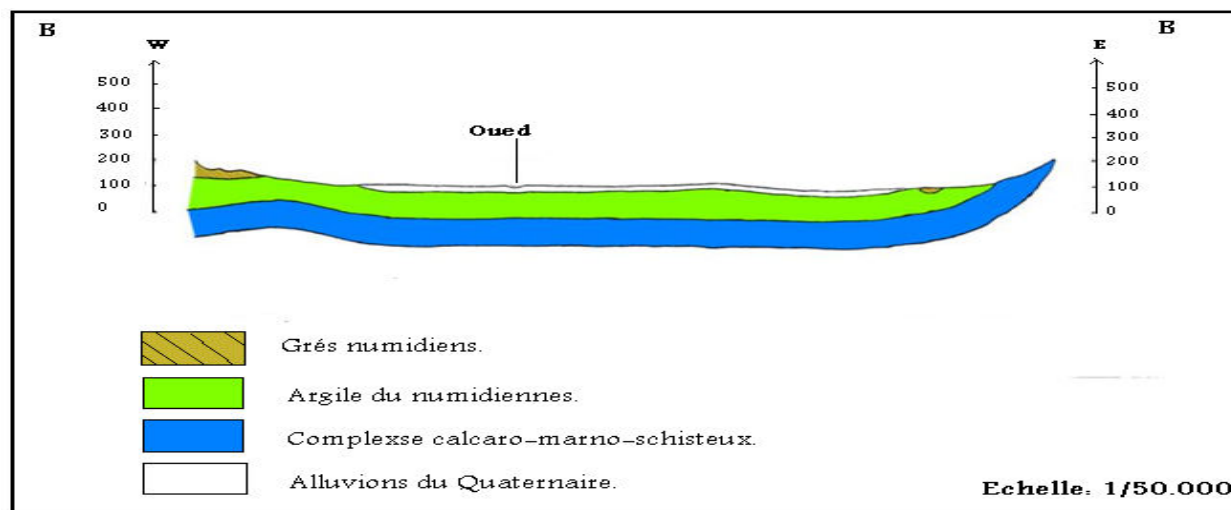


Fig. 52 : Coupe géologique BB'

IV-6.Conclusion :

Selon la classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologique, nous avons déterminé trois types de formations : formation favorables au développement d'aquifères poreux, formations non favorables au développement d'aquifères et formations favorables aux développements d'aquifères karstiques.

Selon le contexte hydrogéologique, les études géologique et géophysique du secteur d'étude ont permis une bonne reconnaissance des formations imperméables (argile et marne) et perméables susceptibles d'être le siège d'une circulation d'eau à travers les interstices ou les fissures. Ces formations sont les formations aquifères du Moi plio quaternaire, les formations aquifères de l'Eocène supérieur et les formations aquifères du Jurassique.

CHAPITRE V :
ETUDE HYDROCHIMIQUE

V-1. 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 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.

V-2. Quelques définitions :

A. 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 considérée comme constantes (sauf cas particulier comme certains systèmes karstique).

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 thermominérale" ou d'autres dénominations qui ne sont pas reconnues.

B. 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 inférieure 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.

V-3. Les deux types d'eaux thermales fréquentes :

a- Les eaux carbogazeuses :

Les eaux carbogazeuses sont des eaux chargées en CO_2 ; 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_2 libéré peut se dissoudre dans l'eau du réservoir.

La quantité de CO_2 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_2 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 CO₂, la solution constitue une phase homogène unique. En revanche dès que la pression totale devient inférieure à la pression partielle en CO₂, le CO₂ 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 CO₂ diminue en s'ajustant sur la pression totale, ce qui provoque un passage d'une quantité croissante en CO₂ 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 : $V = NRT/P$ N augmente, P diminue donc V augmente fortement. Ce processus favorise la remontée du fluide multiphasique et la perte de CO₂ 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)

b- Les eaux Sulfurées :

Il s'agit d'eaux riches en Sulfures et autres composés soufrés ayant différents niveaux 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 éléments 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)

V-4.L'altération des caractéristiques physico –chimiques des eaux à leur remontée :

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

Lors de leur remontée les eaux chaudes peuvent se refroidir au contact des couches géologiques plus superficielles, ces variations de température modifient les caractéristiques

chimiques des eaux, en effet la solubilité des minéraux variant avec la température, les solutions peuvent se trouver sursaturées par rapport à certaines espèces minérales et précipiter, ce qui affecte leur teneur en élément dissous.

A l'opposé, elles peuvent devenir soussaturées 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*)

b- Le mélange avec les eaux de surface (effet de dilution) :

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

c- La recharge ou la perte en gaz (O₂, CO₂ ...) :

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 difficile voire nuls, le système est fermé par rapport aux gaz, si les eaux sont chargées en CO₂ (cas des eaux carbogazeuses) elles le resteront jusqu'en surface (avec modification de l'état) si les eaux sont appauvries en CO₂, 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 CO₂ est typique des eaux d'altération des roches d'origine profonde (granite par exemple). De même les échanges gazeux peuvent concerner le di oxygène O₂. Pour les eaux Sulfureuses, les caractéristiques sont très réductrices, lors de la remontée les eaux peuvent capter du dioxygène et commencer à s'oxyder. (*Vincent Valles, 2002*)

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

V-5. Description détaillée des sources:

La campagne de prélèvements a été effectuée sur la période de Décembre 2010 à Juin 2011. La désignation des points de prélèvements (*Tableau.8 et Fig.53, 54, 55, 56, 57,58, 59, 60, 61, 62,63, 64*) comporte au total 37 points de prélèvements.

Concernant le mode d'échantillonnage, on a utilisé des bouteilles en plastiques, qu'on a rincé préalablement à l'eau du robinet plusieurs fois, puis on les a laissé sécher, et avant le remplissage des bouteilles on les a rincé trois fois avec de l'eau à analyser, on les a rempli jusqu'au débordement pour éviter toute réaction eau – air.

Chaque bouteille a été étiquetée à l'aide de numéro, le lieu et la date de prélèvement.

Les analyses ont concernées les éléments majeurs exprimés en cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+) et les anions (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{--} , SiO_2^{--}), la dureté globale, le titre alcalin complet, le résidu sec et les métaux lourds (Pb et Cu).

Les analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire du complexe industriel de raffinage du pétrole (zone industrielle de Skikda).

La mesure du pH, conductivité électrique et la température a été faite in situ.

V-5.1. Inventaire des sources thermales:

L'inventaire et la désignation des points de prélèvement sont reportés dans le Tableau N° 8. (*Fig. 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64*).

N.B : les cartes originales était établies par madame DIB.H, (Source thermales de l'extrême Nord Est Algérien, 2005) et nous avons les modifiés selon notre besoins.

Tableau N° 8 : Désignation des points de prélèvement.

wilaya	Nom de Hammam	N° D'émergence	Coordonnées Lambert	
			X	Y
Guelma	Belhachani	E ₁	916.900	336.440
		E ₂	916.870	336.505
		E ₃	917.015	336.720
		E ₄	917.025	336.690
	Guerfa	E ₅	917.065	337.525
		E ₆	917.060	337.500
	N'Baïls	E ₇	944.000	347.400
	Ouled Ali	E ₈	918.900	373.900
		E ₉	918.910	973.905
		E ₁₀	918.930	373.925
		E ₁₁	919.100	373.990
	Meskhoutine	E ₁₂	909.820	360.865
		E ₁₃	909.710	360.840
		E ₁₄	909.645	360.860
		E ₁₅	909.650	360.920
		E ₁₆	909.980	360.670
		E ₁₇	909.965	360.660
		E ₁₈	909.430	360.045
Skikda	El Hamma	E ₁₉	908.905	397.431
		E ₂₀	908.530	397.600
		E ₂₁	908.350	397.790
	Oued Hmimine	E ₂₂	900.200	389.170
		E ₂₃	900.250	389.120
		E ₂₄	900.198	389.010
		E ₂₅	900.310	388.894
		E ₂₆	900.450	389.125
		E ₂₇	900.500	389.205
		E ₂₈	987.300	396.125
El Tarf	Sidi Djaballah	E ₂₈	987.300	396.125
	Sidi Trad	E ₂₉	1002.500	378.200
		E ₃₀	1002.500	378.750
		E ₃₁	1002.600	378.200
	Beni Saleh	E ₃₂	977.050	370.800
		E ₃₃	977.800	370.900
	Zattot	E ₃₄	987.400	366.300
Sidi Zid	E ₃₅	988.200	365.625	
Souk Ahras	Tassa	E ₃₆	980.540	338.800
	Ouled zaïd	E ₃₇	976.700	352.900

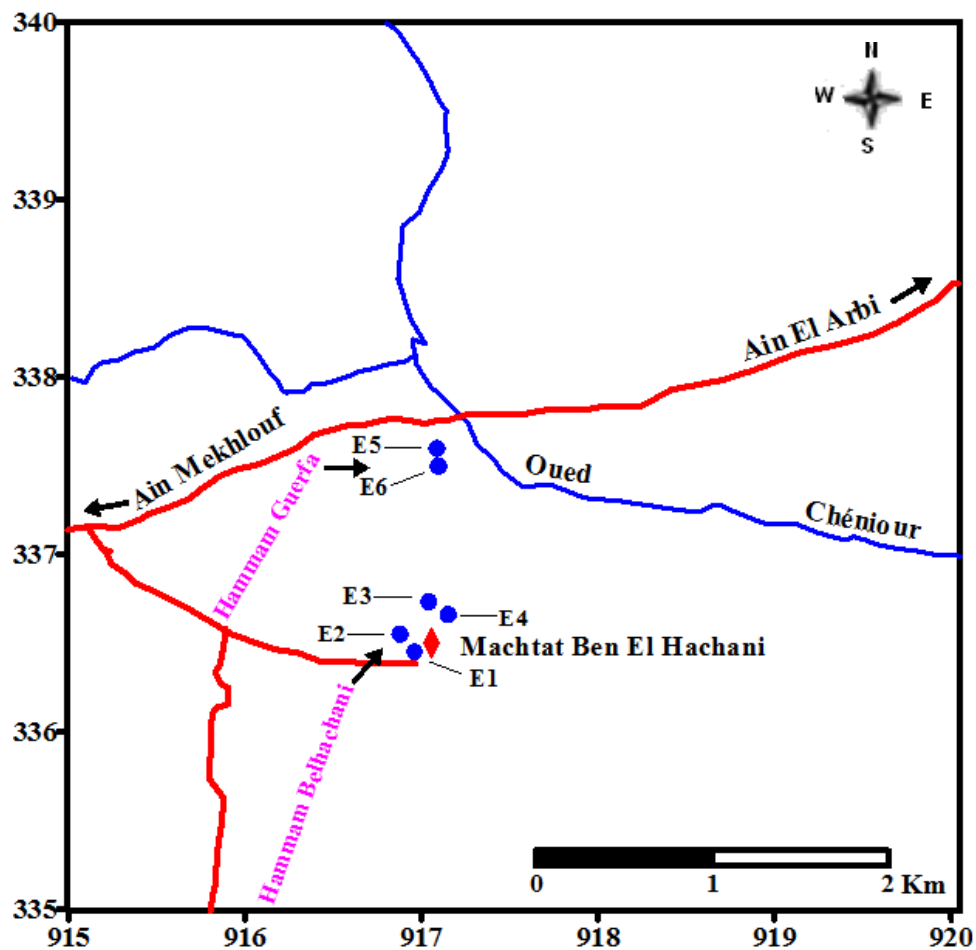


Fig.53 : Inventaire des points de prélèvement Source thermique Hammams Belhachani et Guerfa (Guelma). (Date de prélèvement le 11/12/2010).

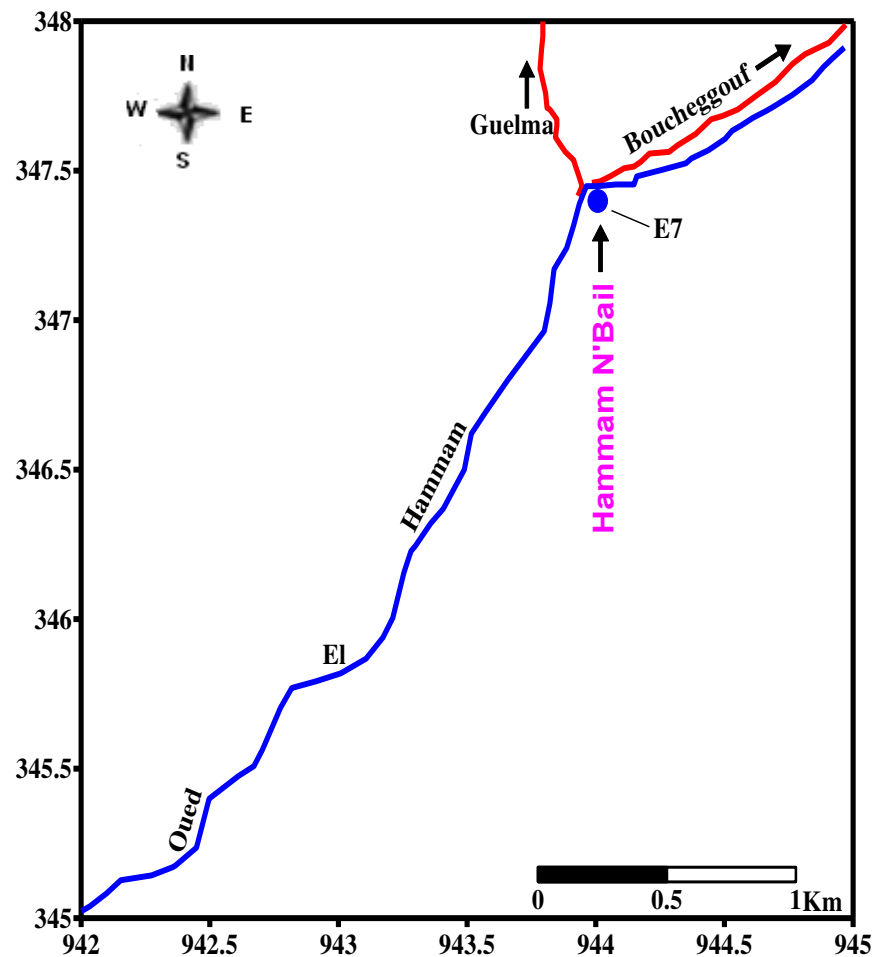


Fig. 54 : Inventaire des points de prélèvement Source thermique de Hammam N'Baïl (Guelma). (Date de prélèvement le 12/02/2011).

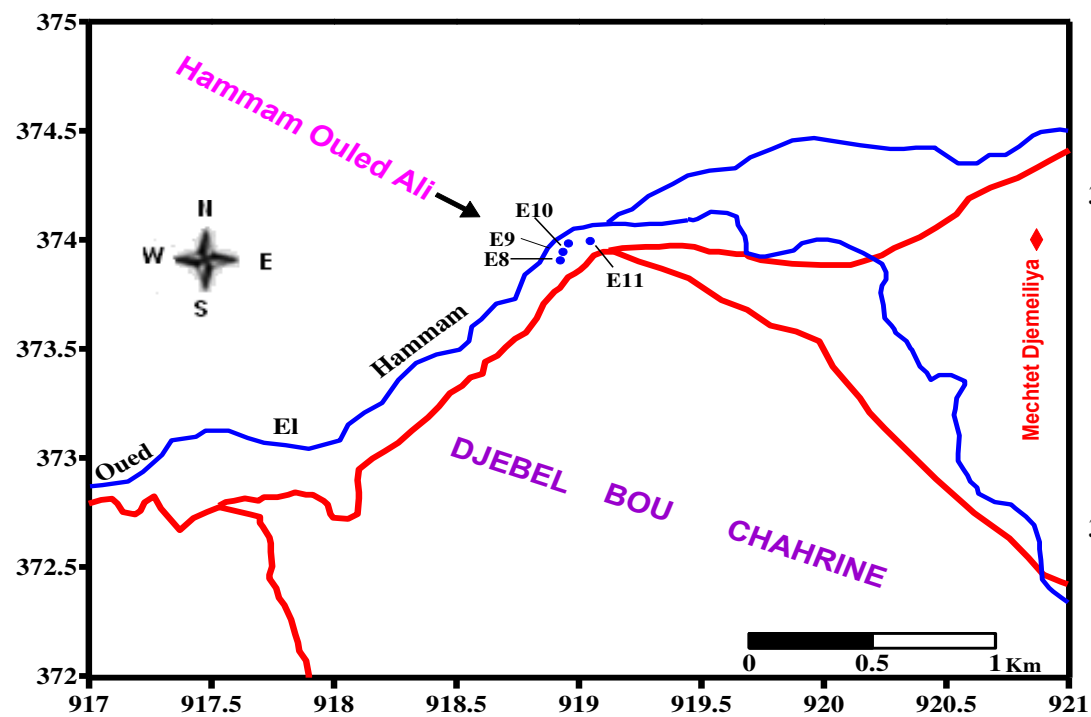


Fig. 55 : Inventaire des points de prélèvement
Source thermique Hammam Ouled Ali (Guelma).
(Date de prélèvement le 26/02/2011)

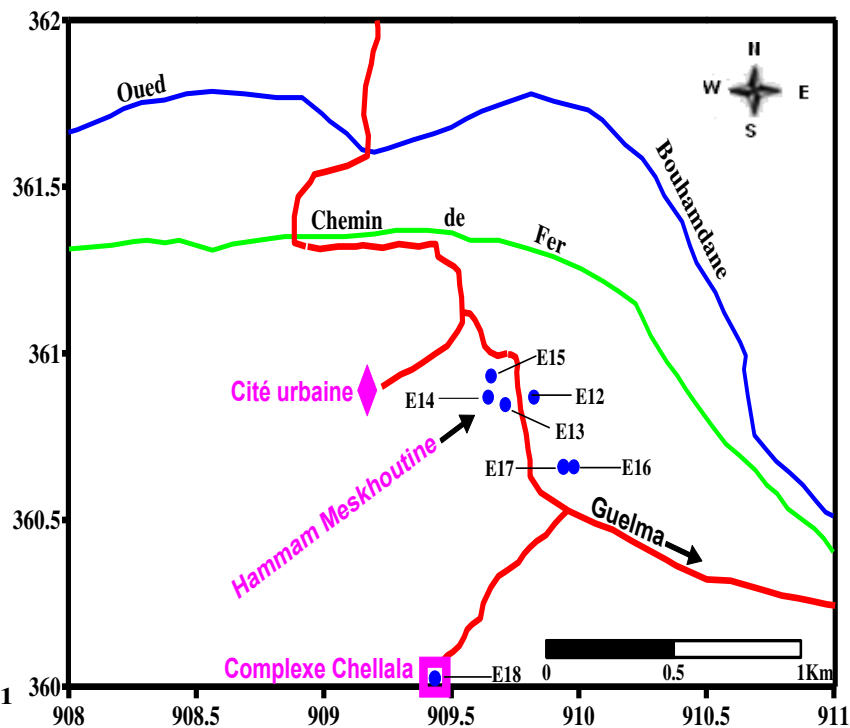
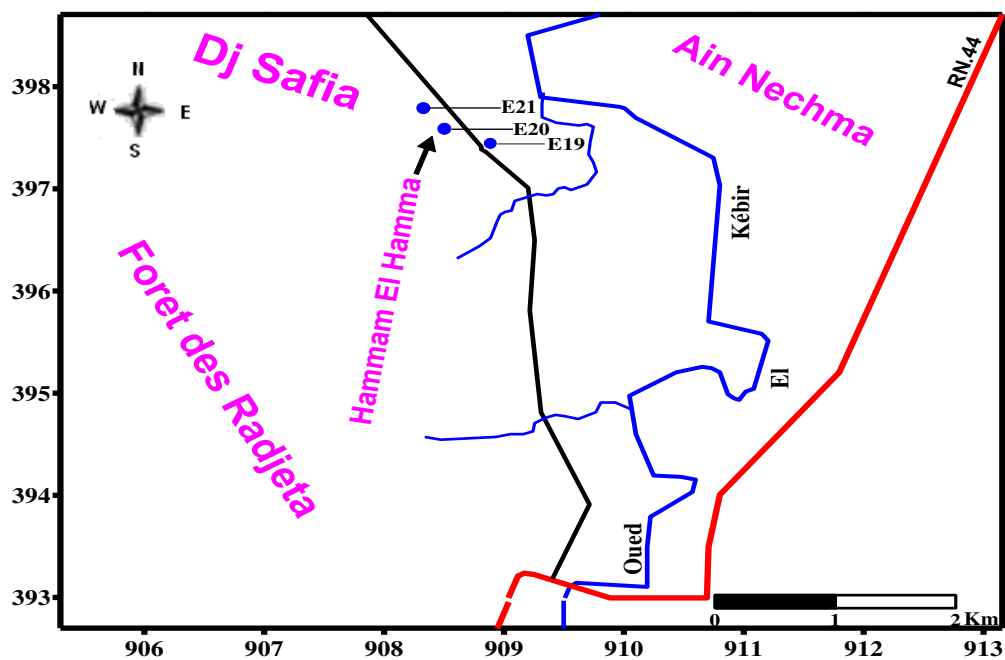
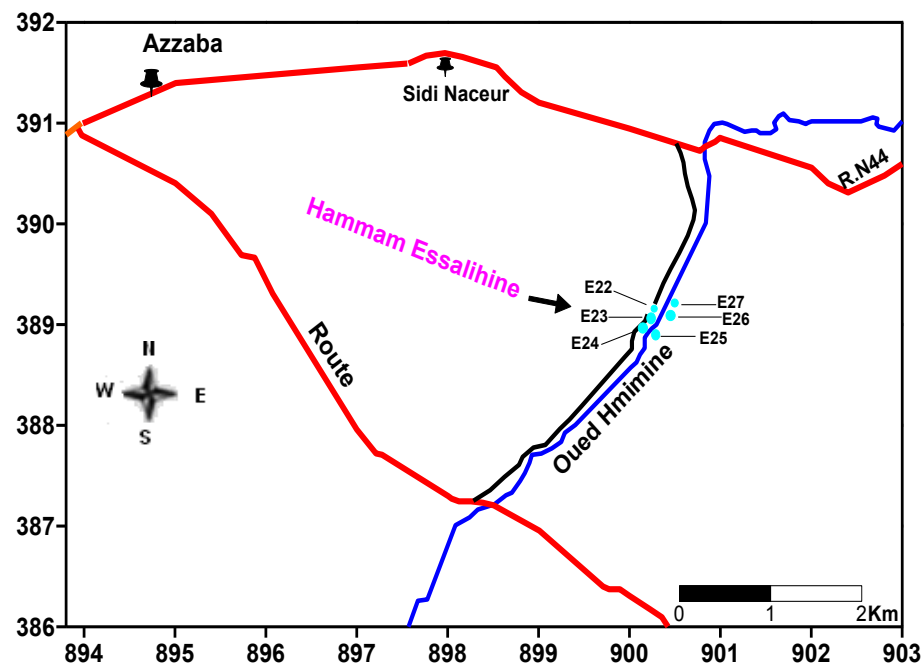


Fig. 56 : Inventaire des points de prélèvement
Source Thermale de Hammam Meskhoutine (Guelma).
(Date de prélèvement le 26/02/2011)



*Fig. 57: Inventaire des points de prélèvement
Source thermal d'El Hamma (Skikda)
(Date de prélèvement le 26/03/2011).*



*Fig. 58: Inventaire des points de prélèvement
Source thermale d'Oued Hmimine (Skikda)
(Date de prélèvement le 26/03/2011).*

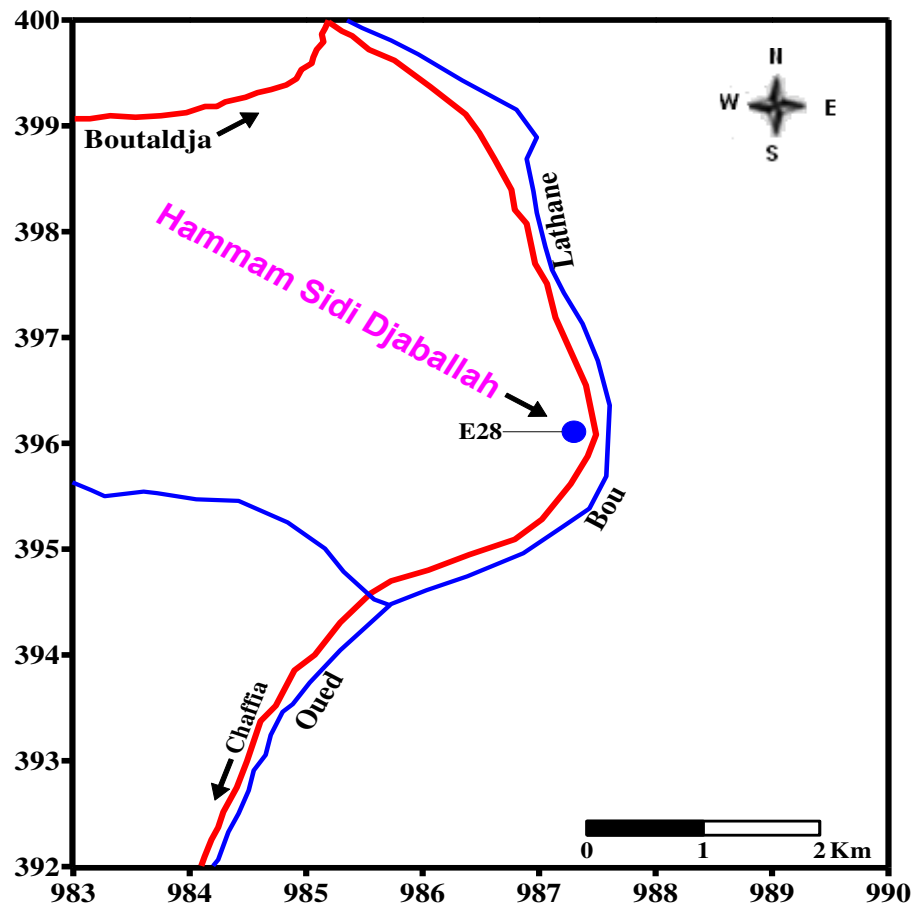


Fig. 59: Inventaire des points de prélèvement
Source thermique de Hammam Sidi Djaballah(Tarf)
(Date de prélèvement le 11/05/2011).

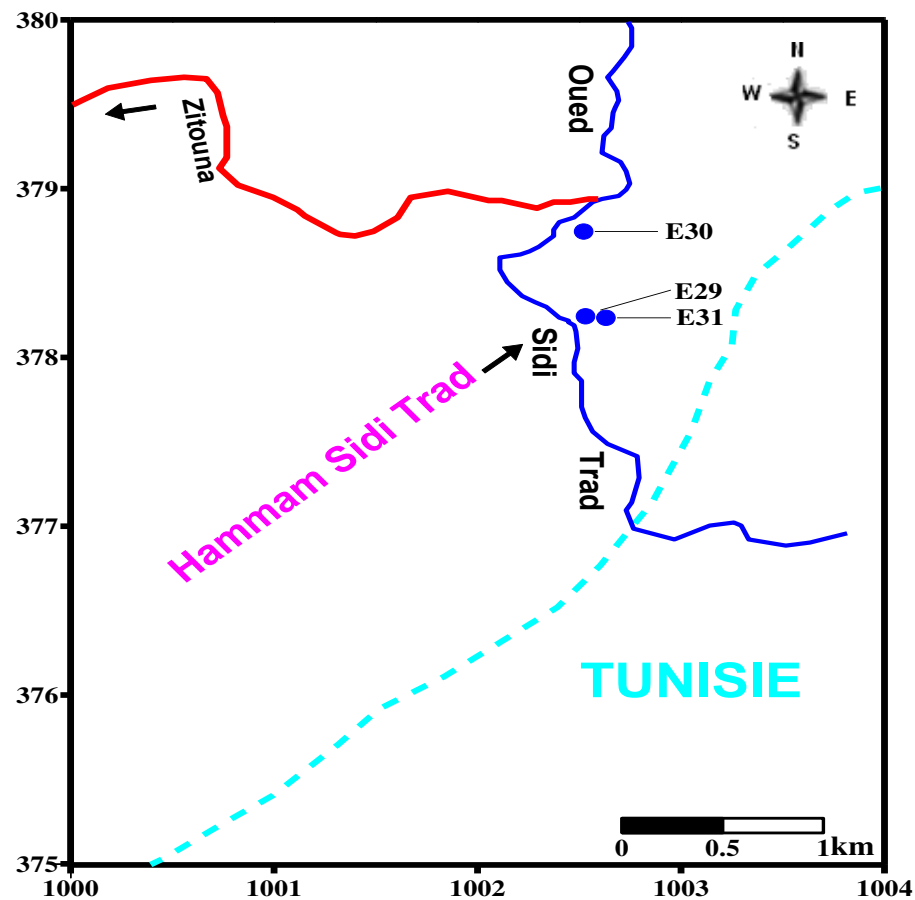
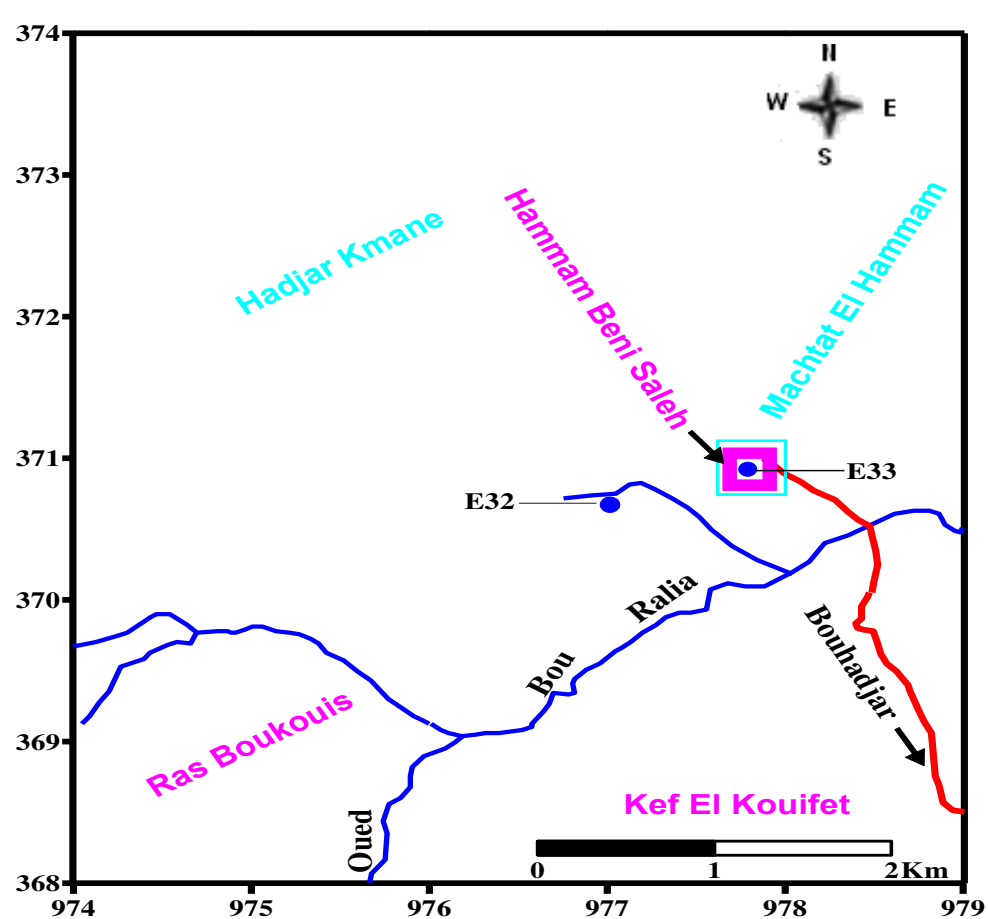
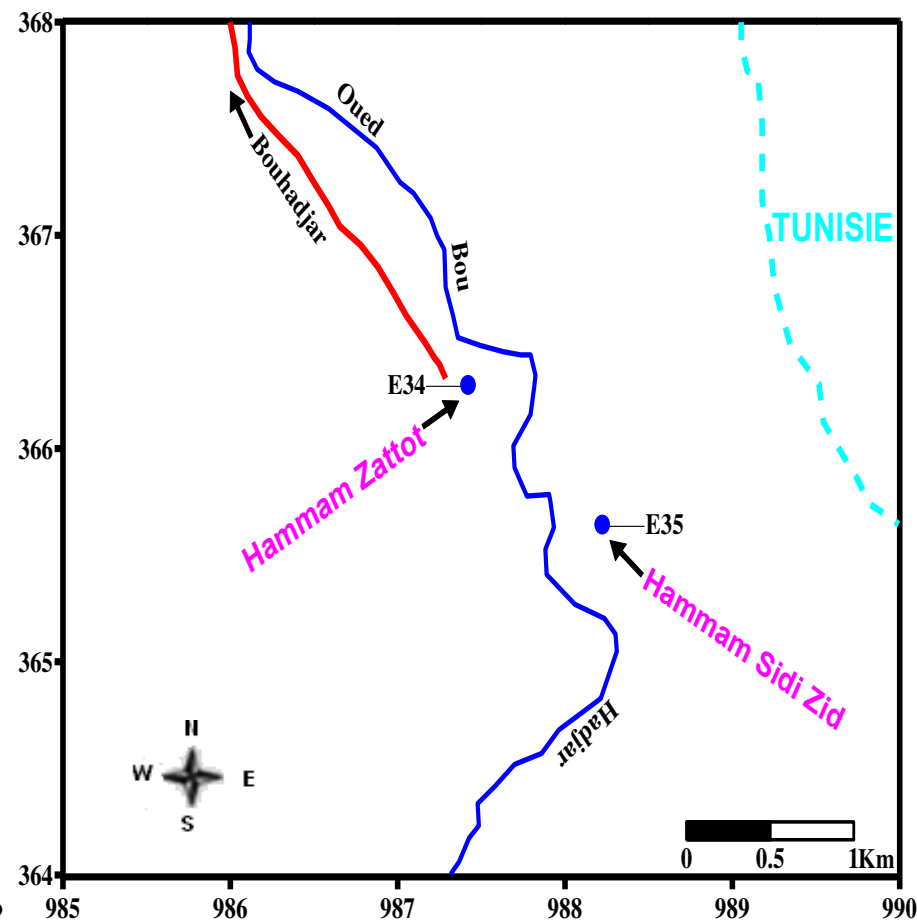


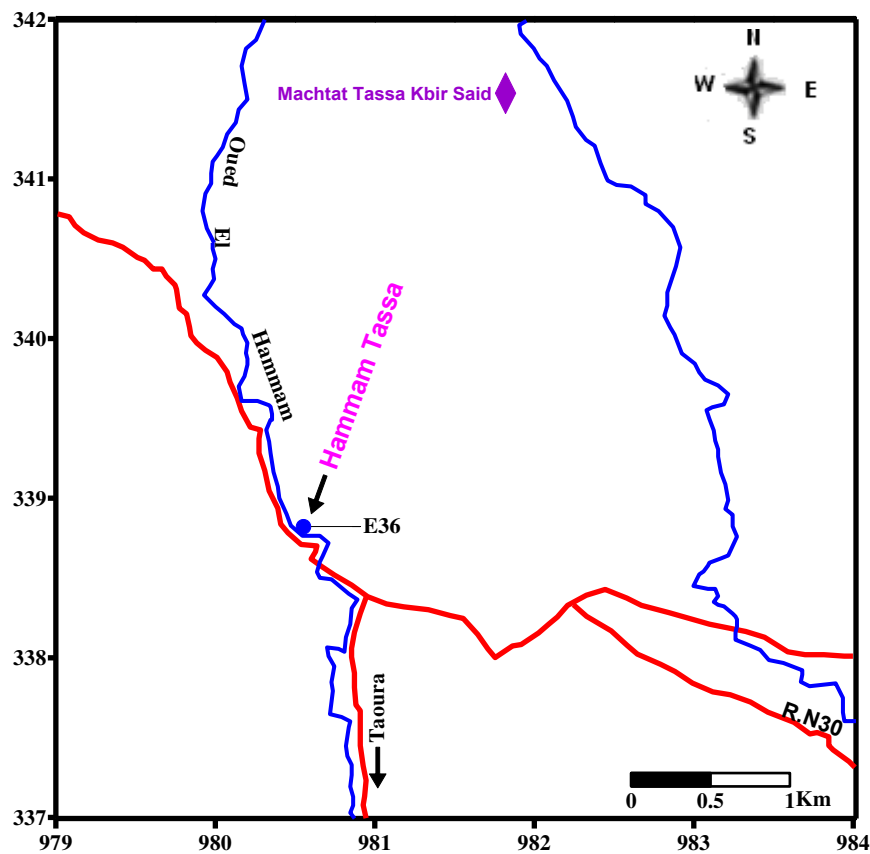
Fig. 60: Inventaire des points de prélèvement
Source thermique de Hammam Sidi Trad(Tarf)
(Date de prélèvement le 11/05/2011).



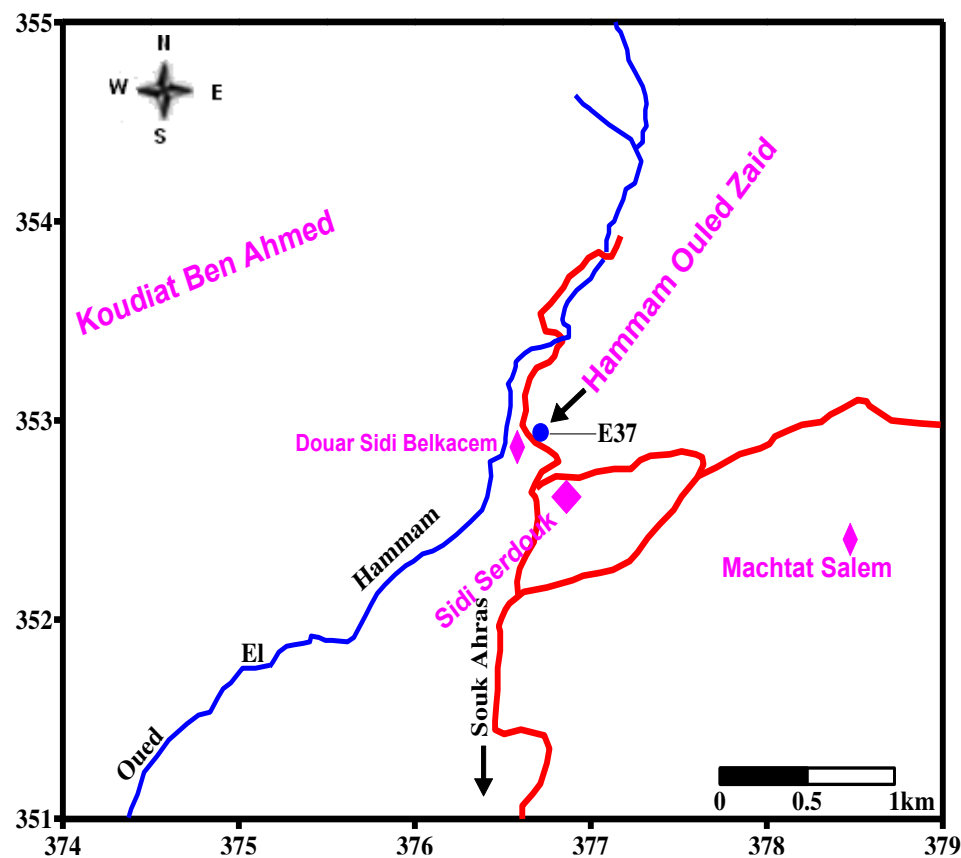
*Fig. 61: Inventaire des points de prélèvement
Source thermique de Hammam Beni Salah(El Tarf)
(Date de prélèvement le 18/05/2011).*



*Fig. 62 : Inventaire des points de prélèvement
Source thermique de Hammam Zattot et Sidi Zid(Tarf)
(Date de prélèvement le 18/05/2011).*



*Fig. 63: Inventaire des points de prélèvement
Source thermique de Hammam Tassa (Souk Ahras)
(Date de prélèvement le 01/06/2011).*



*Fig. 64: Inventaire des points de prélèvement
Source thermique de Hammam Ouled Zaid (Souk Ahras)
(Date de prélèvement le 01/06/2011).*

V-6. Etude des paramètres physico-chimique des eaux thermominérales :

V-6.1. Etude des paramètres physiques :

Nous savons que, chaudes ou froides, les eaux thermo - minérales sont toutes émergentes, c'est-à-dire qu'elles sortent de par les seules forces et mouvements dynamiques qui les expulsent des entrailles du sol.

Vu leur richesse, elles représentent pour ainsi dire la forme non solide des roches, des minéraux, des minerais, des matériaux, originellement unis par un lien spécial. Elles coulent dans un environnement géophysique climatique et biosphérique irremplaçable, qui doit être à la base de l'unité du milieu de résurgence ou d'émergence et de la nature profonde des eaux. Là est peut être une donnée de l'explication de leurs propriétés et de leur caractéristiques.

Pour ces eaux, il y a plusieurs types de classification, d'où leurs diversités :

- Selon la thermalité (température) ;
- Selon les caractéristiques chimico – radioactives ;
- Selon l'usage médical, c'est-à-dire la thérapie.

Mais la plus utilisée est le premier type de classification.

V-6.1.1. La thermalité :

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

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

La température d'une eau souterraine est un facteur relatif, lié aux valeurs de la température extérieure, elle-même fonction de la localisation géographique et tout ce qu'elle entraîne. C'est l'une des propriétés les plus tangibles des eaux thermominérales, une de celles qui ont le plus contribué à fixer sur elle l'attention populaire.

Rappelons que, Pour un aquifère ou une source ordinaire, la température est celle de la moyenne annuelle du lieu. Cette moyenne dépend de la latitude (1° de diminution pour un éloignement de 2° de l'Equateur), de l'altitude (1° pour 150 à 200 m d'altitude). Aux altitudes plus fortes, remarquons que la température des eaux peut être inférieure à cette moyenne.

(DIB.H, 2008)

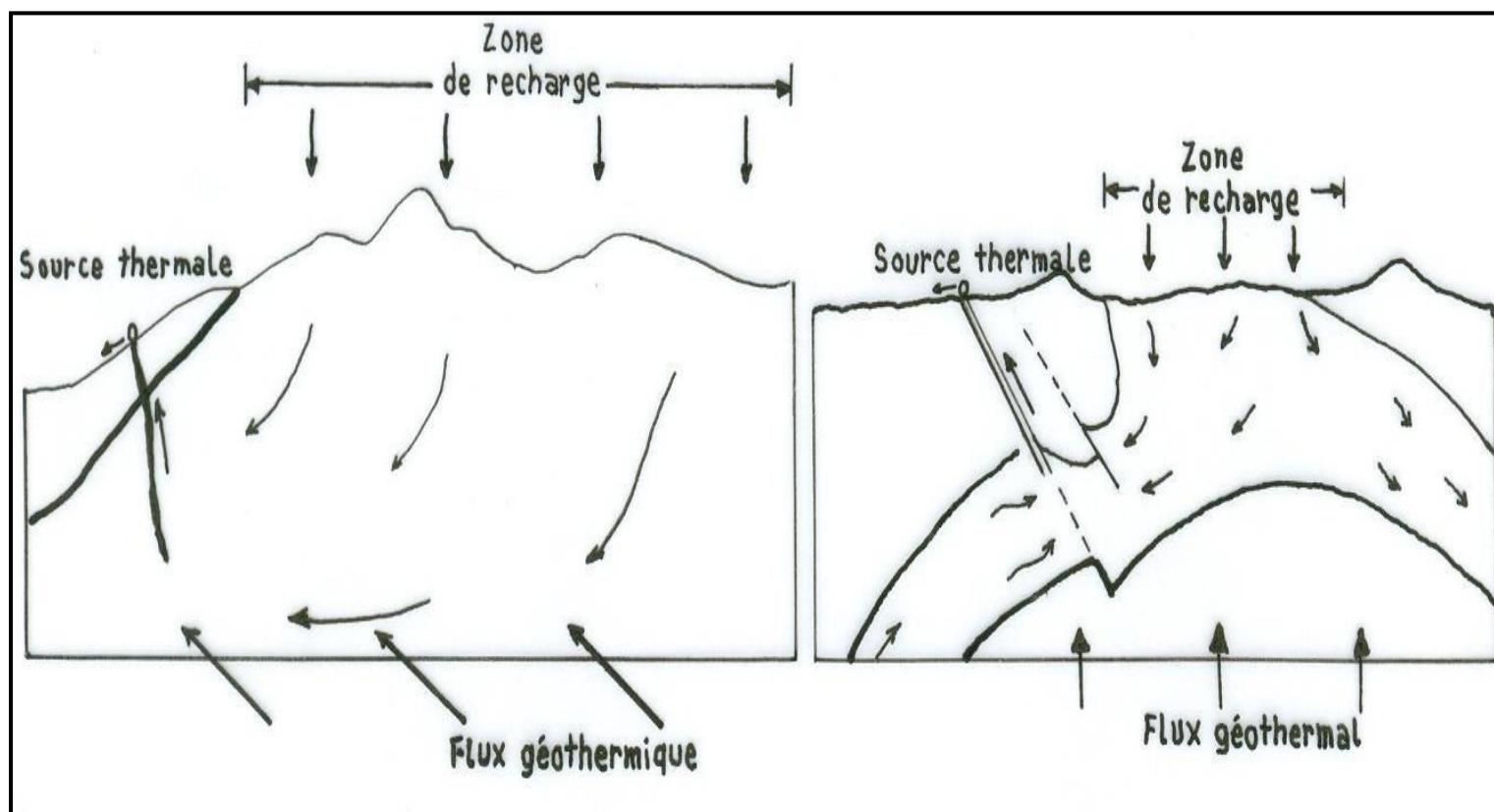


Fig. 65 : Coupe d'un prototype géothermal (d'après U.S Geological Survey).
 (DIB.H, 2004)

Pierre Verdeil et Madame *Dib Adjoul* donnent, selon la thermalité de l'eau, la classification suivante :

- **Eau athermale** : température inférieure à la température moyenne du lieu de l'émergence.
- **Eau hypothermale** : température égale à la température du lieu de l'émergence.
- **Eau mésothermale** : température inférieure à 37°C et supérieur à celle du lieu d'émergence de plus de 4 °C.
- **Eau Orthothermale** : température comprise entre 37 et 45°C.
- **Eau hyperthermale** : température supérieure à 45 °C.

A. Les causes de la thermalité :

La température parfois élevée des eaux thermominérales dépend de plusieurs facteurs qui sont successivement :

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

a- Les réactions chimiques exothermiques :

Plusieurs réactions se produisent au sein de l'écorce terrestre. Certaines sont exothermiques, c'est-à-dire qu'elles dégagent de la chaleur, telles que l'oxydation, la réduction, l'hydratation et ont pu être invoquées pour expliquer la thermalité de quelques sources. Parmi les plus banales , l'oxydation de la pyrite de Fer , et spécialement de la marcassite , à l'air humide , en donnant du sulfate ferrique puis des hydroxydes ferreux et ferrique et en libérant l'acide sulfurique, élève la température de 300 à 500 degrés. L'oxydation de masses importantes de ce minéral peut donc créer des centres de chaleur susceptibles de réchauffer des circuits vadoses voisins.

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

b- La désintégration des minéraux radioactifs :

La concentration de ces corps semble a priori être plus grande dans les couches superficielles de l'écorce, celles précisément où se produisent les circulations hydrothermales.

Ce flux calorifique est donc suffisant pour échauffer dans une notable proportion un courant aquifère voisin et doit être pris en considération pour expliquer la thermalité.

La désintégration des corps radioactifs dégage de la chaleur d'une façon continue.

Par exemple un gramme de Radium, en équilibre avec ses produits de décomposition dégage 137 calories/Heure. (*DIB.H, 2008*)

c- Le gradient géothermique :

La structure de la terre, telle que nous la connaissons montre qu'elle conserve en son sein des masses en fusion (asthénosphère), d'ailleurs prouvées par les volcans. Donc la température diminue du centre vers la périphérie. Le flux central de la terre est estimé à 85.10^{11} calories par seconde au total. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce que la chaleur augmente quand on s'enfonce dans le sol. Cette chaleur se mesure par le gradient géothermique qui est l'élévation de température pour 100 mètre d'enfoncement dans l'écorce terrestre. Ce gradient est fonction de la conduction calorifique des roches, donc de leur nature lithologique, de la tectonique de la région et est le résultat de toutes les causes de la thermalité, c'est-à-dire les réactions exothermiques, la désintégration des minéraux ou corps, les mouvements de l'écorce terrestre.

Dans les bassins sédimentaires, il vaut en moyenne 3,3 °C pour 100 m, mais ces valeurs sont très variables. De plus, si ces valeurs sont très connues pour les premiers kilomètres, elles le sont très mal pour les couches plus profondes.

Ces températures des sols deviennent celles des aquifères donc de l'eau.

Pour l'Algérie septentrionale *P. Verdeil* admet pour le flux une valeur moyenne calculée par la formule :

$$F = (5,4428 \pm 0,4187). 10^6 \text{ j/cm}^2/\text{s}$$

D'après *M^{me} Dib* on a:

- dans la région de Sidi Zid (Bouhadjar) les valeurs sont très élevées et atteignent 1,60 °C pour 10 m;
- dans la région du Hammam Meskhoutine le gradient géothermique est variable entre 1°C pour 16 m et 1°C pour 7 m.

La région de Guelma est sans doute une zone prometteuse sur le plan de l'énergie géothermique. (*DIB.H, 2008*)

d- Les mouvements de l'écorce terrestre :

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

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

B. Les températures observées :

La température des eaux thermo minérales doit être mesurée avec soin et au dixième de degrés près, à l'émergence même et à une certaine profondeur pour éviter toute action de refroidissement à la surface. Ces mesures doivent une fois le captage terminé, être faites à niveau constant. Elles donnent des renseignements sur les variations à longues périodes, les variations progressives, non périodiques, ...ex. (*DIB.H, 2004*)

Dans notre secteur d'étude, on remarque que les températures des eaux les plus élevées s'observent dans la région de Hammam Meskhoutine (93°C), puis diminuent selon le prolongement oriental de la chaîne numidique et des monts de Guelma vers l'Est jusqu'à (35°C) à Hammam Sidi Djaballah.

D'autre part, il y a des cas où deux émergences juxtaposées (Hammam Sidi Trad: E₂₉ et E₃₁) où l'écart de température est de 10,5°C, cette différence peut être due au cheminement des eaux durant leurs remontées en surface.

Les températures suivantes ont été mesurées dans les différentes émergences :

Tableau N° 9: Températures mesurées sur les émergences.

Wilaya	Source thermale	Emergence	Température moyenne de l'air (°C)	Température mesurée à l'émergence (°C)	Classification thermique	
<i>Guelma</i>	<i>Belhachani</i>	<i>E₁</i>	16	63	Hyperthermale	
		<i>E₂</i>		66	Hyperthermale	
		<i>E₃</i>		72	Hyperthermale	
		<i>E₄</i>		68	Hyperthermale	
	<i>Guerfa</i>	<i>E₅</i>	15	62	Hyperthermale	
		<i>E₆</i>		60	Hyperthermale	
	<i>N'Baïls</i>	<i>E₇</i>	17	45	Hyperthermale	
	<i>Ouled Ali</i>	<i>E₈</i>	17	60	Hyperthermale	
		<i>E₉</i>		52	Hyperthermale	
		<i>E₁₀</i>		55	Hyperthermale	
		<i>E₁₁</i>		52	Hyperthermale	
	<i>Meskhoutine</i>	<i>E₁₂</i>	19	90	Hyperthermale	
		<i>E₁₃</i>		87	Hyperthermale	
		<i>E₁₄</i>		93	Hyperthermale	
		<i>E₁₅</i>	20	75	Hyperthermale	
				<i>E₁₆</i>	88	Hyperthermale
				<i>E₁₇</i>	92	Hyperthermale
	<i>E₁₈</i>			93	Hyperthermale	
<i>Skikda</i>	<i>El Hamma</i>	<i>E₁₉</i>	19	43	Orthothermale	
		<i>E₂₀</i>		43	Orthothermale	
		<i>E₂₁</i>		44	Orthothermale	
	<i>Oued Hmimine</i>	<i>E₂₂</i>	19	46	Hyperthermale	
		<i>E₂₃</i>		45	Hyperthermale	
		<i>E₂₄</i>		44	Orthothermale	
		<i>E₂₅</i>		47	Hyperthermale	
		<i>E₂₆</i>		42	Orthothermale	
		<i>E₂₇</i>		43	Orthothermale	
	<i>El Tarf</i>	<i>Sidi Djaballah</i>	<i>E₂₈</i>	20	35	Orthothermale
<i>Sidi Trad</i>		<i>E₂₉</i>	28.5	52.5	Hyperthermale	
		<i>E₃₀</i>		59.7	Hyperthermale	
		<i>E₃₁</i>		62	Hyperthermale	
<i>Beni Saleh</i>		<i>E₃₂</i>	30.5	48.5	Hyperthermal	
		<i>E₃₃</i>		35.5	Orthothermale	
<i>Zattot</i>		<i>E₃₄</i>	29.5	45.5	Hyperthermal	
<i>Sidi Zid</i>	<i>E₃₅</i>		55	Hyperthermal		
<i>Souk Ahras</i>	<i>Tassa</i>	<i>E₃₆</i>	20.5	39	Orthothermale	
	<i>Ouled Zaïd</i>	<i>E₃₇</i>	21	36	Orthothermale	

C. Essais d'évaluation des températures en profondeur à l'aide des géothermomètres chimiques :

Avant d'arriver à la surface du sol, on assiste à un refroidissement de ces eaux vu la distance parcourue. Donc la température en profondeur est différente de celle mesurée en surface. Or, l'utilisation à des fins des géothermomètres implique que l'on puisse connaître leur température en profondeur, soit au niveau géothermal quand il en existe un, soit au point le plus bas du circuit thermal.

Pour évaluer cette températures en profondeur des eaux thermominérales, plusieurs auteurs dont *R.O.Fournier*, *J.J.Rowe* et *A.H.Truesdell* (1966, 1970, 1973, 1974) ont inventé les géothermomètres chimiques. Ce sont des méthodes ou des formules basées sur la composition chimique des eaux thermales qui arrivent en surface.

Pour conduire à des résultats probants, ces méthodes doivent être appliquées à des eaux liées au socle cristallin ou cristallophyllien.

Il existe trois sortes de géothermomètres chimiques :

- Le géothermomètre silice T_1 ;
- Le géothermomètre Na –K –Ca T_2 ;
- Le géothermomètre Na/Li T_3 ;

Le géothermomètre Na/Li ne peut pas nous servir dans ce travail car nous n'avons pas déterminé la teneur en Lithium de l'eau. (*DIB.H, 2004*)

a- Le géothermomètre Silice (SiO_2), T_1 :

Il permet de calculer, à partir de la teneur en silice observée à l'émergence, la température à laquelle le quartz, la calcédoine, la cristobalite ou la silice, résultant de hydrolyse des feldspaths des roches cristallines, ont été mis en solution, sous réserve de vérification que la silice observée ne provient pas de dissolution au niveau et à la température de l'émergence, mais il se peut très bien qu'une partie de la silice contenue dans les eaux chaudes profondes ait précipité sur l'encaissement de la température des eaux. Il est à noter cependant que, d'après les observations effectuées sur des nombreux champs, la teneur en silice des eaux est davantage liée aux possibilités de mise en solution en profondeur que à la solubilité de la silice amorphe qui se trouve en surface ou à proximité. Ce géothermomètre donne la température minimale en profondeur par la formule :

$$T_1 (^{\circ}\text{C}) = (1522/5,75 - \log [\text{SiO}_2]) - 273$$

Avec : [SiO₂] en mg/l.

Le géothermomètre silice a été mise au point par *R.O.Fournier* et *J.J.Rowe* en 1966.

(*DIB.H, 2004*)

b- Le géothermomètre (Na – K – Ca), T₂ :

Préconisé par *R.O.Fournier* et *A.H.Trusdell* en 1973, basé sur la solubilité perspective des ions (Na, K et Ca), lors des réactions qui affectent les minéraux des roches cristallophylliennes et spécialement les feldspaths.

Les relations entre Na, K, et Ca sont entièrement expliquées en termes de relations entre silicates ; la méthode n'est donc pas applicable en principe lorsque ces éléments peuvent provenir de la mise en solution des roches sédimentaires.

Pour connaître la température d'une eau en profondeur à partir de sa composition chimique à l'émergence, on commence par exprimer la concentration des ions en solution en unités de molarité. Les températures maximales sont calculées par la formule suivante :

$$T_2 = (1647 / [\log (Na/K) + \beta \log \sqrt{(Ca/Na) + 2,24}] - 273)$$

Na, K et Ca en moles/l

Avec :

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

$\beta = 4/3$ si la température de l'eau est inférieur à 100 °C. (*DIB.H, 2004*)

Les valeurs calculées à partir des formules précédentes sont portées dans le tableau N°:10.

**Tableau N° 10: Evaluation de température en profondeur à l'aide des
Géothermomètres Chimiques.**

<i>Wilaya</i>	<i>Source thermale</i>	<i>Emergence</i>	<i>Température mesurée à l'émergence (°C)</i>	<i>T₁ (min) Géothermomètre Silice (SiO₂) (°C)</i>	<i>T₂ (max) Géothermomètre (Na-K-Ca) (°C)</i>
<i>Guelma</i>	<i>Belhachani</i>	<i>E₁</i>	63	87.78	266.82
		<i>E₂</i>	66	89.08	256.62
		<i>E₃</i>	72	89.92	211.20
		<i>E₄</i>	68	89.29	326.65
	<i>Guerfa</i>	<i>E₅</i>	62	90.44	281.22
		<i>E₆</i>	60	91.46	224.01
	<i>N'Baïls</i>	<i>E₇</i>	45	78.49	314.17
	<i>Ouled Ali</i>	<i>E₈</i>	60	88	332
		<i>E₉</i>	52	87.46	348.39
		<i>E₁₀</i>	55	87.78	341.03
		<i>E₁₁</i>	52	88	255
	<i>Meskhoutine</i>	<i>E₁₂</i>	90	125.63	319.9
		<i>E₁₃</i>	87	125.36	322.98
		<i>E₁₄</i>	93	125.36	320.98
		<i>E₁₅</i>	75	125.36	311.76
		<i>E₁₆</i>	88	124.83	347.19
		<i>E₁₇</i>	92	125.36	344.90
	<i>E₁₈</i>	93	125.63	333.20	
<i>E₁₉</i>		43	82.95	303.29	
<i>Skikda</i>	<i>El Hamma</i>	<i>E₂₀</i>	43	83.07	136.42
		<i>E₂₁</i>	44	83.44	142.51
		<i>E₂₂</i>	46	81.97	133.29
<i>Skikda</i>	<i>Oued Hmimine</i>	<i>E₂₃</i>	45	81.72	144.88
		<i>E₂₄</i>	44	81.35	149.72
		<i>E₂₅</i>	47	85.32	140.82
		<i>E₂₆</i>	42	84.15	169.39
		<i>E₂₇</i>	43	83.79	129.65
		<i>E₂₈</i>	35	86.57	460.74
<i>El Tarf</i>	<i>Sidi Djaballah</i>	<i>E₂₉</i>	52.5	87.78	592.95
	<i>Sidi Trad</i>	<i>E₃₀</i>	59.7	89.40	555.97
		<i>E₃₁</i>	62	90.44	553.69
		<i>E₃₂</i>	48.5	95.81	700.42
	<i>Beni Saleh</i>	<i>E₃₃</i>	35.5	94.40	743.65
		<i>Zattot</i>	<i>E₃₄</i>	45.5	85.55
	<i>Sidi Zid</i>	<i>E₃₅</i>	55	87.78	456.20
<i>Souk Ahras</i>	<i>Tassa</i>	<i>E₃₆</i>	39	79.42	403.31
	<i>Ouled Zaïd</i>	<i>E₃₇</i>	36	81.97	433.31

Le pH dépend de la nature lithologique du terrain traversé, il intervient dans la détermination des conditions de gisement de l'eau ainsi dans le domaine de son utilisation.

Dans notre secteur étudié, six stations thermales sur 14 ont des eaux basiques (sources thermales de Hammam Belhachani, N'Bail, Ouled Ali sauf "E₁₁", El Hamma, Oued Hmimine et Tassa), une neutre (E₃₀), les autres sont acides.

V.6.1.3. La conductivité électrique :

Elle est considérée comme étant la propriété que possède l'eau à laisser passer le courant électrique, elle est fonction de la température, de la concentration et de la nature de l'état d'ionisation des composés dissous. (*DIB.H, 2004*)

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

La valeur de la conductivité maximale est de l'ordre de 5222 $\mu\text{s/cm}$ mesuré à Hammam N'Baïls avec un résidu sec de 5600 mg/l.

Par contre, à Hammam Sidi Trad, les eaux possèdent une faible conductivité de l'ordre de 615 à 700 $\mu\text{s/cm}$ qui est liée avec un résidu sec de 335 à 357mg/l.

V-6.1.4. La dureté totale (TH) :

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métallique à l'exception de ceux des métaux alcalins et d'ion hydrogène.

Elle exprime approximativement la teneur de l'eau en sels de calcium et de magnésium.

Elle est exprimée en degré français (°F).

$$TH (°F) = (r Ca^{++} + r Mg^{++}). 5$$

Les eaux potables de bonne qualité ont un degré hydrotimétrique inférieur à 15 °F, elles sont acceptables jusqu'à 50 °F, mais si elles dépassent 60 °F leur utilisation causera des problèmes soit à la consommation, soit à certains usages domestique (selon l'O.M.S).

Dans la région d'étude les TH varient entre 4.85 et 1303.9 °F. La valeur minimale est observée à la source thermale de Hammam Beni Saleh à El Tarf, la valeur maximale est observée à la source thermale de Hammam Tassa à Souk Ahras avec une valeur très importante.

V-6.2. Etude des paramètres chimiques :

V-6.2.1. Origines des éléments majeurs :

- **Le Sodium et le Potassium (Na⁺ + K⁺) :**

Le sodium est toujours présent dans les eaux naturelles en proportions très variables, il provient essentiellement du lessivage des formations géologiques riches en NaCl et des minéraux silicatés tels que les plagioclases et peut être abondant dans les eaux carbogazeuses. L'eau de la pluie peut fournir également des quantités non négligeables.

Le Potassium K^+ , beaucoup moins abondant que le Sodium, est rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieures à 20 mg/l où on le considère comme négligeable par rapport au Sodium. (*BENHAMZA.M, 2009*)

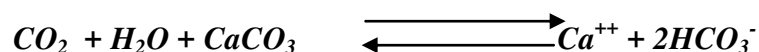
Dans le secteur d'étude les valeurs de (Na^+) varient entre 23.2 et 4618.4 mg/l, la valeur minimale observée à la source thermale de l'Oued Hmimine et la valeur maximale observée à la source thermale de Hammam Tassa.

Concernant le (K^+) la valeur minimale observée à la source thermale de l'Oued Hmimine (5 mg/l), la valeur maximale observée à la source thermale de Hammam Tassa (5352.75mg/l).

➤ **Le Calcium (Ca^{++}) :**

Le calcium est un élément de la dureté, il est généralement l'élément dominant dans les eaux naturelles.

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



Le calcium peut provenir aussi des formations gypsifères ($CaSO_4, 2H_2O$), il est aussi prédominant dans les eaux thermominérales circulant en milieu calcaire. Il peut exceptionnellement atteindre des teneurs élevées dans des eaux thermominérales carbogazeuses au contact des roches cristallines basiques. (*BENHAMZA.M, 2009*)

Le minimum de la concentration en calcium est observé à la source thermale de Hammam Beni Saleh, il est de l'ordre de 7.8 mg/l alors que le maximum est enregistré aussi à la source thermale de Hammam Tassa avec une valeur de 4511.6 mg/l.

➤ **Le Magnésium (Mg^{++}) :**

C'est un élément aussi de la dureté totale, résultant principalement de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques et des marnes dolomitiques soit des roches cristallines ou métamorphique par hydrolyse des minéraux silicatés ferromagnésiens

(olivines, micas...) toujours exacerbée dans les eaux carbogazeuses. (**BENHAMZA, M 2009**)

La mise en solution du Magnésium dans l'eau nécessite un temps de séjour important. Les teneurs en magnésium sont comprises entre 5.52mg/l et 422.4mg/l.

➤ **Les Bicarbonates :**

Ils s'acquièrent communément par la dissolution, d'une part du CO₂ du sol produit par la minéralisation de la matière organique, d'autre part des carbonates du sol et des roches (calcaire, dolomie,...). Dans ces conditions, les Hydrogènes carbonatés ne peuvent guère dépasser des concentrations de 10 millimoles d'ions. Au-delà de ces valeurs, on doit envisager la production de CO₂ profond in situ par fermentation ou l'arrivée de CO₂ profond magnétique ou métamorphique qui rend l'eau à un niveau agressive vis-à-vis de son encaissant.

La concentration des Bicarbonates dans l'eau est fonction des paramètres suivants :

- Le pH de l'eau ;
- La concentration du CO₂ dissous ;
- La température de l'air.
- La concentration de l'eau en sels et la nature lithologique des terrains traversés.

Notons que les teneurs en CO₃⁻² sont négligeable dans le secteur étudié, par contre celles des HCO₃⁻ sont variable et varient entre 183.6 mg/l à la source thermale de l'Oued Hmimine et 65300.5 mg/l dans la source thermale de Hammam Tassa.

➤ **Les Chlorures (Cl⁻) :**

Les teneurs en Chlorures des eaux naturelles sont extrêmement variées, elles peuvent provenir du lessivage d'anciens dépôts évaporitiques contenant du sel- gemme et sont alors associés au sodium.

Les Chlorures en concentrations plus modestes peuvent avoir une origine magmatique. Ils sont présents dans les eaux minérales des régions à volcanisme récent mais aussi dans les eaux très profondes du socle cristallin. (**BENHAMZA, M, 2009**)

Dans le secteur d'étude les valeurs en Cl⁻ sont plus élevées à la source thermale de Hammam Tassa, alors que les concentrations les moins élevées sont enregistrées à la source thermale de Hammam Ouled Ali.

➤ **Les Sulfates (SO₄²⁻) :**

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

- De la légère solubilité du Sulfate de Calcium (CaSO₄) des roches gypseuses (Ca SO₄ 2H₂O) ;
- De l'oxydation des Sulfates (pyrites...) ;
- De l'oxydation des sulfures d'hydrogène et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère puis entraînés lors des précipitations. (*BENHAMZA.M, 2009*)

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

En ce que concerne notre secteur d'étude, les teneurs en SO₄²⁻ sont élevées dans les deux sources thermales et varient entre 10.56 mg/l et 13461.6 mg/l.

V-6.2.2. Etude des valeurs relatives :

a- Indice d'échange de base (i.e.b) :

Au cours de son trajet souterrain, l'eau rentre en contact avec différentes substances qui ont la propriété d'échanger leurs ions contre ceux contenus dans l'eau, parmi ces substances, nous avons les minéraux argileux : l'hydroxyde ferrique et les substances organiques. (*DIB.H, 2005*)

Schoeller en 1934 a précisé que l'indice d'échange de base (i.e.b) comme étant le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants, lorsqu'il y'a échange de Na⁺ et K⁺ de l'eau, contre les calcarino -terreux des argiles alors :

$$i.e.b = r Cl - r (Na^+ + K^+) / r Cl$$

- Si i.e.b < 0 l'eau est d'origine cristalline ;
- Si i.e.b > 0 l'eau est d'origine sédimentaire.

Tableau N° 11: Indice des échanges de bases (i.e.b)

Wilaya	Source thermale	Emergence	i.e.b	Origine des eaux
Guelma	Belhachani	E_1	+0.102	Sédimentaire
		E_2	+0.162	Sédimentaire
		E_3	-0.505	Cristalline
		E_4	-0.169	Cristalline
	Guerfa	E_5	+0.067	Sédimentaire
		E_6	+0.260	Sédimentaire
	N'Baïls	E_7	+0.096	Sédimentaire
	Ouled Ali	E_8	-5.290	Cristalline
		E_9	-1.866	Cristalline
		E_{10}	-6.964	Cristalline
Guelma	Meskhoutine	E_{11}	-6.055	Cristalline
		E_{12}	-0.371	Cristalline
		E_{13}	-0.286	Cristalline
		E_{14}	-0.175	Cristalline
		E_{15}	-0.537	Cristalline
		E_{16}	-0.457	Cristalline
		E_{17}	-0.589	Cristalline
		E_{18}	-0.479	Cristalline
Skikda	El Hamma	E_{19}	+0.480	Sédimentaire
		E_{20}	+0.754	Sédimentaire
		E_{21}	+0.720	Sédimentaire
	Oued Hmimine	E_{22}	+0.459	Sédimentaire
		E_{23}	+0.493	Sédimentaire
		E_{24}	+0.659	Sédimentaire
		E_{25}	+0.450	Sédimentaire
		E_{26}	+0.475	Sédimentaire
		E_{27}	+0.525	Sédimentaire
	El Tarf	Sidi Djaballah	E_{28}	-0.473
Sidi Trad		E_{29}	-6.857	Cristalline
		E_{30}	-6.500	Cristalline
		E_{31}	-6.726	Cristalline
Beni Saleh		E_{32}	-1.103	Cristalline
		E_{33}	-1.002	Cristalline
Zattot		E_{34}	-0.904	Cristalline
Sidi Zid		E_{35}	-0.674	Cristalline
Souk	Tassa	E_{36}	+0.072	Sédimentaire
Ahras	Ouled Zaïd	E_{37}	-0.220	Cristalline

b- Rapports caractéristiques :

Le rapport caractéristique est défini comme étant le rapport de certains éléments chimiques exprimés en milli-équivalents par litre (még/l). Les rapports étudiés sont :

- $r \text{Mg}^{++}/r \text{Ca}^{++}$;
- $r (\text{Na}^+, \text{K}^+)/r \text{Cl}^-$;
- $r \text{SO}_4^{--}/r \text{Cl}^-$.

L'étude des variations de ces rapports donne de précieuses indications sur l'alimentation des nappes et la circulation des eaux souterraines et permet parfois de détecter d'autre formation en profondeur non affleurant.

b-1. Rapport $r \text{Mg}^{++}/r \text{Ca}^{++}$:

Les valeurs du rapport caractéristique $r \text{Mg}^{++}/r \text{Ca}^{++}$ sont comprises entre un minimum de l'ordre de 0.11 et un maximum de 1.15.

Lorsque ce rapport est supérieur à 1, il traduit la prédominance du Magnésium et ce cas est rare dans nos analyses (tous les rapports sont inférieurs à 1 sauf E₃₂).

Lorsque il est inférieur à 1 le Calcium prédomine et c'est le cas de pratiquement toutes nos analyses, ceci peut être expliqué par la solubilité des calcaires plus riches en Calcium qu'en Magnésium. (*BENHAMZA.M, 2009*)

b-2. Rapport $r \text{SO}_4^{--}/r \text{Cl}^-$:

Lorsque ce rapport est supérieur à 1 il y a prédominance de Sulfates, ceci apparaît dans les sources thermales de Guelma (a part Hammam Meskhoutine) et les sources thermales de Skikda, qui sont liés essentiellement au lessivage des terrains gypsifères et des l'oxydation des sulfures (pyrites).

Lorsque le rapport $r \text{SO}_4^{--}/r \text{Cl}^-$ est inférieur à 1 il y a prédominance de Chlorures, ce cas caractérise la plupart des points de prélèvement dans la source thermale de Hammam Meskhoutine, les sources thermales d'El Tarf et celles de Souk Ahras, mais malgré la prédominance des chlorures, ils sont en faibles concentrations et ces valeurs Chlorure sont liés à la protection de ces sources thermales contre la pollution par les rejets des eaux domestiques et industrielles, vu leur importantes profondeurs. (*BENHAMZA.M, 2009*)

b-3. Rapport $r (\text{Na}^++\text{K}^+)/r \text{Cl}^-$:

Lorsque le rapport $r (\text{Na}^++\text{K}^+)/r \text{Cl}^-$ est inférieur à 1, il traduit la prédominance des Chlorures, cette prédominance de Chlorures liés aux terrains salifères.

Lorsque ce rapport est supérieur à 1, il traduit la prédominance du Sodium.

Tableau N° 12 : Rapports caractéristiques des sources thermales de la zone d'étude

Wilaya	Source thermale	Emergence	Rapports caractéristiques		
			$r \text{ Mg}^{++}/r \text{ Ca}^{++}$	$r \text{ SO}_4^{-}/r \text{ Cl}^{-}$	$r (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+})/r \text{ Cl}^{-}$
Guelma	Belhachani	E_1	0.14	71.45	0.89
		E_2	0.16	72.16	0.83
		E_3	0.19	65.08	1.54
		E_4	0.31	32.90	1.16
	Guerfa	E_5	0.47	29.29	0.93
		E_6	0.53	31.78	0.73
	N'Bails	E_7	0.31	17.69	0.90
	Ouled Ali	E_8	0.58	101.6	6.20
		E_9	0.82	59.38	2.56
		E_{10}	0.33	114.37	7.96
		E_{11}	0.21	163.93	7.05
	Meskhoutine	E_{12}	0.13	1.25	1.32
		E_{13}	0.19	1.02	1.28
		E_{14}	0.14	0.93	1.17
		E_{15}	0.16	0.99	1.53
		E_{16}	0.11	0.91	1.45
		E_{17}	0.15	0.93	1.58
	Skikda	El Hamma	E_{18}	0.16	0.96
E_{19}			0.29	4.27	0.30
E_{20}			0.25	3.30	0.47
Oued Hmimine		E_{21}	0.24	4.25	0.27
		E_{22}	0.23	11.58	0.54
		E_{23}	0.22	11.41	0.50
		E_{24}	0.35	4.94	0.34
		E_{25}	0.23	11.24	0.54
		E_{26}	0.24	9.62	0.52
		E_{27}	0.24	9.86	0.47
El Tarf	Sidi Djaballah	E_{28}	0.60	0.09	1.47
	Sidi Trad	E_{29}	0.52	0.22	7.85
		E_{30}	0.61	0.24	7.50
		E_{31}	0.59	0.38	7.72
	Beni Saleh	E_{32}	1.15	0.07	2.10
		E_{33}	1.84	0.07	2.00
	Zattot	E_{34}	0.88	0.04	1.90
	Sidi Zid	E_{35}	0.48	0.04	1.67
Souk Ahras	Tassa	E_{36}	0.15	0.05	1.16
	Ouled Zaïd	E_{37}	0.40	0.04	1.02

V-6.2.3. Résultats des analyses et faciès chimique:

Au total 37 échantillons ont été pris en considération, et les résultats des analyses chimiques, sont consignés dans le (**Tableau N°13**)

Afin de vérifier la fiabilité des analyses, on a vérifié les résultats obtenus en établissant la balance ionique pour chaque analyse, nous avons établi la formule ionique et cela en classant par ordre décroissant de gauche à droite par ordre décroissant les anions puis les cations.

A partir de ces formules ioniques, découle le faciès spécifique de chaque analyse (**Tableau N°13**).

V-6.2.4. 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 classification de *Stiff* ;
- La représentation de *Schoeller- Berkaloff* (diagramme vertical).

V-6.2.4.1. 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 réaction 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**)

a. Les sources thermales de Guelma:

Après avoir reporté les différentes valeurs sur le diagramme de *Piper* (**Fig. 66**), on remarque trois types de faciès caractérisant les eaux thermales de Guelma:

Sulfaté Calcique: de E₁ à E₁₁ sauf E₇ qui représentent les eaux thermales des Hammams Belhachani, Hammam Guerfa et Hammam Ouled Ali.

Tableau N°13 : Résultats des analyses et faciès chimiques.

Wilaya	Source thermale	Emergence	Formule ionique	Faciès chimique
Guelma	Belhachani	E ₁	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	Sulfaté Calcique
		E ₂	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	
		E ₃	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	
		E ₄	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	
	Guerfa	E ₅	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	
		E ₆	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	
	N'Bails	E ₇	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Sulfaté Sodique
	Ouled Ali	E ₈	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	Sulfaté Calcique
		E ₉	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	
		E ₁₀	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	
		E ₁₁	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	
	Meskhoutine	E ₁₂	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Sulfaté Sodique
		E ₁₃	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Chloruré Sodique
		E ₁₄	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	
		E ₁₅	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	
		E ₁₆	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	
		E ₁₇	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	
	E ₁₈	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$		
Skikda	El Hamma	E ₁₉	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- \approx rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	Sulfaté Calcique
		E ₂₀	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- \approx rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	
		E ₂₁	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- \approx rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	
	Oued Hmimine	E ₂₂	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	
		E ₂₃	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	
		E ₂₄	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	
		E ₂₅	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	
		E ₂₆	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	
E ₂₇	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- \approx rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$			
El Tarf	Sidi Djaballah	E ₂₈	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Bicarbonaté Sodique
	Sidi Trad	E ₂₉	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	
		E ₃₀	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	
		E ₃₁	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	
	Beni Saleh	E ₃₂	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} \approx r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+} > rCa^{2+}$	
		E ₃₃	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} \approx r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+} > rCa^{2+}$	
	Zattot	E ₃₄	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	
Sidi Zid	E ₃₅	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$		
Souk Ahras	Tassa	E ₃₆	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	
	Ouled Zaïd	E ₃₇	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} \approx r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	

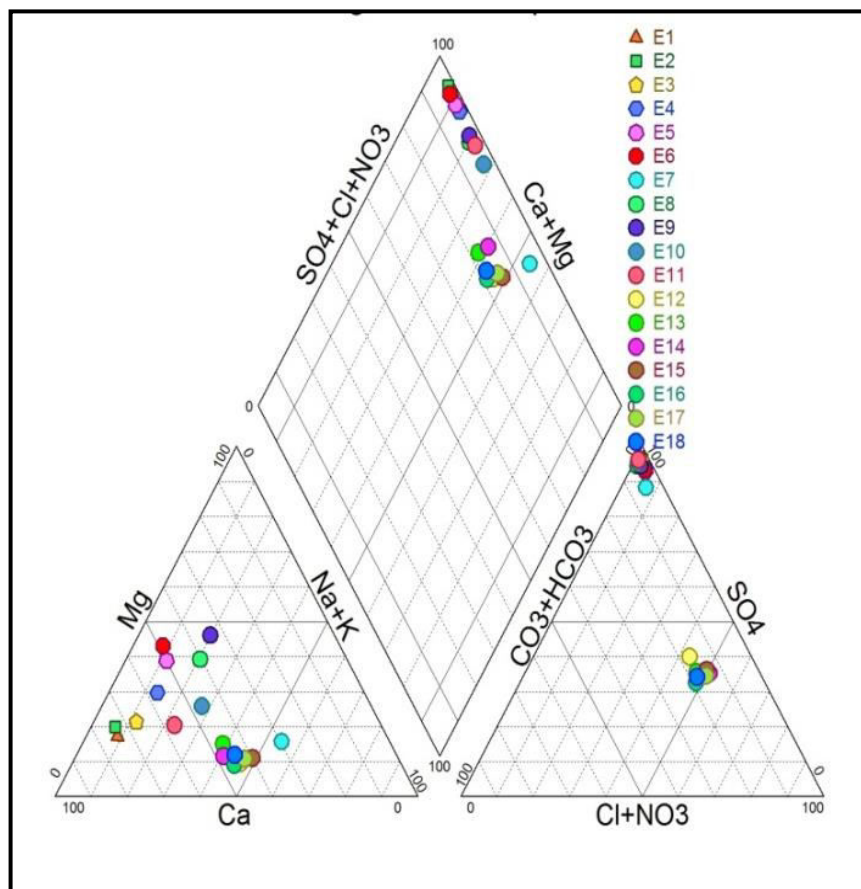


Fig. 66 : Représentation graphique des faciès chimiques Diagramme de Piper (Sources thermales de Guelma).

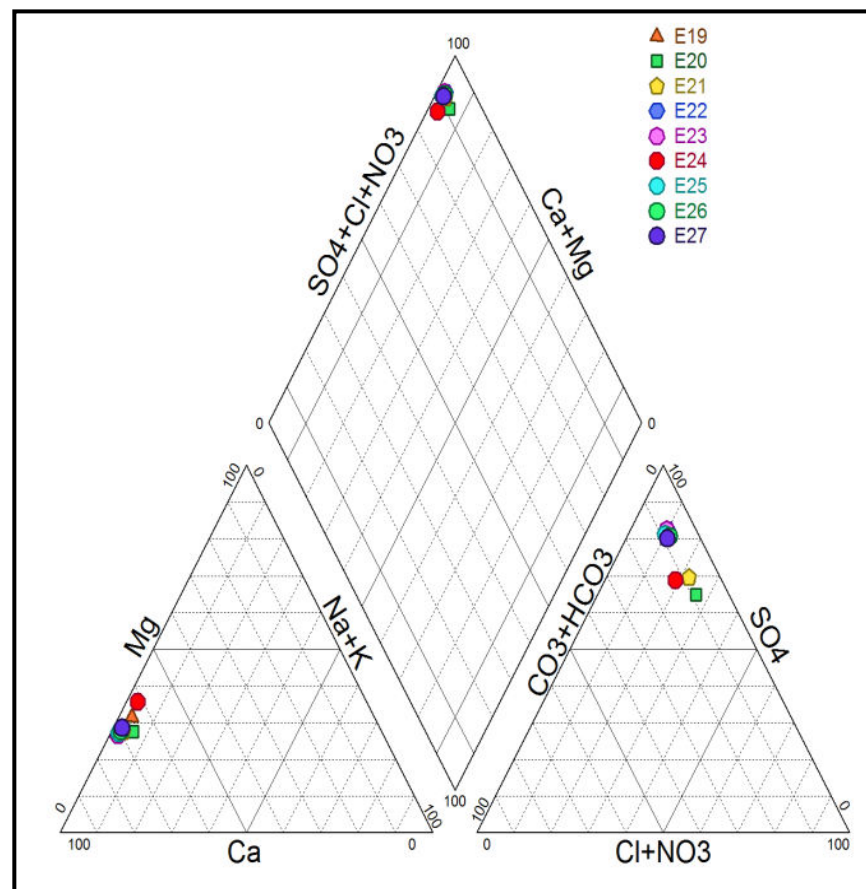


Fig. 67: Représentation graphique de faciès chimique Diagramme de Piper (Sources thermales de Skikda).

- **Sulfaté Sodique:** Les émergences E₁₂ et E₁₃ appartenant à la source thermale de Hammam Meskhoutine et la source thermale de Hammam N'Baïl.
- **Chloruré Sodique:** Les émergences de E₁₄ à E₁₈ correspondent aux sources thermales de Hammam Meskhoutine.

b. les sources thermales de Skikda:

Après avoir reporté les différentes valeurs sur le diagramme de *Piper (Fig.67)*, nous constatons que toutes les eaux analysées se situent dans la partie supérieure du losange de Piper avec la présence d'un seul faciès chimique qu'est le faciès Sulfaté Calcique.

c. Les sources thermales d'El Tarf:

Après avoir reporté les différentes valeurs sur le diagramme de *Piper (Fig. 68)*, toutes les eaux analysées présentent un seul faciès chimique le Bicarbonaté Sodique.

d. Les sources thermales de Souk Ahras :

Après avoir reporté les différentes valeurs sur le diagramme de *Piper (Fig. 69)*, les eaux analysées présentent un seul faciès chimique le faciès Bicarbonaté Sodique.

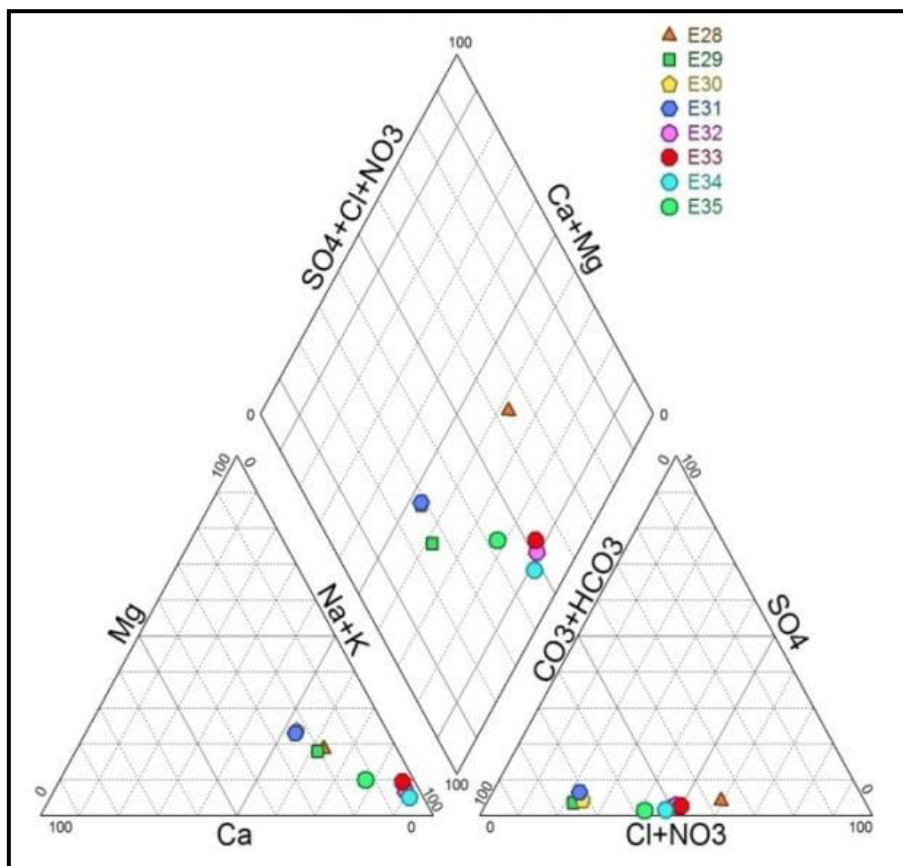


Fig. 68: Représentation graphique du faciès chimique Diagramme de Piper (Sources thermales d'El Tarf).

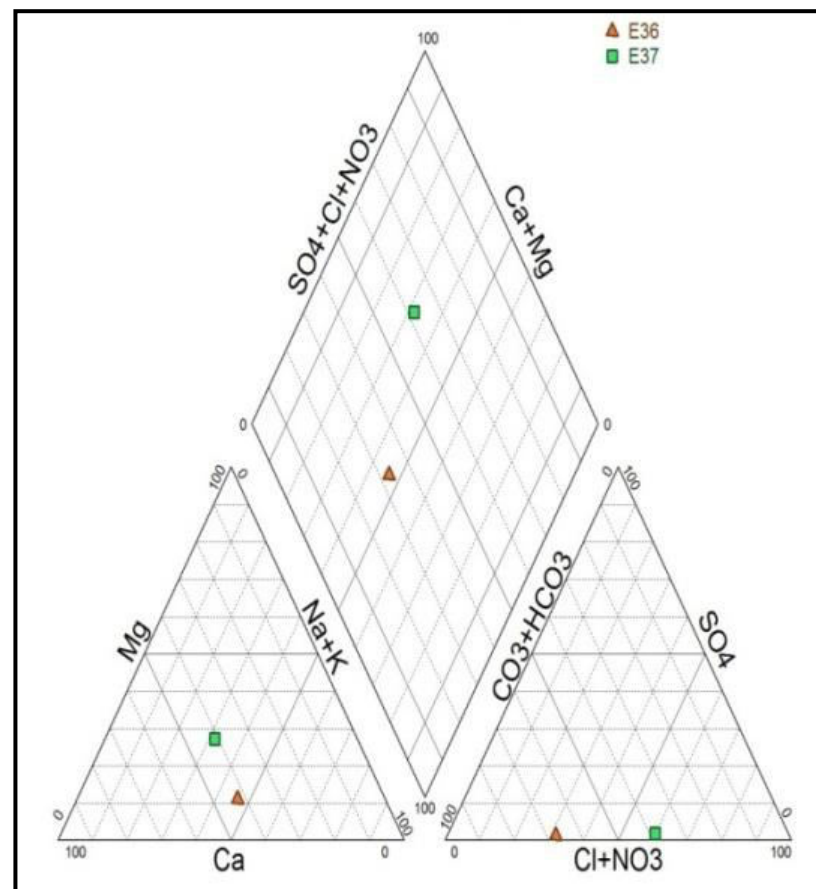


Fig. 69: Représentation graphique du faciès chimique Diagramme de Piper (Sources thermales de Souk Ahras).

V-6.2.4.2. 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*)

V-6.2.4.3. Diagramme de Stiff :

C'est un diagramme simple et on peut lire directement sur le diagramme la formule ionique et le faciès chimique.

Les cations sont représentés à gauche de l'axe vertical, ce sont les ions de (Na^+ , K^+), Ca^{++} , Mg^{++} et Fe^{++} . Les anions sont représentés à droite de l'axe vertical et sont : Cl^- , HCO_3^- , SO_4^- et CO_3^- souvent la dernière ligne du Fer et du Carbonates ne figurent pas dans le diagramme a cause de la rareté de ces ions.

L'axe horizontal exprime les concentrations en (mé/l), le polygone est dessiné en reliant les points correspondant aux différentes concentrations.

Pour une eau équilibrée, l'aire de la partie droite (anions) devrait égaler celle de la partie gauche (cations).

Dans le diagramme de *Stiff*, les analyses peuvent être représentées en séquences (l'une à coté ou en dessous de l'autre), de ce fait il facilite un archivage graphique des données.

La représentation des résultats d'analyses sur le diagramme de *Stiff*, montre clairement les faciès chimiques cité plus haut. (*BENHAMZA.M, 2007*)

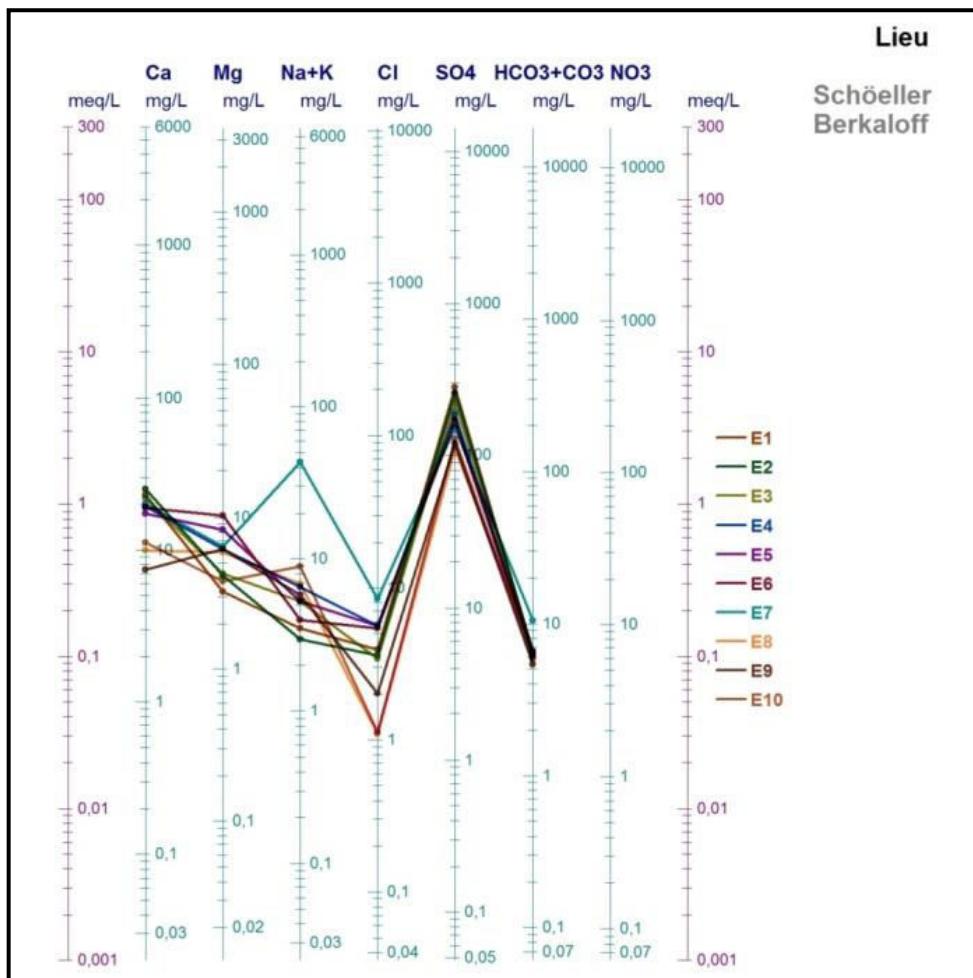


Fig. 70: Représentation graphique des faciès chimiques
Diagramme de Schoeller – Berkaloff
(Sources thermales de Guelma).

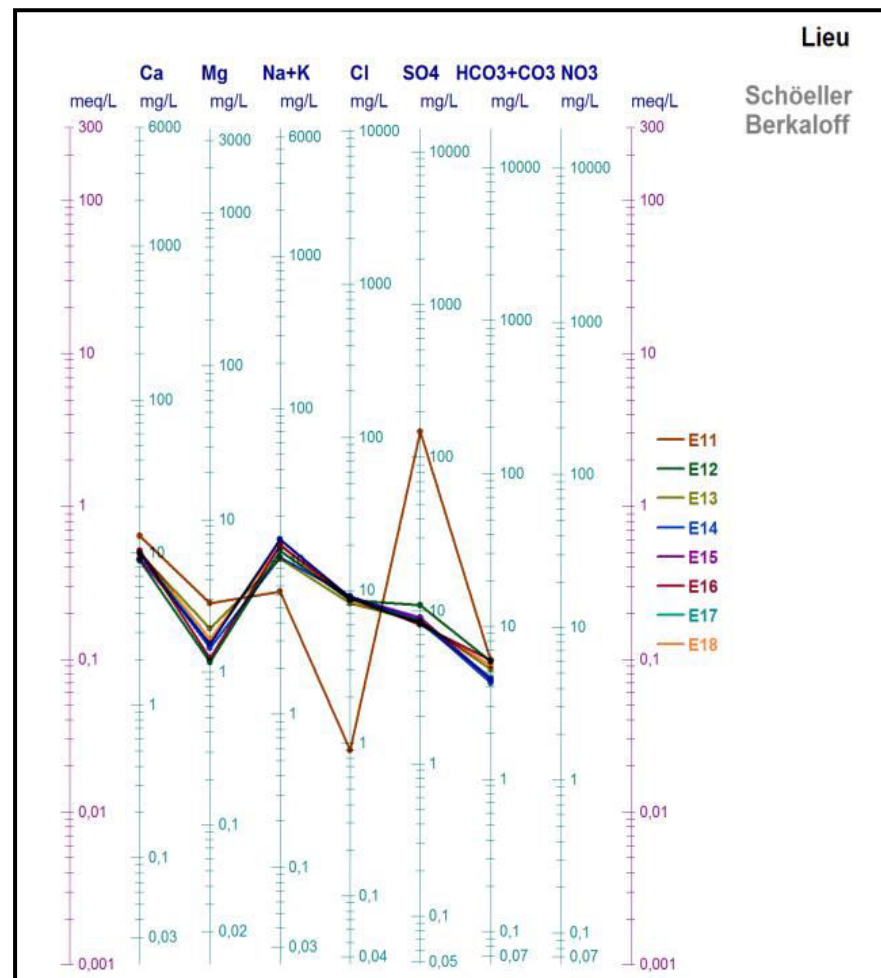


Fig. 71: Représentation graphique des faciès
Chimique, Diagramme de Schoeller – Berkaloff
(Sources thermales de Guelma –suite-).

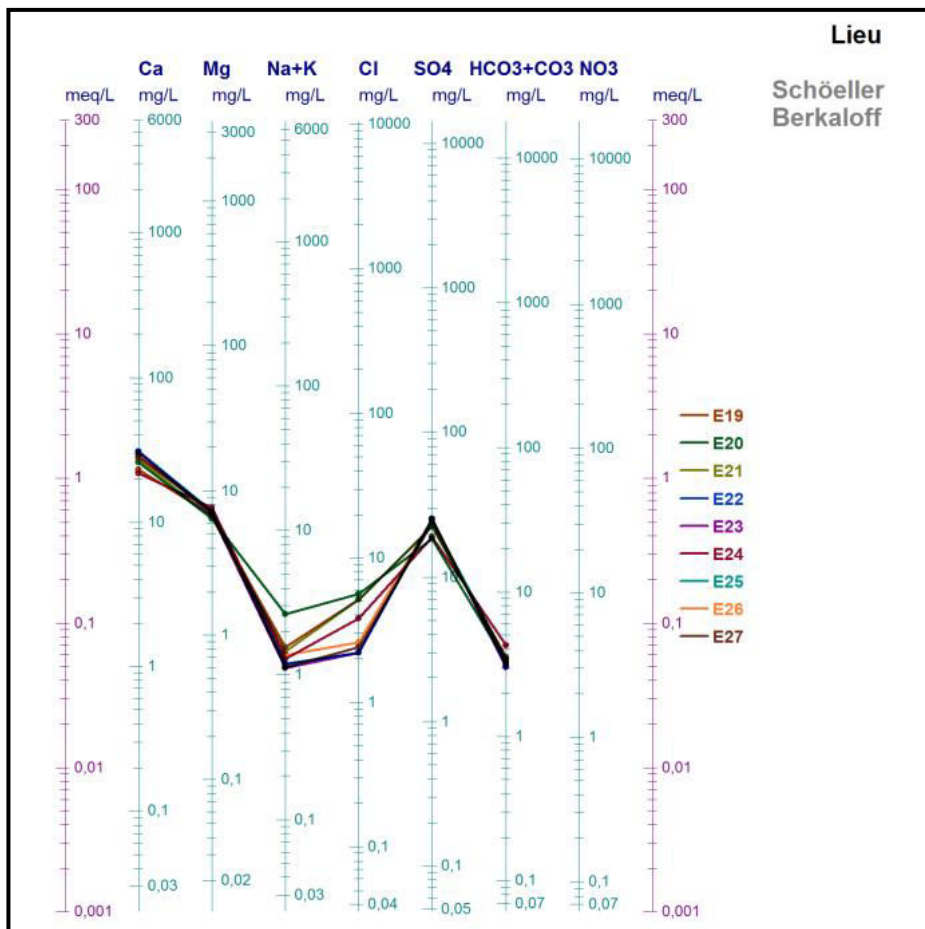


Fig. 72: Représentation graphique des faciès Chimique, Diagramme de Schoeller – Berkaloff (Sources thermales de Skikda).

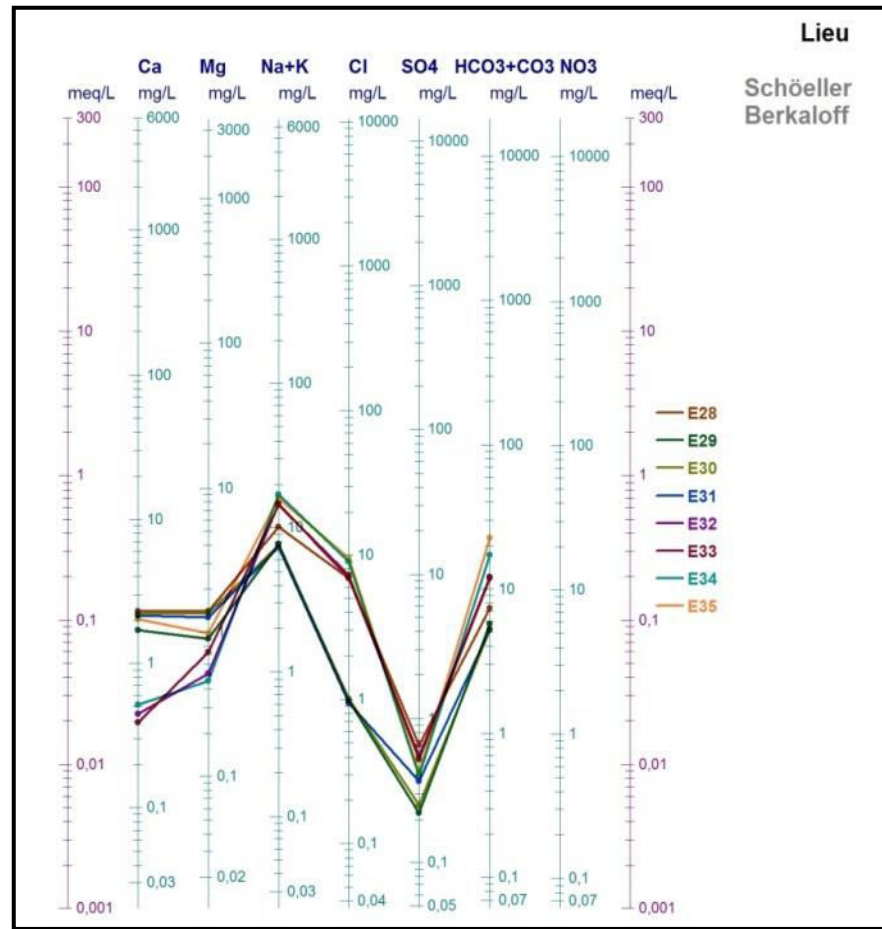


Fig. 73: Représentation graphique des faciès Chimique, Diagramme de Schoeller – Berkaloff (Sources thermales de Tarf).

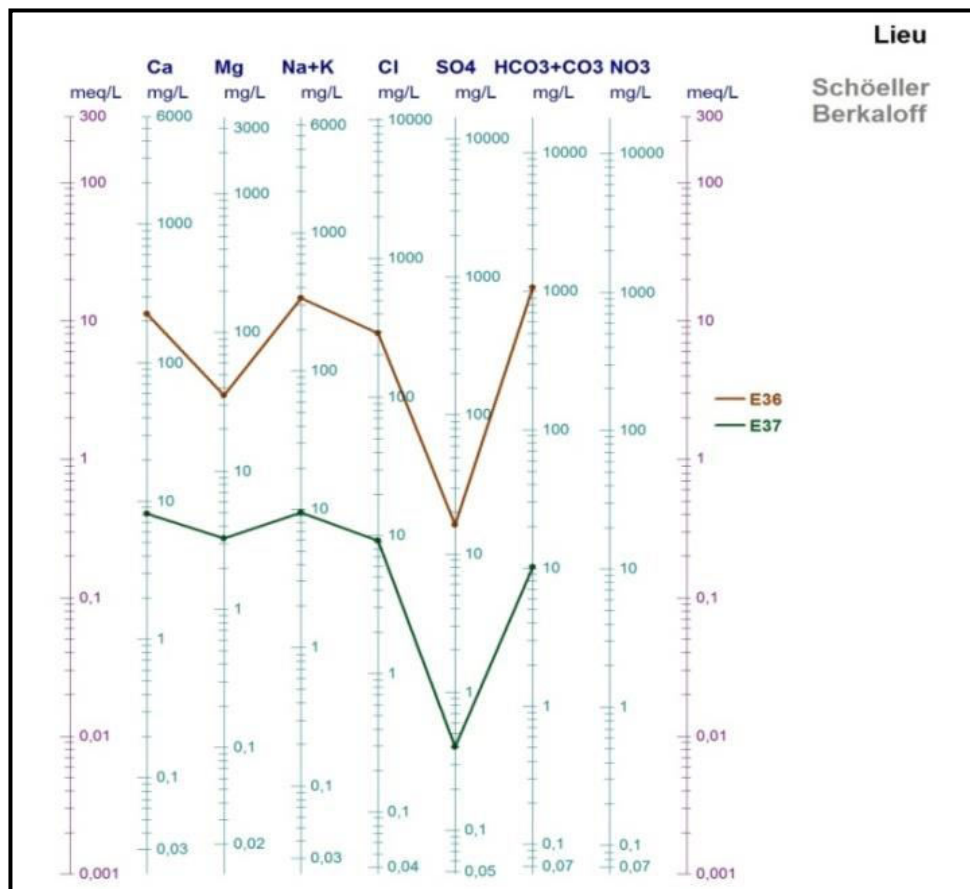


Fig. 74: Représentation graphique des faciès chimique
Diagramme de Schoeller – Berkaloff
(Sources thermales de Souk Ahras).

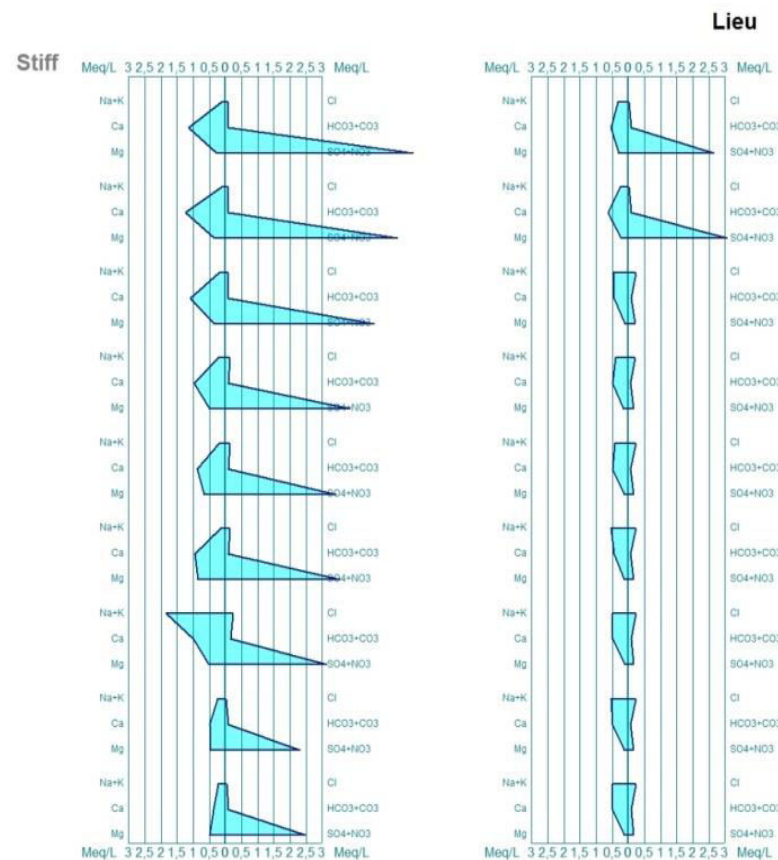


Fig. 75: Représentation graphique des faciès chimiques
Diagramme de Stiff (Sources thermales de Guelma).

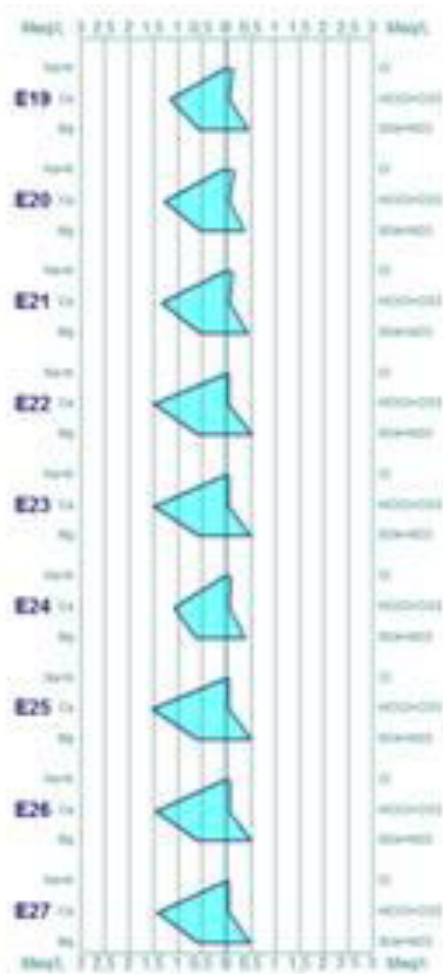


Fig. 76: Représentation graphique des faciès chimique, Diagramme de Stiff (Sources thermales de Skikda).

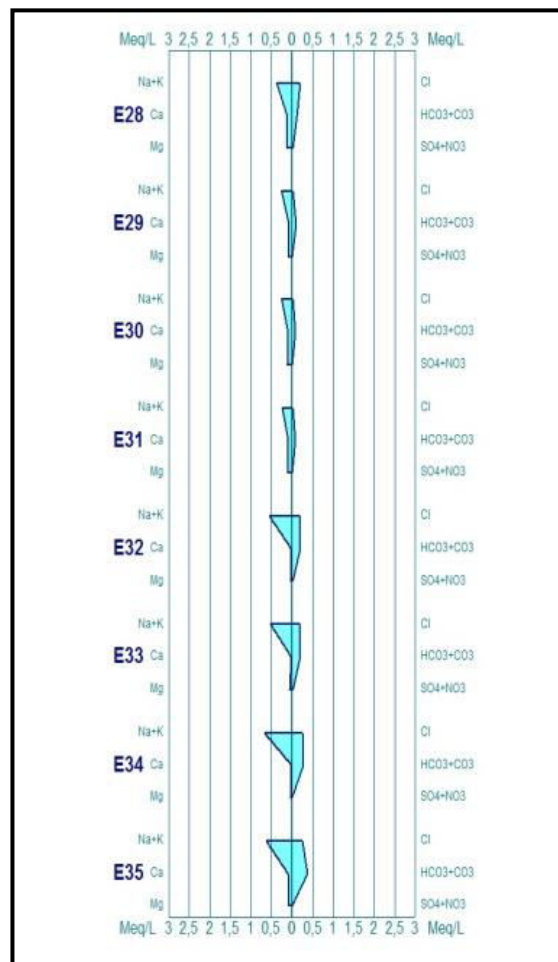


Fig. 77: Représentation graphique de faciès Chimique, Diagramme de Stiff (Sources thermales d'El Tarf).

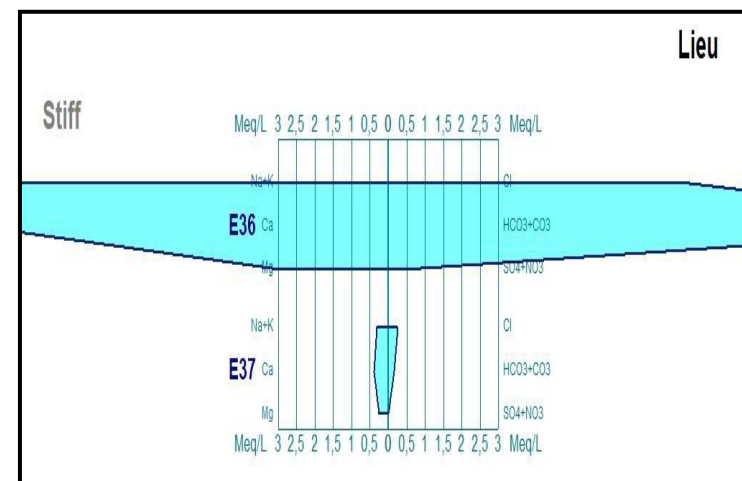


Fig. 78: Représentation graphique de faciès chimique Diagramme de Stiff (Sources thermales de Souk Ahras).

V-6.2.4.4. La classification de Stabler:

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

D'après cette classification, nous obtiendrons trois faciès chimiques: bicarbonaté, chloruré et sulfaté. (*BENHAMZA.M, 2007*)

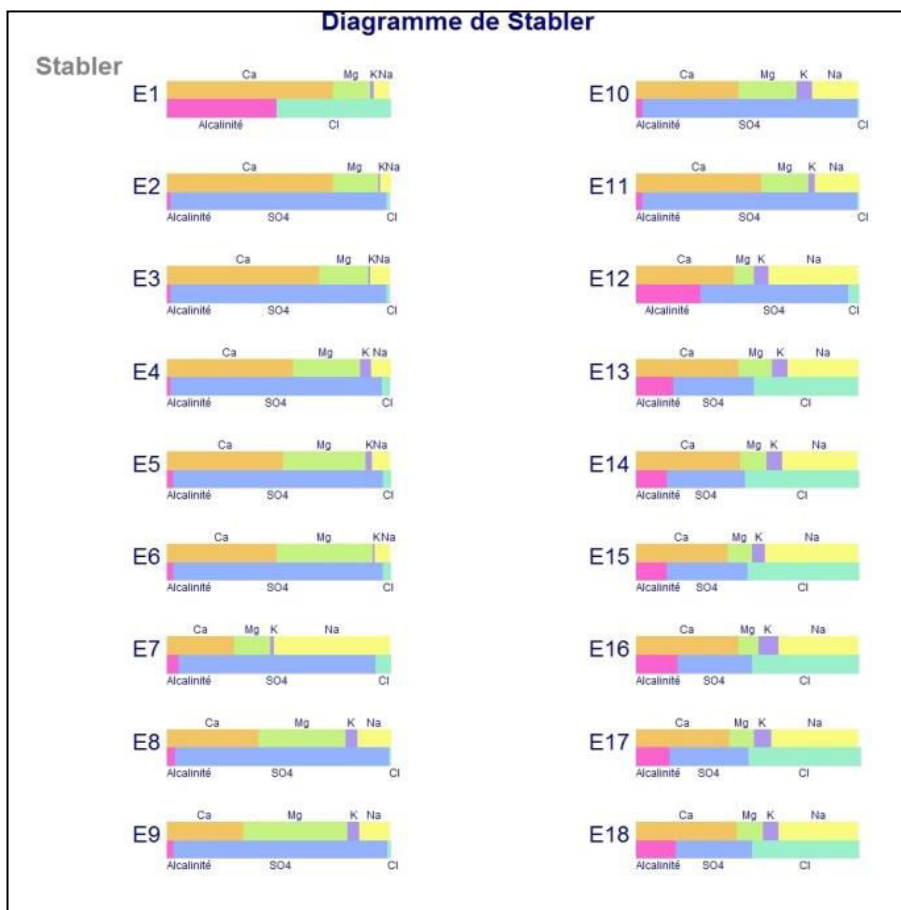


Fig. 79: Représentation graphique des faciès chimique Diagramme de Stabler (Sources thermales de Guelma).



Fig. 80: Représentation graphique des faciès Chimique, Diagramme de Stabler (Sources thermales de Skikda).



Fig. 81: Représentation graphique de faciès chimique Diagramme de Stabler (Sources thermales d'El Tarf).

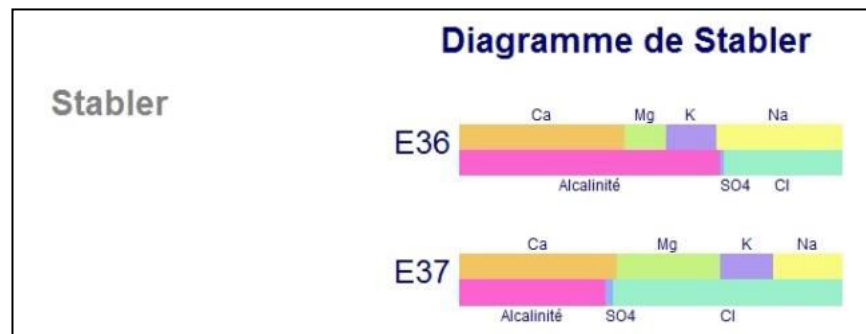


Fig. 82: Représentation graphique de faciès Chimique, Diagramme de Stabler (Sources thermales de Souk Ahras)

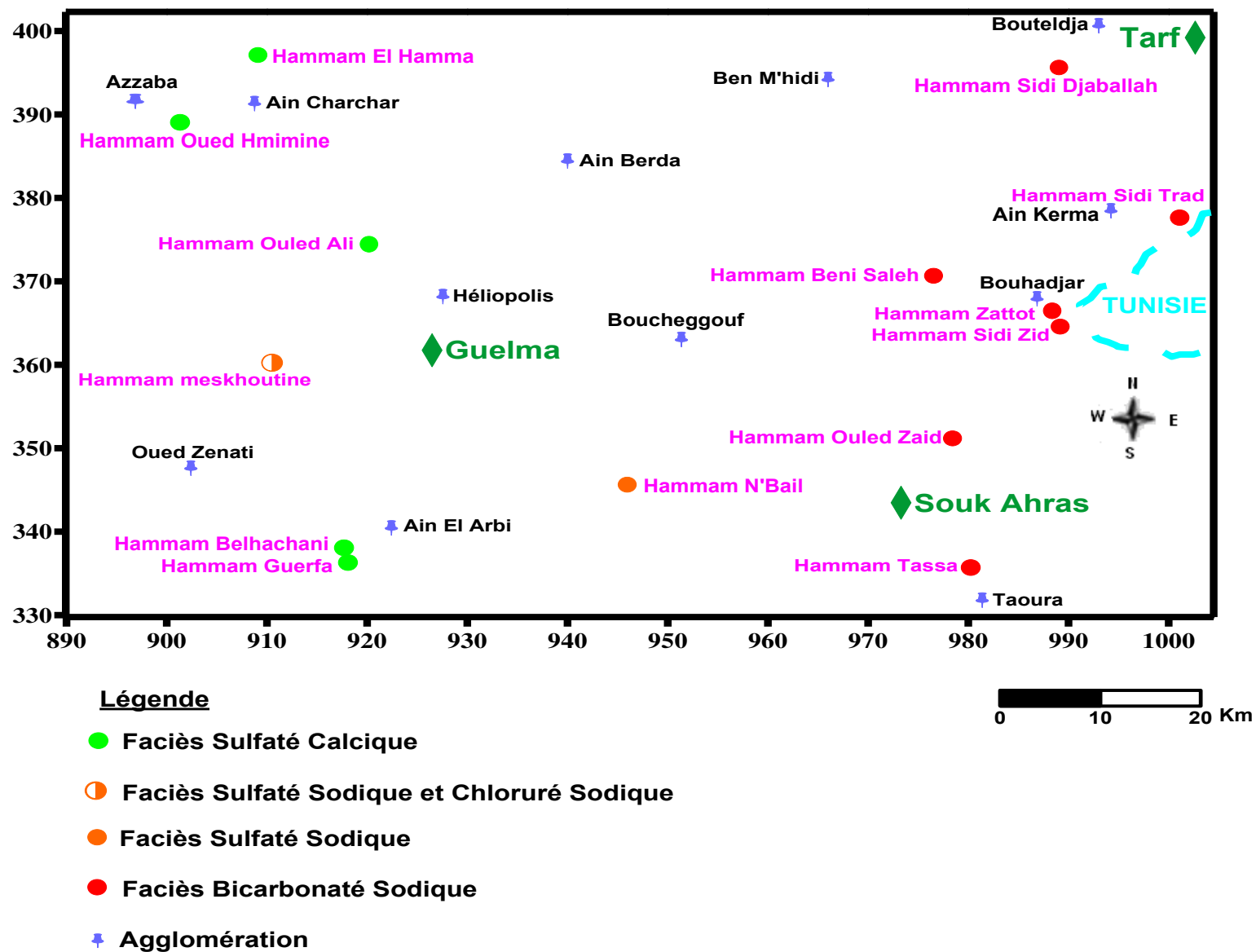


Fig. 83 : Carte des Faciès Chimiques des eaux thermo minérales de la zone d'étude.

V-6.2.5. Comparaison entre les trois représentations graphiques :

Les trois graphiques, *Schoeller –Berkaloff*, *Piper* et *Stiff* sont des représentations des concentrations en ions majeurs les plus courantes.

Les points essentiels à retenir sont précisés sur le tableau ci – après (*tableau N°14*):

Tableau N°14 : Comparaison détaillée entre les trois représentations.

Diagramme	Points essentiels
<i>Schoeller -Berkaloff</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bien adapté à la comparaison des échantillons des faciès identiques mais différents par leur degré de dilution. - Risques d'interprétation abusive de la conformité de deux échantillons du fait des reports graphiques sur une échelle logarithmique.
<i>Piper</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bien adapté pour l'étude comparative d'un nombre important d'échantillons. - Risque d'erreurs dans la comparaison d'échantillons du fait d'une représentation en pourcentage (%) des ions.
<i>Stiff</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bien adapté à la lecture des formules ioniques et du faciès chimiques. - Permet la représentation des ions CO_3^{-2} et Fer. - Les analyses peuvent être représentées en séquences (l'une à coté de l'autre ou en dessous) et de ce fait, il permet un archivage graphique des données.

V-6.2.6. Les oligo-éléments:

La présence des éléments mineurs ou des éléments traces dans les eaux thermominérales est d'un grand intérêt, car elle permet de préciser les caractères des eaux et les gîtes minéraux traversés par ce dernières.

Pour les eaux thermo minérales de notre secteur d'étude, nous avons effectué des analyses par absorption atomique pour déterminer les concentrations en (mg/l) de certains éléments traces qui sont:

- Le Plomb (**Pb**);
- Le cuivre (**Cu**).

Les résultats de ces analyses montrent que la plupart des mines sont localisées près des émergences thermo minérales des terrains allochtones, ce qui indique une relation étroite entre eux.

Deux hypothèses expliquent cette relation:

- 1- La première admet que les eaux thermo minérales ou minérales constituent le résidu des solutions ayant donné naissance aux gîtes filoniens hydrothermaux;
- 2- La deuxième admet que les eaux thermo minérales ou minérales au cours de leur trajet dissolvent en partie des gîtes minéraux préexistants.

Pour *P. Verdeil*, si "source et filon" se trouvent bien sur les mêmes accidents cela n'implique pas pour autant une liaison entre eux.

Pour cet auteur : "Tout d'abord et suivant immédiatement la mise en place d'un pluton, il y aurait injection de solutions sursaturées et formation des gîtes hydrothermaux, ainsi pourrait s'expliquer la présence de cinabre dans le Constantinois, ce minéral se concentrant dans les zones où se sont produits des mouvements de grandes quantités d'eau chaude et sa présence comme celle de stibine associée à des sulfures de Zinc ou de plomb pouvant être considérée comme une preuve indirecte de la présence d'un magma en profondeur". (*DIB.H, 2004*)

Les valeurs en Cuivre (Cu) sont toutes inférieures à (0,097 mg/l).

Par rapport les concentrations des eaux en Pb paraissent être intéressantes dans certaines régions. Par exemple, on note (1,407 mg/l) au niveau de la station d'Oued Hmimine, ces valeurs sont dues à la présence du gisement de mercure pas loin de la station.

De même la mine du Nador N'Baïls influe sur les eaux du Hammam qui est peut être due au contact des eaux avec les formations ferrugineuses (filons) et donnent aux eaux des concentrations importantes en Pb.

V-6.2.7. Conclusion :

Les résultats des analyses chimiques des eaux thermominérales et les classifications de *Piper, Schoeller – Berkaloff* et *Stiff* nous ont permis d'établir la carte des faciès chimique des eaux thermo minérales de la région d'étude.

Les faciès obtenus sont:

- **Faciès bicarbonaté sodique:** (Hammam Sidi Djaballah, Hammam Sidi Trad, Hammam Zattot, Hammam Sidi Zid, Hammam Beni Salah, Hammam Ouled Zaïd, Hammam Tassa);
- **Faciès sulfaté calcique:** (Hammam El Hamma, Hammam Oued Hmimine, Hammam Sidi Ali, Hammam Guerfa et Hammam Belhachani);

- **Faciès chloruré sodique:** (Hammam Meskhoutine "sauf E₁₂ et E₁₃");
- **Faciès sulfaté sodique:** E₁₂ et E₁₃ (Hammam Meskhoutine) plus Hammam N'Baïl.

La partie Est du secteur d'étude est caractérisée par un faciès bicarbonaté sodique avec une teneur élevée de calcium.

Le centre et l'extrême Nord- Est du secteur est caractérisé par des faciès chlorurés et chloré-sulfaté sodique.

L'origine des faciès peut être due à la présence du volcanisme récent au voisinage des Hammams.

Le faciès sulfaté calcique occupe la partie Nord-Ouest et Sud du secteur étudié.

V-7. Analyse en composantes principales (A.C.P) :

V-7.1. Introduction :

L'analyse en composantes principales (A.C.P) est une méthode statistique essentiellement descriptive, son objectif est de présenter sous une forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données.

L'A.C.P est une méthode statistique ancienne. C'est à **H. Hotelling** en 1933, que l'on doit la première publication sur ce sujet et c'est **K. Pearson** en 1901 qui a entrevu les idées essentielles.

Cependant l'utilisation de l'A.C.P est récente. Ce n'est que depuis les années 1960 et l'avènement des ordinateurs que la théorie a pu être mise en pratique.

L'A.C.P peut s'utiliser dans des situations nombreuses et variées et pour savoir comment se structure vos variables : quelles sont celles qui sont associées ? Quelles sont celles qui ne le sont pas ? Quelles sont celles qui «vont dans le même sens» ? Quelles sont celles qui s'opposent ?

Le schéma de l'A.C.P est une méthode de réduction du nombre des caractères permettant une représentation géométrique des individus et des caractères. La réduction est possible lorsque les caractères initiaux ne soient pas indépendants et ont un coefficient de corrélation non nul.

L'A.C.P est une méthode factorielle, car la réduction du nombre de caractères ne se fait pas sur une simple sélection de certains d'entre eux, mais par la construction de nouveaux caractères synthétiques obtenus en combinant les caractères initiaux au moyen des facteurs c'est une méthode linéaire car il s'agit de combinaison linéaire.

Partant d'un tableau de données sur lequel figurent en colonnes (P) variables et en lignes (n) échantillons ; également chaque variable peut être représentée dans un espace à (n) dimension.

On obtient ainsi un nuage de points dont il est impossible de visualiser la structure, aussi faut il avoir recours à une représentation dans un espace à dimensions réduite, déterminée à partir des axes principaux du nuage.

Chaque axe factoriel est choisi de façon à décrire le maximum de variance du nuage de points. L'association deux à deux de ces axes aux facteurs permet une représentation graphique plane de ce nuage.

Généralement le calcul se poursuit jusqu'au facteur qui exprime 90% au moins de la variance totale.

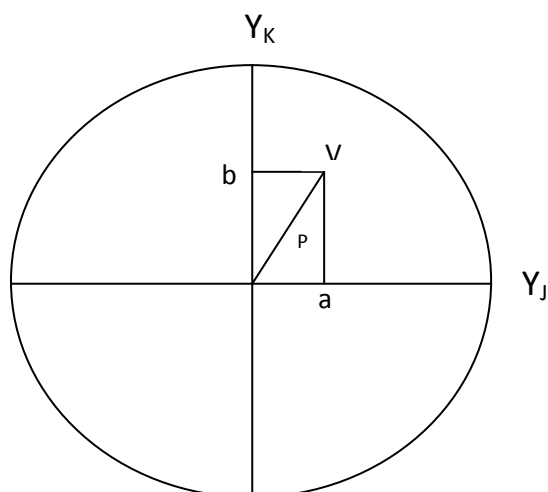
Pour conserver au maximum la forme du nuage, donc son inertie par rapport au centre de gravité on centre la variable, c'est-à-dire faire passer les axes principaux de projection par le centre de gravité, il s'agit alors d'une A.C.P centré de plus, afin d'éliminer l'influence de la taille des variables dépendant des unités choisies, on considère comme variable dans l'A.C.P réduite le rapport de chaque valeur à son écart type, l'A.C.P est dite alors centrée réduite.

Le but de l'A.C.P est de regrouper les éléments présentant une origine ou une évolution similaire. (*BENHAMZA.M, 2005*)

V-7.2. Représentation des variables : (Cercles de corrélations) :

La représentation d'un nuage des valeurs centrées se fait dans cercle de rayon $R = 1$ (sphère dans l'espace) dont les coordonnées sur les composantes principales sont les corrélations.

La variation sera d'autant mieux reconstruite et explicative que la variable est proche de la circonférence du cercle. (Fig. 84, 85)

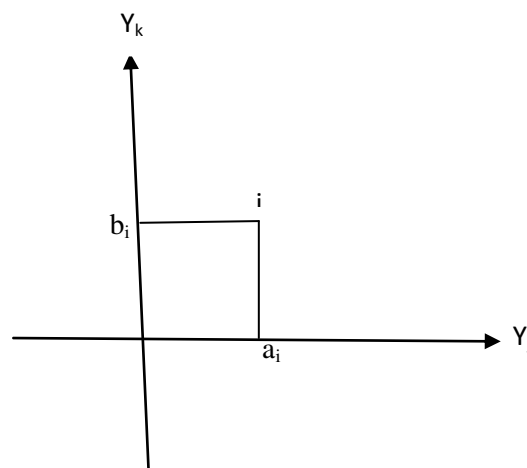


Y : axe de composition
 V : variable
 a : corrélation simple entre variable et Y_K
 b : corrélation simple entre variable et Y_J
 P : corrélation multiple entre variable et Y_K et Y_J .

(Fig. 84) : Représentation des Cercles de Corrélations

V-7.3. Représentation des individus :

Les résultats de l'A.C.P permettent de voir la disposition des échantillons par rapport aux axes des composantes dans un plan orthonormé.



(Fig. 85) : Représentation des Individus

V-7.4. Application de l'A.C.P :

Nous avons réalisé une A.C.P globale concernant les points des eaux thermales analysées dans notre zone d'étude. Cette A.C.P comprend 37 observation (individus) et 15 variable à savoir (T, pH, CE, Ca, Mg, K, Na, Cl, SO_4 , HCO_3 , TH, RS, Cu, Pb, SiO_2).

La matrice de corrélation (tableau N° 15) montre les variables qui sont bien corrélées entre elles, à savoir : [Na, Mg (0,828)], [K, Na (0,981)], [Cl, Ca (0,984)], [Cl, Na (0,983)], [HCO_3 , Ca (0,957)], [Cu, Pb (0,625)], [TH, Ca(0,998)].

V-7.4.1. Etude des variables :

-1E colonne : Corrélation entre les variables et les axes principaux.

-2E colonne : Corrélation aux carrées.

V-7.4.2. Cercle de corrélation :

Pour les cercles de corrélation le pourcentage de l'inertie cumulée est de 66.80% pour le Plan F1-F2, 66.8 % pour le Plan F1-F3 et 65.73 % pour le Plan F1-F4.

L'inertie cumulée du Plan F1-F2 de 66.80%, nous permet de dire qu'elle est significative et que le cercle F1-F2 est représentatif. (Fig. 84, 85).

Ce résultat montre qu'il existe une bonne structure au niveau de cet échantillonnage et que la représentation dans du plan (F1 -F2) explique l'essentiel de cette structure.

Pour le Plan F1-F2 l'axe horizontal F1 exprimant 48.98% de la variance est caractérisé par un premier nuage de point dans le sens négatif regroupant : Mg (-0,9387), HCO₃ (-0,9508), K(-0,9360), Cl (-0,9461), Ca(-0.9765), TH(-0.9779) et Na(-0.9356), la conductivité C(-0.5386) et le RS, représentant ainsi un axe de minéralisation, regroupant les éléments responsables des faciès chimiques.

L'axe vertical F2 exprimant 17.82% de la variance est caractérisé par SiO₂ (0,8270) et le Ph dans le sens positif et le Pb et le Cu dans son sens négatif, c'est donc un axe regroupant les éléments de pollution. (Fig. 86).

La représentation des individus selon le Plan F1-F2, montre selon l'axe F2 deux nuages de points qui s'opposent. Un premier nuage de point dans son sens positif regroupant les sources de Hammam Meskoutine, représentant des eaux hyperthermales, à faciès chloruré sodique.

Dans le sens négatif le deuxième nuage regroupe les autres points de prélèvements des différentes sources, ayant pour faciès, le sulfaté et bicarbonaté calcique et sodique, avec des températures ortho et hyperthermales. (Fig. 87).

Tableau N°15 : Matrice de corrélation.

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂ ⁻	T	C	pH	RS	TH	Pb	Cu
Ca ⁺⁺	1,000000	0,946839	0,922158	0,941050	0,954137	0,004569	0,957648	-0,208339	-0,226218	0,448186	-0,436570	0,248844	0,998902	0,188234	0,160961
Mg ⁺⁺	0,946839	1,000000	0,828200	0,844650	0,860403	0,109541	0,869306	-0,338828	-0,311392	0,486486	-0,494337	0,296299	0,960041	0,154913	0,089169
Na ⁺	0,922158	0,828200	1,000000	0,981611	0,983152	-0,094319	0,979726	-0,081431	-0,150398	0,400094	-0,251671	0,320732	0,914611	0,079786	0,170557
K ⁺	0,941050	0,844650	0,981611	1,000000	0,997000	-0,111493	0,997931	-0,106754	-0,163410	0,282632	-0,253669	0,162097	0,933900	0,119188	0,213208
Cl ⁻	0,954137	0,860403	0,983152	0,997000	1,000000	-0,108659	0,998373	-0,091759	-0,156054	0,326787	-0,265986	0,195143	0,947285	0,118046	0,208913
SO ₄ ²⁻	0,004569	0,109541	-0,094319	-0,111493	-0,108659	1,000000	-0,092047	-0,265860	0,087191	-0,000192	-0,345438	0,436969	0,020700	-0,458719	-0,676308
HCO ₃ ⁻	0,957648	0,869306	0,979726	0,997931	0,998373	-0,092047	1,000000	-0,130697	-0,181663	0,311473	-0,288963	0,177282	0,951445	0,128745	0,202119
SiO ₂ ⁻	-0,208339	-0,338828	-0,081431	-0,106754	-0,091759	-0,265860	-0,130697	1,000000	0,875663	-0,295665	0,674818	-0,093454	-0,229957	-0,481606	-0,038483
T	-0,226218	-0,311392	-0,150398	-0,163410	-0,156054	0,087191	-0,181663	0,875663	1,000000	-0,400801	0,571547	-0,025230	-0,240910	-0,612876	-0,224236
C	0,448186	0,486486	0,400094	0,282632	0,326787	-0,000192	0,311473	-0,295665	-0,400801	1,000000	-0,468723	0,758478	0,456407	0,323772	0,111962
pH	-0,436570	-0,494337	-0,251671	-0,253669	-0,265986	-0,345438	-0,288963	0,674818	0,571547	-0,468723	1,000000	-0,296566	-0,448848	-0,234587	0,109010
RS	0,248844	0,296299	0,320732	0,162097	0,195143	0,436969	0,177282	-0,093454	-0,025230	0,758478	-0,296566	1,000000	0,257585	-0,213658	-0,319075
TH	0,998902	0,960041	0,914611	0,933900	0,947285	0,020700	0,951445	-0,229957	-0,240910	0,456407	-0,448848	0,257585	1,000000	0,186863	0,154045
Pb	0,188234	0,154913	0,079786	0,119188	0,118046	-0,458719	0,128745	-0,481606	-0,612876	0,323772	-0,234587	-0,213658	0,186863	1,000000	0,625682
Cu	0,160961	0,089169	0,170557	0,213208	0,208913	-0,676308	0,202119	-0,038483	-0,224236	0,111962	0,109010	-0,319075	0,154045	0,625682	1,000000

Tableau N°16 : Corrélation entre les variables et les axes principaux.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9	Factor.10	Factor.11	Factor.12	Factor.13	Factor.14	Factor.15
Ca⁺⁺	-0,976536	0,136559	0,002888	-0,060130	0,106106	-0,003960	0,082039	-0,040729	-0,031929	-0,035525	-0,044691	0,011300	0,004374	0,000168	0,003934
Mg⁺⁺	-0,938792	0,024332	-0,114872	-0,089184	0,090381	0,028697	0,087571	-0,265197	0,064348	0,071796	0,025314	-0,000843	0,000634	0,000165	0,000618
Na⁺	-0,935689	0,279773	0,051820	0,045027	-0,145916	-0,001513	-0,066306	0,115400	0,020959	0,009330	0,023486	0,036965	0,006471	-0,002550	-0,000654
K⁺	-0,936091	0,275920	0,133976	-0,104290	-0,091529	0,013775	-0,041724	0,087887	-0,001308	-0,002981	0,014918	-0,002997	-0,022307	0,001362	0,001359
Cl⁻	-0,946170	0,276355	0,116155	-0,062915	-0,065270	0,000343	-0,026471	0,065152	-0,020087	-0,004386	0,008473	-0,034158	0,006606	-0,005305	0,000343
SO₄²⁻	0,023727	0,003731	-0,878852	-0,284347	0,110886	0,350279	0,020901	0,041128	-0,093659	0,000138	0,017068	0,002475	0,000386	-0,000088	-0,000037
HCO₃⁻	-0,950867	0,251635	0,110433	-0,102723	-0,067211	0,006211	-0,025391	0,064146	-0,005144	-0,009905	0,007830	-0,010983	0,010519	0,007120	-0,001105
SiO₂⁻	0,333151	0,827077	0,194355	0,315069	0,159650	-0,137827	0,053149	0,027628	-0,126189	0,062495	0,002579	0,001892	-0,000300	0,000431	-0,000016
T	0,373957	0,843285	-0,063016	0,134032	0,304419	0,089464	0,070079	0,066107	0,123364	-0,042289	0,011152	-0,001854	0,000085	-0,000132	-0,000003
C	-0,538662	-0,365567	-0,262488	0,694227	0,032891	-0,074019	0,061079	-0,084071	-0,048594	-0,066675	0,034418	-0,000812	-0,000863	0,000207	-0,000024
pH	0,495736	0,560044	0,412244	0,173906	-0,358397	0,265452	0,158229	-0,126227	-0,012668	-0,018489	-0,004745	0,000496	0,000034	-0,000015	-0,000013
RS	-0,321512	-0,013080	-0,683977	0,621099	-0,111592	0,105037	-0,077561	0,079207	0,056776	0,051408	-0,034495	-0,006127	-0,000779	0,000506	0,000147
TH	-0,977910	0,119714	-0,013391	-0,064960	0,105793	0,004150	0,081766	-0,069741	-0,019449	-0,019384	-0,037169	0,003354	-0,005863	-0,001185	-0,004506
Pb	-0,265520	-0,674342	0,550363	0,119527	0,093846	0,126618	0,316735	0,176933	0,010091	0,031544	0,003520	-0,000525	0,000224	0,000041	0,000008
Cu	-0,208459	-0,217276	0,811513	0,229487	0,197572	0,264242	-0,293635	-0,051728	-0,018548	0,003501	-0,002297	0,001174	0,000262	-0,000004	-0,000001

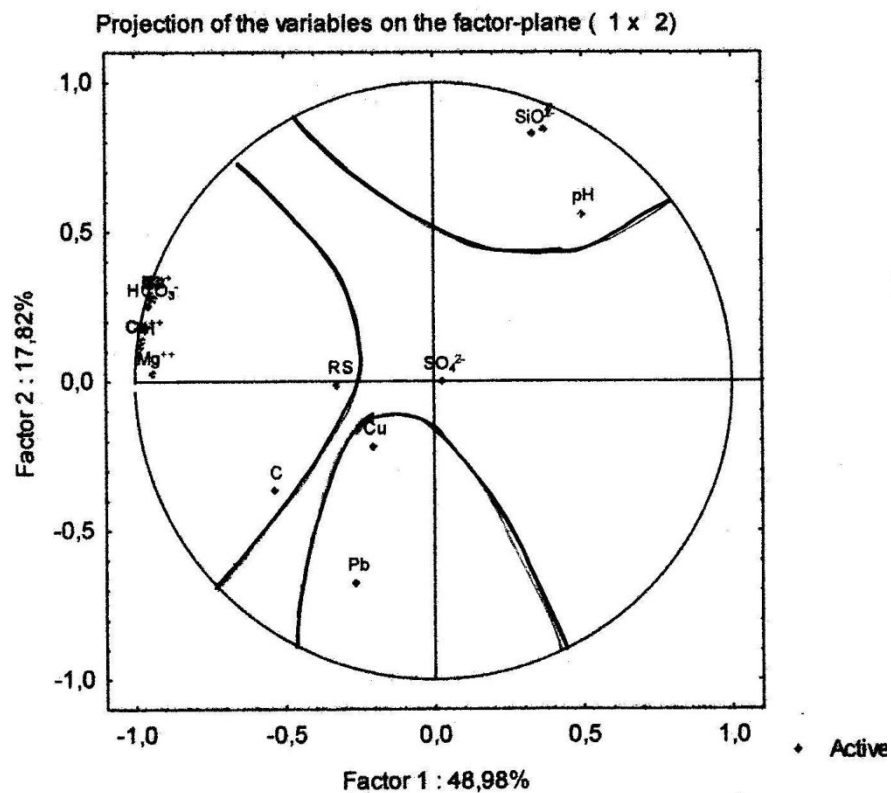


Fig.86: Représentation des variables Plan F1-F2

Projection of the cases on the factor-plane (1 x 2)
Cases with sum of cosine square $\geq 0,00$

Fig. 86: Cercle de corrélation Plan (1 – 2)

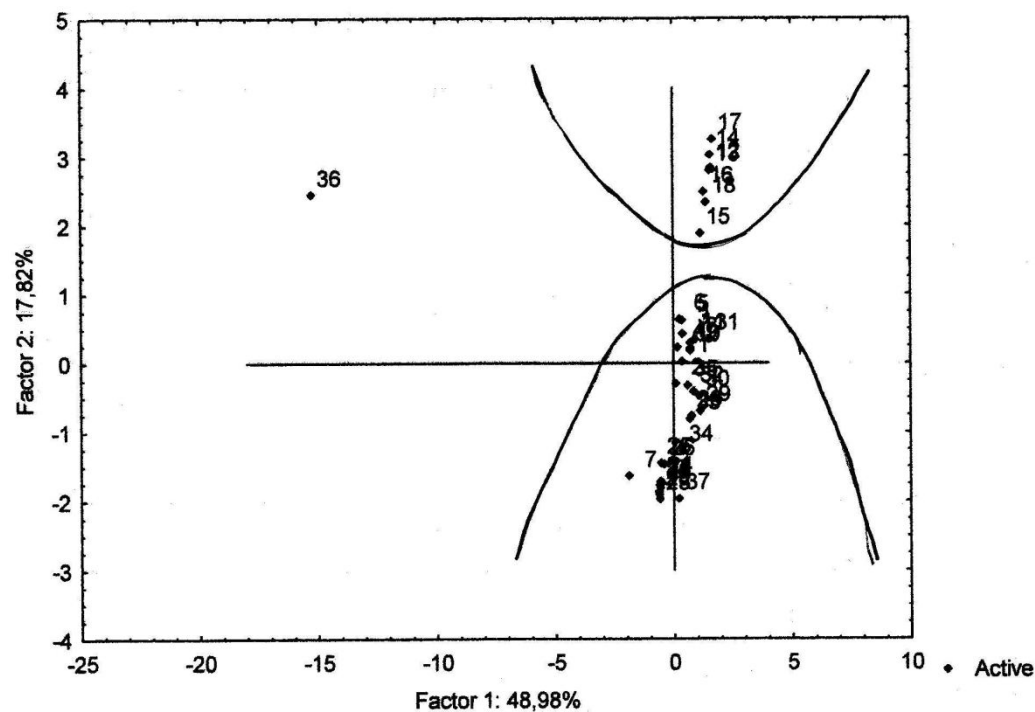


Fig.87: Représentation des individus Plan F1-F2

Fig. 87 : Représentation des individus Plan (1 – 2)

V-8. Indice de saturation :

Le degré de saturation de l'eau peut être estimé par le calcul de l'indice de saturation, qui atteint la valeur zéro quand la solution est en équilibre avec une phase solide.

Un indice de saturation négatif indique une sous saturation et un indice positif indique une sursaturation vis-à-vis des minéraux. (*BENHAMZA.M, 2007*)

L'interprétation thermodynamique en utilisant la simulation de la concentration des ions majeurs (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) sous l'effet de l'évaporation isotherme à 25 °C, par le logiciel thermodynamique «Phreeq C» en terme d'équilibres sels/solution, montre que les eaux de la région d'étude sont :

- Sous saturées par rapport à la Halite (NaCl), ce qui provoque sa dissolution en entraînant un enrichissement des eaux de la région en sodium et en chlorures sauf l'échantillon E₃₆ (source thermale de Tassa) qui est sur saturée ce qui provoque une précipitation sous forme de Halite (*Fig. 88*).
- Concernant le Gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et l'Anhydrite (CaSO_4) les eaux thermales de Belhachani, Guerfa, N'Baïls, Ouled Ali, Meskhoutine, El Hamma, Oued Hmimine sont sursaturées ce qui provoque une précipitation sous forme de Gypse et d'Anhydrite (plus les eaux thermales de hammam Ouled Zaïd concernant le Gypse), les eaux thermales de Sidi Djaballah, Sidi Trad, Beni Salah, Zattout, Sidi Zid, Tassa et Ouled Zaïd sont sous saturées ce qui provoque la dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en calcium et en SO_4^{2-} (sauf l'échantillons E₃₇ qui est sursaturée en Gypse) (*Fig. 88*).
- Les eaux sont sursaturées en Calcite, Dolomie et Aragonite dans tous les points analysés, entraînant ainsi la précipitation des éléments carbonatés sous forme de Calcite, d'Aragonite et surtout de Dolomie (*Fig.89*).
- Concernant le Cérusite (PbCO_3) les eaux thermales sont sursaturées (sauf E₃₇) entraînant une précipitation de cet élément sous forme de Cerrusite, l'échantillon E₃₇ est sous saturés ce qui provoque la dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en Pb et CO_3^- . (*Fig.90*)
- Pour l'Anglésite (PbSO_4), les eaux sont sursaturées pour les sources thermales de Belhachani, Guerfa, N'Baïls, Ouled Ali, El Hamma et Oued Hmimine, entraînant une précipitation de ces éléments sous forme d'Anglésite. Elles sont sous saturées pour les sources thermales de Meskhoutine, Sidi Djaballah, Sidi Trad, Beni Saleh, Zattout, Sidi Zid, Tassa et Ouled Zaïd ce qui provoque la dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en Pb et SO_4^{2-} . (*Fig.90*)

-Concernant le $\text{Pb}(\text{OH})_2$ l'indice de saturation est positif pour les sources thermales de Belhachani, Guerfa, N'Baïls, Ouled Ali, Meskhoutine, El Hamma, Oued Hmimine et Sidi Trad qui indique une précipitation en $\text{Pb}(\text{OH})_2$ dans ces émergences, dans les autres échantillons les eaux sont sous saturées en $\text{Pb}(\text{OH})_2$ qui provoque la dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en Plomb et en OH^- (**Fig.90**).

-Les eaux sont sursaturées en Chalcedoine SiO_2 et en Quartz SiO_2 , entraînant une précipitation de ces éléments sous forme de Chalcedoine et Quartz (**Fig.91**).

-Les eaux sont sursaturées en Chrysolite $[\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$, Sépiolite $(\text{Mg}_2\text{Si}_3\text{O}_7 \cdot 5\text{OH} : 3\text{H}_2\text{O})$ et en Talc, entraînant ainsi une précipitation sous forme de Chrysolite, Sépiolite et surtout en Talc, sauf l'échantillons E_{37} qui est sous saturées en Chrysolite ce qui provoque une dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en Mg^{2+} , SiO_2^{-2} et OH^- (**Fig.92**).

Tableau N°17: Indice de saturation des minéraux dissous dans les eaux thermales de la région d'étude.

Les minéraux dissous dans les eaux thermales		Les émergences											
		E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈	E ₉	E ₁₀	E ₁₁	E ₁₂
Minéraux évaporitiques	Halite	-2.10	-2.44	-2.55	-2.63	-2.60	-2.78	-1.54	-3.86	-3.57	-3.56	-3.53	-3.46
	Anhydrite	3.83	3.85	3.44	3.10	2.93	2.93	2.51	2.24	2.11	2.36	2.50	1.61
	Gypse	3.55	3.56	3.12	2.85	2.73	2.77	2.46	2.13	2.06	2.28	2.43	1.25
Minéraux carbonatés	Calcite	3.53	3.56	3.59	3.51	3.97	3.99	3.23	3.02	2.90	3.05	3.58	3.60
	Dolomie	6.77	6.08	6.84	6.84	8.05	8.03	6.56	5.95	5.93	5.86	6.82	5.98
	Aragonite	3.41	3.14	3.47	3.39	3.85	3.87	3.10	2.90	2.77	2.93	3.45	3.49
Anglésite		3.85	3.87	2.79	2.27	1.78	1.66	2.06	1.10	0.95	1.25	1.36	-1.47
Cérusite		4.58	4.31	3.59	3.70	3.86	3.77	3.89	2.92	2.80	3.00	3.50	1.24
Pb(OH) ₂		3.74	3.22	2.89	2.30	2.71	2.61	1.08	0.82	0.54	0.81	1.72	0.81
Chalcedoine		4.63	4.36	3.96	3.61	3.67	3.55	3.41	2.89	3.05	3.11	3.34	2.00
Quartz		4.96	4.68	4.27	3.92	4.00	3.88	3.78	3.22	3.40	3.45	3.69	2.26
Chrysolite		14.70	11.59	12.08	10.57	13.80	13.44	6.41	5.98	6.24	5.85	8.92	7.26
Sépiolite		15.44	13.20	12.73	11.28	13.72	13.34	8.89	7.31	8.00	7.74	10.25	5.93
Talc		27.68	14.57	24.31	22.05	25.35	24.71	17.24	15.89	16.40	16.17	19.67	15.63

Tableau N°18: Indice de saturation des minéraux dissous dans les eaux thermales de la région d'étude (suite).

Les minéraux dissous dans les eaux thermales		Les émergences											
		E ₁₃	E ₁₄	E ₁₅	E ₁₆	E ₁₇	E ₁₈	E ₁₉	E ₂₀	E ₂₁	E ₂₂	E ₂₃	E ₂₄
Minéraux évaporitiques	Halite	-3.52	-3.48	-3.27	-3.40	-3.40	-3.48	-4.37	-4.06	-4.93	-4.86	-4.91	-4.59
	Anhydrite	1.56	1.68	1.45	1.59	1.60	1.65	1.78	1.77	1.85	1.94	1.93	1.71
	Gypse	1.23	1.28	1.26	1.25	1.21	1.20	1.88	1.87	1.93	2.01	2.01	1.80
Minéraux carbonatés	Calcite	3.70	3.65	3.12	3.41	3.87	3.96	2.53	2.50	2.60	2.53	2.54	2.68
	Dolomie	6.42	6.08	5.30	5.61	6.62	6.77	4.49	4.36	4.53	4.38	4.38	4.86
	Aragonite	3.59	3.54	3.01	3.31	3.77	3.86	2.40	2.37	2.46	2.40	2.41	2.55
Anglésite		-1.89	-2.14	-0.97	-1.73	-2.53	-1.85	0.83	0.88	0.86	1.08	1.12	0.57
Cérusite		1.25	0.82	1.73	1.10	0.74	1.45	2.68	2.71	2.71	2.77	2.83	2.64
Pb(OH) ₂		0.99	0.80	0.65	0.36	1.02	1.81	0.25	0.29	0.35	0.50	0.54	0.21
Chalcedoine		1.99	1.94	2.11	1.99	1.93	1.89	2.03	2.00	2.02	2.00	2.00	1.97
Quartz		2.26	2.20	2.40	2.26	2.19	2.14	2.41	2.38	2.39	2.36	2.37	2.35
Chrysolite		8.77	8.55	4.97	5.78	10.35	10.72	0.68	0.36	0.76	0.68	0.66	1.23
Sépiolite		7.00	6.62	4.99	4.98	7.82	7.89	2.97	2.71	2.97	2.81	2.84	3.21
Talc		17.09	16.82	13.43	14.11	18.59	18.93	8.67	8.29	8.74	8.63	8.61	9.12

Tableau N°19: Indice de saturation des minéraux dissous dans les eaux thermales de la région d'étude (suite).

Les minéraux dissous dans les eaux thermales		Les émergences												
		E ₂₅	E ₂₆	E ₂₇	E ₂₈	E ₂₉	E ₃₀	E ₃₁	E ₃₂	E ₃₃	E ₃₄	E ₃₅	E ₃₆	E ₃₇
Minéraux évaporitiques	Halite	-4.63	-4.77	-4.83	-3.40	-4.62	-4.60	-4.70	-3.33	-3.28	-3.10	-3.16	2.90	-3.51
	Anhydrite	1.94	1.90	1.88	-0.35	-0.76	-0.52	-0.46	-1.27	-1.39	-1.46	-0.90	-0.81	-0.16
	Gypse	2.01	2.00	1.97	-0.19	-0.72	-0.54	-0.51	-1.21	-1.24	-1.38	-0.91	-2.66	0.04
Minéraux carbonatés	Calcite	2.77	2.70	2.70	2.43	2.67	2.55	3.22	2.29	2.09	2.09	2.72	4.01	2.83
	Dolomie	4.85	4.73	4.74	4.72	5.22	5.00	6.40	4.82	4.56	4.32	5.34	13.39	4.18
	Aragonite	2.64	2.56	2.57	2.30	2.55	2.55	3.10	2.16	1.95	1.96	2.59	3.88	2.69
Anglésite		0.75	0.89	0.81	-1.78	-2.40	-1.94	-3.19	-2.94	-2.73	-2.65	-3.02	0.92	-1.49
Cérusite		2.67	2.80	2.74	2.16	2.10	2.16	1.53	1.71	1.90	2.00	1.65	6.87	-2.72
Pb(OH) ₂		0.52	0.54	0.48	-0.73	0.13	0.22	0.39	-0.57	-0.87	-0.83	-1.02	-0.60	-0.73
Chalcedoine		2.03	2.06	2.04	2.02	1.83	1.78	1.76	2.01	2.13	1.94	1.90	8.07	2.11
Quartz		2.39	2.44	2.41	2.42	2.18	2.11	2.09	2.73	2.53	2.31	2.24	8.46	2.54
Chrysolite		1.79	1.52	1.74	0.57	3.17	2.74	7.20	2.66	1.65	0.09	1.39	21.02	-3.40
Sépiolite		3.57	3.61	3.51	3.16	4.00	3.41	6.28	4.07	4.03	2.35	2.83	24.59	1.01
Talc		9.82	9.56	9.48	8.45	10.86	10.40	14.84	10.66	9.74	7.94	9.25	42.03	4.52

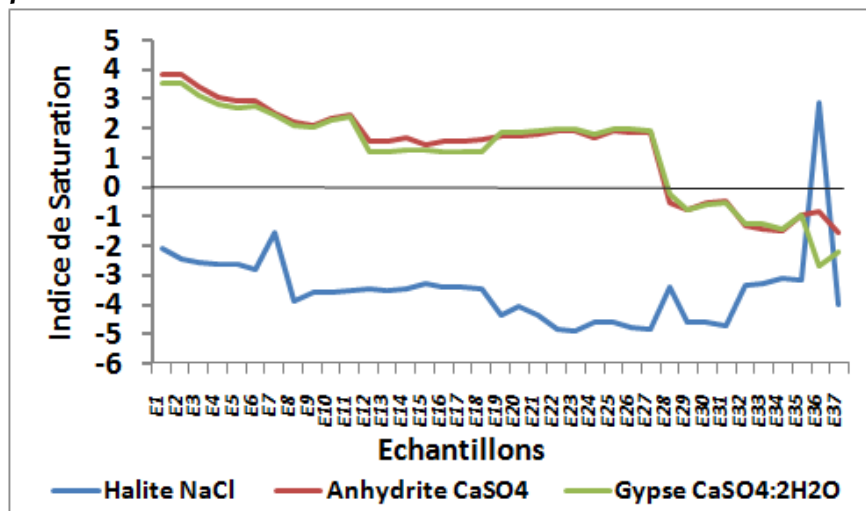


Fig. 88 : Etat des minéraux évaporitiques

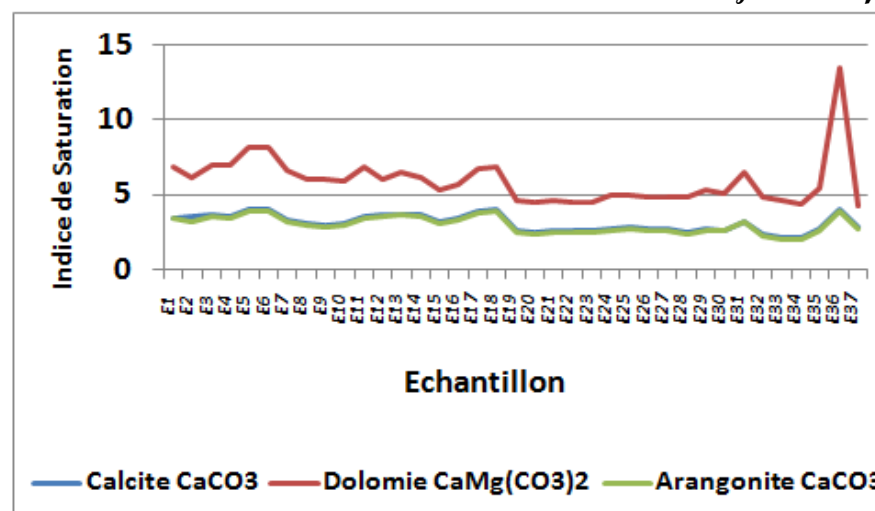


Fig. 89: Etat des minéraux carbonatés.

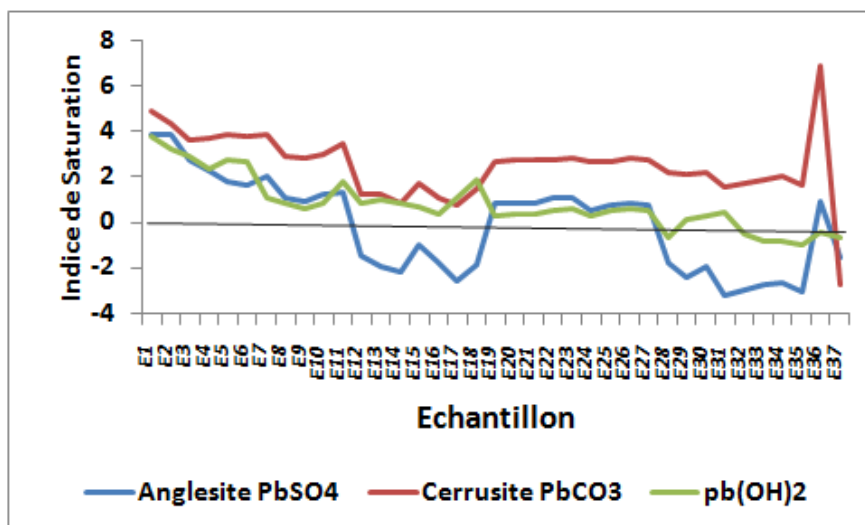


Fig. 90 : Etat de l'Anglésite, le Cérusite et le Pb(OH)₂.

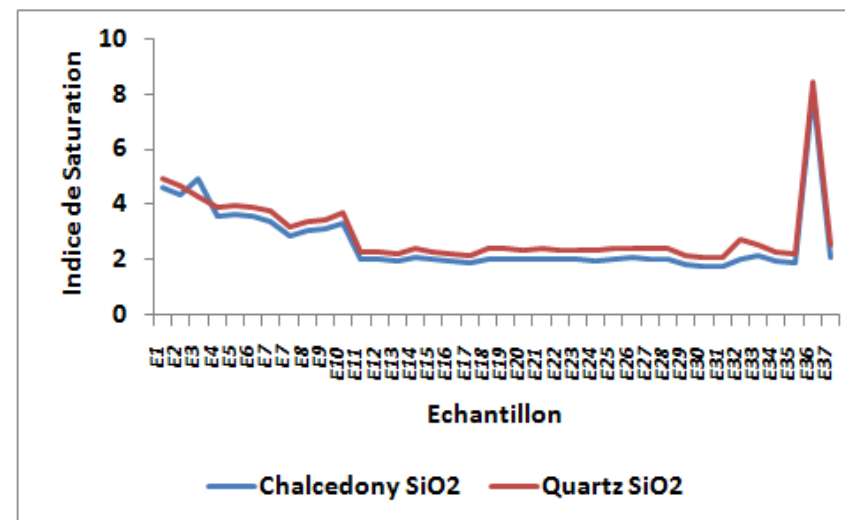


Fig. 91 : Etat de la Chalcedoine et le Quartz

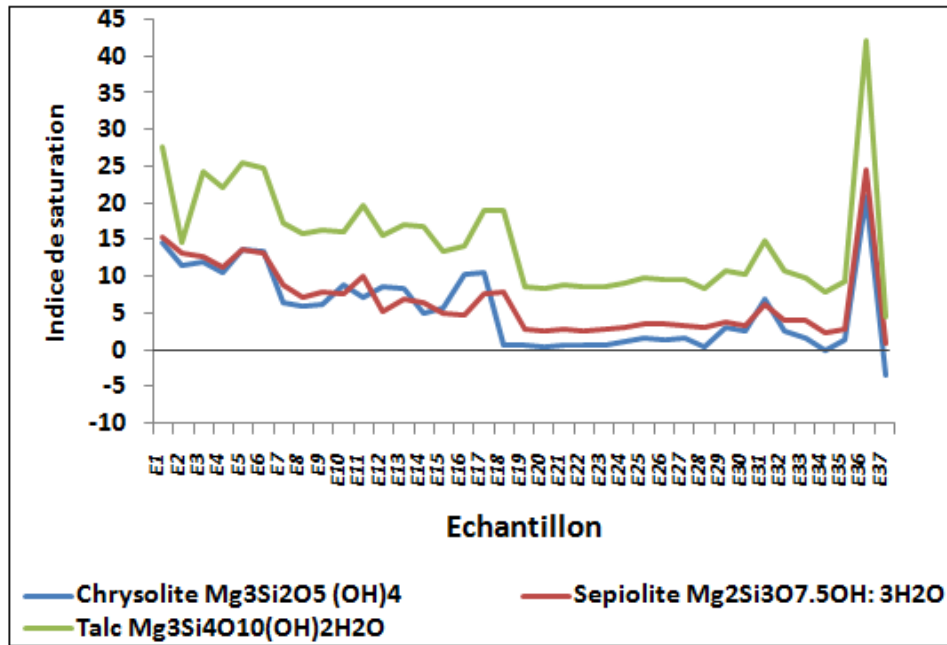


Fig. 92 : Etat de Chrysolite, le Sépiolite et du Talc

V.9. Conclusion :

D'après les résultats des analyses effectuées sur les eaux thermales de la région d'étude et d'après les trois méthodes de représentation graphique, on peut dire que les eaux thermales représentent les faciès suivants :

- Faciès bicarbonaté sodique: (Hammam Sidi Djaballah, Hammam Sidi Trad, Hammam Zattot, Hammam Sidi Zid, Hammam Beni Salah, Hammam Ouled Zaïd, Hammam Tassa);
- Faciès sulfaté calcique: (Hammam El Hamma, Hammam Oued Hmimine, Hammam Sidi Ali, Hammam Guerfa et Hammam Belhachani);
- Faciès chloruré sodique: (Hammam Meskhoutine "sauf E12 et E13");
- Faciès sulfaté sodique: E12 et E13 (Hammam Meskhoutine) plus Hammam N'Baïl.

.- La partie Est du secteur d'étude est caractérisée par un faciès bicarbonaté sodique avec une teneur élevée de calcium, ceci est due à l'influence de la lithologie qui sont des formations silicatées des grés et des argiles numidiennes.

- Le centre et l'extrême Nord- Est du secteur est caractérisé par des faciès chlorurés et chloré-sulfaté sodique.

- L'origine des faciès peut être due à la présence du volcanisme récent au voisinage des Hammams.

- Le faciès sulfaté calcique occupe le Nord-Ouest et le Sud du secteur étudié.

Comme il a été escompté dans l'introduction, le but de l'A.C.P étant de regrouper selon les mêmes facteurs, les échantillons présentant des caractères d'origine ou d'évolution similaire.

Pour les variables, l'A.C.P effectuée a pu mettre en évidence d'un coté le faciès chimique caractérisant les analyses effectuées, d'un autre coté, les éléments caractérisant la pollution. Les individus ont été regroupés selon deux nuages de points, le premier présente les eaux thermales de la source de la région de Guelma et le deuxième représente les sources thermales de Skikda, Tarf et Souk Ahras.

L'étude de l'indice de saturation montre que pour les éléments évaporitiques, la halite est en sous saturation dans les eaux ce qui provoque sa dissolution et l'enrichissement des eaux en Sodium (Na) et en Chlorure (Cl) sauf l'échantillon E₃₆ (source thermale de Tassa) qui est sur saturée ce qui provoque une précipitation sous forme de Halite.

Concernant le Gypse et l'Anhydrite les eaux thermales de Guelma et Skikda sont sursaturées ce qui provoque une précipitation sous forme de Gypse et Anhydrite (plus les

eaux thermales de hammam Ouled Zaïd concernant le Gypse), les eaux thermales d'El Tarf et Souk Ahras sont sous saturées ce qui provoque la dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en calcium et en SO_4^{-2} (sauf l'échantillon E₃₇ qui est sursaturée en Gypse).

Les eaux sont sursaturées en Calcite, Dolomie et Aragonite dans tous les points analysés, entraînant aussi la précipitation des éléments carbonatés sous forme de Calcite, d'Aragonite et surtout sous forme de Dolomie.

Concernant le Cérusite(PbCO_3) les eaux thermales sont sursaturées (sauf E₃₇) entraînant une précipitation de cet élément sous forme de Cérusite, l'échantillon E₃₇ est sous-saturés ce qui provoque la dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en Pb et CO_3^- .

Pour l'Anglésite (PbSO_4), les eaux sont sursaturées pour les sources de Guelma (sauf Meskhoutine) et Skikda, entraînant une précipitation de ces éléments sous forme d'Anglésite et, sous saturées pour les sources thermales d'El Tarf et Souk Ahras ce qui provoque la dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en Pb et SO_4^{2-} .

Concernant le Pb(OH)_2 l'indice de saturation est positif pour les sources thermales de Guelma et Skikda et Sidi Trad qui indique une précipitation en Pb(OH)_2 dans ces émergences, dans les autres échantillons les eaux sont sous saturées en Pb(OH)_2 qui provoque la dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en Pb.

Les eaux sont sursaturées en Chalcedoine, SiO_2 et en Quartz, entraînant une précipitation de ces éléments sous forme de Chalcedoine et de Quartz.

Les eaux sont sursaturées en Chrysolite, Sépiolite et en Talc, entraînant ainsi une précipitation sous forme de Chalcedoine, Sépiolite et en Talc, sauf l'échantillons E₃₇ qui est sous saturées en Chrysolite ce qui provoque une dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en Mg^{2+} , SiO_2^{-2} .

CHAPITRE VI :
ETUDE THERAPEUTIQUE

VI-1. 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 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 associées 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 successive.

VI-2. Historique de la thérapie par les eaux thermominérales :

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 Hydrotherapy*, 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.

VI-3. Les principaux soins et leurs effets :

VI-3.1. 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.

VI-3.2. 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.

VI-3.3. 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.

VI-3.4. 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.

VI-3.4.1. 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.

VI-3.4.2. 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.

VI-3.4.3. 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.

VI-3.4.4. 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".

VI-3.5. 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.

VI-3.6. Fangothérapie :

La boue thermique est une pâte particulière constituée d'une composante solide argileuse, d'une composante liquide (eau thermique 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.

VI-3.7. 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'autofiltration 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.

VI-4. 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.

VI-4.1. 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.

VI-4.2. Rhumatologie, séquelle de traumatisme ostéo-articulaires / neurologie :

Contribuer au traitement des maux de dos (douleurs lombaires). Les auteurs d'une méta-analyse 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.

VI-4.3. Maladie de l'appareil urinaire, maladies métabolique :

La cure thermale est aussi indiquée en cas de troubles urinaires, lithiase urinaire, prostatites, cystite récidivante et douleurs pelvipéritonéales. 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*)

VI-4.4. 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)

VI-4.5. Phlébologie :

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

VI-4.6. 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)*

VI-4.7. 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.

VI-4.8. 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)*

VI-4.9. 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)*

VI-4.10. 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.

VI-4.11. 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)*

VI-4.12. Affections bucco – linguales :

La douche des gencives nettoie les tissus de la bouche et le bain local calme la douleur. *(DIB.H, 2004)*

VI-4.13. 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)*

VI –4.14. 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)*

VI-5. Les minéralisations requises pour les affections :**VI-5.1. Eaux bicarbonatées (Eaux de basse minéralisation, alcalines et froides) :**

Ce sont des eaux qui proviennent des roches calcaires et contiennent des bicarbonates. La majorité des bicarbonates sont calciques et le calcium donne à ces eaux un goût agréable. Elles sont utilisées en général pour les thérapies hydroponiques; les plus concentrées sont utilisées pour les bains, la douche, l'irrigation vaginale et rectale.

Leur utilisation se fait par ingestion, en agissant sur le métabolisme de sorte qu'elles alcalisent le pH gastrique si elles sont prises à jeun, en diminuant l'acidité et en aidant le processus digestif. Elles stimulent aussi la sécrétion pancréatique et ont des fonctions diurétiques.

Ce type d'eau peut s'associer à la composition d'un autre type de minéraux qui vont varier leurs actions. Celles qui sont les plus communes sont :

- ***Bicarbonatées sodiques*** : Indiquées dans les affections gastriques comme l'hypermotilité intestinale, les ulcères duodénaux, les diarrhées et affections hépatiques et rénales.
- ***Bicarbonatées calciques*** : elles améliorent la digestion.
- ***Bicarbonatées mixtes*** : elles améliorent la digestion.
- ***Bicarbonatées sulfatées*** : indiquées dans des empoisonnements hépatiques et en cas de constipation.

- **Bicarbonatées chlorurées** : indiquées dans les affections rhumatisantes.

Leur application peut se faire par voie orale, en provoquant de la stimulation gastrique et du péristaltisme intestinal, ou par voie externe indiquées dans des cas d'effort par son important effet sédatif, diminution de la hypertonie musculaire, augmentation du flux sanguin et comme effet analgésique et anti-inflammatoire.

Leur application se fait au moyen de douches, de jets, bains et piscine. Indépendamment des indications précédentes cette application va augmenter les défenses de la peau et des muqueuses. Elles sont aussi utilisées par le biais d'inhalations et d'éstuves.

Ce type d'eau est stimulant pour les fonctions organiques, endocriniennes et métaboliques.

VI –5.2. Eaux Ferrugineuses :

Eau qui contient une forte teneur en fer, bien qu'elles soient accompagnées généralement de bicarbonates ou de sulfates.

Elles sont indiquées dans des cas d'anémies sidéropénique et d'autres types d'anémies, puisque ce type d'eau est considéré comme reconstituant. Les eaux ferrugineuses sont indiquées en cas d'obésité, de rhumatismes, d'affections hépatiques, biliaires et pour certaines affections dermatologiques, ainsi que pour des bouleversements du développement infantile.

VI –5.3. Eaux Sulfureuses :

Elles contiennent du soufre sous différentes formes. Celles qui contiennent de l'hydrogène sulfureux sont caractérisées par une odeur qui vous fera penser à l'œuf pourri.

Elles sont des eaux hyperthermales, dont le pH est de 6.5 et la minéralisation moyenne sulfatée- sulfureuse.

Elles se trouvent dans des sols boueux et sont indiquées pour les affections des articulations, comme processus pour lutter contre les rhumatisants et postopératoires d'appareil locomoteur, anémies, neurologies, dermatoses prurigineuses, inflammations allergiques et affections respiratoires comme l'asthme.

Les eaux sulfureuses sont contre-indiquées dans des cas d'hypertension et hémoptysie.

VI –5.4. Eaux Sulfatées :

Ce sont des eaux riches en soufre. Ce type d'eaux se caractérise par sa température et minéralisation qui sont variables. Elles peuvent être classées comme : Sodiques et magnésiques : elles ont une importante action laxative.

Elles sont également indiquées pour lutter contre les affections dermatologiques, prurits et même dans quelques cas d'empoisonnement médicamenteux ou alimentaires.

- Sulfatées calciques :

Elles sont indiquées dans des affections du rein et dans certaines maladies métaboliques.

- Mixtes (calcique et magnésienne) :

Elles sont aussi indiquées pour le traitement des eczémas, des séquelles et cicatrices des brûlures comme elles sont indiquées pour les affections veineuses.

VI-5.5. Eaux Radioactives (Eaux à haute teneur en gaz radon, un gaz radioactif d'origine naturelle) :

Ce type d'eaux est utilisé en thermalisme et n'a aucun effet négatif. Au contraire elles sont indiquées pour les affections du système neurovégétatif, endocrinien et pour modifications dans le système auto-immune, ainsi que les affections respiratoires chroniques, rhumatologiques et dermiques.

Les soins se font par des bains ou des inhalations. Ces eaux sont particulièrement indiquées pour les traitements anti-effort, dépressions et modifications du système nerveux, le radon ayant des caractéristiques sédatives et analgésiques.

VI -5.6. Eaux Sulfurées :

Eau dont la composition où prédomine le soufre, ce qui donne un parfum caractéristique des œufs putréfiés.

Son administration est encore effectuée au moyen d'ingestion mais d'autres types d'applications sont également possibles. Dans leur composition, elles peuvent être accompagnées de sodium ou de calcium.

Elles sont indiquées principalement pour des processus rhumatisants, dermatologiques comme eczémas, kératose, psoriasis ou prurits et respiratoires chroniques, comme la laryngite, rhinite, bronchite, et l'asthme.

Elles sont utilisées en postopératoire pour l'appareil locomoteur et les traumatismes. Elles ont aussi un effet sur les affections hépatiques.

VI-5.7. Eaux Carboniques

Elles contiennent du bicarbonate sous différentes formes. Elles sont surtout bicarbonates-calciques. Le calcium apporte à ces eaux un goût agréable.

Elles s'utilisent presque uniquement sous forme de boisson, mais aussi pour la balnéothérapie, les douches, l'irrigation vaginale et rectale. Pour les bains thermaux elles rééquilibrent l'appareil sanguin.

VI-6. Crénothérapie des sources thermales du secteur d'étude :**VI-6.1. Sources thermales de Guelma :**

Les eaux thermales du Hammam Belhachani, hammam N'Baïl et Hammam Ouled Ali sont des eaux hyperthermales richement minéralisées alcalines sulfatées mixtes/calciques et sodiques à pouvoir anti moussant, vis a vis du savon e sont des eaux, les indications médicales Selon le docteur **A. Belaitar** (Médecin généraliste spécialisé en Hydrologie et Climatologie médicales à la complexe thermale d'El Challala, Hammam Debegeh) :

- affections rhumatismales dégénératives ;
- affections de la sphère ORL et bronchopulmonaire ;
- séquelles de traumatisme ostéo articulaire de neurologie et de neurochirurgie ;
- affections de dermatologie ;
- affections de l'appareil digestif.

Pour les eaux thermales de Hammam Meskhoutine nous retrouvons des:

Eaux sulfatées, eaux chlorurées, eaux sulfurées et des eaux bicarbonatées, elles sont hyperthermales carbogazeuses (anhydride carbonique CO₂) dure a pouvoir anti moussant très élève vis a vis du savon très dures alcalines modérément minéralisées, indication médicale (Selon le docteur **A. Belaitar**):

- rhumatologie ;
- traumatologie ;
- neurologie ;
- neurochirurgie ;
- ORL ;
- Brochopulmonaire ;
- dermatologie ;
- affection de l'appareil digestif et urinaire ;
- affection infantiles de croissance.

VI-6.2. Sources thermales de Skikda :

Selon les caractéristiques précédentes des eaux thermominérales, on peut donner les spécificités curatives de chaque source thermominérale :

La station thermale de l'Oued Hmimine est très fréquentée par les habitants de la région pendant toute l'année. Les principales affections qui y sont traitées sont : le rhumatisme, la goute, les névralgies et les affections des organes génito- urinaires. Par leur élément le Sulfate de

Calcium, elles agissent sur le rein qu'elles décongestionnent et possèdent également une action diurétique considérable.

Les eaux du Hammam d'El Hamma semblent avoir une efficacité spéciale contre les éruptions syphilitiques. Elles servent également à l'irrigation. Les eaux sont riches en Strontium (10,71 mg/l) et en Fluor (2,80 mg/l).

Selon le docteur **A. Belaitar** les deux sources citées ont la même minéralisation principale : **Sulfatées- Calciques** et la même minéralisation secondaire : **Bicarbonatée –Magnésienne**.

Elles seront dites eaux thermales car la température d'émergences au griffon est inférieure à 50 °C.

Elles seront dites eaux légèrement alcalines car le pH est supérieur à 6.5 et eaux dures car les concentrations en Magnésium et en Calcium dépassent le 500 mg/l donc se sont des eaux à pouvoir anti moussant (vis-à-vis du savon) légèrement élevé. Elles sont richement ionisées et les indications médicales sont les suivantes :

- Certaines affections digestives et de l'appareil urinaire: colopathie fonctionnelle, microlithiase rénale, accès de migraineetc ;
- certaines affections du trouble de la croissance chez l'enfant ;
- affections rhumatismales (en dehors des poussées) quelque soit la localisation ;
- séquelles de traumatologies ;
- Certaines affections de la sphère ORL et de l'appareil broncho-pulmonaire ;
- certaines affections dermatologiques.

Les principaux soins sont :

- soit par ingestion interne dite cure de boisson ;
- soit application externe: différentes techniques thermales: jet/douche, massage/massage sous l'eau....etc .

Le tout sera modulé suivant 03 paramètres:

- température ;
- temps ;
- pression.

VI-6.3. Sources thermales d'El Tarf :

Pour les eaux thermales de Hammam Sidi Djaballah, Hammam Sidi Trad, Hammam Zattout, Hammam Sidi Zid et Hammam Beni Salah, ce sont des eaux alcalines superficielles douces à pouvoir anti moussant vis a vis du savon faible, bicarbonatées mixtes/calciques et sodiques indiquées dans : (Selon le docteur **A. Belaitar**) :

- rhumatologie ;
- traumatologies ;
- ORL ;
- Bronchopulmonaires ;
- Neurologie ;
- Neurochirurgie.

VI-6.4. Sources thermales de Souk Ahras:

Les eaux thermales de Hammam Tassa et Hammam Ouled Zaïd sont des eaux hyperthermales richement minéralisées alcalines sulfatées mixtes/calciques et sodiques à pouvoir anti moussant vis a vis du savon élevée, eaux dures ce sont des eaux profondes.

Les indications médicales sont les mêmes que les sources thermales de Skikda selon toujours le docteur *A. Belaitar*.

Tableau N°20 : Spécifié curatives des eaux thermales de l'extrême Nord Est Algérien (DIB.H, 2004)

Nom du Hammam	Faciès chimique	Température (°C)	Affections selon les propriétaires	Affections selon le chimisme des eaux
Belhachani	Sulfaté calcique et sulfuré	63 - 72	Dermatologie; Rhumatisme.	Affection du rein, Maladies métaboliques, Eczéma, Séquelles, Cicatrices de brûlure, Rhumatisme, Inflammation en gynécologie, Maladies chroniques des voies respiratoires, Maladies cardio-artérielles, Phlébologie, O.R.L, Affections veineuses.
Guerfa	Sulfaté calcique	60 - 62		
Ouled Ali	Sulfaté calcique	52 - 60	Dermatologie; Rhumatisme	Eczéma, Séquelles, Cicatrices de brûlure, Rhumatisme, Inflammation en gynécologie, Maladies chroniques des voies, Affections veineuses.
El Hamma	Sulfaté calcique	43 - 44		
Oued Hmimine	Sulfaté calcique	44 - 47		
N'Bails	Sulfaté sodique	45	Dermatologie, Rhumatisme; Gynécologie, Neurologie.	La croissance, Trouble de développement, Gynécologie, Dermatologie, Eczéma, Brûlures, Affections veineuses
Sidi Trad	Bicarbonaté sodique	52,5 - 62	Dermatologie, Rhumatisme; Neurologie.	Affections gastro-intestinales, Hépatobiliaire, Tube digestif, Les spasmes digestifs, Les muqueuses intestinales, Neurologie, Artères et cœur, Rhumatisme, Dermatologie.
Beni Salah	Bicarbonaté sodique	35,5 - 48,5	Dermatologie, Rhumatisme; Gynécologie.	
Sidi Zid	Bicarbonaté sodique	55	/	
Zattot	Bicarbonaté sodique et sulfuré	45,5	Dermatologie; Rhumatisme;	Affections gastro-intestinales, Hépatobiliaire, Tube digestif, Les spasmes digestifs, Les muqueuses intestinales, Neurologie, Artères et cœur, Rhumatisme, Dermatologie, Affections chroniques, Voies respiratoires, O.R.L, Cardio-artérielles, Phlébologie.
Ouled Zaïd	Bicarbonaté sodique et sulfuré	36	Dermatologie; Rhumatisme; Neurologie.	Affections gastro-intestinales, Hépatobiliaire, Tube digestif, Les spasmes digestifs, Les muqueuses intestinales, Neurologie, Artères et cœur, Affections chroniques, Voies respiratoires, O.R.L, Cardio-artérielles, Phlébologie.
Tassa	Bicarbonaté sodique et sulfuré	39		
Sidi Djaballah	Bicarbonaté sodique	35	Dermatologie;	La croissance, Trouble de développement, Gynécologie, L'énurésie.
Meskhoutine	Sulfaté-Sodique et Chloruré sodique et sulfuré	75 - 93	Rhumatisme, Neurologie, Séquelles; Traumatisme, Troubles endocriniens; Affections respiratoires, O.R.L; Gynécologie, Affections cutanées chroniques	La croissance, Trouble de développement, Gynécologie, L'énurésie, Les muqueuses – neurologie, Dermatologie, Affections chroniques, Voies respiratoires, O.R.L, Cardio-artérielles, Phlébologie, Les allergies, Inflammations et gynécologie

CONCLUSION GENERALE

L'étude du thermalisme dans notre région, nous a permis de contribuer à la connaissance des sources hydrothermales (manifestation, relation avec la tectonique, chimisme des eaux et par conséquent les effets thérapeutiques, etc...).

L'étude géologique et structurale de notre secteur nous a permis de constater que :

La région d'étude comprend plusieurs zones différentes : le socle kabyle, la chaîne calcaire, la série des flyschs kabyles, les séries telliennes et la nappe néritique constantinoise.

La tectonique de la région est très complexe, conditionnée par des formations faillées profondes et des écaillés de couverture et des chevauchements.

Les conditions géologiques des émergences nous montrent que :

- Pour la source thermale de Hammam Belhachani l'eau chaude sort à travers les fissures de calcaires à la faveur d'une faille ou pli-faille marquée par la présence des marnes crétacées au voisinage immédiat des sources en contact avec des terrains éocènes.
- Pour la source thermale de Hammam Guerfa l'eau sort dans des travertins et des tufs hydrothermaux du Quaternaire.
- Concernant la source thermale de Hammam N'Baïls les eaux chaudes viennent au jour à la faveur d'importants accidents tectoniques.
- Pour la source thermale de Hammam Ouled Ali - Les sources chaudes sortent au niveau de la ligne de fracture.
- Pour la source thermale de Hammam Meskhoutine elle émerge dans des travertins quaternaires déposés par les eaux chaudes. Les eaux jaillissent à la faveur d'une faille N 20 °E.
- Les eaux thermales de la source d'El Hamma sont parvenues des calcaires fissurés pour atteindre les dépôts alluvionnaires du Rharbien (Quaternaire).
- Les eaux chaudes de la source de l'Oued Hmimine sortent à la surface par les grés numidien, après avoir passé par les calcaires et dolomies du Lias.
- Les eaux thermales de Hammam Sidi Djaballah sortent au contact de deux failles de direction NE-SW et NNE – SSW, qui sont recouvertes par les argiles numidiennes d'âge Eocène supérieur.
- Le griffon principal du Hammam Sidi Trad sort à travers les fissures des grés numidiens d'âge Oligocène.

- l'eau chaude du Hammam Zattot sort par le contact anormal des grés numidiens avec les formations du Mio-Pliocène.
- Les eaux chaudes du Hammam Sidi Zid sort à travers des grés fracturés et à la faveur d'une fracture de direction Nord – Sud à travers les alluvions de l'Oued.
- L'eau chaude de Hammam Tassa sort des calcaires blancs sénoniens et de grés de l'Eocène
- La source thermominérale d'Oued Zaïd émerge dans les marnes noires du Lutétien.

Le secteur d'étude fait partie des bassins (côtières constantinois centre et Est, la Seybouse et Medjarda – Melleg), il est caractérisé par un climat subhumide avec un hiver humide et froid, et un été sec et chaud.

La région d'étude reçoit des moyennes de précipitations de l'ordre de 602,66 mm/an à Guelma, 743,21 mm/an à Skikda, 807.95 mm/an à El Tarf et 556,58 mm/an à Souk Ahras.

Les températures moyennes sont respectivement 18.94 °C, 18.71°C, 25.46°C et 16.36°C.

Selon la classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologique, nous avons déterminé trois types de formations : formations favorables au développement d'aquifères poreux, formations non favorables au développement d'aquifères et formations favorables aux développements d'aquifères karstiques.

D'après les résultats des analyses effectuées sur les eaux thermales de la région d'étude et d'après les trois méthodes de représentation graphique, on peut dire que les eaux thermales représentent les faciès suivants :

- Faciès bicarbonaté sodique: (Hammam Sidi Djaballah, Hammam Sidi Trad, Hammam Zattot, Hammam Sidi Zid, Hammam Beni Salah, Hammam Ouled Zaïd, Hammam Tassa);
- Faciès sulfaté calcique: (Hammam El Hamma, Hammam Oued Hmimine, Hammam Sidi Ali, Hammam Guerfa et Hammam Belhachani);
- Faciès chloruré sodique: (Hammam Meskhoutine "sauf E12 et E13");
- Faciès sulfaté sodique: E12 et E13 (Hammam Meskhoutine) plus Hammam N'Baïl.
- Le centre et l'extrême Nord- Est du secteur est caractérisé par des faciès chlorurés et chloré-sulfaté sodique.
- L'origine des faciès peut être due à la présence du volcanisme récent au voisinage des Hammams.
- Le faciès sulfaté calcique occupe le Nord-Ouest et le Sud du secteur étudié.

Pour les variables, l'A.C.P effectuée a pu mettre en évidence d'un côté le faciès chimique caractérisant les analyses effectuées, d'un autre côté, les éléments caractérisant la

pollution. Les individus ont été regroupés selon deux nuages de points, le premier présente les eaux thermales de la source de la région de Guelma et le deuxième représente les sources thermales de Skikda, Tarf et Souk Ahras.

L'étude de l'indice de saturation montre que pour les éléments évaporitiques, la halite est en sous saturation dans les eaux ce qui provoque sa dissolution et l'enrichissement des eaux en Sodium (Na) et en Chlorure (Cl) sauf l'échantillon E₃₆ (source thermale de Tassa) qui est sur saturée ce qui provoque une précipitation sous forme de Halite.

Concernant le Gypse et l'Anhydrite les eaux thermales de Guelma et Skikda sont sursaturées ce qui provoque une précipitation sous forme de Gypse et Anhydrite (plus les eaux thermales de hammam Ouled Zaïd concernant le Gypse), les eaux thermales d'El Tarf et Souk Ahras sont sous saturées ce qui provoque la dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en calcium et en SO_4^{2-} (sauf l'échantillon E₃₇ qui est sursaturée en Gypse).

Les eaux sont sursaturées en Calcite, Dolomie et Aragonite dans tous les points analysés, entraînant aussi la précipitation des éléments carbonatés sous forme de Calcite, d'Aragonite et surtout sous forme de Dolomie.

Concernant le Cérusite (PbCO_3) les eaux thermales sont sursaturées (sauf E₃₇) entraînant une précipitation de cet élément sous forme de Cérusite, l'échantillon E₃₇ est sous-saturés ce qui provoque la dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en Pb et CO_3^- .

Pour l'Anglésite (PbSO_4), les eaux sont sursaturées pour les sources de Guelma (sauf Meskhoutine) et Skikda, entraînant une précipitation de ces éléments sous forme d'Anglésite et, sous saturées pour les sources thermales d'El Tarf et Souk Ahras ce qui provoque la dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en Pb et SO_4^{2-} .

Concernant le Pb(OH)_2 l'indice de saturation est positif pour les sources thermales de Guelma et Skikda et Sidi Trad qui indique une précipitation en Pb(OH)_2 dans ces émergences, dans les autres échantillons les eaux sont sous saturées en Pb(OH)_2 qui provoque la dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en Pb.

Les eaux sont sursaturées en Chalcedoine, SiO_2 et en Quartz, entraînant une précipitation de ces éléments sous forme de Chalcedoine et de Quartz.

Les eaux sont sursaturées en Chrysolite, Sépiolite et en Talc, entraînant ainsi une précipitation sous forme de Chalcedoine, Sépiolite et en Talc, sauf l'échantillons E₃₇ qui est sous saturées en Chrysolite ce qui provoque une dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en Mg^{2+} , SiO_2^{-2} .

Enfin on peut dire que le domaine de thermalisme représente un investissement important et nécessaire pour l'activation de notre secteur de tourisme en Algérie, le développement du thermalisme devrait être porté par une stratégie englobant les facteurs suivants :

- 1- établissement d'un fichier national informatisé des eaux thermales, minérales et thermominérales, comprenant toutes les informations nécessaires à leurs connaissances ;
- 2- rentabilisation par une modernisation des infrastructures existantes y compris les voies d'accès aux sites, tout en protégeant l'environnement et en réhabilitant les vestiges des anciens thermes ;
- 3- exploitation rationnelle des ressources thermominérales en plus l'hydrothérapie par une complémentarité intégrant les applications multiples qu'elles génèrent, telles l'utilisation des eaux pour la boisson et l'optimisation des ressources géothermiques : chauffage, électricité, agriculture ;

création de la spécialité de médecine thermique

LISTE DES FIGURES

	Page
Fig.01 : Carte de situation géographique du secteur d'étude	02
Fig.02 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques du Nord -Est Algérien	04
Fig.03 : Principales sources thermales de l'Est Algérien.....	07
Fig.04 : Principales sources thermales de la zone d'étude.....	09
Fig.05 : Carte d'inventaire des sources thermales de Guelma	11
Fig.06 : Carte d'inventaire des sources thermales de Skikda.....	15
Fig.07 : Carte d'inventaire des sources thermales d'El Tarf.....	19
Fig.08 : Carte d'inventaire des sources thermales de Souk Ahras.....	21
Fig.09 : Carte structurale au 1/500000 de la chaîne alpine d'Algérie orientale.....	23
Fig.10 : Profil géologique Nord-Sud de l'Est Algérien	27
Fig.11 : Les unités géologiques de l'Est Algérien	28
Fig.12 : Colonnes stratigraphiques et Synthétiques de la chaîne calcaire	30
Fig.13 : Colonnes stratigraphiques et Synthétiques des séries du flysch Mauritanien et du flysch Massylien (d'après J.F.Raoult, 1974).....	32
Fig.14 : Colonne stratigraphique et synthétique de la nappe Néritique du Constantinois	35
Fig.15 : Colonne stratigraphique et synthétique de la série Numidienne.....	35
Fig.16 : Schéma paléogéographique du Tell oriental Algérien au Néocomien du Barrémien à l'Albien et au sénonien.....	38
Fig.17 : Schéma interprétatif de la mise en place des nappes du Tell oriental Algérien.....	40
Fig.18 : Les bandes thermiques de l'Algérie.....	42
Fig.19 : Représentation très schématique des principaux effets de la Néotectonique.....	43
Fig.20 : Carte géologique des sources thermales des Hammams Belhachani et Guerfa (Guelma).....	46
Fig.21 : Carte géologique de la source thermique du Hammam N'Bil (Guelma).....	48
Fig.22 : Carte géologique de la source thermique du Hammam Ouled Ali (Guelma).....	49
Fig.23 : Carte géologique de la source thermique du Hammam Meskhoutine (Guelma).....	50
Fig.24 : Coupe géologique de la source thermique du Hammam Meskhoutine.....	51
Fig.25 : Carte géologique de la source thermique d'El Hamma (Skikda).....	53
Fig.26 : Coupe géologique de la source thermique d'El Hamma.....	54
Fig.27 : Carte géologique de la source thermique de l'Oued Hmimine (Skikda).....	55
Fig.28 : Coupe géologique de la source thermique de l'Oued Hmimine.....	56

Fig.29 : Carte géologique de la source thermale du Hammam Sidi Djaballah (Tarf).....	59
Fig.30 : Carte géologique des sources thermales des Hammams Zatout et Sidi Zid (Tarf).....	61
Fig.31 : Carte géologique de la source thermale du Hammam Béni Saleh (Tarf).....	62
Fig.32 : Carte géologique de la source thermale du Hammam Tassa (Souk Ahras).....	63
Fig.33 : Carte géologique de la source thermale du Hammam Ouled Zaïd (Souk Ahras).....	64
Fig.34 : Moyenne des précipitations mensuelles (Station de Guelma, 1990-2008).....	70
Fig.35 : Moyenne des précipitations mensuelles (Station de Skikda, 1989-2009).....	70
Fig.36 : Moyenne des précipitations mensuelles (Station de Tarf, 1996-2011).....	71
Fig.37 : Moyenne des précipitations mensuelles (Station de Souk Ahras, 1988-2008).....	71
Fig.38 : Moyenne des températures mensuelles (Station de Guelma, 1990-2008).....	74
Fig.39 : Moyenne des températures mensuelles (Station de Skikda, 1989-2009).....	74
Fig.40 : Moyenne des températures mensuelles (Station d'El Tarf, 1996-2011).....	75
Fig.41 : Moyenne des températures mensuelles (Station de Souk Ahras, 1988-2008).....	75
Fig.42 : Courbe ombro-thermique (station de Guelma, 1990-2008).....	77
Fig.43 : Courbe ombro-thermique (station de Skikda, 1989-2009).....	77
Fig. 44 : Courbe ombro-thermique (Station d'El Tarf, 1996-2011).....	78
Fig.45 : Courbe ombro-thermique (Station de Souk Ahras, 1988-2008).....	78
Fig. 46 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite (station de Guelma ,1990-2008).....	88
Fig. 47 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite (station de Skikda ,1989-2009).....	88
Fig. 48 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite (station d'El Tarf ,1996-2011).....	89
Fig. 49 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite (station de Souk Ahras ,1988-2008).....	89
Fig. 50 : Les systèmes hydrothermaux.....	93
Fig.51 .Coupe géologique AÁ.....	98
Fig. 52 : Coupe géologique BĀ.....	98
Fig.53 : Inventaire des points de prélèvement Source thermale Hammams Belhachani et Guerfa (Guelma).....	108
Fig. 54 : Inventaire des points de prélèvement Source thermale de Hammam N'Baïl (Guelma).....	108
Fig. 55 : Inventaire des points de prélèvement Source thermale Hammam Ouled Ali (Guelma).....	109

Fig. 56 : Inventaire des points de prélèvement Source Thermale de Hammam Meskhoutine(Guelma).....	109
Fig. 57: Inventaire des points de prélèvement Source thermal d’El Hamma (Skikda).....	110
Fig. 58: Inventaire des points de prélèvement Source thermique d’Oued Hmimine (Skikda).....	110
Fig. 59: Inventaire des points de prélèvement Source thermique de Hammam Sidi Djaballah(Tarf).....	111
Fig. 60: Inventaire des points de prélèvement Source thermique de Hammam Sidi Trad (Tarf).....	111
Fig. 61: Inventaire des points de prélèvement Source thermique de Hammam Beni Salah (El Tarf).....	112
Fig. 62 : Inventaire des points de prélèvement Source thermique de Hammam Zattot et Sidi Zid(Tarf).....	112
Fig. 63: Inventaire des points de prélèvement Source thermique de Hammam Tassa (Souk Ahras).....	113
Fig. 64: Inventaire des points de prélèvement Source thermique de Hammam Ouled Zaid (Souk Ahras).....	113
Fig. 65 : Coupe d'un prototype géothermal (d'après U.S Géological Survey).....	115
Fig. 66 : Représentation graphique de faciès chimiques Diagramme de Piper (Sources thermales de Guelma).....	132
Fig. 67: Représentation graphique de faciès chimique Diagramme de Piper (Sources thermales de Skikda).....	132
Fig. 68: Représentation graphique du faciès chimique Diagramme de Piper (Sources thermales d’El Tarf).....	134
Fig. 69: Représentation graphique du faciès chimique Diagramme de Piper (Sources thermales de Souk Ahras).....	134
Fig. 70: Représentation graphique des faciès chimiques Diagramme de Schoeller –Berkaloff (Sources thermales de Guelma).....	136
Fig. 71: Représentation graphique des faciès Chimique, Diagramme de Schoeller – Berkaloff (Sources thermales de Guelma –suite-).....	136
Fig. 72: Représentation graphique des faciès Chimique, Diagramme de Schoeller – Berkaloff (Sources thermales de Skikda).....	137
Fig. 73: Représentation graphique des faciès Chimique, Diagramme de Schoeller – Berkaloff (Sources thermales de Tarf).....	137

Fig. 74: Représentation graphique des faciès chimique Diagramme de Schoeller – Berkaloff (Sources thermales de Souk Ahras).....	138
Fig. 75: Représentation graphique des faciès chimiques Diagramme de Stiff (Sources thermales de Guelma).....	138
Fig. 76: Représentation graphique des faciès chimique, Diagramme de Stiff (Sources thermales de Skikda).....	139
Fig. 77: Représentation graphique de faciès Chimique, Diagramme de Stiff (Sources thermales d’El Tarf).....	139
Fig. 78: Représentation graphique de faciès chimique Diagramme de Stiff (Sources thermales de Souk Ahras).....	139
Fig. 79: Représentation graphique des faciès chimique Diagramme de Stabler (Sources thermales de Guelma).....	141
Fig. 80: Représentation graphique des faciès Chimique, Diagramme de Stabler (Sources thermales de Skikda).....	141
Fig. 81: Représentation graphique de faciès chimique Diagramme de Stabler (Sources thermales d’El Tarf).....	143
Fig. 82: Représentation graphique de faciès Chimique, Diagramme de Stabler (Sources thermales de Souk Ahras).....	142
Fig. 83 : Carte des Faciès Chimiques des eaux thermo minérales de la zone d’étude.....	143
Fig. 84 : Représentation des Cercles de Corrélations.....	148
Fig. 85 : Représentation des Individus.....	148
Fig. 86: Cercle de corrélation Plan (1 – 2).....	152
Fig. 87 : Représentation des individus Plan (1 – 2).....	152
Fig. 88 : Etat des minéraux évaporitiques.....	158
Fig. 89: Etat des minéraux carbonatés.....	158
Fig. 90 : Etat de l’Anglésite, le Cérusite et le $Pb(OH)_2$	158
Fig. 91 : Etat de la Chalcedoine et le Quartz	158
Fig. 92 : Etat de Chrysolite, le Sépiolite et du Talc.....	159

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tab.01: Coordonnées des stations météorologiques.....	67
Tab.02. : Moyenne des précipitations mensuelles (mm).....	69
Tab.03 : Moyenne des températures mensuelles (°C).....	73
Tab.04 : Bilan hydrique C.W.THORNTWAITE (Station de Guelma, 1990-2008).....	84
Tab.05: Bilan hydrique C.W.THORNTWAITE (Station de Skikda, 1989-2009).....	85
Tab.06 : Bilan hydrique C.W.THORNTWAITE (Station d'El Tarf, 1996-2011).....	86
Tab.0 7 : Bilan hydrique C.W.THORNTWAITE (Station de Souk Ahras, 1988-2008).....	87
Tab.08 : Désignation des points de prélèvement.....	107
Tab.09: Températures mesurées sur les émergences.....	119
Tab.10: Evaluation de température en profondeur à l'aide des Géothermomètres Chimiques.....	122
Tab.11: Indice des échanges de bases (i.e.b).....	127
Tab. 12 : Rapports caractéristiques des sources thermales da la zone d'étude.....	129
Tab. 13 : Résultats des analyses et faciès chimiques.....	131
Tab. 14 : Comparaison détaillée entre les trois représentations.....	144
Tab. 15 : Matrice de corrélation.....	150
Tab.16 : Corrélation entre les variables et les axes principaux.....	151
Tab. 17: Indice de saturation des minéraux dissous dans les eaux thermales de la région d'étude.....	155
Tab. 18: Indice de saturation des minéraux dissous dans les eaux thermales de la région d'étude (suite).....	156
Tab. 19: Indice de saturation des minéraux dissous dans les eaux thermales de la région d'étude (suite).....	157
Tab. 20 : Spécifié curatives des eaux thermales de l'extrême Nord Est Algérien.....	174

BIBLIOGRAPHIE

A.B.H.-C.S.M (de 1999 à 2004), *Les Cahiers de l'Agence*, Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue, Constantine.

AHMED HAZILA.D, 2008. Caractéristiques des eaux thermales de la région d'Azzaba. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Institut des Sciences des la terre. Université d'Annaba.*

ALIDRA .A, ALIOUA. S et CHAOULS, 2002. Contribution à l'étude géologique, géophysique et hydrogéologique de la région Bouaiza- Tebeiga. *Mémoire de fin d'étude. Institut des Sciences de la Terre- Université d'Annaba.*

ARNORSSON S., 1983: Chemical Equilibria in Iceland Geothermal Systems. Implications for Chemical Geothermometry Investigations. *Geothermics*, 12: 119-128

BADI.H, RIHIA.F, 2004. Le thermalisme de l'extrême Est Algérien : Guelma, Souk Ahras, Skikda et Taref. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Faculté des Sciences de la Terre et de l'Aménagement du Territoire. Université de Constantine.*

BEKKOUCHE M^{ED} FOUZI , 2009 : Caractéristiques des sources thermales de la région d'Azzaba, thèse de magister, université Badji Mokhtar , Annaba, 147pp.

BENHAMZA Moussa. (2005). Application de l'Analyse en Composante Principale à l'évolution de la pollution mercurielle dans la région d'Azzaba (1999, 2000, 2001), 1er Colloque Euro-méditerranéen en Biologie Végétale et Environnement, les 28, 29 et 30 Novembre 2005, Université Badji-Mokhtar-Annaba, Algérie.

BENHAMZA Moussa. (2007). Contribution de la géophysique à l'étude hydrogéologique de la zone mercurielle Nord Numidique (Azzaba), Nord Est Algérie. Conséquences de l'exploitation des gisements mercuriels sur l'environnement. Thèse de doctorat d'état de l'université d'Annaba, Algérie. 174p.

BENHAMZA Moussa, RIHIA Djamel, BEKKOUCHE Mohamed faouzi. (2015).

Hydro geochemistry and balance between minerals and solutions in the mercurial zone of Azzaba, Northeast of Algeria. *Energy Procedia*. Volume 74, August 2015, Pages 1133–1141.

BOUCHARB-HAOUCHINE F.Z., 1993 : Apports de la géothermométrie et des données de forages profonds à l'identification des réservoirs géothermiques de l'Algérie du Nord. Application à la région du Hodna. Thèse de Magister, Univ. Sci. Tech. USTHB Alger, 150 pp.

BOUCHAREB-HAOUCHINE F.Z., ISSAADI A., BENDHIA H., 1994 : Estimation et interprétation du gradient géothermique en Algérie du Nord. Bull. Serv. Géol. Algérie, vol. 5, n°1, pp69-74.

BOUCHAREB-HAOUCHINE F.Z.,2012 : Etude hydrogéochimique des sources thermales de l'Algérie du Nord- potentialités géothermiques. Thèse de doctorat d'état, Univ. Sci. Tech. USTHB Alger, 232pp.

BOURI S., 1994 : Hydrothermie de surface et potentialités hydrogéothermiques du Nord tunisien -identification des principales unités hydrogéothermiques-. Thèse Doctorat de spécialité, laboratoire d'hydrogéologie – géothermie, ENIS Sfax, Tunisie.

BOURI S., GASMI M., JAOUADI M., SOUISSI I., LAHLOU MIMI A., BEN DHIA H., 2007 : Etude intégrée des données de surface et de subsurface pour la prospection des bassins hydrogéothermiques: cas du bassin de Maknassy (Tunisie centrale), Hydrological Sciences Journal, 52: 6, 1298 — 1315

BOUZAOUIT.A ET DJEKHARS.S, 2006. Approche à l'étude hydrogéologique dans la région de Boumaiza (Azzaba), qualité et diagnostic des eaux. *Mémoire de fin d'étude. Institut des Sciences de la Terre. Université d'Annaba.*

BOUZIANE.S ET MEBARKI.L, 2004. Etude hydrogéologique de la plaine d'Azzaba, wllaya de Skikda. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Institut des Sciences de la Terre. Université d'Annaba.*

COTE M., 1998a, Les régions bioclimatiques de l'Est algérien, *Rhumel*, n° 6, pp. 57-71.

D'AMORE F., SCANDIFIO G., PANICHI C., 1983: Some observations on the chemical classification of ground waters. *Geothermics*. Vol. 12; n°2/3; pp141-148.

D'AMORE F., FANCELLI R., CABOI R., 1987: Observation on the application of chemical geothermometers to some hydrothermal systems in Sardinia. *Geothermics* 16, 271-282.

DAVID .L, 1956. *Étude des monts de la haute Medjerda. Publications du service de la carte géologique de l'Algérie. Buttetin N°11. Alger, 1956.*

DELEAU.P, 1938. *Etude géologique des régions de Jemmapes –Hammam Meskhoutine et du col des oliviers (Tome I et II). Publication du service de la carte géologique de l'Algérie.*

DELEAU.P, 1938. Etude géologique des régions Jemmapes- Hammam Meskhoutine et du Col des Oliviers (Tome I). *Publication du service de la carte géologique de l'Algérie.*

DIB.H, 1985. Le thermalisme de l'Est Algérien. *Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, 281p.*
USTHB,
Alger.

DIB.H, 2004 : Le thermalisme de l'extrême Est Algérien : Guelma, Souk Ahras, Skikda et Tarf. Encadrement d'un *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Faculté des Sciences de la Terre et de l'Aménagement du Territoire. Université de Constantine.*

DIB.H, 2008. Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien. *Publication du service Géologique National.*

Djebbar.M, 1991. *Le karst hydrothermal de la région de Constantine: Fonctionnement et modalités d'infiltration. Thèse Magistère. Université de Constantine. Institut des sciences de la Terre.*

DUROZOY.G, 1958. Les ressources en eau des massifs calcaires Crétacés de la région de Constantine. *Faculté des Sciences, Université d'Alger.*

FOURNIER R.O., TRUESDELL A.H., 1973: An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochim. Cosmochim. Acta* 37, 1255-1275.

FOURNIER R.O., TRUESDELL A.H., 1974: Geochemical Indicators of subsurface temperature. Estimation of temperature and fraction of hot water mixed with cold water. *U.S. Geol. Surv. J. Res.* 2: pp 263-270.

FOURNIER R.O., 1977: Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, 5, 41-50.

FOURNIER R.O., 1979: A revised equation for the Na/K geothermometer. *Geotherm. Resour. Council Trans.* 3, 221-224.

FOURNIER R.O., 1981: Application of water geochemistry to geothermal exploration and reservoir engineering. *U.S.G.S. California. USA.*

FOURNIER R.O., POTTER, R.W., 1982 : A revised and expanded silica (quartz) geothermometer.

GIGGENBACH W.F., 1988: Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochim. Cosmochim. Acta* 52, 2749-2765.

GLANGEAUD L., 1951 : Notice explicative de la carte géologique de Marengo, Algérie. *Bull. Soc. Clim. Alg.*

GRABSIA.N, 2000. Qualité et potabilité des eaux de la région d'Azzaba. *Mémoire de fin d'étude. Institut des Sciences de la terre. Université d'Annaba.*

- GUPTA H., ROY S., 2007:** Geothermal Energy: An Alternative Resource for the 21st Century. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 279 pp.
- HOFFMAN F., 2005:** Les tufs et travertins en Périgord-Quercy. *Karstologia*, Mémoires 13-2005. Presses universitaires de Bordeaux.
- IKHLEF.L, 2002.** *Etude des sources thermales dans les régions de Constantine, Mila et Sétif. Mémoire de fin d'étude. Institut des sciences de la Terre.*
- J.F.RAOULT, 1974.** Géologie du centre de la Chaîne numidique : Nord du Constantinois, Algérien, Paris : Société géologique de France.
- J.F.RAOULT, 1974.** Carte géologique du centre de la Chaîne numidique, Société géologique de France.
- J.P.Bouillin, 1977 :** Géologie alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El-milia (Algérie). Thèse Doctorat. Univ. P. et M. Curie, 511p
- JOLEAUD.L, 1936.** *Etude géologique de la région de Bône de la calle. Bulletin du service de la carte géologique de l'Algérie. 2^{ème} série stratigraphie- description régionales.*
- KEENAN J.H., KEYES F.G., MOOR J.G, 1969:** Steam tables. Thermodynamic properties of water, including vapour, liquid, and solid phases. New York, John Wiley, 162 p.
- KENNOUZ.N, 1999.** Contamination des eaux superficielles et souterraines de la région d'Azzaba par le Mercure (Traitement statistique des données hydrochimique ACP). *Mémoire de fin d'étude. Institut des Sciences de la terre. Université d'Annaba.*
- KHEMCHANE.L ET AYACHI.S, 2002-2001.** *Etude hydrogéologique de la plaine alluviale de Guelma. Mémoire de fin d'étude. Institut des sciences de la Terre- Constantine.*
- LA HOUILLE BLANCHE, 1995.** *Revue internationale de l'eau. Eaux minérales et thermales. Jouve 53100 Moyenne. Bureau de Paris; 18, Rue Saint – denis.75001.*
- LEON MORET, 1946.** *Les sources thermominérales - hydrogéologie - géochimie – biologie.*
- LOPEZ-CHICANO M., BOUAMAMA M., VALLEJEOS A., PUBLIDO B.A., 2001:** Factors which determine the hydrogeochemical behavior of karst springs. A case study from the Betic Cordilleras, Spain. *Appl. Geochem.* 16, 1179-1192.
- MARRE.A, 1992.** *Le Tell oriental algérien. (Volume I et II). Office des publications universitaires. I, place centrale de Beni Aknoun -Alger.*
- MICHAUD.1989.** The Markowitz Optimization Enigma: is 'Optimized' Optimal? *Financial Analysts Journal*, 1989

MOREY G. W., FOURNIER R.O., ROWE J.J., 1962: The Solubility of quartz in water in the temperature interval from 29° to 300°. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, vol. 26, p 1029-1043.

MEBERKI AZZEDINE, 2005 : HYDROLOGIE DES BASSINS DE L'EST ALGERIEN : RESSOURCES EN EAU, AMENAGEMENT ET ENVIRONNEMENT. Thèse doctorat d'état 360p.

ORGM ex SONAREM. Bulletin du service de la carte géologique de l'Algérie (2^{ème} série) stratigraphie- description régionale. *ORGM de Tebessa*.

ORGM ex SONAREM, 1990- 01992. Rapport final sur l'étude hydrogéologique du gisement de Mercure de Fendek. *ORGM de Tebessa*.

ORGM et SONAREM, 1985. Rapport sur les résultats des travaux de recherche (Mra- Sma et Ismail). *ORGM de Tebessa*.

PARKHURST D.L., APPELO C.A.J, 1999: USER'S GUIDE TO PHREEQC (VERSION 2): a computer program for speciation, bath reaction, one dimensional transport and inverse geochemical calculations.

POMEL A., 1871 : Description et carte géologique au 200.000^e du massif de Miliana. *Bull. Soc. Climat. Alg.*, 184 p.

RADJLIH et RIHIA.D, 2006. Qualit2 et potabilité des eaux de la région d'Azzaba. Constat de la pollution mercurielle après l'arrêt de l'usine de Mercure. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Institut des Sciences de la terre. Université d'Annaba*.

SCHOELLER.H, 1976. Calcul de la température de l'eau des sources thermominérales à leur origine profonde. *C R Acad. Sc. Paris*, t 283, Série D 753.

Stumm W, Morgan JJ, 1981, Aquatic Chemistry: an Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters, Wiley-Interscience, Toronto.

STROJEXPORT. 1983. Rapport de l'étude géophysique dans la région d'Azzaba. *ANRH de Constantine*.

TONANI F., 1980: Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. *In Proc. Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp. , Strasbourg, pp. 428-443*.

VERMA M.P., 2002: Geochemical techniques in geothermal development. In: Chandrasekharam,

VERMA M.P., 2002: Geochemical techniques in geothermal development. In: Chandrasekharam.

VILA.J.M, 1977. Carte géologique de l'Algérie 1:50,000 99, Sedrata / Ministère de l'industrie et de l'énergie, Direction des mines et de la géologie, Service de la carte géologique de l'Algérie ; SONATRACH.

VILA.J.M, 1977. Carte géologique de l'Algérie 1:200,000 PQ-3-4, Constantine / Ministère de l'industrie et de l'énergie, Direction des mines et de la géologie, Service de la carte géologique de l'Algérie ; SONATRACH.

VILA.J.M, 1980. *La plaine alpine d'Algérie orientale et ses confins algéro-tunisiens.* Doctorat d'état. Université Pierre Et Marie Curie, Paris VI.

VINCENT VALLES. Cours sur les eaux thermales.

WILDI W., 1983, la chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène, *Revue de géologie dynamique et de géographie physique*, Paris, Masson, vol. 24, 3, pp. 201-297.

ANNEXE

Code station : 031106	Tableau de distribution interannuelle des précipitations mensuelles (mm) Station : Azzaba Période : 1989/90– 2008/09												
Nom station : AZZABA (pepénriere)													
X : 892,3													
Y : 391,35													
Z : 91													
1989	SEP	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	annuel
PJ max (mm)	5,3	41,1	23,3	27,1	58,3	0	15,4	18,1	12,1	11,4	0	15,9	58,3
Totaux (mm)	9,9	74,6	52,9	53,1	143	0	30,8	49,3	26,1	27,9	0	26,2	493,8
Jour du max	29	9	6	10	5	1	25	30	9	6	1	6	
Nbre jour pluv.	2	3	4	4	8	0	3	7	3	3	0	2	39
1990													
PJ max (mm)	0	25,4	39,9	53,3	25,3	29,1	17,3	11,3	0	8,2	0	5,2	53,3
Totaux (mm)	0	42,3	149	302,6	92,5	80,7	68,6	24,5	0	12,4	0	8,5	781,1
Jour du max	1	4	16	23	26	12	15	3	1	2	1	11	
Nbre jour pluv.	0	4	6	13	6	5	7	5	0	2	0	2	50
1991													
PJ max (mm)	11,4	33,2	17,2	1,3	25,1	31,6	21,9	36,7	7,3	6,1	1,3	0,3	36,7
Totaux (mm)	44,1	139,9	43,9	1,3	87,6	73,1	62,6	156,3	19,6	8,4	1,3	0,3	638,4
Jour du max	14	6	24	13	27	21	9	10	4	1	1	16	
Nbre jour pluv.	6	10	6	1	6	4	6	7	5	2	1	1	55
1992													
PJ max (mm)	0	9,4	21,1	39,4	19,4	7,7	25,3	3,1	9,3	0	0	0	39,4
Totaux (mm)	0	12,3	50,9	190,6	76,5	62,6	66,4	4,5	25,3	0	0	0	489,1
Jour du max	1	15	4	31	3	19	27	29	6	1	1	1	
Nbre jour pluv.	0	3	5	10	6	11	11	2	6	0	0	0	54
1993													
PJ max (mm)	7,6	23,3	14,6	47,5	27,5	36,1	42	15,8	26,6	0	0	0	47,5
Totaux (mm)	19,2	61,1	14,6	117,3	94	105,3	96	52,4	26,6	0	0	0	586,5
Jour du max	28	21	27	2	9	19	22	20	10	1	1	1	
Nbre jour pluv.	5	5	1	5	7	6	6	6	1	0	0	0	36

1994													
PJ max (mm)	3,2	38,4	17,3	36,8	35,5	7,4	31,5	3,4	0	1,3	0	0,4	38,4
Totaux (mm)	6,9	83,8	26,8	136,2	269,4	7,9	94,8	7,2	0	2,3	0	0,4	635,7
Jour du max	30	3	18	22	8	26	1	23	1	4	1	23	
Nbre jour pluv.	4	5	3	9	15	2	7	4	0	3	0	1	53
1995													
PJ max (mm)	22,1	1,3	33,7	19,1	25,6	33,4	28,1	19,3	6,3	0	0	1,3	33,7
Totaux (mm)	39,4	2,2	78,8	78,1	70,7	226,1	85,4	31,4	11,5	0	0	1,7	625,3
Jour du max	27	16	24	2	11	6	14	29	19	1	1	13	
Nbre jour pluv.	5	3	11	11	9	21	12	5	5	0	0	2	84
1996													
PJ max (mm)	17,4	4,1	7,6	27,4	17,3	9,4	9,3	6,1	0,3	0	4,6	5,1	27,4
Totaux (mm)	37,3	6,1	13,6	96,4	64,8	25,7	18,7	19,8	0,3	0	4,9	6,7	294,3
Jour du max	3	6	29	26	9	7	16	24	8	1	17	25	
Nbre jour pluv.	6	3	4	10	8	7	5	7	1	0	2	3	56
1997													
PJ max (mm)	6,1	46,7	38,5	28,6	17,4	35,1	25,1	25,3	33,4	2,1	0	1,6	46,7
Totaux (mm)	15,7	95,3	200,1	149,2	72,3	119,7	94	57,2	100,4	5,3	0	2,1	911,3
Jour du max	8	31	23	10	21	27	15	22	3	2	1	4	
Nbre jour pluv.	5	5	13	16	12	11	9	9	9	5	0	2	96
1998													
PJ max (mm)	26,6	11,4	39,4	17,3	31,3	17,1	22,4	17,5	0	4,1	0	0,4	39,4
Totaux (mm)	41,1	26,6	172,2	85,4	115,4	60,7	61,4	40,7	0	5,8	0	0,4	609,7
Jour du max	25	21	28	21	31	11	18	17	1	19	1	12	
Nbre jour pluv.	5	7	14	12	12	13	6	5	0	3	0	1	78
1999													
PJ max (mm)	1,4	7,6	17,7	30,4	23,6	6,3	4,1	3,1	71,4	1,6	0	1,3	71,4

Totaux (mm)	2,7	22,5	79,3	124,5	68,3	16,9	8,4	6	86,9	3,1	0	2,3	420,9
Jour du max	8	15	7	19	17	23	16	4	26	14	1	5	
Nbre jour pluv.	4	4	12	14	9	6	5	4	5	3	0	3	69
2000													
PJ max (mm)	0	17,1	11,1	25,1	25,1	23,3	9,4	7,8	6,3	0	0	0	25,1
Totaux (mm)	0	47,6	27,3	84,6	170,2	101,4	17,4	44,6	11,9	0	0	0	505
Jour du max	1	3	17	31	20	1	31	29	5	1	1	1	
Nbre jour pluv.	0	7	6	8	16	11	4	9	3	0	0	0	64
2001													
PJ max (mm)	9,3	6,1	14,1	12,6	9,3	22,5	4,3	9,3	1,3	0	1,5	7,3	22,5
Totaux (mm)	41,4	9,8	48,5	45,3	32,5	80,9	6,3	28,2	1,6	0	2,9	16,9	314,3
Jour du max	29	10	13	17	17	7	10	21	12	1	14	27	
Nbre jour pluv.	9	2	9	10	6	6	4	6	2	0	3	4	61
2002													
PJ max (mm)	3,1	15,3	39,3	31,4	31,5	29,2	17,2	27,4	5,4	0	0	2,5	39,3
Totaux (mm)	7	26,4	197,8	168,8	190,5	131,7	26,3	76,8	10,6	0	0	2,5	835,4
Jour du max	28	12	26	1	17	28	1	4	26	1	1	13	
Nbre jour pluv.	5	2	12	14	20	14	2	9	5	0	0	1	84
2003													
PJ max (mm)	14,1	9,3	6,3	30,6	25,3	6,3	7,6	17,1	11,6	25,4	0	0	30,6
Totaux (mm)	65,2	21,4	27,4	170,8	111,2	12,9	39,9	57	35,3	40,5	0	0	581,6
Jour du max	24	24	12	23	1	26	7	11	24	17	1	1	
Nbre jour pluv.	11	5	8	16	11	5	9	11	10	3	0	0	89
2004													
PJ max (mm)	14,1	11,1	44,3	29,6	21,4	30,3	22,3	25,4	0	1,3	0	3,1	44,3
Totaux (mm)	51,4	11,4	231,4	234,1	98,3	197,7	59,8	84,3	0	1,3	0	5,9	975,6
Jour du max	27	31	13	29	25	16	8	11	1	23	1	29	
Nbre jour pluv.	8	2	13	17	13	19	8	7	0	1	0	4	92

2005													
PJ max (mm)	1,3	4,3	7,5	62,5	28,1	20,3	9,3	3,1	4,3	0	0	3,4	62,5
Totaux (mm)	2,7	6	19,8	167,5	166,1	100,6	27,5	5,9	8,1	0	0	5,8	510
Jour du max	30	25	24	14	3	23	5	27	19	1	1	21	
Nbre jour pluv.	3	3	6	14	13	10	5	4	4	0	0	3	65
2006													
PJ max (mm)	5,1	33,4	9,3	30,5		9,3	31,6	6,1	1,3	2,1	1,3	0	
Totaux (mm)	11,1	74,2	22	157,5		38	199,4	20,7	2,7	3,5	1,7	0	
Jour du max	25	14	13	25		25	11	13	28	4	13	1	
Nbre jour pluv.	5	5	7	15		10	14	8	3	3	2	0	
2007													
PJ max (mm)	3,1		15,4	33,3	7,3	11,1	27,3	31,5	7,3	0	0	2,1	
Totaux (mm)	4,4		85,9	150,5	15,9	23	75,3	52,3	37,1	0	0	2,1	
Jour du max	23		28	29	17	16	6	1	28	1	1	28	
Nbre jour pluv.	2		14	17	5	3	12	4	7	0	0	1	
2008													
PJ max (mm)	11,1	3,1		17,4	9,8	12,1	15,3	9,3	5,3	1,3	0	1,4	
Totaux (mm)	64,7	8,3		82	44,7	55,4	65,7	42,3	12,6	1,3	0	3,4	
Jour du max	26	30		18	4	7	29	17	14	1	1	27	
Nbre jour pluv.	9	7		12	12	11	14	11	7	1	0	4	
2009													
PJ max (mm)	47,3	11,1	19,1	34	25,3	9,3	7,3	7,1	6,1	3,1	0	0	47,3
Totaux (mm)	146	55,4	72,6	112,2	126,6	40,8	28,9	20,5	15,7	4,6	0	0	623,3
Jour du max	24	22	30	15	27	11	11	9	15	14	1	1	
Nbre jour pluv.	9	12	11	9	16	13	9	8	6	3	0	0	96

PJ max (mm)	20	22	8	26,5	35,5	5	30	9	3,5	14	0	3	35,5
Totaux (mm)	36,2	60	12	54	172,5	9,5	90	33	3,5	27,5	0	3,5	501,7
Jour du max	27	17	5	20	7	26	2	28	25	8	1	23	
Nbre jour pluv.	5	10	3	8	13	2	9	8	1	9	0	2	70
1995													
PJ max (mm)	22	11,5	22	22	32	36	10	30	38	5	11	3	38
Totaux (mm)	78,5	30,5	36,5	29	103	190,5	32,5	91,5	78,5	6,5	11,5	5	693,5
Jour du max	27	15	2	3	11	6	13	29	19	3	2	30	
Nbre jour pluv.	8	5	6	6	10	19	7	13	6	3	2	3	88
1996													
PJ max (mm)	7,5	8,5	8	10	11	11	4,5	15	8,2	12	0	9	15
Totaux (mm)	13	15,5	15	30,5	40,1	25	12	50	11,7	14,5	0	18	245,3
Jour du max	9	3	28	8	25	7	6	23	31	28	1	5	
Nbre jour pluv.	5	4	5	5	8	4	4	8	4	4	0	2	53
1997													
PJ max (mm)	15	51	46	21	8	20	11	27,5	12	0	0	32	51
Totaux (mm)	68,5	112	107,5	105,5	34,5	54	30	44	53,5	0	0	43	652,5
Jour du max	21	31	22	6	2	25	30	22	12	1	1	6	
Nbre jour pluv.	9	10	11	13	8	6	8	4	9	0	0	4	82
1998													
PJ max (mm)	31,5	11	56	8	23	10	17	24	21	6	0	1	56
Totaux (mm)	75	31	145,5	32,5	50,5	43	76	39	46	7	0	1	546,5
Jour du max	23	6	27	21	19	5	28	15	2	18	1	12	
Nbre jour pluv.	7	5	9	7	7	10	10	4	3	2	0	1	65
1999													
PJ max (mm)	23	2	18,5	42,5	18,5	4,5	11	10	100	33	0	14	100
Totaux (mm)	48	5,5	79	121	55	19	24,5	25	137	37,5	0	24,5	576
Jour du max	7	8	27	19	1	17	14	11	25	14	1	4	

PJ max (mm)	6	7	5	68	23	36	9	6	15	1,5	3	3	68
Totaux (mm)	10,5	10	16	139	104,5	74	25,5	17	39,5	2	3	5,5	446,5
Jour du max	30	23	30	13	3	23	11	26	4	19	6	8	
Nbre jour pluv.	4	4	4	15	15	11	8	7	8	2	1	3	82
2006													
PJ max (mm)	4	7	12	22	11	16	48	13	4	13	2	1	48
Totaux (mm)	12,5	14	31,5	79	34	49	189,5	57	11	19	3	1	500,5
Jour du max	15	4	13	7	30	18	11	14	1	3	1	31	
Nbre jour pluv.	5	5	5	8	6	8	18	13	4	3	2	1	78
2007													
PJ max (mm)	15	19	16	18	6	4	39	11	12	3	0	2	
Totaux (mm)	30	77	50	76	12	8	84	17	25	12	0	2	
Jour du max	22	30	1	29	17	14	31	1	3	23	0	25	
Nbre jour pluv.	6	9	8	12	3	2	10	4	2	1	0	1	
2008													
PJ max (mm)	32	18	15	25	32	9	16	11	12	7	2	1	
Totaux (mm)	45	62	56	82	92	22	34	18	24	13	3	1	
Jour du max	12	22	3	28	9	3	5	8	3	16	7	25	
Nbre jour pluv.	6	5	5	6	12	4	3	2	2	1	2	1	

PJ max (mm)	16,1	45,9	11,3	25,4	54,2	33,2	8,4	13	15,3	0	0,5	2,1	54,2
Totaux (mm)	30,1	117	32,4	89,8	180,6	127,9	23,8	54,9	36,7	0	0,5	3,6	697,3
Jour du max	29	5	24	29	20	1	30	20	11	1	9	16	
Nbre jour pluv.	3	10	9	10	15	11	5	8	9	0	1	3	84
2001													
PJ max (mm)	23	12,2	25,4	24,9	16	13,3	35,5	25,1	8	3,6	3,3	7,6	35,5
Totaux (mm)	54,6	15,9	73,3	61	45,4	45,1	110,8	58	11,8	3,6	6,5	16,5	502,5
Jour du max	27	27	29	16	16	7	17	21	7	8	14	10	
Nbre jour pluv.	10	2	14	9	9	4	11	7	4	1	3	6	80
2002													
PJ max (mm)	18,3	24,4	73,5	28,2	61,4	23,2	10,8	58,8	22,3	1,5	0	0	73,5
Totaux (mm)	45,5	43,9	261,7	148,8	307,7	99,1	27,2	160,1	43,6	1,5	0	0	1139,1
Jour du max	21	11	26	6	11	27	15	4	26	17	1	1	
Nbre jour pluv.	8	9	17	14	17	14	5	11	6	1	0	0	102
2003													
PJ max (mm)	20,5	24	8	74,9	45	4,8	16,8	16	16	57,7	0,8	0,5	74,9
Totaux (mm)	82,3	45	26,2	319,7	152,3	14,7	84	83,1	76,4	75,1	0,8	0,5	960,1
Jour du max	9	23	27	11	1	29	22	24	26	16	30	29	
Nbre jour pluv.	14	10	12	18	12	6	12	16	15	5	1	1	122
2004													
PJ max (mm)	24,2	16	73,2	49	33,3	21	16,9	66,1	5	5,3	15,8	12,8	73,2
Totaux (mm)	103,6	32,3	216,8	209	154	138,3	59,2	156	7	7,9	16,3	23,4	1123,8
Jour du max	18	31	13	29	19	8	8	9	6	17	10	29	
Nbre jour pluv.	11	5	15	20	14	20	8	9	4	4	2	6	118
2005													
PJ max (mm)	2,1	4	10,8	116	35	28	12,5	6,5	14,3	3	0	2,5	116
Totaux (mm)	4,4	11	55,3	207,7	152,4	106,8	53,1	24,3	20,9	3,9	0	3,4	643,2
Jour du max	12	13	24	13	3	5	12	29	4	29	1	9	

Nbre jour pluv.	5	5	12	16	17	9	10	9	4	3	0	3	93
2006													
PJ max (mm)	9	8,4	13,8		20,5	16,5	70,3	13,6	3,6	48,3	1,3	0,7	
Totaux (mm)	20,6	30	34,6		48,8	65,5	228,1	60,3	16,8	61,1	1,3	1,4	
Jour du max	14	5	22		31	26	11	15	4	3	1	20	
Nbre jour pluv.	5	6	7		8	13	22	15	6	5	1	2	
2007													
PJ max (mm)	13,4	42,3	12	27,5	12	11,6	35	17,7	32,6	3,3	1,4	0	42,3
Totaux (mm)	25,8	120,9	53,2	103,5	17,5	15,4	113,1	23	68,8	6,2	1,4	0	548,8
Jour du max	24	22	1	30	16	15	6	1	18	2	14	1	
Nbre jour pluv.	5	16	14	17	6	6	13	5	11	5	1	0	99
2008													
PJ max (mm)	17,5	13,8	24,2	18,6	40,5	13,5	22,6	70,2	140,5	0	2,4	5,7	140,5
Totaux (mm)	60,2	35,6	64,1	75,5	193,4	90,6	78,9	226,6	168,9	0	2,4	12,9	1009,1
Jour du max	13	31	16	2	12	24	4	11	15	1	9	26	
Nbre jour pluv.	10	10	6	13	18	19	11	17	4	0	1	7	116
2009													
PJ max (mm)	36,5	50,4	7,2	13,1	30,4	5,9	18,7	11,5		18,4	0,6	2,6	
Totaux (mm)	133,4	120,2	43,7	67,3	123,3	28,7	76,4	47,9		30,9	0,6	4,5	
Jour du max	18	10	5	19	15	9	9	17		14	23	16	
Nbre jour pluv.	12	15	10	11	17	13	11	11		7	1	3	

Code station : 120101
 Nom station : SOUK AHRAS SUBD.
 X : 967,25
 Y : 342,25
 Z : 590

Tableau de distribution interannuelle des précipitations mensuelles (mm)
Station : Souk Ahras
Période : 1988/89 – 2008/09

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	annuel
1988													
PJ max (mm)	14	2	21,3	22	9	39,6	13,3	20,3	4,4	8,3	0	21,2	
Totaux (mm)	30	2	71,7	129,1	17,1	76	55,9	72,1	8,9	17,2	0	49,3	
Jour du max	17	17	23	11	22	14	20	28	31	19	1	31	
Nbre jour pluv.	4	1	8	15	4	5	6	8	3	5	0	3	
1989													
PJ max (mm)	15,3	29,4	13,8	10	20,7	0	9,5	22,7	36,3	9,6	13,2	0	
Totaux (mm)	21,1	72,3	33,2	21,4	56,2	0	41,8	46,9	116,7	22,3	14,8	0	
Jour du max	16	9	6	1	12	1	25	29	11	15	16	1	
Nbre jour pluv.	2	5	3	4	10	0	7	9	7	4	2	0	
1990													
PJ max (mm)	10,1	16	37,8	30	30	19,4	51,5	32	22	0	0	0	51,5
Totaux (mm)	15,4	22	122,2	190,3	55,7	49,4	147,3	83,6	51,2	0	0	0	737,1
Jour du max	10	8	15	23	26	22	18	6	30	1	1	1	
Nbre jour pluv.	2	3	8	11	4	5	9	7	6	0	0	0	55
1991													
PJ max (mm)	14,5	26,3	30	8,2	16	32	17	49	72	4,3	0	9,5	72
Totaux (mm)	23,4	96,5	30	18,5	23,4	76	60,1	228,5	138,5	8,7	0	9,5	713,1
Jour du max	13	14	23	22	28	20	7	10	24	10	1	15	
Nbre jour pluv.	3	8	1	3	4	5	8	11	10	3	0	1	57

1992													
PJ max (mm)	0	3,5	39,9	27,3	20,2	7,6	18,4	18	28	12,3	0	6	39,9
Totaux (mm)	0	5,8	52,6	98,9	83,1	21,9	46,4	41,7	104,1	22	0	7,1	483,6
Jour du max	1	5	6	30	1	24	26	22	5	10	1	15	
Nbre jour pluv.	0	2	4	10	7	6	5	5	8	2	0	2	51
1993													
PJ max (mm)	7,3	2,3	3,9	13,3	20,5	34,7	3,5	8	6,7	5,3	5,5	3,2	
Totaux (mm)	9,3	2,3	5	39,3	56,9	74,3	3,5	26,7	6,7	5,3	5,5	5,3	
Jour du max	16	15	18	4	8	9	17	4	8	5	31	9	
Nbre jour pluv.	2	1	2	6	6	5	1	6	1	1	1	2	
1994													
PJ max (mm)	6	7,1	0	9,7	14,2	37	15,3	12,8	0	16,2	0	2,8	
Totaux (mm)	10,9	19,2	0	35,2	121,4	40,5	56,2	17,4	0	25,9	0	4,9	
Jour du max	27	23	1	21	7	26	13	28	1	7	1	3	
Nbre jour pluv.	3	5	0	6	12	2	7	2	0	3	0	3	
1995													
PJ max (mm)	22,5	11,6	16,3	13,7	11	44	13,7	25,2	24,6	4,2	3,9	4,6	44
Totaux (mm)	116,4	22	27,3	23,2	58,8	177,7	63,3	64,9	48,5	13,4	7,2	8,4	631,1
Jour du max	26	15	2	2	25	6	14	25	19	10	2	21	
Nbre jour pluv.	9	3	6	3	10	15	9	6	4	6	3	3	77
1996													
PJ max (mm)	23,8	3,7	3,7	6	14,7	6,9	38,1	29	12	36,7	17,5	25,7	38,1
Totaux (mm)	33	6,9	7,1	11,3	61	11,6	61,8	65,4	23,3	47	17,5	55,4	401,3
Jour du max	10	2	30	26	11	6	14	21	1	28	16	6	
Nbre jour pluv.	3	3	2	3	6	2	4	8	4	5	1	4	45
1997													
PJ max (mm)	16,7	13,9	42,5	22,6	25,3	3,5	19,8	18,6	6,3	11,1	0	20,4	42,5
Totaux (mm)	64,7	39,4	115,8	96	38,1	12,7	32,4	36	31,2	14,4	0	32	512,7

Jour du max	21	13	22	27	20	25	14	22	28	6	1	6	
Nbre jour pluv.	8	7	8	9	5	5	5	4	8	2	0	3	64
1998													
PJ max (mm)	22	26,3	45,5	23,4	23,9	11,3	14,7	7,6	8,8	6,6	26,9	16,6	45,5
Totaux (mm)	69,8	44,5	120,4	72,4	77,8	70,4	46,7	16,3	19,5	15,3	41,3	23,4	617,8
Jour du max	24	5	27	21	2	6	29	9	2	26	20	18	
Nbre jour pluv.	8	4	7	6	7	11	7	4	4	3	3	2	66
1999													
PJ max (mm)	18,9	2,7	9,2	39,5	4,4	4,2	3,3	11,7	65,3	37,9	0	4,6	65,3
Totaux (mm)	49,7	4,3	65,6	134,9	13,5	7,7	3,3	29,6	129,4	93,9	0	7,8	539,7
Jour du max	9	5	28	19	17	9	16	19	25	23	1	4	
Nbre jour pluv.	5	2	14	9	5	3	1	5	6	6	0	2	58
2000													
PJ max (mm)	1,3	16,4	3,6	10,5	57,2	23,5	19	28,2	48,9	0	0	11	57,2
Totaux (mm)	2,4	22,1	5,7	35,5	218,5	107	42,6	108	55,5	0	0	11	608,3
Jour du max	30	3	17	30	20	9	30	8	23	1	1	17	
Nbre jour pluv.	2	2	2	8	12	8	4	9	2	0	0	1	50
2001													
PJ max (mm)	43,3	46,6	9	6,8	8,8	6,7	6,5	15,3	10,1	6,9	26,1	48,7	48,7
Totaux (mm)	83,9	54,3	20,4	13,3	20,3	18,2	14	48,1	18,9	6,9	60,2	136,7	495,2
Jour du max	29	7	9	27	9	7	9	21	11	8	14	26	
Nbre jour pluv.	6	2	4	3	4	4	4	7	2	1	4	7	48
2002													
PJ max (mm)	8,8	3,9	42,3	35	53,6	18,1	6,7	28	15,3	1,7	0	0	53,6
Totaux (mm)	23,1	7,2	141	166,5	298,6	58,3	21,1	61,4	25,2	3	0	0	805,4
Jour du max	2	3	26	1	24	1	30	3	17	12	1	1	
Nbre jour pluv.	3	2	13	12	15	7	6	7	3	4	0	0	72

2003													
PJ max (mm)	8,7	9,8	6,2	90,5	32	0	16,4	8,6	33,4	25,3	0	6,6	90,5
Totaux (mm)	19,5	18,6	12,8	256,5	121,1	0	54,7	22,8	108	82,2	0	6,6	702,8
Jour du max	23	7	1	11	2	1	25	23	26	16	1	28	
Nbre jour pluv.	4	2	4	12	5	0	4	3	9	6	0	1	50
2004													
PJ max (mm)	38,8	29,8	53,7	55,6	56	41,9	15,6	32	5,5	39,2	4,4	6,5	56
Totaux (mm)	48,8	34,4	147,7	196	72,9	173,7	46,8	88,4	5,5	51,8	9,1	6,5	881,6
Jour du max	18	31	13	29	19	15	7	9	5	18	30	20	
Nbre jour pluv.	5	2	6	11	7	12	5	5	1	4	3	1	62
2005													
PJ max (mm)	2,1	1,3	31,3	60,8	35,5	14,2	21,7	6,6	14,6	0	8,7	5,7	60,8
Totaux (mm)	4	3,3	41,9	108,7	137,7	46,7	43,3	11,5	33,4	0	8,7	8,8	448
Jour du max	29	29	24	13	3	23	6	24	11	1	16	9	
Nbre jour pluv.	3	3	5	7	13	6	4	2	6	0	1	2	52
2006													
PJ max (mm)	4,6	16,4	15,1	42	14,8	29,7	18,3	19,8	12,3	15,7	0	5	42
Totaux (mm)	8,3	44,8	20,4	91,1	23,6	74,1	125,8	51,2	25,9	29,4	0	7	501,6
Jour du max	14	13	22	7	30	9	9	2	7	3	1	12	
Nbre jour pluv.	2	5	3	7	5	8	13	7	5	4	0	2	61
2007													
PJ max (mm)	7,9	27,7	8,6	19	13,7	0,9	29,4	25,2	21,2	5,6	2,3	13,2	29,4
Totaux (mm)	11,3	76,1	31,3	78,7	23,3	2,1	93,1	34,2	79,7	19	4,1	19	471,9
Jour du max	22	21	16	11	16	7	31	1	18	4	1	27	
Nbre jour pluv.	2	10	10	13	5	3	15	6	12	5	3	3	87
2008													
PJ max (mm)	10,2	21,5	23,9	18,4	30,6	17,5	23,4	55,9	35,7	0	2,3	10,8	55,9
Totaux (mm)	42,2	31,6	35,1	75,9	144,5	102,2	69,5	162,7	63	0	2,3	24,4	753,4

Température mensuelle : (C°)

Station : Azzaba

Période 1990-2008

	1990		1991		1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999	
MOIS	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Janv	4,6	14,3	5,8	15,3	4,4	14,1	4,4	14,4	7	14,7	6	13,2	8,6	16,6	6,7	15,3	3,1	15	3,9	13,7
Fév	5,8	13,8	6	14,8	5,2	16,1	5,2	13,2	7,9	17,7	9,6	19,6	6,9	12,9	6,1	17,1	6,2	16,3	3,5	14,7
Mars	10,2	10,7	10,8	19	11	17,4	9,7	17,2	11,9	20,9	10,4	18,1	10,7	18,7	8	17,7	7,7	18	8	18,1
Avr	14,4	20,8	13,6	19,5	14,5	20,4	13,9	22,1	12,9	19,2	13,4	20,7	11,7	19,8	12,1	19,9	11,1	22,2	11,9	21,9
Mai	17,4	24,3	18	23,4	19,2	24,6	20,8	26,9	22,1	31	19,7	28,5	17,5	25,8	21,1	28,4	15	23	19	28,6
Juin	21,6	27,3	23,3	30,5	23,6	29,4	23,9	30,4	25,2	31,4	23,4	31,3	20,9	28,1	25,2	32,6	23,1	33	21,8	31,6
Juil	25,6	36	28,3	36,8	25,2	32,7	26,6	34,2	29,1	37,5	25,4	35,1	22,9	34,4	23,2	36,3	25,6	37,3	23,8	37
Août	27,4	30	28	35,7	28	37,5	26,7	35,5	30,1	40,1	24,1	33	25,4	34,2	24,4	34,2	24,3	34,2	24,7	38,4
Sep	26,9	34,2	22,5	32,5	24,3	33	23,4	31,3	24,5	32,9	20,7	28,7	19,2	27,4	20,4	27,6	21,3	29,6	21,5	30,8
Oct.	22	28,8	16,5	24,9	17,9	27,4	18,5	27,6	17,2	25,2	16,5	25,4	14,3	23,1	17	24,6	13,9	20,5	16,5	27,6
Novem	13,9	20,4	11,3	20,4	11	22,2	11,2	20,1	12,1	23,1	11,2	19,8	10,9	20,1	11,2	18,3	8,1	16,5	9,2	17,1
Déc	6,6	13,3	5,9	14,9	6,4	16,1	7,3	16,5	7,4	16,5	8,1	16,9	7,7	16,7	6,9	15	4,6	12,9	5,1	16

	2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008	
MOIS	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
janv	0,5	11,1	4	14,1	2,4	15	1	7,6	6,8	16,1	3,9	14,4	3,6	11,5	3,3	16,1	1,4	14,4
Fév	3,4	16,2	3	14,9	4,2	16,8	0	8,2	6,9	19,7	4,8	13,1	4,1	14,9	5,1	15,5	2,8	11,9
Mars	8	20	12,4	24	8	20	2,7	12,2	8,6	2,5	9,7	21,2	8,5	19,7	7,2	14,8	5,3	16,7
Avr	13,2	22,7	9,6	20,7	11,2	22,7	5,8	14,3	13,3	22,5	13,9	21,5	14,3	23,9	11,4	19,5	10,7	21,8
Mai	17,1	27,6	12,9	25,4	15,6	27,4	9,5	19	15,6	24,8	18,3	29,5	18,2	29,1	16,1	24,6	10,7	21,8
Juin	189,7	30,4	19,2	33,5	21,6	34,2	17,1	30	19,8	31,2	21,1	32,7	22,9	33,4	20,7	29,9		
Juil	20,8	36,8	18	37,4	23	35,7	23,1	36,3	23,5	36,1	24,2	36,2	24,7	35,7	22,3	34,7		
Août	21,7	35,9	17	35,8	22,9	33,8	23,7	38,4	24	37,9	23,2	33,8	22,5	33	22	33,7		
Sep	18,1	30,9	16,7	28,4	18	29	19,1	29,8	19,5	31,9	19,6	30,4	18,2	28,3	28,8	19,4		
Oct.	13	22,9	15,5	28,2	9,3	22,9	16,9	26,1	15,5	30,4	15,5	27,3	15,2	28,8	21,8	13,4		
Aout	8	19,8	8	17,3	4	12,8	10,3	20,7	9,2	18,2	9,7	2,5	8,3	20,4	16,1	6,3		
Déc	3,4	16	4	12,6	1,5	10,2	6,6	15,9	7,4	16,3	4,9	14	4,2	14	11,9	3,7		



Station thermale de Hammam Beni Saleh El Tarf (E₃₃)



Emergence E₃₂ (Hammam Beni Saleh, El Tarf)



Emergence E₂₉ (Hammam Sidi Trad, El Tarf)



Emergence E₃₀ (Hammam Sidi Trad, El Tarf)



Station thermale de Hammam Zattot El Tarf (E₃₄)



Station thermale de Hammam Sidi Djallah El Tarf (E₂₈)