

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers
Filière : Géologie
Spécialité/Option : Hydrogéologie et Géothermie
Département : Sciences de la Nature et de la Vie

Thème

Caractérisation hydrochimique de quelques sources thermales de la wilaya de Guelma nord-est ALGERIEN

Présenté par :

- KHITER Fares

Devant le jury :

Nom et prénom	Qualité	Grade	Université
NOUAR Taher	Président	Pr	Université de Guelma
KACHI Nora	Examinatrice	MCB	Université de Guelma
GHRIB Lassaad	Encadreur	MCA	Université de Guelma

Juin 2018

Dédicace

Je dédie ce modeste travail : A mes très chers parents, que dieu les garde et les protège pour leurs soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

A ma famille notamment

Mes frères : Mourad, Nacer, Akli , et Hamza .

Mes sœurs : Khoukha et Naima et leurs enfants (Celia, Abdo, Louinis, Waid, Jbtisam), Lynda,

A mes amis :

Hcene, Anter ; Ghilas, Aziz, Nabil, Nourdin, Brahim,

Hichem Marwan , Nassim , Lotfi, Obaida ,la moto

A tous les amis (es) d'études surtout ceux de ma

promotion : Hydrogéologie et géothermie

REMERCIEMENTS

Avant tous, Nous remercions en premier lieu notre Dieu qui nous a donné le courage et la patience pour réaliser ce travail.

Je voudrais tout d'abord exprimer un très chaleureux remerciement à : Monsieur GHRIEB Lassaad, mon encadreur, qui m'a guidé et suivi tout au long de ce travail. Ses critiques fructueuses ont été pour moi, une source d'enrichissement. Son aide et sa disponibilité m'a permis d'avancer dans le travail et de finaliser cette étude.

J'adresse également mes vifs remerciements à :

Monsieur NOUAR Taher qui m'a fait l'honneur de présider ce jury

Madame KACHI Nora Qui a accepté de faire partie du jury et d'examiner ce travail.

Mes vifs remerciements s'adressent au corps des enseignants des sciences de la terre du département, pour le soutien et les conseils avisés qu'ils ont su me donner tout au long de ma formation de master.

Merci à mes chers parents, ma famille et à tous mes proches pour leur patience et soutien de tous les jours.

A mes collègues et camarades de la promotion 2017/2018, qui m'ont accordé une partie de leur temps précieux lors de la préparation de ce mémoire.

A tous ceux que je n'ai pas pu citer, qu'ils m'accordent toute leur indulgence.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire.

Résumé

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

Le présent travail porte sur la caractérisation des paramètres physicochimiques des eaux de quelques sources de la région de Guelma située à l'Est Algérien.

La région d'étude fait partie de l'édifice structural de la chaîne des magrébides, son climat est de type subhumide. D'après la carte de néotectonique ces sources émergent, dans l'ensemble, à la faveur des grands accidents tectoniques.

L'analyse physico-chimique des eaux thermales prélevées a été faite en s'appuyant sur plusieurs paramètres, notamment ; la conductivité électrique ; la température ; le pH ; et les éléments majeurs.

Les résultats obtenus sur les différentes sources hydrothermales de la zone d'étude, d'après le diagramme de Piper, Stabler Schoeller– Berkaloff, ont révélé un faciès chimique : bicarbonaté sodique, sulfaté calcique, chloruré sodique et sulfaté sodique.

L'étude de l'indice de saturation a montré une sous saturation par rapport aux éléments évaporitiques et carbonatés.

L'indice d'échange de base a révélé une origine cristalline pour toutes les eaux de sources thermales sauf pour celle de la source de Hammam Guerfa, qui est d'origine sédimentaire.

Mots clés : Sources thermales, faciès chimiques, Indices de Saturations, physico-chimie, température.

ملخص

منذ القديم، اهتم الإنسان كثيرا بالمياه الساخنة التي تدفقت من باطن الأرض. يتعلق هذا العمل بتوصيف الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه بعض الحمامات المعدنية في منطقة قالمة، شرق الجزائر. تعد منطقة الدراسة جزءاً من البنية الهيكلية لسلسلة المغاربية، ومناخها من النوع شبه الرطب. من خلال الخريطة النيوتكتونية، فان هذه المياه تتبع، بشكل عام، وفقا للحوادث التكتونية الكبيرة. شملت هذه الدراسة العناصر الفيزيائية والكيميائية لمياه الينابيع الحرارية، وعلى وجه الخصوص الموصلية الكهربائية، الحرارة، درجة الحموضة والعناصر الرئيسية. أظهرت نتائج دراسة مياه هذه الينابيع، وفقا لمخطط بيير، ستابلر، شولر وبيركالوف، أن السحنة الكيميائية السائدة هي: بيكربونات الصوديوم، كبريتات الكالسيوم، كلوريد الصوديوم وكبريتات الصوديوم. وقد بينت هذه الدراسة، من جهة أخرى، فيما يخص مؤشر التشبع أن هناك نقص في التشبع بالنسبة لعناصر التبخر والكاربونات. كشفت نتائج مؤشر التبادل القاعدي بأن مياه كل هذه الينابيع هي من أصل بلوري باستثناء مياه حمام قرفة فهو من أصل رسوبي.

الكلمات المفتاحية: الينابيع الحرارية، مؤشر التشبع، مؤشر التبادل القاعدي، العناصر الفيزيائية والكيميائية، درجة الحرارة، السحنة الكيميائية

Abstract :

For a long time, man was interested in hot springs that emerged from the ground.

The present work concerns the characterization of the physicochemical parameters of the waters of some hot springs in the region of Guelma located in the East of Algeria.

The region of Guelma is part of the structural edifice of the Maghrebide chain. Its climate is of the subhumid type.

According to the Neotectonic map, these springs emerges, in general, in favor of great tectonic accidents.

The analysis of physical and chemical element of waters in these hot springs concerned several parameters, In particular, the electric conductivity, the temperature, the potential hydrogen, and the major elements.

The obtained results on the various hydrothermal springs in the zone of study, according to the diagram of Piper, Stabler, and Schoeller - Berkaloff, revealed a several chemical facies: bicarbonate- sodium, calcium-sulphate, chlorinated-sodium and sodium-sulphate

The study of saturation index showed an under saturation concerning the evaporitic and carbonated elements.

The Base Exchange index showed a crystalline origin for all the waters of thermal springs except the spring of Hammam Guerfa, which is of sedimentary origin.

Keywords: thermal springs, chemical facies, Saturations index, physical and chemical element, temperature.

Sommaire

Résumé.....	
ملخص.....	
Abstract	
Introduction général	1

Chapitre I: Cadre générale de la zone d'étude

1. Cadre géographique	3
2. Géomorphologie générale	3
a. Montagnes	4
3. Contexte socio-économique.....	4
4. Situation géographique des sources thermales de la région d'étude	5
4.1. Source thermale de Hammam Belhachani.....	5
4.2. Source thermale de Hammam Guerfa	5
4.3. Source thermal de Hammam N'Baïls	6
4.4. Source thermale de Hammam Ouled Ali	7
4.5. Source thermale de Hammam Meskhoutine.....	8
5. Généralités sur les eaux thermominérales.....	8
5.1. Les deux types d'eaux thermales fréquentes	10
5.2. Classification des eaux de sources.....	11
a. Eaux chaudes des nappes profondes	11
b. Eaux chaudes, riches en silice, parfois en Radon.....	11
c. Eaux chaudes thermo tectonique	11
6. Caractéristiques physico –chimiques des eaux à leur remontée	11
a. Le refroidissement	11
b. Le mélange avec les eaux de surface (effet de dilution)	12
c. La recharge ou la perte en gaz (O ₂ , CO ₂ ...)	12
d. La baisse de pression :	12
6.1. La thermalité.....	12
6.1.1. Les causes de la thermalité	13
a. Les réactions chimiques exothermiques	13
b. La désintégration des minéraux radioactifs	14
c. Le gradient géothermique.....	14
d. Les mouvements de l'écorce terrestre.....	14
7. Origines de l'eau thermale, la question de l'origine juvénile	15
8. Les thermosiphons.....	15

Chapitre II : Caractéristiques hydro climatologiques

1. Introduction	17
2. Analyse des données climatiques	17
2.1. Les précipitations	17

2.1.1. Répartition des précipitations annuelles	17
2.1.2. Répartition des précipitations mensuelles	19
2.1.3. Répartition saisonnière des précipitations	20
3. Les températures	21
3.1. Les températures moyennes mensuelles	21
3.2. Diagramme pluviothermique	22
4. Le bilan hydrique	23
4.1. L'évapotranspiration	23
4.1.1. Évapotranspiration potentielle (ETP)	23
4.1.2. Évapotranspiration réelle (ETR)	24
4.2. Représentation graphique du bilan	25
4.3. Le ruissellement	26
4.4. L'infiltration	27
5. Hydrologie	27
6. Conclusion	28

Chapitre III : Cadre géologique de la zone d'étude

1. Introduction	29
2. Les grands domaines géologiques de l'Algérie	29
2.1. Au Nord, l'Atlas Tellien (ou le Tell)	29
2.2. L'Atlas saharien	29
3. Les grands domaines géologiques de l'Algérie du nord	29
3.1. Domaine Interne	31
3.2. Le Domaine des Flyschs	31
3.3. Le domaine externe	32
4. Différentes unités structurales	32
4.1. Description des terrains sédimentaires	32
4.1.1. Les formations quaternaires récentes	32
4.1.2. Les formations quaternaires anciennes	33
4.1.2.1. Mio-pliocène continental lacustre	33
a) Les calcaires lacustres	33
b) La molasse de Guelma	33
4.2. Les unités lithostructurales	33
4.2.1. L'unité ultra-tellienne :(J.M.VILLA.1972)	33
4.2.2. L'unité tellienne	34
a. L'unité tellienne Globirigines	35
b. L'unités tellienne à Nummulite au sud Djebel Bardou	35
c. L'unité Néritique constantinoise	35
4.2.3. La nappe néritique constantinoise	34
4.2.3.1. A l'Est de Djebel Debar	35
a. Les niveaux siliceux	35
b. Les calcaires massifs organo-détritiques	35
c. Les dolomies noires:	35

4.2.3.2 A Hammam Ouled Ali	35
4.2.3.3. Au Douar Bouzitoune-Heliopolis.....	36
4.2.3.4. A la station Nador.....	36
4.3. Aperçu paléogéographique et structural.....	36
4.3.1. La phase orogénique responsable de la mise en place des nappes	36
4.3.2. La phase post-miocène inférieur.....	36
4.4. Domaine des nappes	37
4.4.1. Nappe Numidienne	37
4.4.2 Les flyschs.....	37
a. Les grés du crétacé inférieur	37
b. Complexe de base :	37
4.4.3. Nappe telliennes	37
4.4.4. Nappe ultra-telliennes	37
4.4.4.1. Djebel Bou Sbaa	37
4.4.4.2. Hammam Ouled Ali	38
5. Tectonique de la région de Guelma	38
A) Les plis.....	38
B) Contacts anormaux.....	39
C) Discordances	40
6. Conditions géologiques d'émergences	40
6.1. Les sources thermales de Guelma.....	40
6.1.1. Source thermale de Hammam Guerfa.....	40
6.1.2. Source thermale de Hammam Belhachani	40
6.1.3. Source thermale de Hammam N'Baïls	41
6.1.4. Source thermale de Hammam Ouled Ali.....	42
6.1.5. Source thermale de Hammam Meskhoutine	43
7. Conclusion.....	44

Chapitre IV : Aperçu hydrogéologique

1. Introduction	46
2. Classification des formations géologiques selon leurs intérêts Hydrogéologiques.....	46
3. Contexte hydrogéologique	47
3.1. Formations aquifères du Mio-plio-quadernaire	47
3.2. Formations aquifères de l'Eocène supérieur	47
3.3. Formations aquifères du Jurassique.....	47
3.4. Le Trias.....	47
3.5. Le paléocène	48
3.6. Le Paléogène inférieur.....	48
3.7. Le Paléogène moyen.....	48
4. Alimentation des aquifères.....	48
5. Conclusion.....	50

Chapitre V : Etude hydrochimique

1. Introduction	51
2. Matériels et Méthodes.....	51
3. Résultats et discussions	52
3.1. Classification chimique des eau	52
A. Diagramme de Piper.....	53
B. Diagramme de Schoeller – Berkaloff.....	54
C. La classification de Stabler.....	55
3.2. Etude des paramètres physico-chimique des eaux thermo minérales	56
3.2.1. Etude des paramètres physiques	56
a. La température de l'eau	56
b. Le potentiel Hydrogène (pH).....	56
c. La conductivité électrique	56
3.2.2. Etude des paramètres chimiques.....	57
a. Le Calcium (Ca ⁺⁺).....	57
b. Le Magnésium (Mg ⁺⁺)	58
c. Le Sodium et le Potassium (Na ⁺ + K ⁺)	59
d. Les Sulfates (SO ₄ ⁻⁻).....	59
e. Les Chlorures (Cl ⁻).....	60
f. Les Bicarbonates : HCO ₃ ⁻	61
3.3. Rapports caractéristiques	62
A. Rapport r Mg ⁺⁺ /r Ca ⁺⁺	62
B. Rapport r SO ₄ ⁻⁻ /r Cl ⁻	63
C. Rapport r (Na ⁺⁺ K ⁺)/r Cl ⁻	63
3.4. Essais d'évaluation des températures en profondeur à l'aide des géothermomètres Chimiques.....	63
3.4.1. Le géothermomètre Silice (SiO ₂), T1	64
3.4.2. Le géothermomètre (Na – K – Ca), T2	64
3.5. Etude des valeurs relatives	65
3.5.1. Indice d'échange de base (i.e.b)	65
3.6. Indice de saturation.....	66
3.6.1. Evolution des valeurs de l'indice de saturation dans les eaux de la région	66
a. L'anhydrite (Ca SO ₄).....	66
b. Le gypse (Ca SO ₄ -2H ₂ O).....	67
c. L'Halite (NaCl).....	68
d. Minéraux carbonatés.....	68
3.7. La méthode D'IIRG.....	68

4. Conclusion.....	71
--------------------	----

Conclusion générale.....	
--------------------------	--

Bibliographie.....	
--------------------	--

LISTE DES FIGURES

N°	Liste de la figure	Page
1	Situation géographique de la zone d'études thermosiphons.....	3
2	Géomorphologie de la zone d'étude (boussis, 2009).....	4
3	Coupe d'un prototype géothermal (d'après U.S Géological Survey).....	13
4	Les systèmes hydrothermaux (VINCENT VALLES, 2002).....	16
5	Variations des précipitations annuelles (en mm) pour la station de Guelma (1992/2017)	19
6	Variabilité des précipitations moyennes mensuelles(en mm) à la station de Guelma. (1992/2017)	20
7	Pourcentage saisonniers des précipitations pour la station de Guelma (1992/2017)	21
8	Températures moyennes mensuelles à la station de Guelma (1992/2017).....	22
9	Diagramme pluviothermique à la station de Guelma (1992/2017).....	23
10	Représentation graphique du bilan de Thornthwaite.....	26
11a	Structure générale des Maghrebides.	30
11b	Coupe schématique N-S montrant les différents domaines géologiques de l'Algérie. (H.Haddoum, 2015).	30
11c	Coupe schématique N-S de la partie centrale du domaine tellien. (Durand-Delga et al. 1969 ; modifiée par Aïte, 1994 ; redessinée par Haddoum, 2015	31
12	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.	41
13	Carte géologique de la source thermale du Hammam N'Bil (Guelma), (d'aprèsJ.M.Vila, 1980).	42
14	Carte géologique de la source thermale du Hammam Ouled Ali (Guelma) (D'aprèsJ.M.Vila, 1980). Source : Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien, H.Dib.	43
15	Carte géologique de la source thermale du Hammam Ouled Ali (Guelma) (D'aprèsJ.M.Vila, 1980). Source : Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien)	44

16	Coupe géologique AA.....	49
17	Coupe géologique BB.....	49
18	Points de prélèvement dans les sources thermales de la zone d'étude Guelma (Mai 2017)	52
19	Représentation graphique des faciès chimiques Diagramme de Piper (Sources thermales de Guelma, Mai 2017)	53
20	Représentation graphique des faciès chimiques Diagramme de Schoeller – Berkaloff (Sources thermales de Guelma, Mai 2017).	54
21	Représentation graphique des faciès chimique Diagramme de Stabler..... (Sources thermales de Guelma, Mai2017).....	55
22	Variations des teneurs Ca ⁺⁺ (en mg/L) de la zone d'étude (Guelma, Mai 2017).....	58
23	Variations des teneurs Mg ⁺⁺ (en mg/L) de la zone d'étude (Guelma).....	58
24	. Variations des teneurs (Na ⁺⁺ K ⁺) en mg/L) de la zone d'étude (Guelma, Mai 2017)...	59
25	Variations des teneurs SO ₄ ²⁻ (en mg/L) de la zone d'étude (Guelma, Mai 2017).....	60
26	Variations des teneurs Cl ⁻ (en mg/L) de la zone d'étude (Guelma, Mai 2017).....	61
27	Variations des teneurs HCO ₃ (en mg/L) de la zone d'étude (Guelma, Mai 2017).....	62
28	Évolution de température en profondeur à l'aide des Géothermomètres Chimiques...	65
29	Évolution des indices de saturation dans les eaux de sources thermales (Guelma, Mai 2017).....	67
30	Diagramme de l'Institut international des recherches géothermiques de référence.....	69
31	Diagramme de l'Institut international des recherches géothermiques appliqué aux eaux thermales des sources de la région de Guelma	70

N°	liste des tableaux	page
1	Caractéristiques géographiques et topographiques de la station de Guelma	17
2	Précipitations annuelles (mm) et coefficients pluviométriques de la station de Guelma (1992/2017)...	18
3	Précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma (1992/2017).....	19
4	Régime saisonnier des précipitations pour la station de Guelma (1992/2017).....	20
5	Les températures moyennes mensuelles à la station de Guelma (1992/2017).....	21
6	Le bilan hydrologique selon la méthode de C.W Thornthwaite à la station de Guelma.....	25
7	Détermination des paramètres de la formule du bilan.....	27
8	Désignation des points de prélèvement.....	52
9	Eléments dominant d'après la classification de Stabler (Sources thermales de Guelma, Mai 2017).....	55
10	Rapports caractéristiques des sources thermales da la zone d'étude.....	63
11	Evaluation de température en profondeur à l'aide des géothermomètres Chimiques.....	64
12	Indice d'échange de base (i.e.b).....	66
13	Indice de saturation des minéraux dissous dans les eaux des sources thermales (Guelma, Mai 2017)	67df
14	Les Six paramètres (A, B, C, D, E et F), pour la détermination de la nature lithologique du réservoir des eaux thermales.....	70

INTRODUCTION GENERAL

Les eaux chaudes ont toujours intéressé les êtres humains, pour leurs effets thérapeutiques.

Le thermalisme en Algérie a un passé lointain, bien avant les romains qui ont construit les bains thermaux. Les premières études scientifiques ont vu le jour vers les années 1940 avec Simone Gigue. Au court du temps d'autres études ont étaient élaborées du point de vu chimique, hydrogéologique et thérapeutique.

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)

La minéralisation des eaux est déterminée surtout par la nature chimique et minéralogique des sédiments qu'elles traversent. Les sources thermales les plus minéralisées sont en relation directe avec les sédiments traversés.

Ce travail porte sur la caractérisation hydrochimique des eaux de quelques sources thermales de la région de Guelma (Hammam meskhoutine, Hammam Geurfa ,Ouledali, Belhachani et N'bail).

A cet effet nous avons devisé ce mémoire en cinq chapitres :

- ❖ Le premier chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude, la situation géographique, où on a présenté les différentes sources hydrothermales de la zone d'étude.
- ❖ Le deuxième chapitre est réservé au cadre géologique du site avec une description générale des différentes unités structurales et formations présentées ainsi que les conditions géologiques d'émergences des sources thermales dans la région d'étude.
- ❖ Le troisième chapitre traite la partie hydroclimatologique. Elle explicite l'approche utilisée pour la détermination des caractéristiques hydroclimatologiques et d'évaluer les différents termes du bilan hydrique ; renseignements indispensables et utiles à l'étude hydrologique.
- ❖ Le quatrième chapitre est consacré à l'étude hydrogéologique, en déterminant les différents aquifères relatifs aux sources thermales dans la zone d'étude

❖ Le cinquième chapitre concerne l'hydrochimie, elle constitue une partie clé de ce travail dans laquelle on va déterminer :

- La répartition quantitative des éléments majeurs
- Les principaux faciès chimiques des eaux
- La qualité de l'eau rencontrée

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

1. Cadre géographique

La Wilaya de Guelma se situe au Nord-Est du pays **Figure 1** et constitue, du point de vue géographique, un point de rencontre, voire un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum El Bouaghi et Tébessa). Elle occupe une position médiane entre le Nord du pays, les Hauts plateaux et le Sud. (Boussis. A, 2009). Elle est limitrophe aux Wilayas de:

- Annaba, au Nord,
- El Taref, au Nord-est,
- Souk Ahras, à l'Est, - Oum El-Bouaghi, au Sud,
- Constantine, à l'Ouest, - Skikda, au Nord-ouest

La zone d'étude, réparties sur quatre communes à savoir : Héliopolis, Ain Larbi, Debagh et Hammam N'baïl est constituée de cinq sources hydrothermales (Figure 1).

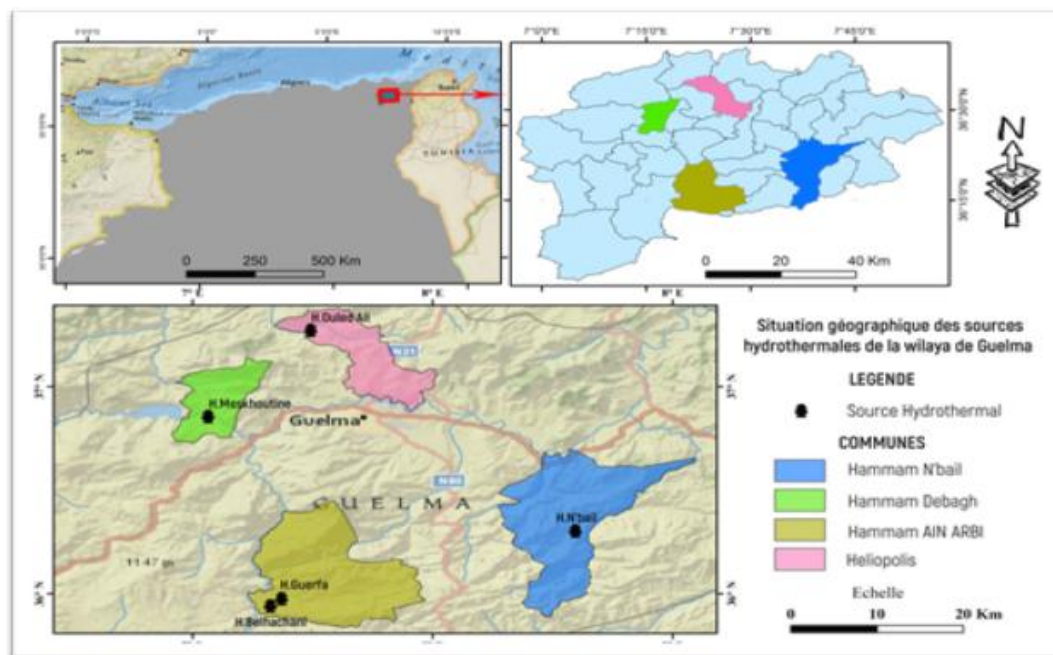


Figure 1. Situation géographique de la zone d'étude

2. Géomorphologie générale

La géographie de la Wilaya se caractérise par un relief diversifié dont on retient essentiellement une couverture forestière importante et le passage de la Seybouse qui constitue le principal cours d'eau. **Figure 2**

Ce relief se décompose comme suit :

a. Montagnes : 37,82 % dont les principales sont :

- 1 – Mahouna (Ben Djerrah) : 1411m d'altitude
- 2 – Houara (Ain Ben Beidha) : 1292m d'altitude
- 3 – Taya (Bouhamdane) : 1208m d'altitude
- 4 – D'bagh (Hammam Debagh): 1060m d'altitude

b. Plaines et Plateaux: 27,22 %

c. Collines et Piémonts : 26,29 %

d. Autres : 8,67 %

e. Cours d'eau : le passage de l'Oued Seybouse qui constitue le principal cours d'eau et draine une superficie de 6471 km² pour se jeter dans la méditerranée. (A.B.H. 2005, in Benmarce, 2007).

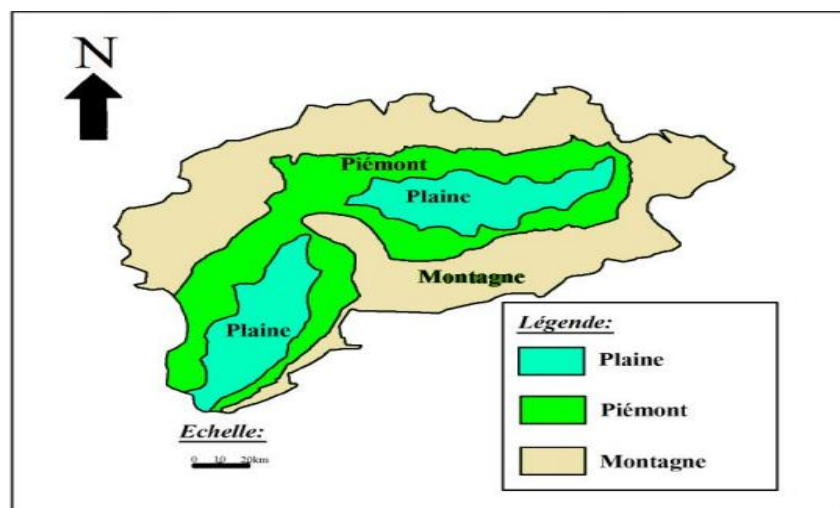


Figure 2. Géomorphologie de la zone d'étude

3. Contexte socio-économique

Les lieux d'habitation sont concentrés dans la commune du chef-lieu de la wilaya de Guelma mais aussi dans les centres comme Héliopolis, Belkheiret Dahouara ...

- ✓ Guelma: 108734 habitants,
- ✓ Héliopolis 19691 habitants,
- ✓ Belkheir : 11843 habitants,
- ✓ Dahouara : 7889 habitants,
- ✓ Oued. Zenati :32 870 habitants,
- ✓ Bouchegouf :25 443 habitants,

La population de la wilaya de Guelma est 157334 habitants (mairie.fr/ville-guelma.html). La plaine de Guelma est une région à vocation agricole connue par les cultures de céréales, de tomates, pomme de terre et des agrumes. On signale aussi l'importance de l'élevage de bétails et de volailles. L'activité industrielle se développe progressivement, plusieurs unités industrielles ont été implantées à titre d'exemple :

La sucrerie, unité de la céramique, SONACOME, les unités laitières de Guelma, unité de fabrication des pâtes et conserverie de tomate industrielle. En plus, du nombre intéressant de mines et carrières comme celle du kaolin du Djebel Debagh et celle du marbre de la Mahouna utilisé par l'unité de carrières L'ENAMARBRE de Boumahra Ahmed.

Guelma et sa région disposent d'un parc hôtelier important, constitué d'hôtels et de complexes thermaux (Hammam Debagh et Ouled Ali et complexe de hammam Belhanachi en cours de réalisation). (Chebouba et al. 2013)

4.Situation géographique des sources thermales de la région d'étude

4.1. Source thermale de Hammam Belhachani

La source thermale du Hammam Belhachani est située au Sud de Guelma, à 10 km d'AïnMakhlouf et à 10 km d'Aïn El Arbi. Cette source se trouve dans une Mechta à 2 km à droite de la route AïnMekhlouf– AïnEl Arbi.

➤ 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)

4.2. Source thermale de Hammam Guerfa

Le Hammam Guerfa est situé à 37 km au Sud de Guelma, sur la route AïnMekhlouf–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.

➤ **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*)

4.3. Source thermal de Hammam N'Baïls

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.

4.4. Source thermale de Hammam Ouled Ali

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)

4.5. Source thermale de Hammam Meskhoutine

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 côté 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 thermale et irrigation.

➤ **Régime**

- Débit constant et permanent;
- Le débit mesuré dans ChebatAïoun est égal à 70 l/s (selon ANRH d'Annaba, 1969);
- 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)

5. Généralités sur les eaux thermominérales

✓ **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.

✓ 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 en

"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.

Si 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 dotée de propriétés thérapeutiques".

On distingue eau minérale et eau minéralisées' 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.

✓ Eau thermale

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

On peut également la définir ainsi :

Une eau thermale est une eau d'origine souterraine naturellement chaude à son émergence, dotée de propriétés thérapeutiques et utilisée dans un établissement thermal,(thermes).

✓ 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.

5.1. Les deux types d'eaux thermales fréquentes

A. Les eaux carbogazeuses : Ce 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.

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.

5.2. Classification des eaux de sources

Les eaux algériennes sont réparties en trois classes:

a. Eaux chaudes des nappes profondes : ce sont des eaux sans caractères particuliers, qui, lorsqu'elles émergent, présentent :

- Une température liée à la profondeur de l'aquifère.
- « Des circuits liés à des systèmes de failles inactives ».

b. Eaux chaudes, riches en silice, parfois en Radon

Liées à un volcanisme ou à un plutonisme récent, ces eaux, bien représentées en Sicile Italie le sont moins en Algérie où l'on ne peut qu'accepter l'hypothèse de leur présence sur des données chimiques, mais sans preuve formelle de leur existence.

c. Eaux chaudes thermo tectoniques

« Liées aux zones de déformations actives » et paraissant se regrouper pour constituer des bandes thermiques d'extension et de largeurs variables et d'orientations générale N115° à N 140° E

6. 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 varie avec la température, les solutions peuvent se trouver sursaturées par rapport à certaines espèces minérales et précipiter, ce qui affecte leur teneur en éléments dissous.

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

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

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

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

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

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

6.1. La thermalité

Selon **Léon Moret**, une source thermo minérales 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 thermo minérales, 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) Figure.3 .

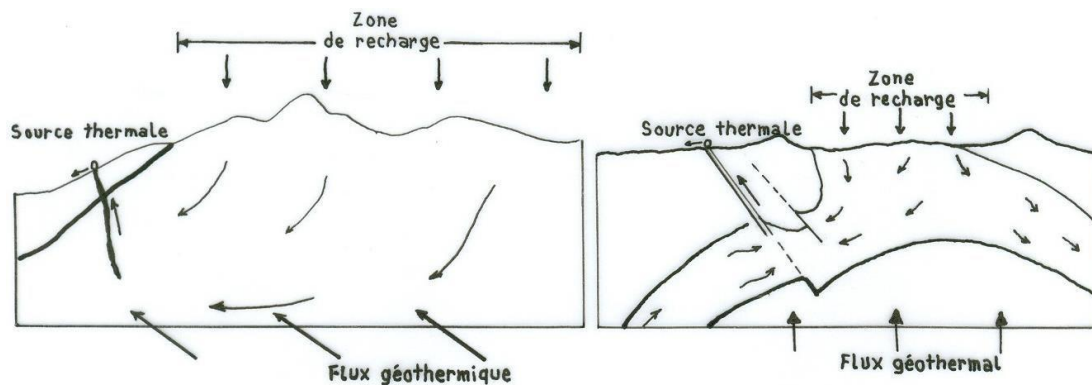


Figure.3. Coupe d'un prototype géothermal (d'après U.S Géological Survey).

Pierre Verdeil donne, 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.

6.1.1. Les causes de la thermalité

La température parfois élevée des eaux thermo minérales 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 va doses voisins.

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

b. La désintégration des minéraux radioactifs

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

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

c. Le gradient géothermique

Qui représente nombre de degré d'augmentations de la température pour 100 m de profondeur. Il est fonction du flux de chaleur terrestre e et de la conductibilité des roches. Pour l'Algérie septentrionale, P.Verdeil admet pour le flux une valeur moyenne calculée par la formule :

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

D'après **Mme Dib** on a:

- dans la région du Hammam Meskhoutine le gradient géothermique est variable entre 1°C pour 16 m et 1°C pour 7 m.

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 lesquelles l'explication du gradient reste insuffisante, c'est cette eau juvénile qui, en se mélangeant aux eaux va doses des thermo – siphons, vient renforcer la température de ces eaux (origine mixte). (*DIB.H, 2008*)

7. 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 va dose. 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.

8. Les thermosiphons

Le thermosiphon 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 thermosiphon peut être relativement long et se chiffre en dizaines de milliers d'années (**Figure.4**).

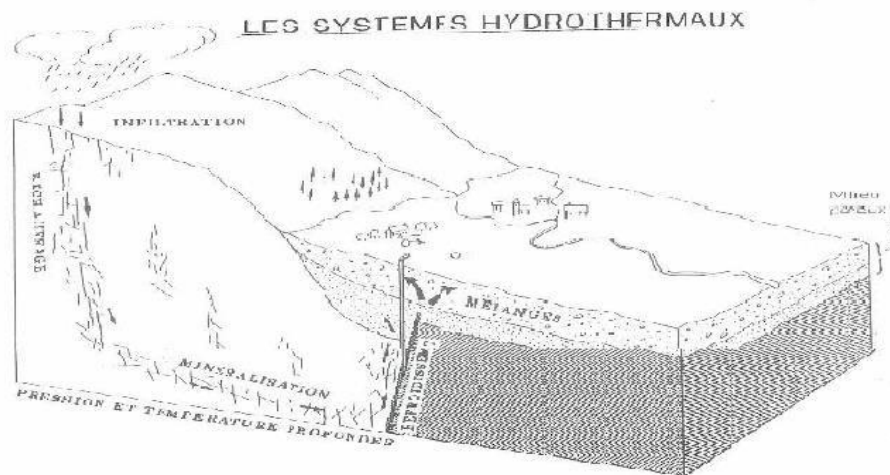


Figure.4. Les systèmes hydrothermaux (VINCENT VALLES, 2002).

1. Introduction

L'étude des données climatiques est une opération indispensable dans toute approche hydrogéologique, car elle sert à comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles.

Elle permet de définir les conditions climatiques telles que, les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissellement, l'infiltration et la température qui jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau, et surtout pour établir un bilan hydrique.

Pour l'interprétation des données pluviométriques, nous avons utilisé des séries de précipitations sur une période de 25 ans (période allant de 1992 à 2017). Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques géographiques et topographiques de la station de Guelma.

Tableau 1. Caractéristiques géographiques et topographiques de la station de Guelma.

STATION DE GUELMA	Altitude(m)	Longitude	Latitude	Période d'observation
	227	7 ° 28 E	36° 28 N	1992 à 2017

2. Analyse des données climatiques 36° 28 N

2.1. Les précipitations

Les précipitations permettent la constitution d'un stock d'eau qui va être soumis à plusieurs processus et particulièrement les processus d'évapotranspiration, de ruissellement de surface et de pertes par infiltration (Chaponnière, 2005). Pour cela toute étude climatologique nécessite une analyse détaillée de ce paramètre, du fait que la pluie est un facteur qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes.

2.1.1. Répartition des précipitations annuelles

a. Coefficient pluviométrique

Le coefficient pluviométrique correspond à l'évolution interannuelle des précipitations et permet de différencier les années excédentaires ($CP > 1$) des années déficitaires ($CP < 1$). Le coefficient pluviométrique est donné par la formule suivante :

$$PC = \frac{p}{\bar{p}}$$

Avec :

CP : coefficient pluviométrique.

P : hauteur des pluies annuelles (mm).

P : Moyenne annuelle pluviométrique (mm).

La pluviométrie annuelle moyenne de la station de Guelma est 591,5mm.

Tableau 2. Précipitations annuelles (mm) et coefficients pluviométriques de la station de Guelma (1992/2017)

Année	P (mm)	Cp	Type de l'année
1992	877,8	1,49	excédentaire
1993	531,8	0,9	déficitaire
1994	442,5	0,75	déficitaire
1995	603,5	1,02	excédentaire
1996	652,2	1,1	excédentaire
1997	556	0,94	déficitaire
1998	625,7	1,06	excédentaire
1999	516,4	0,87	déficitaire
2000	427,7	0,72	déficitaire
2001	407,6	0,69	déficitaire
2002	523,7	0,89	déficitaire
2003	928,8	1,57	excédentaire
2004	778	1,32	excédentaire
2005	532,2	0,90	déficitaire
2006	484,1	0,82	déficitaire
2007	692	1,17	excédentaire
2008	376,5	0,64	déficitaire
2009	729,3	1,23	excédentaire
2010	653,7	1,07	excédentaire
2011	673,5	1,40	excédentaire
2012	599,7	1,02	excédentaire
2013	404,6	0,69	déficitaire

2014	494,20	0,84	déficitaire
2015	612,50	1,04	excédentaire
2016	405,6	0,69	déficitaire
2017	236,40	0,40	déficitaire
Total	14766 ,00		

E : excédentaire

D : déficitaire

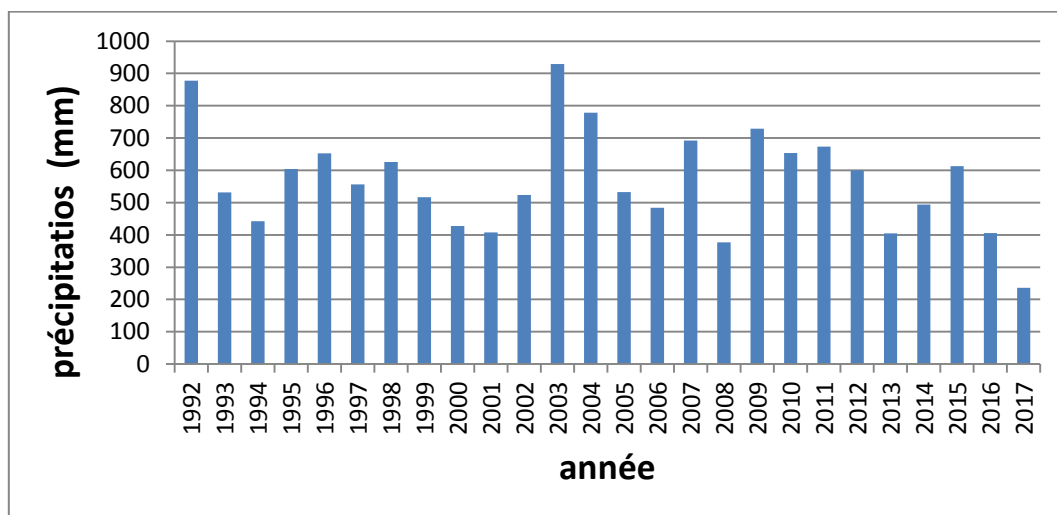


Figure 5. Variations des précipitations annuelles (en mm) pour la station de Guelma (1992/2017)

Le tableau 2 et la figure 5 montrent une évolution alternative entre année déficitaire et excédentaire avec un maximum de l'ordre de 928,8mm en 2003 et un minimum de 236,5 en 2017 et une limite de 600 mm qui différencier les années déficitaires ($P < 600$ mm) des années excédentaires ($P > 600$ mm). Cette période d'observation de 1992 à 2017 commence par une année excédentaire et se termine par une année déficitaire.

2.1.2. Répartition des précipitations mensuelles

La répartition mensuelle des précipitations, au cours de l'année ainsi que leur variabilité conditionne le régime des cours d'eau et les fluctuations des niveaux piézométriques des nappes phréatiques.

Le tableau qui suit montre cette variabilité pendant une période de 25 ans.

Tableau 3. Précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma (1992/2017)

MOIS	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
P (mm)	37,19	34,92	62,67	78,81	82,47	69,76	56,19	51,70	50,42	23,25	9,74	11,87

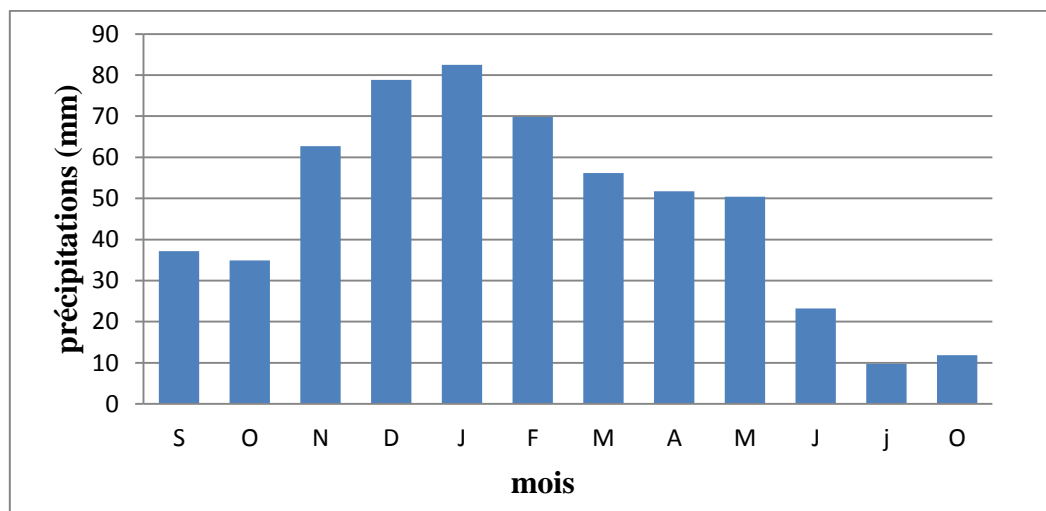


Figure 6. Variabilité des précipitations moyennes mensuelles(en mm) à la station de Guelma. (1992/2017)

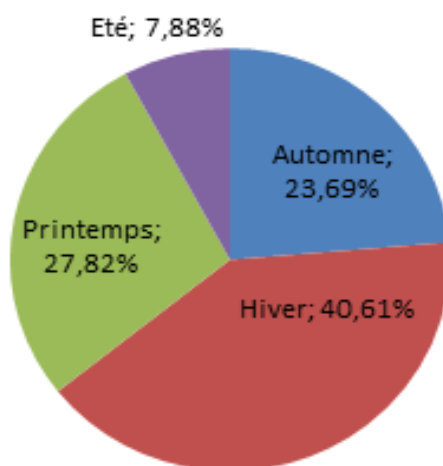
D'après la figure 6 la plus grande valeur de précipitation moyenne mensuelle, correspond au mois de Janvier (82,47mm), par contre la plus faible valeur correspond au mois de juillet avec (9,74mm).

2.1.3. Répartition saisonnière des précipitations

D'après la figure 7 on remarque que la saison hivernale est la plus pluvieuse avec un pourcentage de 40,61 % de pluie annuelle (une moyenne de 44,93 mm/mois). Par contre l'été est le plus sec avec un pourcentage de 7,88% de la pluie annuelle (une moyenne de 14,95 mm/mois). Le reste du pourcentage des pluies annuelles est réparti entre le Printemps et l'Automne.

Tableau 4 .Régime saisonnier des précipitations pour la station de Guelma (1992/2017)

Mois	P(mm)	Saison	Précipitations saisonnières	
			mm	%
Septembre	37,19	Automne	134,78	23,69
Octobre	34,92			
Novembre	62,67			
Décembre	78,81	Hiver	231,04	40,61
Janvier	82,47			
Février	69,76			
Mars	56,19	Printemps	158,31	27,82
Avril	51,70			
Mai	50,42			
Juin	23,25	Eté	44,86	7,88
juillet	9,74			
Aout	11,87			
Total		-	568,99	100

**Figure 7.** Pourcentage saisonniers des précipitations pour la station de Guelma (1992/2017).

3. Les températures

La température est un facteur essentiel dans l'évolution du déficit d'écoulement qui entre dans l'estimation hydrogéologique, ce paramètre est indispensable à la climatologie, vu de son pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées, et qu'il est à l'origine du bon fonctionnement du cycle de l'eau.

Tableau 5. Les températures moyennes mensuelles à la station de Guelma (1992/2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Températures Moyennes en (°C)	24,71	20,24	14,11	10,13	9,47	10,41	13,06	16,55	21,54	25,37	29,71	29,35

3.1. Les températures moyennes mensuelles

D'après le graphe suivant Figure 8.on remarque que les mois les plus chauds sont ceux de juillet et d'août avec des températures de 29,71 et 29,35 °C respectivement par contre les mois les plus froids sont les mois de décembre et janvier avec des températures de 10,13 et 9,47 respectivement.

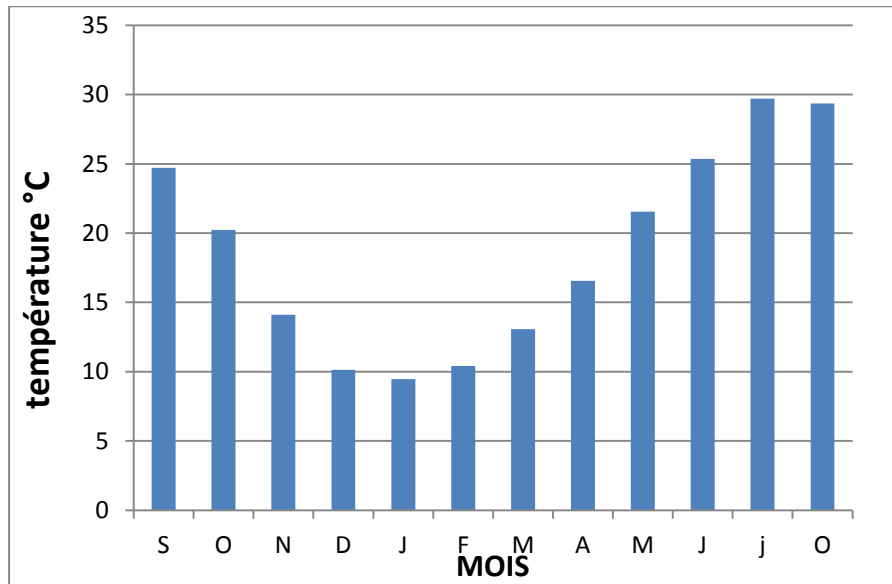


Figure 8.Températures moyennes mensuelles à la station de Guelma (1992/2017).

3.2. Diagramme pluviothermique

Le diagramme pluviothermique est la combinaison des températures et des précipitations mensuelles moyennes.

Le diagramme pluviothermique illustré dans la figure 9 fait ressortir deux saisons :

- Une saison sèche qui s'étend entre le mois de Mai et le mois d'Octobre.
- Une saison humide qui commence du début du mois de Novembre et s'étale jusqu'au début d'avril.

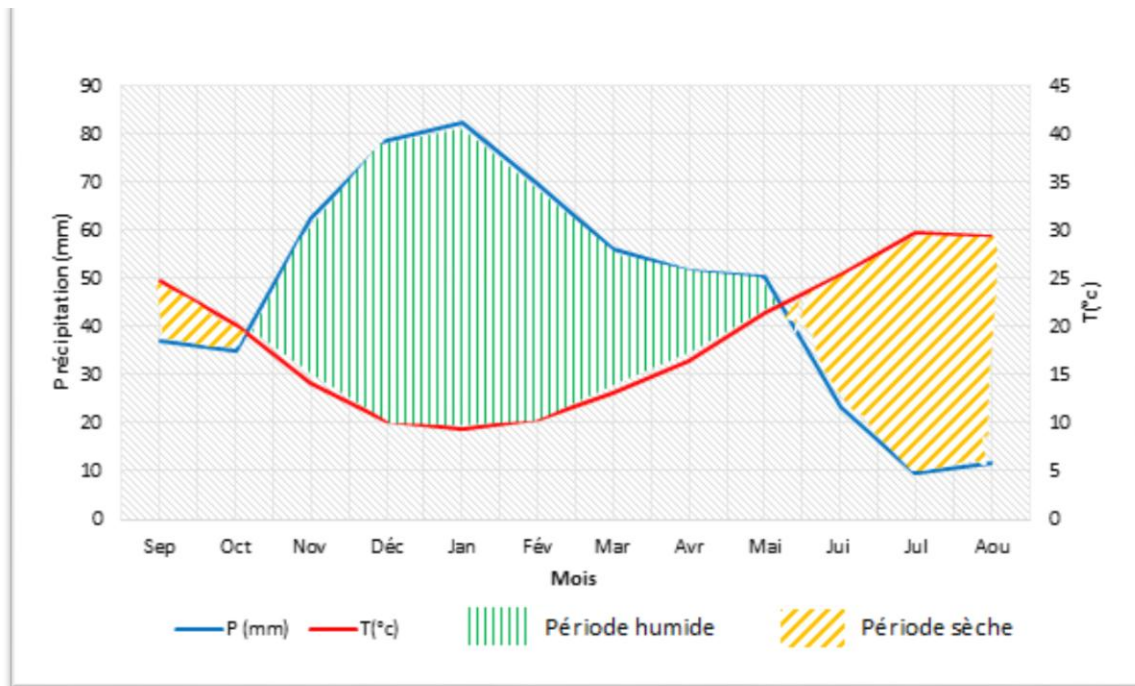


Figure 9.Diagramme pluviothermique à la station de Guelma (1992/2017)

4. Le bilan hydrique

La méthode du bilan s'applique principalement pour établir la relation entre les apports et les pertes ainsi que la connaissance des variations des réserves en eau. Dans cette partie, le bilan d'eau est calculé par l'évaluation de l'évapotranspiration, disposant des données des précipitations et leurs répartitions par une surface d'où on note les paramètres suivants:

1. L'infiltration I
2. Le ruissellement R
3. l'évapotranspiration ETP_ETR (Gharbi et al. 2001.2002)

4.1. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (phénomène biologique).

On distingue :

- L'évapotranspiration potentielle(ETP)
- L'évapotranspiration réelle(ETR)

4.1.1. Évapotranspiration potentielle (ETP)

C'est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifié (gazon) bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance. Elle comprend donc l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration du couvert végétal pendant le temps considéré pour un terrain donné. L'ETP est calculée par la formule de C.W. Thornthwaite (1948), qui utilise la température de l'air et la latitude de la station, et qui est donnée par l'expression suivante :

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

Avec

ETP : évapotranspiration potentielle du mois (en mm).

T : température moyenne mensuelle de la période (en °C).

I : indice thermique annuel qui représente la somme des indices mensuels (i) :

Où $I = \sum i = (T / 5)1.514$ et $a = 0,016 I + 0,5$

K : coefficient d'ajustement mensuel lié à la latitude.

- si pour un mois $P > ETP$ on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste ($P - ETR$) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 m) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès (WS) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

- si $P < ETP$, la valeur de $ETR = P + RFU$, jusqu'à l'égalisation avec ETP. Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $Da = ETP - ETR$, ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation (Nabil, 2008)

Tableau 6. Le bilan hydrologique selon la méthode de C.W Thornthwaite à la station de Guelma

	T °C	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
Sep	24,71	11,2	1,03	114,6	37,19	-77,4	-0,7	0,0	0,0	37,2	77,4	0,0
Oct	20,24	8,3	0,97	72,5	34,92	-37,5	-0,5	0,0	0,0	34,9	37,5	0,0
Nov	14,11	4,8	0,86	31,2	62,67	31,4	1,0	31,4	31,4	31,2	0,0	0,0
Déc	10,13	2,9	0,81	15,2	78,81	63,6	4,2	63,6	95,0	15,2	0,0	0,0
Janv	9,47	2,6	0,87	14,3	82,47	68,2	4,8	5,0	100,0	14,3	0,0	63,3
Fév	10,41	3,0	0,85	16,8	69,76	52,9	3,1	0,0	100,0	16,8	0,0	52,9
Mar	13,06	4,3	1,03	32,1	56,19	24,1	0,8	0,0	100,0	32,1	0,0	24,1
Avr	16,55	6,1	1,10	55,0	51,7	-3,3	-0,1	-3,3	96,7	55,0	0,0	0,0
Mai	21,54	9,1	1,21	102,3	50,42	-51,9	-0,5	-51,9	44,8	102,3	0,0	0,0
Jui	25,37	11,7	1,22	143,1	23,25	-119,8	-0,8	-44,8	0,0	68,1	75,0	0,0
Juil	29,71	14,9	1,24	199,4	9,74	-189,6	-1,0	0,0	0,0	9,7	189,6	0,0
Aou	29,35	14,6	1,16	182,0	11,87	-170,1	-0,9	0,0	0,0	11,9	170,1	0,0
Annuel	18,7	93,6		978,4	568,99	-409,4				428,7	549,7	140,3

4.1.2. Évapotranspiration réelle (ETR)

Elle correspond à la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique. L'ETR peut être déterminé par :

La formule de Turc (1954); qui permet d'évaluer directement l'ETR annuelle à partir de la hauteur annuelle de la pluie et de la température moyenne annuelle.

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

Avec ; ETR : évapotranspiration réelle en mm/an.

P : hauteur annuelle de pluie en mm

L : pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque

P devient grand. $L = 300 + 25t + 0.05t^3$

t : température annuelle en °C.

On a pour la station de Guelma : P = 568,99 mm, t = 18,72 °C

$$L = 300 + 25(18.72) + 0.05 (18.72)^3 = 1096,010$$

Selon la formule de Turc, **ETR= 559,03 mm**

4.2. Représentation graphique du bilan

D'après la figure 10, on remarque que la valeur de l'évapotranspiration maximal observée aux mois de Juillet et août avec 199.4 mm et 182 mm respectivement, qui produit un déficit agricole étalon de juillet jusqu'à octobre nécessitant une irrigation pour les zones de cultures. Pour le reste des mois l'évapotranspiration est faible et la précipitation élevée produisant aussi une recharge de la nappe.

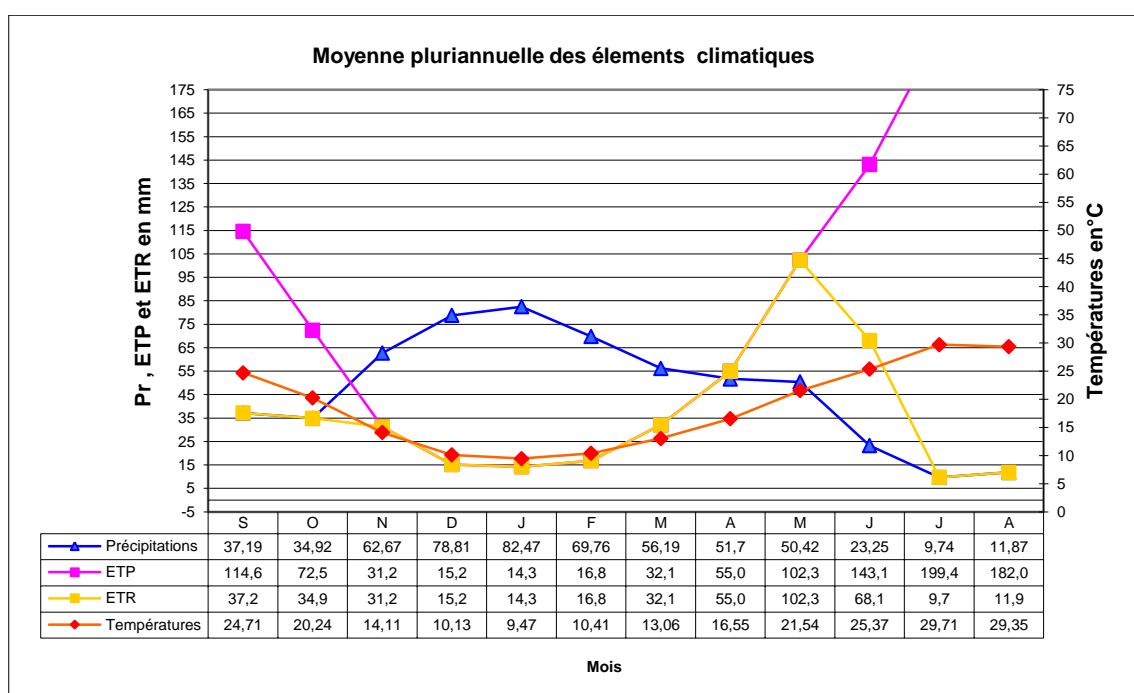


Figure 10. Représentation graphique du bilan de Thornthwaite

4.3. Le ruissellement

Le ruissellement de surface est la quantité d'eau, qui au cours d'une précipitation, échappe à l'infiltration et à l'évapotranspiration.

Le ruissellement est calculé par : La formule de Tixeront-Berkaloff La formule de Tixeront-Berkaloff, pour les pluies qui sont inférieures à 600mm, est la suivante:

- ETP : évapotranspiration potentielle en m.

- Le ruissellement pour la station de Guelma : **R=64.14 mm**

Avec : $R = P^3/3 * (ETP)^2$

- R : ruissellent en m.
- P : précipitation moyenne annuelle en m.

4.4. L'infiltration

L'estimation de la valeur de l'infiltration a été établie à partir de l'équation du bilan hydrique

$$P = R + I + \quad \longrightarrow \quad I = P - R -$$

Paramètres	P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)
	568,99	64,14	428,7	76,15

Tableau 7. Détermination des paramètres de la formule du bilan

5. Hydrologie

Principalement la wilaya de Guelma dispose d'un réseau hydrographique assez dense, Il est constitué de l'Oued Seybouse et ses affluents.

Le sous bassin de Guelma fait partie du Bassin versant de l'Oued Seybouse.

Les principaux cours d'eau (A.B.H., 2005) qui constituent le réseau hydrographique sont :

Oued Seybouse : il prend sa source à Medjez Amar (point de rencontre entre Oued Charef et Oued Bouhamdane). Il traverse la plaine Guelma - Bouchegouf sur plus de 45 Km de l'Ouest en Est. Son apport total est estimé à 408 millions m³ /an à la station de Boudroua (commune d'Ain Ben Beida).

Oued Bouhamdane : qui prend sa source dans la Commune de Bouhamdane à l'Ouest de la Wilaya. Son apport est de 96 millions m³ /an à la station de Medjez Amar.

Oued Mellah : provenant du Sud-Est, ce court d'eau enregistre un apport total de 151 millions m³ /an à la station de Bouchegouf.

Oued Charef : prend sa source au Sud de la Wilaya et son apport est estimé à 107 millions m³ /an à la station de Medjez Amar I. (Boussis, 2009).

6. Conclusion

L'interprétation des données climatiques indique que la région de Guelma est caractérisée par un climat de type méditerranéen, son régime Climatique dépend de deux paramètres principaux ; la précipitation et la température avec des moyennes de 568 ,99 mm et 18,72 °C respectivement.

Elle est caractérisée par deux périodes distinctes, l'une pluvieuse qui s'étale du mois du Novembre jusqu'au mois du Mai et l'autre sèche allant de Juin jusqu'au mois de septembre.

L'interprétation du bilan hydrique selon la formule de C.W Thorthwaite, donne une évapotranspiration réelle de l'ordre de 428.7 mm/an présentant un pourcentage de (75,34%).

La formule de Tixeron-Bercaloff, donne une valeur de ruissellement de l'ordre de 64,14mm/an (11,27%), l'infiltration a été estimée à partir de l'équation du bilan hydrique avec 76,15mm/an (13.38%).

1.Introduction

L'étude géologique et structurale du secteur étudié est d'une importance capitale pour la connaissance des sources hydrothermales (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.

2. Les grands domaines géologique de l'Algérie

2.1. Au Nord, l'Atlas Tellien (ou le Tell)

Domaine varié et très complexe. Cet Atlas tellien comporte une zone interne et une zone externe formées de terrains allochtones (nappes de charriage). Entre les deux Atlas affleurent les Hautes plaines qui se terminent à l'est par la chaîne du Hodna et se continuent à l'Ouest par la Meseta oranaise et au-delà des Atlas (Haut et moyen Atlas) par la Meseta marocaine, qui se noie dans l'Atlanti

2.2. L'Atlas saharien

Forme une longue suite de reliefs orientés NE-SO s'étendant de la frontière Marocaine à celle de la Tunisie. Un domaine méridional, le Sahara, où affleurent les socles précambriens du Hoggar et des Eglab, et leur couverture phanérozoïque de la plate-forme saharienne, qui recèle l'essentiel des ressources en hydrocarbures, est un désert formé de grandes étendues de dunes (Erg Oriental et Erg Occidental), de plaines caillouteuses (Regs) et parsemé d'oasis, qui sont autant de centres urbains comme les villes d'El Oued, Ghardaïa et Djanet.

3. Les grands domaines géologique de l'algerie du nord

La chaîne Maghrébides, le tronçon sud de la chaîne alpine représentent la partie sud de la chaîne alpine de la Méditerranée occidentale (Figure 11a, 11b, 11c), sont constituées par un empilement d'unités allochtones charriées vers le Sud sur l'autochtone ou para-autochtone présaharien. Cet orogène alpin est subdivisé en trois grands ensembles qui sont : Le domaine interne constitué par les séries de la dorsale kabyle et de son substratum métamorphique, Les nappes de flyschs, Le domaine externe. L'Algérie est divisée en deux unités tectoniques majeures séparées par la faille Sud atlasique : Le Nord de l'Algérie portant l'empreinte de la tectonique alpine, et la plate-forme saharienne, relativement stable, où la tectonique est moins prononcée.

L'orogène alpin péri-méditerranéen (Delga, 1969) comprend en méditerranée occidentale, deux branches : les cordillères bétiques et les chaînes littorales des Maghrébides. Ces deux branches se rejoignent à l'ouest en formant l'arc de Gibraltar, alors qu'à l'est des Maghrébides se prolongent jusqu'en Calabre pour former l'arc siculo calabrais

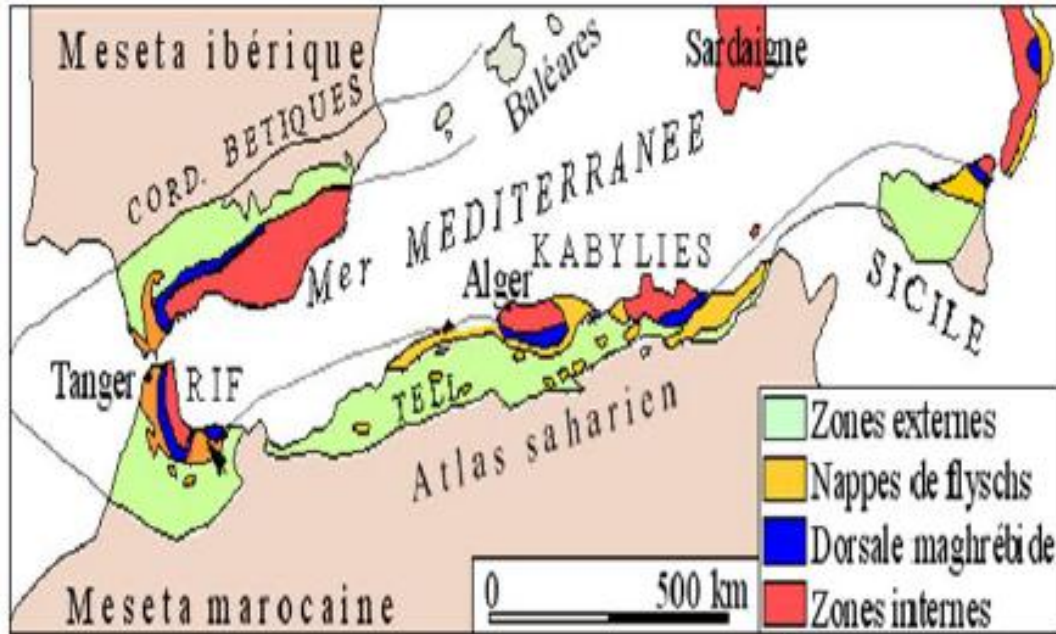


Figure 11a. Structure générale des Maghrebides.

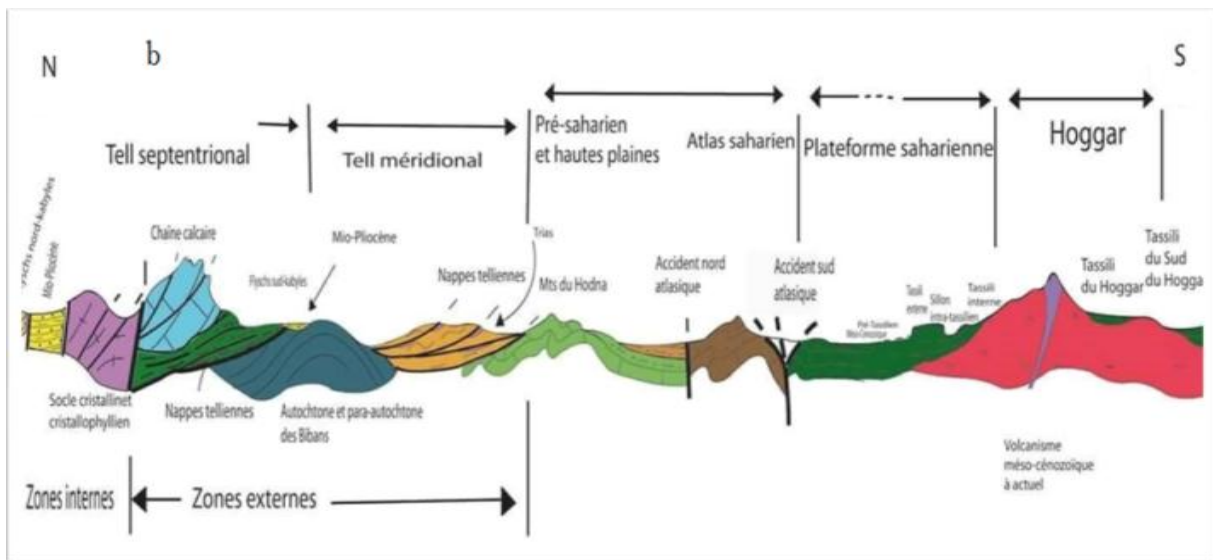


Figure 11b. Coupe schématique N-S montrant les différents domaines géologiques de l'Algérie. (.Haddoum, 2015).

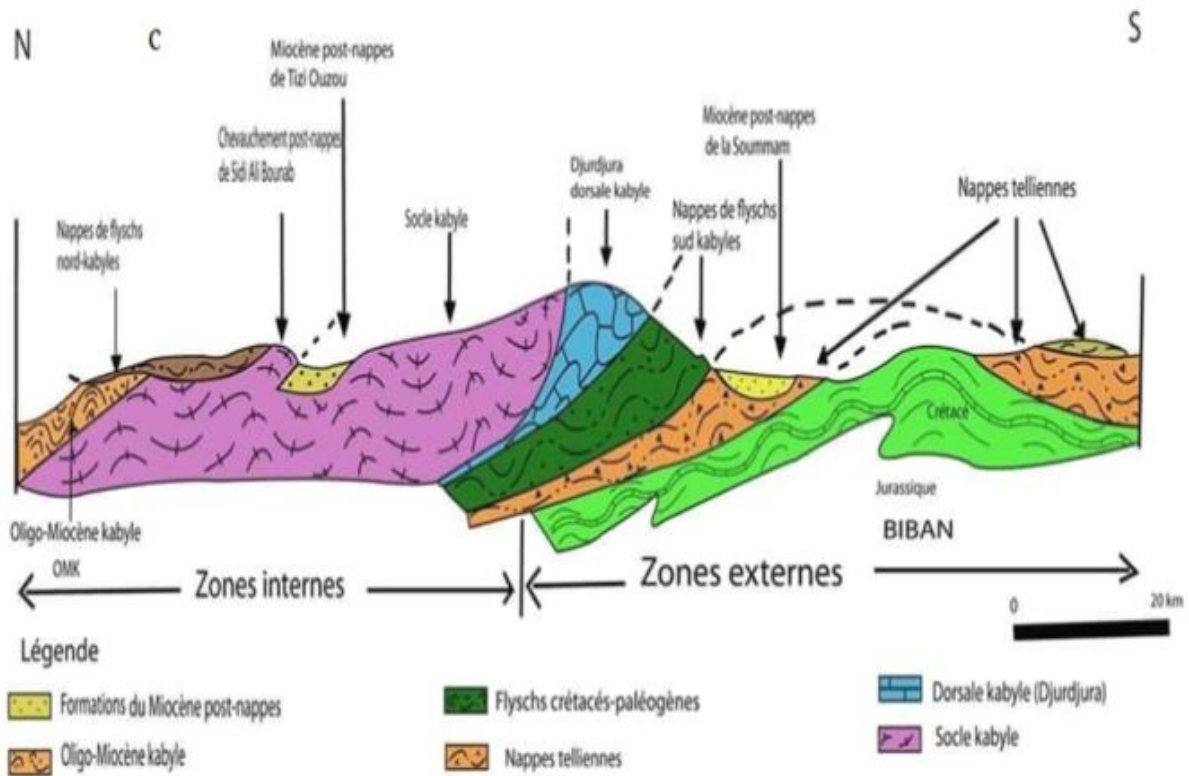


Figure 11c. Coupe schématique N-S de la partie centrale du domaine tellien. (Durand-Delga et al. 1969 ; modifiée par Aïte, 1994 ; redessinée par Haddoum, 2015)

3.1. Domaine Interne

Il est constitué par des massifs anciens métamorphiques « le socle kabyle » qui présente à la base des gneiss auxquels sont associées (au Cap Bougaroun) des péridotites de type alpin (Bouillin, 1977). Au-dessus de ces gneiss vient le complexe para-métamorphique constitué par une alternance de marbres et de micaschistes. Le socle kabyle apparaît sous forme de trois pointements amygdalaires qui sont, de l'Ouest à l'Est : les massifs de Chenoua, de Grande Kabylie et de Petite Kabylie.

3.2. Le Domaine des Flyschs

Ce domaine est constitué par des dépôts turbiditiques d'âge jurassique supérieur à aquitanien, organisés globalement en trois ensembles maurétanien, massylien, qui forment les flyschs crétacés « flyschs kabyles » et numidiens.

- Les flyschs maurétaniens (Gelard, 1969) sont relativement épais, est recouvert par le grésomiacé « l'OMK » identique à celui qui recouvre la dorsale Kabyle.
- Les flyschs massyliens (Raoult, 1974) présentent des séries allant du Néocomien au Lutétien terminal.

- Le flysch numidien (Oligocène Supérieur - Burdigalien basal) est une nappe indépendante, il est constitué par des argiles varicolores à la base, des grés épais, et enfin au sommet des formations marneuses à silexites. Le Numidien apparaît toujours en superstructure dans cet édifice et n'est jamais impliqué dans le chevauchement du socle.

3.3. Le domaine externe

Le domaine externe représente la marge téthysienne du continent africain, il est constitué par des formations allant du Trias jusqu'au Tortonien. En Oranie occidentale, les unités internes sont à affinité rifaine tandis que dans le reste de l'Algérie, le domaine externe est tellien. Les séries telliennes sont subdivisées en trois grandes entités qui sont du Nord vers le Sud (Villa, 1980)

- Les unités ultra-telliennes : (Crétacé - Lutétien).
- Les unités telliennes au sens strict (Trias – Lutétien).
- Les séries haut-telliennes présentent des faciès de talus à conglomérats et microbrèches.
- Les séries mi-telliennes sont à faune planctonique de talus.
- Les séries bas-telliennes sont à faciès néritique épicontinental.
- Les unités péni-telliennes et les unités méridionales à nummulites (Lias-Eocène).

4. Différentes unités structurales

La région d'étude fait partie de l'ensemble géologique du tell de l'Algérie Nord Orientale.

4.1. Description des terrains sédimentaires

4.1.1. Les formations quaternaires récentes

➤ Les alluvions récentes: basse terrasse et le lit de l'Oued: Elles sont peu importantes, au niveau des vallées.

➤ Les alluvions anciennes : elles sont constituées de deux faciès différents, les alluvions et les éboulis de pente.

- **Les éboulis** : ce sont les éboulis de grés numidiens, se localisant ; tout le long du versant ouest de la vallée, pouvant être mêlés à des argiles numidiennes :

- **Les alluvions de basses terrasses** : sont visible tout le long de l'Oued Seybouse sur 15 m d'épaisseur.

- **Les alluvions de moyennes terrasses** : ont des épaisseurs variante de 30 m à 35 m au-dessus de l'Oued Seybouse et ses affluents.

4.1.2. Les formations quaternaires anciennes

4.1.2.1. Mio-pliocène continental lacustre

Le mio-pliocène est représenté par des formations marneuses à gypse, des argiles et des conglomérats rouges, il s'agit des formations post nappes ; on a :

a) Les calcaires lacustres

Il s'agit de tufs de calcaire lacustre, le calcaire tuffacé étant de couleur grise ou blanc rosé. Cet ensemble affleure au sud de Guelma ; aux environs de Ben Djarrah et aux alentours du village d'Héliopolis. Ces calcaires sont riches en chalcophytes.

b) La molasse de Guelma

Il s'agit de remplissage du bassin de Guelma qui est composé à la base de grés jaunes friables intercalés avec des unités argilo marneuses grises à jaunes parfois gypseuses.

4.2. Les unités lithostratigraphiques

L'édifice structural est caractérisé par l'empilement d'unités que l'on peut remplacer dans la position paléogéographique suivante du Nord au sud (J.M.VILLA).

4.2.1. L'unité ultra-tellienne :(J.M.VILLA.1972)

Désigne les séries superposées anormalement au Crétacé néritique constantinois du Djebel Débar et du Douar Bouzitoune dans la région de Guelma. Ces séries sont définies par le critère simple de dominance des faciès clairs durant tout le Crétacé.

- **Sénonien** : il est représenté par une alternance de marnes, calcaire beiges et de marno-calcaire en petit banc riche en Rosaline.

- **Cénomaniens** : on trouve à sa base des marnes et marno-calcaire claires ou beiges, vers le sommet il y a des niveaux de schistes pélitiques gris en alternance très rare.

- **Turonien** : est formé par des petits niveaux marneux ou marno-calcaire riches en Rosaline.

- **Crétacé inférieur** : ce sont les unités les plus internes du domaine tellien. Correspond à une cinquantaine de mètres de marnes noires riches en ammonites durant le Barrémien, des marnes bleu verdâtre, alternant avec des bancs décimétriques de calcaires bleutés qui caractérisent l'Aptien et les marnes noires à verdâtres déposées au cours de l'Albien et le Vraconien.

4.2.2. L'unité tellienne

Cette unité correspond au domaine tellien externe constitué par des formations paléogènes où l'on distingue de haut en bas :

a. L'unité tellienne Globirigines

- Lutétien inférieur constitué de marnes noires à débris d'huitres et à boules jaunes carbonatés.
- Éocène à calcaire en Blanc à lumachelles épaisses.
- Paléocène de marnes noires.

b. L'unités tellienne à Nummulite au sud Djebel Bardou

- Lutétien inférieur constitué de marnes noires à débris d'huitres et lumachelles.
- Paléocène à marnes noires à boules jaunes carbonatés.
- Éocène à calcaires massifs à nummulites.

c. L'unité Néritique constantinoise

Les séries néritiques constituent l'essentiel des reliefs calcaires des monts de Constantine, d'Oued Athemania, de Tadjnet, d'Ain M'lila, d'Hamam Meskoutine et de Guelma. Elles s'étendent sur 160 Km d'Ouest en Est et sur 80 Km du Nord au Sud. Les Djebels Guerioun, Fortass et leurs annexes constituent le groupe montagneux le plus important et le plus élevé des massifs néritiques constantinois. La nappe néritique est limitée au Sud par les unités allochtone sud-sétifienne et sud-constantinoise, à l'Ouest par la série tellienne de la nappe de Djemila et au Nord par la chaîne calcaire. La superficie totale des affleurements carbonatés est estimée à plus de 800 Km² (Sogreah, 2005). Les affleurements néritiques dans la région de Guelma, représentent la terminaison orientale du domaine

néritique. Ces affleurements sont isolés et de tailles variables (Vila, 1980). Cette unité est à faciès carbonaté jurassique-crétacé, très karstifié.

-Le crétacé supérieur : est caractérisé par des niveaux calcaire-dolomitiques riches en orbitoline et en débris de rudistes datant le cénomanien.

-Le crétacé moyen : est représenté par des calcaires massifs et de chalcopyrite.

-Le crétacé inférieur : est représenté par des calcaires massifs ou éolithiques et des dolomies à algues d'âge Aptien à Djebel Debagh et Hammam Bradaa.

- Le jurassique : est représenté par des schistes calcaireux de faible épaisseur à Djebel Debagh. -Le Barémien supérieur: d'une épaisseur de 200m à calcaire massifs à Djebel Djaffa.

-L'Aptien : calcaire à orbitoline d'une épaisseur de 16m à Djebel Djaffa.

-L'Albien : Glauconieux d'une épaisseur de 20m à Djebel Djaffa.

-Le Cénomanien : calcaire à caprine épais à Djebel Djaffa. (Gharbi et al., 2001-2002).

4.2.3. La nappe néritique constantinoise

4.2.3.1. A l'Est de Djebel Debar

Le djebel Debar qui fait partie du môle néritique constantinois présente des terrains autochtones d'âge Jurassique et Crétacé supportant.

Les formations allochtones des unités Telliennes. Les formations autochtones essentiellement carbonatées correspondent à des dépôts de plateforme interne parfois confinés avec une nette tendance à l'ouverture au crétacé supérieur.

On distingue de haut en bas :

a. Les niveaux siliceux

Ce sont des roches très minéralisées et mal stratifiées résultant d'une silicification au niveau d'une zone de broyage entre le calcaire à silex du sommet du Sénonien supérieur et les calcaires à silex de l'Eocène allochtone tellien.

b. Les calcaires massifs organo-détritiques : à orbitoïdes attribués au Campanien.

c. Les dolomies noires: à la base, épaisses de 250 à 300 m largement cristallines Supportent toute la série.

4.2.3.2 A Hammam Ouled Ali

A l'Est de la station thermale, affleure une fenêtre d'une série à faciès carbonatés biodétritiques d'âge Sénonien sous les marno-calcaires de la série ultra-tellienne.

4.2.3.3. Au Douar Bouzitoune-Heliopolis

Ces affleurements présentent une série complète où sont datés : l'Aptien supérieur, le Vraconien-Cénomaniens inférieur à Orbitolines roulées et à Mélobésiées et le Sénonien transgressif sur des niveaux à orbitolites Medina, Sidérolites Vidali, Globotruncana Linnei du Campanien ou du Maestrichtien basal.

4.2.3.4. A la station Nador

Près de la gare ferroviaire de Nador, sous les calcaires massifs à Rudistes du Barrémien, les niveaux à (Favreina Salevensis) et (F. Prusensis) au-dessus d'un ensemble de Couches pélitiques ou gréseuses rouges attribuées au Trias moyen et supérieur témoignent du Passage Jurassique Crétacé (Ilavsky et Snopkova, 1987). (Benmars, 2015).

4.3. Aperçu paléogéographique et structural

La région de Guelma a subi plusieurs phases tectoniques majeures, responsables de la mise en place des unités allochtones et la naissance du relief actuel.

4.3.1. La phase orogénique responsable de la mise en place des nappes

Suite à l'écaillage suivi par une transgression de la mer miocène et la mise en place des unités telliennes sur les selloua et le domaine néritique, le tout surmonté par la nappe numidienne en position élevée

4.3.2. La phase post-miocène inférieure

A partir du miocène supérieur, commence une phase de régression et une tectonique de réajustement de tout l'édifice. L'exposition des montagnes jeunes à l'érosion et la tectonique d'effondrement donne la naissance des bassins tels que le bassin de la Seybouse.

L'existence d'un relief montagneux au Nord (Djbel Houara) et au sud (Djbel Mahouna) donne l'apparition des terrasses au niveau de l'Oued Seybouse.

4.4. Domaine des nappes

4.4.1. Nappe Numidienne

Elle forme dans le coin Nord-Est ; les hauteurs du Djebel Bézioun au Sud-Est, les reliefs gréseux de part et d'autre de la Seybouse, au centre et à l'Est le massif boisé de Houara et des Beni Mezzline. Elle est caractérisée par une série essentiellement gréseuse de type flysch, en gros bancs par fois décamétrique de quartz blanc ou rose.

4.4.2 Les flyschs

Caractérisé par des sédiments de type flyschs, ce sont des dépôts de mer profonde. La nappe du flysch de type Guerouch domine dans notre bassin, on distingue :

a. Les grés du crétacé inférieur : situé à l'Ouest du bassin versant de Guelma-Bousba, forment une série gréseuse à minces intercalation argilo-schisteuses ou blanchâtres.

b. Complexe de base : calcaire fin, forme d'une série argilo-gréseuse à très nombreuses intercalations de biomictites claires en bancs se trouve au Nord du bassin.

4.4.3. Nappe telliennes : on distingue :

Sénonien à microbreches : formé d'une plaque mince.

On peut distinguer :

-Le sénonien inférieur

-Le sénonien supérieur

-Le maestrichtien

4.4.4. Nappe ultra-telliennes

4.4.4.1. Djebel Bou Sbaa

On en retrouve des témoins dans la vallée de la Seybouse, on distingue :

- **Yprésien à lutétien inférieur** (marno calcaire blancs à silex noir) :

Au Nord de Guelma : barre souvent disloquée de marno calcaires à patine blanches, cassure noire fétide et bitumineuse à silex noirs en rognons en lits.

- **Dano-paléocène** (marne noires à rares boules jaunes) :

Il affleure dans Hammam Bradaa, marnes gris-clair à petits bancs de calcaires marqués par des petites Globigérines.

- **Campanien et Maestrichtien:** occupe environ tout le Nord de bassin versant, constitué de marnes claires, beige, Blanches, ou jaunes clair. Contenant deux intercalation ; une borne campanienne et une borne Maestrichtien.

une borne campanienne et une borne Maestrichtien.

- **Santonien :** ce sont des marnes grises un peu feuilletées, très calcaires
- **Coniacien (marno et marno calcaire) :** affleure dans Djebel Bou Sba, il y a l'alternance de marne beige ou jaune clair en bancs réguliers.
- **Valanginien à Aptien :** les marnes blanches alternant avec de petits bancs calcaires marneux fins à gros.

4.4.4.2. Hammam Ouled Ali

Caractérisé par des marnes blanches alternant avec le néritique du Hammam Ouled Ali et au pied du Djebel Bou Sbaa. Cette unité rassemble en fait, tous les terrains coincés tectoniquement entre la série néritique constantinoise et la nappe du Djebel Bou Sbaa, on trouve les marnes esquilleuse d'aspect schisteux à rares silex noirs d'âge albien, schisteux noir. (Gharbi et al. 2001-2002).

5. Tectonique de la région de Guelma

La région de Guelma, située entre le littoral et les abords des Hauts plateaux se caractérise par un dispositif structural assez complexe. C'est précisément dans cette zone que se sont manifestés successivement à toutes les époques avec le plus d'intensité les mouvements orogéniques qui ont affecté cette partie de l'Algérie.

A) Les plis

Les mouvements tectoniques tertiaires et en particulier, les mouvements post-Eocène moyen, contemporains des mouvements pyrénéens, paraissent avoir été les plus importants dans cette région. Ils se sont manifestés par des alignements (plis ordinaires, plis déversés, plis imbriqués, dômes en chapelet, affleurements anormaux de Trias en lame et en ellipse à orientation Est-Ouest, légèrement courbés dans la direction Sud-Ouest-Nord Est.

Certains axes de plissements de direction Nord-Sud, sans doute déjà esquissés et d'âge Hercynien ou Mésozoïque, se mettent à rejouer de nouveau et donnent lieu à des plis posthumes, orientés dans la direction Nord-Sud, mais toutefois moins accentués que ceux de direction Sud-Ouest-Nord Est.

Dans la région de Guelma, les plis d'orientation Est-Ouest sont représentés au niveau de la chaîne du Taya-Debagh et qui se prolongent vers l'Est par le massif du Bou Zitoun et du djebel El Haouara.

Quant aux alignements Nord-Sud, la boutonnière barrémienne de Guelma et celle du djebel Bou Sba montre un exemple fort démonstratif. Un autre alignement s'observe plus à l'Est, et sa direction paraît être indiquée par les affleurements triasiques du djebel Tifech, de Ras El Alia, de Hammam N'Baïl's et du massif du Nador.

Selon De La Chavane (1910), dans ces systèmes d'alignements, l'orientation de chaque tronçon de pli Est-Ouest tend, en allant vers l'Est, à se courber vers le Nord-Est, en se rapprochant des plis N-S, qui jouent le rôle d'axes de rebroussement. Cet infléchissement successif des tronçons de plis de direction Est-Ouest vers le Nord, détermine la direction générale des lignes orographiques qui sont sensiblement Sud-Ouest-Nord Est.

B) Contacts anormaux

Différents contacts anormaux marquent la région de Guelma. Ces contacts anormaux peuvent être résumés comme suit :

- **Les contacts par failles** : ce type de contacts par failles s'observent généralement, autour des dômes et des brachy-anticlinaux constitués par les calcaires récifaux éocènes et créacés de la chaîne du Taya-Debagh. A titre d'exemple, dans les massifs du Taya et djebel El Grar, suite à l'effondrement de la partie centrale du dôme de calcaires récifaux, les retombées périphériques de ce dôme s'observent reposant en discordance sur les assises marneuses du Barrémien.

- **Les chevauchements** : ce type de contact est induit d'une part, par le déversement des plis (cas du chevauchement par pli déversé dans le massif de Djebel Bou Sba) et d'autre part, par la montée diapirique des formations du Trias, qui traversent des terrains de différente nature et de différents âges (depuis le Lias jusqu'au miocène).

Les grands accidents tectoniques affectant la région de Guelma ont grandement favorisé la remontée diapirique des masses marno-gypsifères du Trias. Dans la région de Guelma, les intrusions triasiques chevauchant les autres formations, s'observent dans la vallée de l'oued El

Hamman, dans la région du Hamman Baïl's, au Fedj Er Reba, au Djebel Tifech et vers le Dekma.

C) Discordances

Les discordances de la région de Guelma sont essentiellement représentées par la discordance des flyschs sur les formations crétacées et miocènes et la discordance des formations pliocènes sur les formations du Miocène supérieur.

6. Conditions géologiques d'émergences

6.1. Les sources thermales de Guelma

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.

6.1.1. Source thermale de Hamman Guerfa

- La source sort dans des travertins et des tufs hydrothermaux du Quaternaire.(figure 12)

- 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)

- 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 Hamman d'anciennes sources thermales aujourd'hui taries. (Dib Hania, 2008)

6.1.2. Source thermale de Hamman Belhachani

- Les sources émergent dans un terrain de travertins et de tufs quaternaires. Figure 12.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)

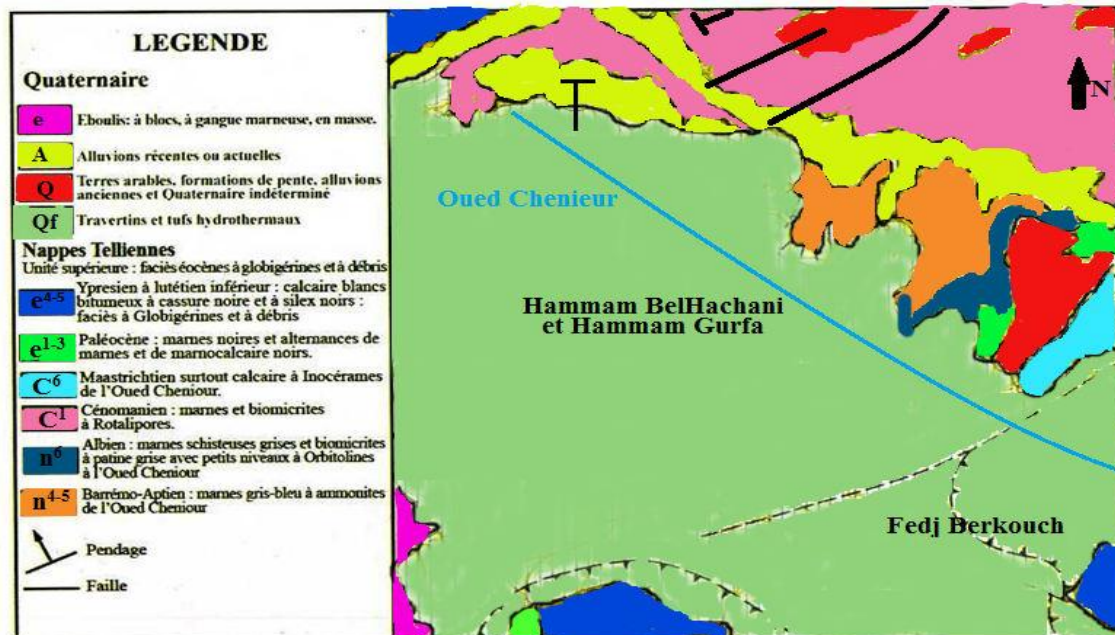


Figure 12. Carte géologique des sources thermales des Hammams Belhachani et Guerfa (Guelma)(D'après la carte géologique de Sedrata au 1/50.000, n°99) Sonatrach ; 1977.

6.1.3. Source thermale de Hammam N'Bails

- 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. (Figure 13)
- 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 tarées. (Dib Hania, 2008)

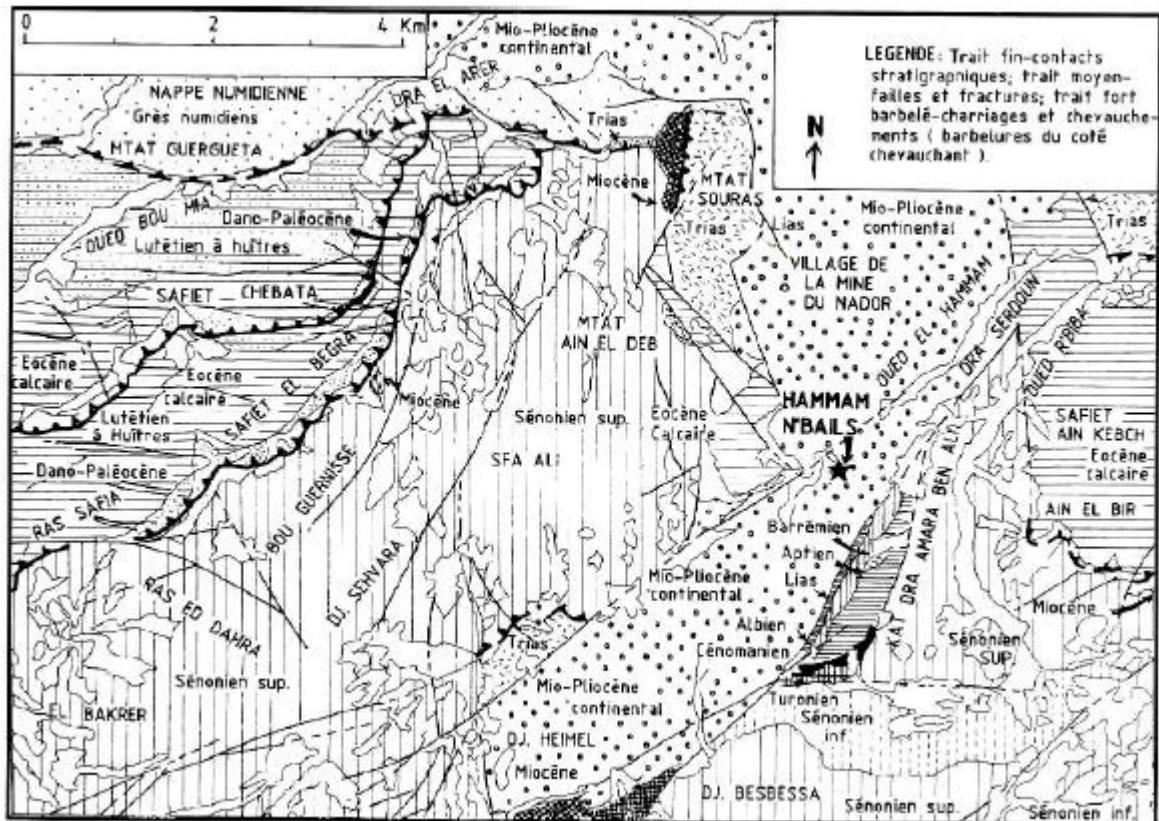


Figure 13. Carte géologique de la source thermale du Hammam N°Bil(Guelma), (d'après J.M.Vila, 1980). Source : Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien, H.Dib.

6.1.4. Source thermale de Hammam Ouled Ali

- Les émergences se trouvent sur la rive gauche de l'Oued El Hammam au Nord de la chaîne calcaire néritique de Djebel Debagh. (Figure 14)
- 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)

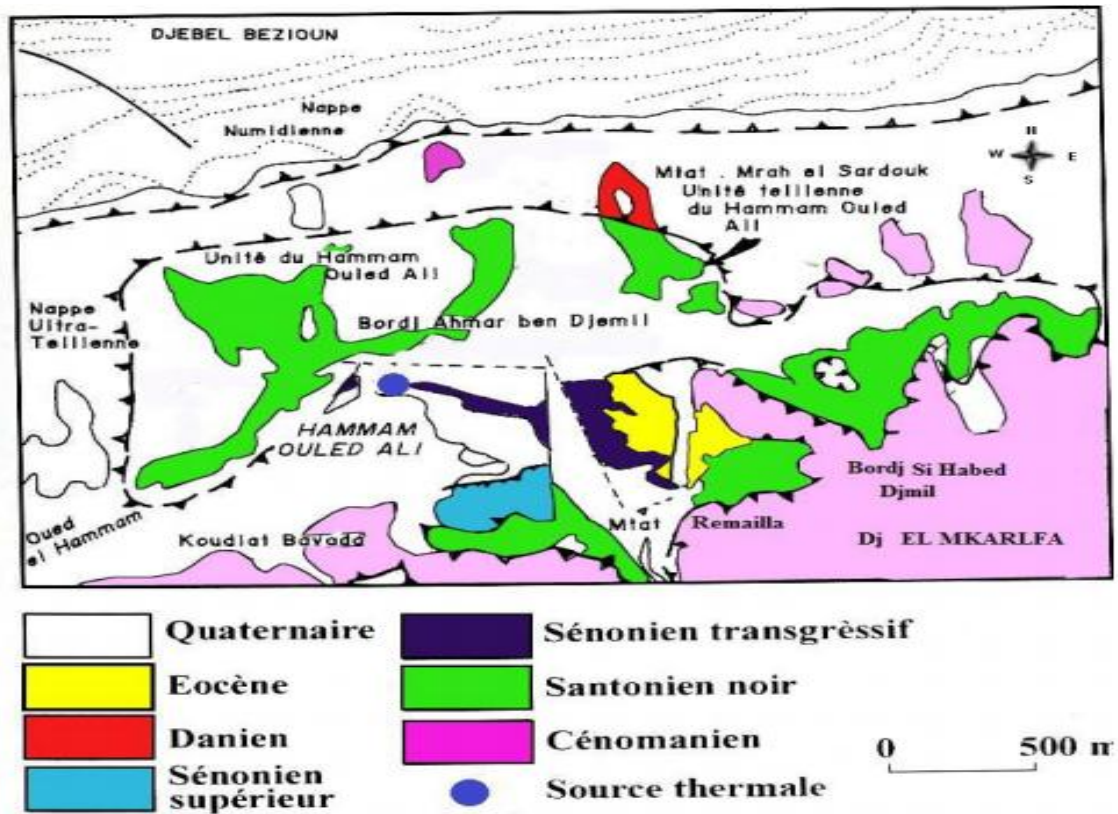


Figure 14. Carte géologique de la source thermique du Hammam Ouled Ali (Guelma) (D'après J.M. Vila, 1980). Source : Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien, (H. Dib).

6.1.5. Source thermique de Hammam Meskhoutine

- Les sources thermales se trouvent dans un bassin miocène, Figure 15.

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)

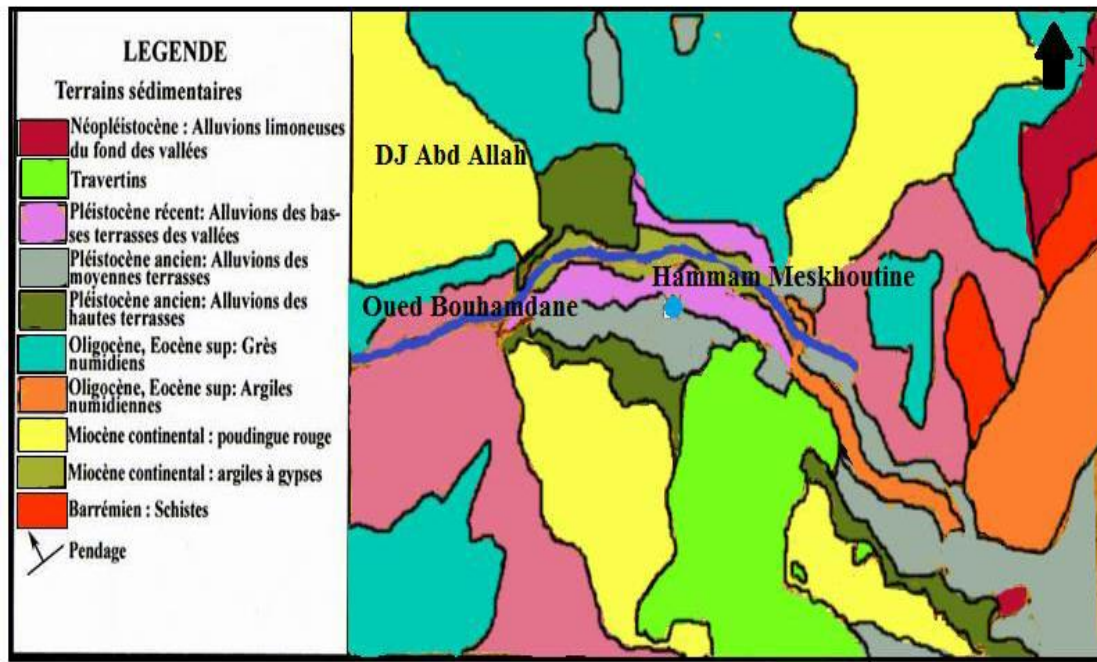


Figure 15. Carte géologique de la source thermale du Hammam Meskhoutine (Guelma), (P.Deleau, 1938) Extrait de la carte géologique de Hammam Meskhoutine au 1/50 000, (feuille n°53).

7. Conclusion

La zone d'étude fait partie du domaine externe de la chaîne des Maghrébides de l'Algérie orientale. Les terrains qui constituent le sol et le sous-sol sont variés.

Leurs âges sont compris entre le secondaire et le quaternaire.

Les formations existantes dans cette région sont :

- Les formations carbonatées (les calcaires, les calcaires dolomitiques), avec quelques alternances de Marne, des unités argilo marneuses parfois gypseuses.
- Les formations néritiques constantinoises qui représentent la terminaison orientale du Domaine néritiques ; apparaissent à Djebel Débar, à l'Est de Hammam Ouled Ali, à Héliopolis et à Nador.

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.

1. Introduction

L'hydrogéologie est la science de l'eau souterraine. Elle 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 al, 2009)**. L'étude hydrogéologique d'une région est nécessaire pour la détermination des caractéristiques hydrogéologiques des différents aquifères existants et la reconnaissance des potentialités en eau souterraine de la région.

2. Classification des formations géologiques selon leurs intérêts Hydrogéologiques

La présente étude a été réalisée sur la base des logs stratigraphiques des sondages mécaniques, des rapports de l'étude géophysique effectuée par la société **Strojexport (Prague)**, ainsi que Les travaux réalisés par **J.M. Vila** dans la région.

Trois types de formations ont été déterminés à partir de la nature lithologique du secteur étudié :

- 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 super posées de calcaires lités, des couches marneuses et dolomies

3. 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)**

3.1. Formations aquifères du Mio-plio-quaternaire

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

3.2. 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)**

3.3. 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-quaternaire de type poreux ;
- Un deuxième aquifère, correspondant aux formations hétérogènes de l'Oligocène ;

Un troisième aquifère plus profond, correspondant aux formations carbonatée du Jurassique.

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

3.4. 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. (**Haouachine, 2012**)

3.5. 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 Haouachine, 2012**)

3.6. Le Paléogène inférieur

Il est formé:

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

3.7. Le Paléogène moyen

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

4. Alimentation des aquifères

Au niveau du Tell et du domaine kabyle, (**Figure 16**), (**Figure 17**) 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 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.

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**)

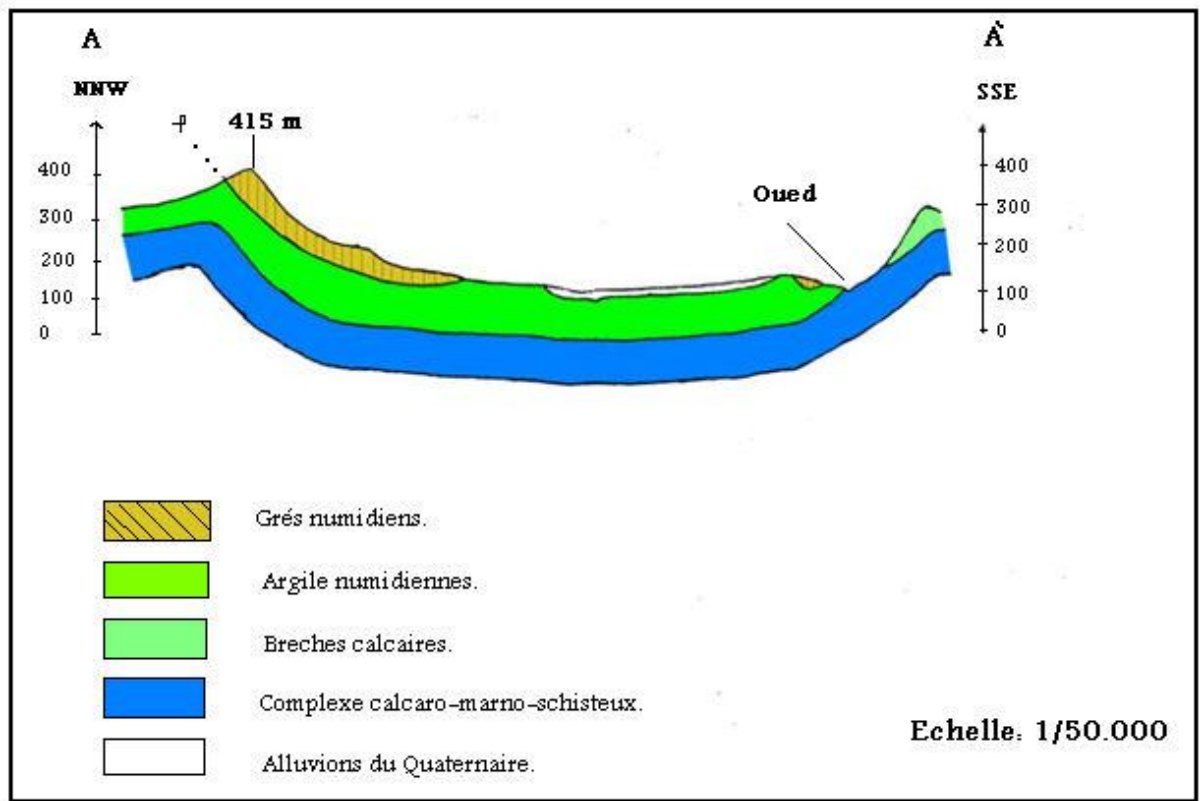


Figure 16. Coupe géologique AA'.

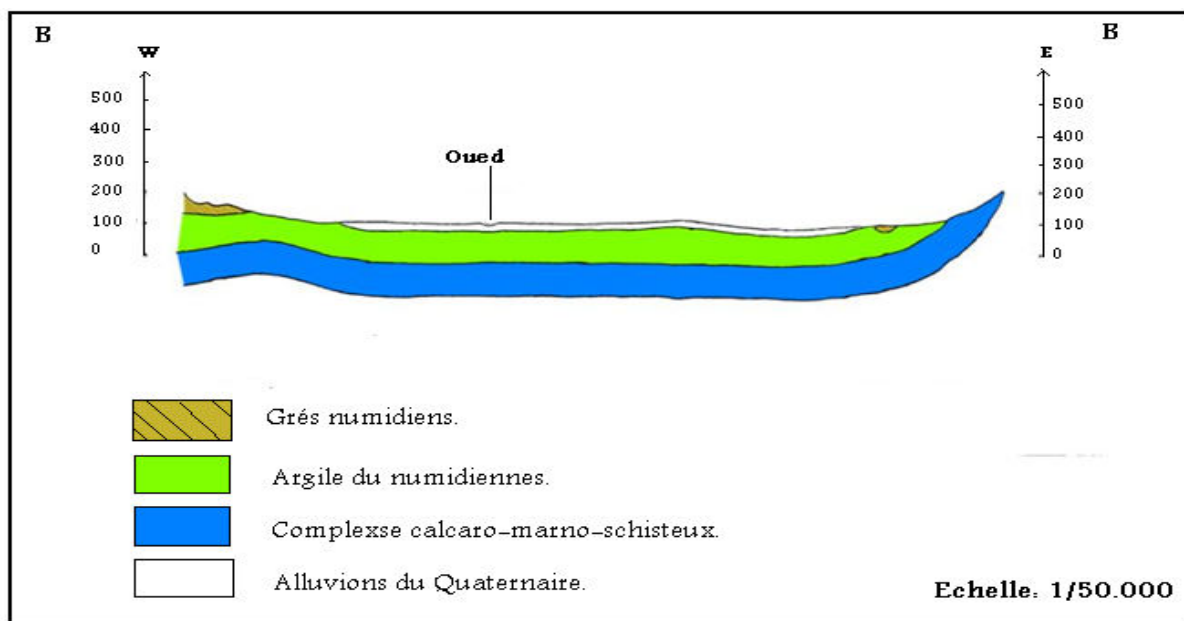


Figure 17. Coupe géologique BB'.

5. Conclusion

D'après cet aperçu hydrogéologique, trois types de formations ont été déterminées : l'une favorables au développement d'aquifères poreux, l'autre non favorables au développement d'aquifères et une troisième favorables aux développements d'aquifères karstiques.

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 Mio-plio quaternaire, les formations aquifères de l'Eocène supérieur et les formations aquifères du Jurassique.

1. Introduction

L'hydrochimie est un moyen d'investigation qui permet de connaître les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, donc sa qualité et son faciès chimique.

L'objet de l'hydrogéochimie est 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 du laboratoire à la nature implique cependant la prise en compte de dimensions géologiques et biologiques, ainsi les temps mis en jeu dans le milieu naturel sont généralement beaucoup plus longs et conduisent plus souvent qu'au laboratoire à des équilibres stables (*MICHAD*, 1989).

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.

L'eau naturelle est relativement pure mais, elle peut subir les effets de plusieurs facteurs (concentration, échanges de base, réduction), qui sont capables de modifier Partiellement ses caractéristiques chimiques. (Benmarce, 2007).

Dans ce chapitre, qui représente la partie essentielle de notre travail, nous allons déterminer :

- La répartition quantitative des éléments majeurs ;
- Les principaux faciès chimiques des eaux ;
- La qualité des eaux rencontrées.

2. Matériels et Méthodes

Dans ce travail nous avons utilisé les résultats des analyses de cinq sources thermales situées dans la wilaya de Guelma effectuées pendant le mois de Mai de l'année 2017. (Figure 15). Ces analyses ont concerné les éléments chimiques majeurs exprimés en cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+) et anions (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{--} , SiO_2^{--}). Les analyses ont été réalisées au niveau du laboratoire du complexe de raffinage du pétrole de Skikda.

Le pH, la température et la conductivité électrique sont mesurés in situ à l'aide d'un multiparamètre wtw. Concernant le mode d'échantillonnage, des bouteilles en plastiques sont utilisées, après rinçage préalable avec l'eau du robinet plusieurs fois. Un rinçage de deux à trois fois avec de l'eau à analyser est obligatoire. Le remplissage doit se faire Jusqu'au

débordement pour éviter toute réaction eau – air. Chaque bouteille est étiquetée avec un numéro, le lieu et la date de prélèvement.

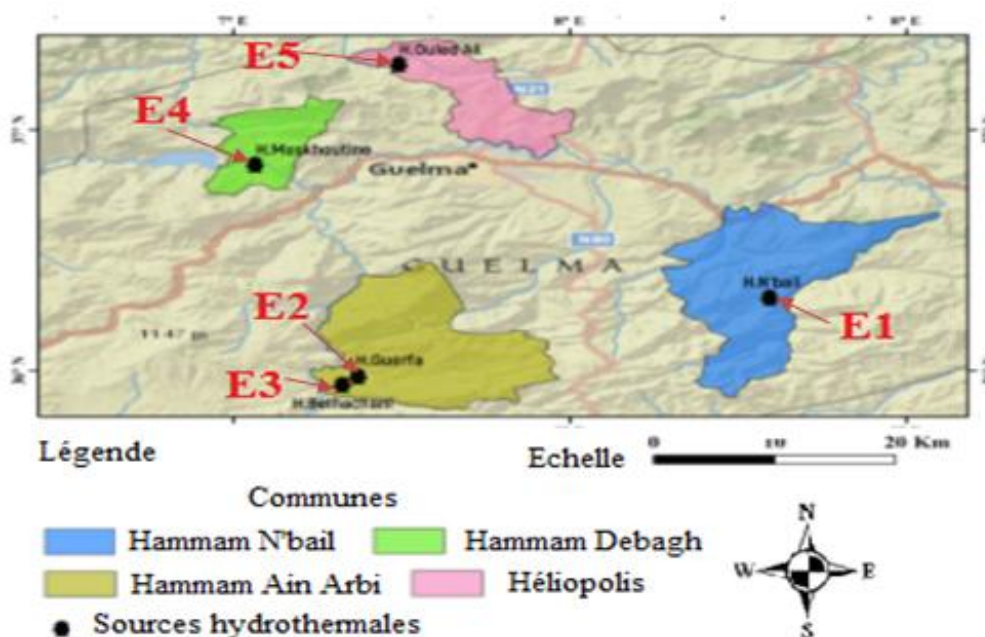


Figure 18. Points de prélèvement dans les sources thermales de la zone d'étude Guelma (Mai 2017)

L'inventaire et la désignation des points de prélèvement sont reportés dans le Tableau N° 8.

Tableau 8. Désignation des points de prélèvement.

<i>wilaya</i>	<i>Nom de Hammam</i>	Echantillon	Longitude x	Latitude y
Guelma	N'baïls	E1	917	337
	Geurfa	E2	918	373
	Belhachani	E3	909	361
	Meskhoutine	E4	944	347.40
	Ouled Ali	E5	916	336

3. Résultats et discussions

3.1. Classification chimique des eau

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

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

- La classification et la représentation de *Piper* (diagramme triangulaire) ;

- La classification de *Stabler*
- La représentation de *Schoeller- Berkaloff* (diagramme vertical).

A. 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, 2007*)

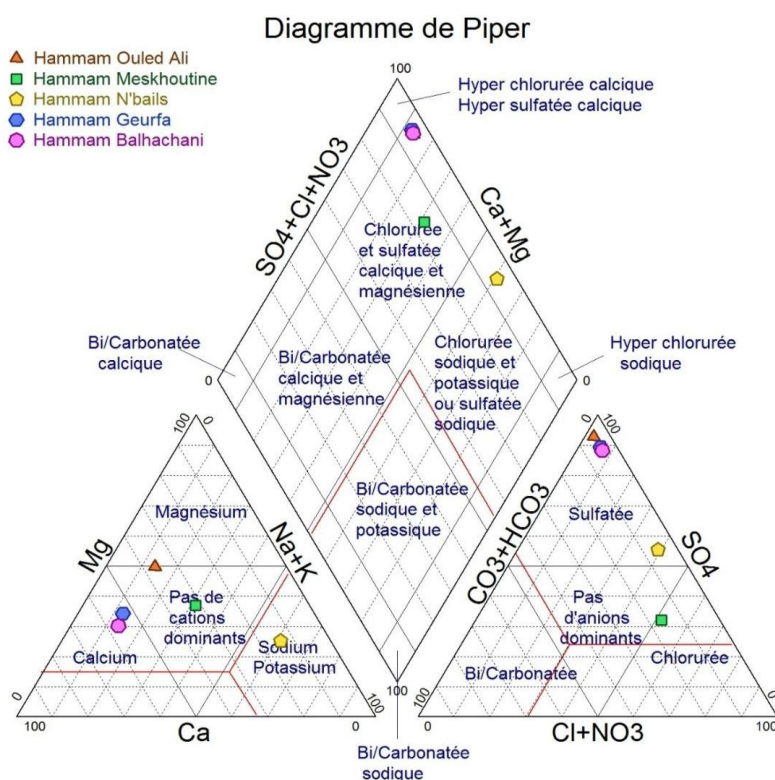


Figure 19. Représentation graphique des faciès chimiques Diagramme de Piper (Sources thermales de Guelma, Mai 2017)

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

- Au niveau des sources thermales (Hammam Ouled Ali, Hammam Guerfa et Hammam Belhachani), le faciès est de type chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

- Un faciès chloruré calcique et sulfaté magnésien qui est rencontré à la source thermale (Meskhoutine)
- Un faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique au niveau de de la source thermale de Hammam N'baïl

B. Diagramme de Schoeller – Berkaloff

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

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

- Hammam N'baïl : Sulfatée sodique,
- Hammam Meskhoutine : Chlorurée magnésienne,
- Hammam Ouled Ali : Sulfatée magnésienne,
- Hammam Guerfa et Belhachani : Sulfatée Calcique.

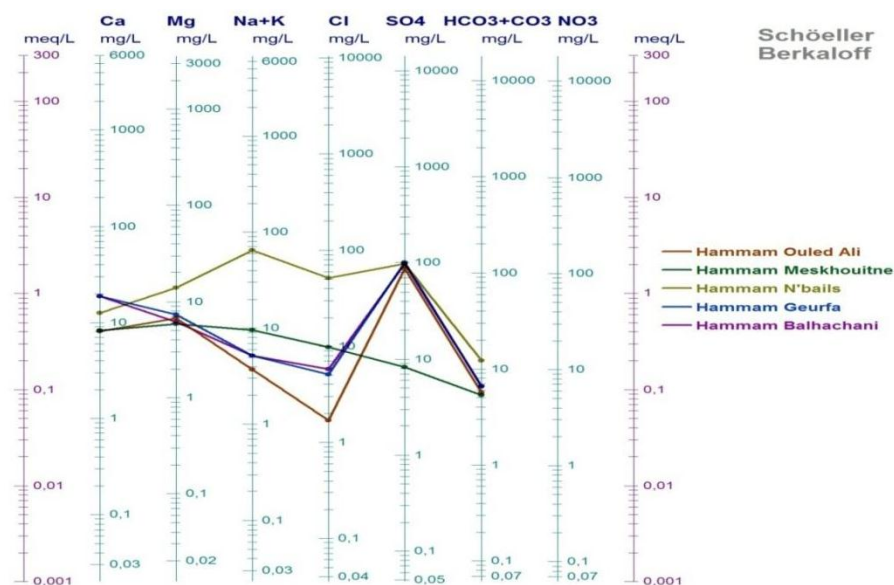


Figure 20. Représentation graphique des faciès chimiques Diagramme de Schoeller – Berkaloff (Sources thermales de Guelma, Mai 2017).

C. 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. (BENHAMZA.M, 2007)

D'après cette classification, les faciès caractérisant les sources thermales de Guelma sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9. Eléments dominant d'après la classification de Stabler (Sources thermales de Guelma, Mai 2017)

Sources thermales	Observations	Facies chimique
Ouled Ali	SO ₄ ->Cl->HCO ₃ - Mg+>Ca+>(Na++K+)	Sulfaté magnésien
Meskhoutine	Cl->SO ₄ ->HCO ₃ - Mg+>Ca+>(Na++K+)	Chloruré magnésien
N'bails	SO ₄ ->Cl->HCO ₃ -< (Na++K+)>Ca+>Mg+	Sulfaté Sodique
Guerfa	SO ₄ ->Cl->HCO ₃ - Ca+>(Na++K+)>Mg+	Sulfaté Calcique
Belhachani	SO ₄ ->Cl->HCO ₃ - Ca+>(Na++K+)>Mg+	Sulfaté Calcique

Diagramme Stabler

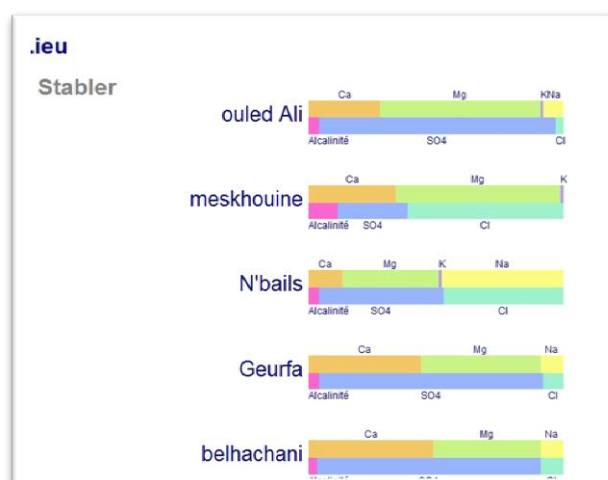


Figure 21. Représentation graphique des faciès chimique Diagramme de Stabler (Sources thermales de Guelma, Mai2017)

D'une manière générale, les méthodes graphiques illustrent parfaitement les différents faciès et groupes d'eaux mais ne permettent pas une identification parfaite des relations qui peuvent exister entre les différents groupes d'eaux.

3.2. Etude des paramètres physico-chimie des eaux thermo minérales

3.2.1. Etude des paramètres physiques

a. La température de l'eau

La température est un paramètre intéressant dans l'étude des eaux. Elle joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, donc sur la conductibilité, elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface.

Dans notre zone d'étude elle est comprise entre 44,8 °C (Hammam N'bails) et 89,4°C (Hammam Meskhoutine) avec une température moyenne de l'ordre de 63,2°C.

D'après les valeurs minimales et maximales, on peut constater que la source de Hammam Meskhoutine est la source la plus profonde par rapport à celle de Hammam N'bails.

b. Le potentiel Hydrogène (pH)

Il constitue la concentration en ions H⁺ d'une solution (l'acidité ou l'alcalinité de milieu), L'échelle du pH varie en fonction de la force ionique :

$$PH = \log (1/ [H]^+)$$

L'eau est acide, le pH < 7

L'eau est neutre, le pH = 7

L'eau est basique, le pH > 7

Dans notre zone d'étude ; Le pH varie entre 7,2 à Hammam Meskhoutine et Guerfa et 7,3 à Hammam Ouled Ali, N'bails et Belhachani.

c. 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 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 $\mu\text{s}/\text{cm}$ mesuré à Hammam

N'bail avec un résidu sec de 5600 mg/l

3.2.2. Etude des paramètres chimiques

a. 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 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), il est aussi prédominant dans les eaux thermo minérales circulant en milieu calcaire.

Il peut exceptionnellement atteindre des teneurs élevées dans des eaux thermominérales carbogazeuses au contact des roches cristallines basiques. (BENHAMZA, 2009)

La figure 22, nous montre une variation croissante de Hammam Ouled Ali à Hammam Guerfa pour se stabiliser à Hammam Belhachani.

Le minimum de la concentration en calcium est observé à la source thermale de Hammam Ouled Ali (8,1) mg/l. Hammam Guerfa et Belhachani présentent des concentrations élevées en calcium conformément au faciès calcique.

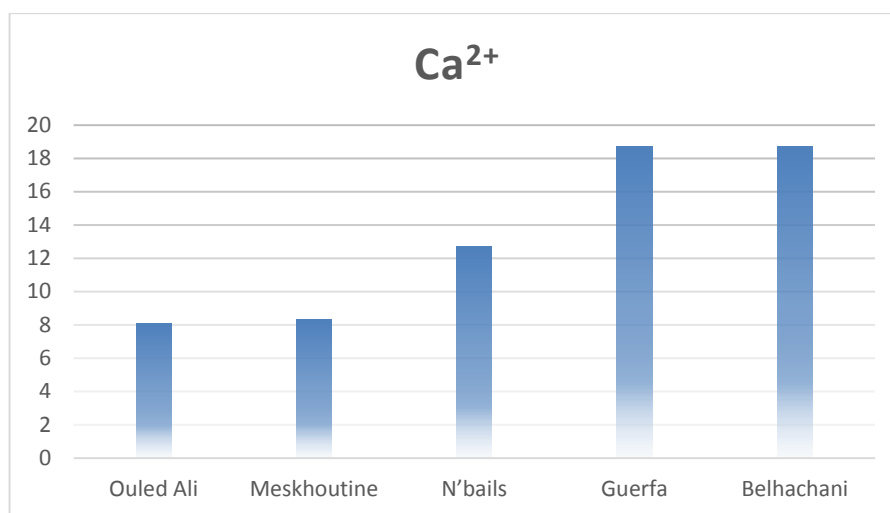


Figure 22. Variations des teneurs Ca⁺⁺ (en mg/L) de la zone d'étude

(Guelma, Mai 2017)

b. 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 métamorphiques par hydrolyse des minéraux silicatés ferromagnésiens (olivines, micas...) toujours exacerbée dans les eaux carbogazeuses. (BENHAMZA, M 2009)

La mise en solution du Magnésium dans l'eau nécessite un temps de séjour important.

D'après les résultats observés dans le graphe suivant, on remarque que les teneurs en magnésium sont pratiquement similaires pour la majorité des sources thermales, sauf pour la source de Hammam N'bail qui présente une concentration maximale de 13.9mg/l.

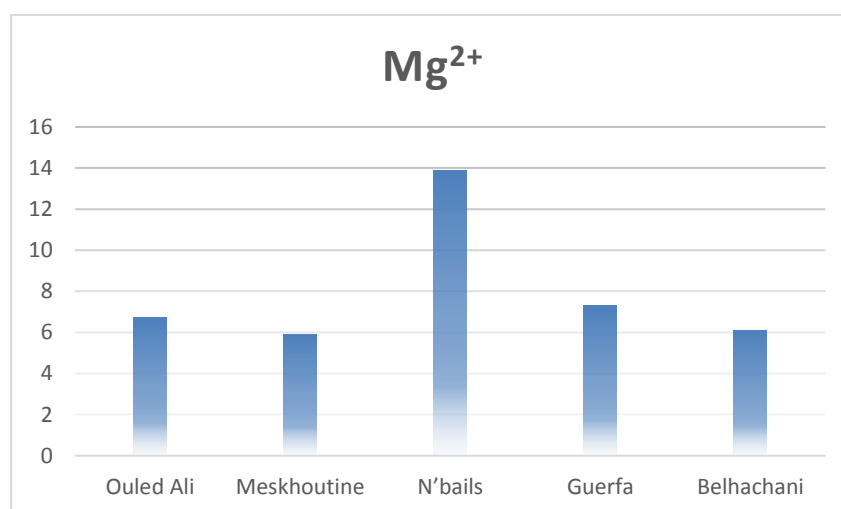


Figure 23. Variations des teneurs Mg^{++} (en mg/L) de la zone d'étude (Guelma)

c. 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)

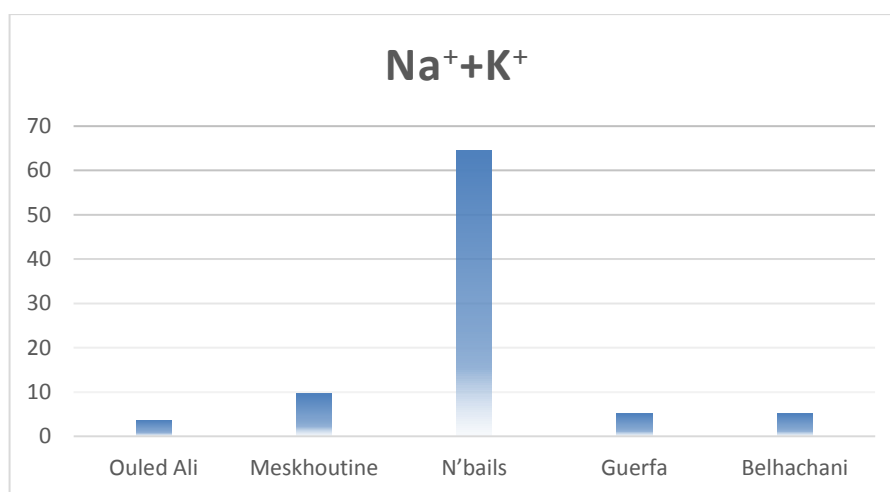


Figure 24. Variations des teneurs ($Na^+ + K^+$) en mg/L de la zone d'étude (Guelma, Mai 2017)

D'après les résultats Obtenus, Le minimum de la concentration en ($Na^+ + K^+$) observé à la source thermale de Hammam Ouled Ali est de l'ordre de 3,7mg/l alors que le maximum est enregistré aussi à la source thermale de Hammam N'bail avec une valeur de 64,4 mg/l.

d. Les Sulfates (SO_4^{--})

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

- De la légère solubilité du Sulfate de Calcium ($CaSO_4$) des roches gypseuses ($Ca SO_4 2H_2O$),
- De l'oxydation des Sulfates (pyrites...),
- De l'oxydation des sulfures d'hydrogène et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère puis entraînés lors des précipitations. (BENHAMZA. 2009)

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

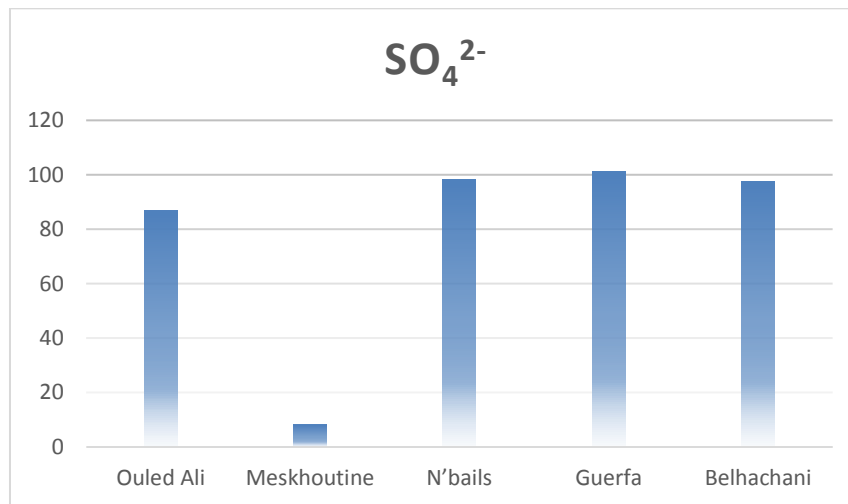


Figure 25. Variations des teneurs SO_4^{2-} (en mg/L) de la zone d'étude (Guelma, Mai 2017)

Les sources thermales de Guelma, sujet de notre étude, présentent des concentrations de sulfates oscillant entre 8.2 mg/l (Hammam Meskhoutine), et 101.3 mg/l. (Hammam Guerfa).

e. 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, 2009)

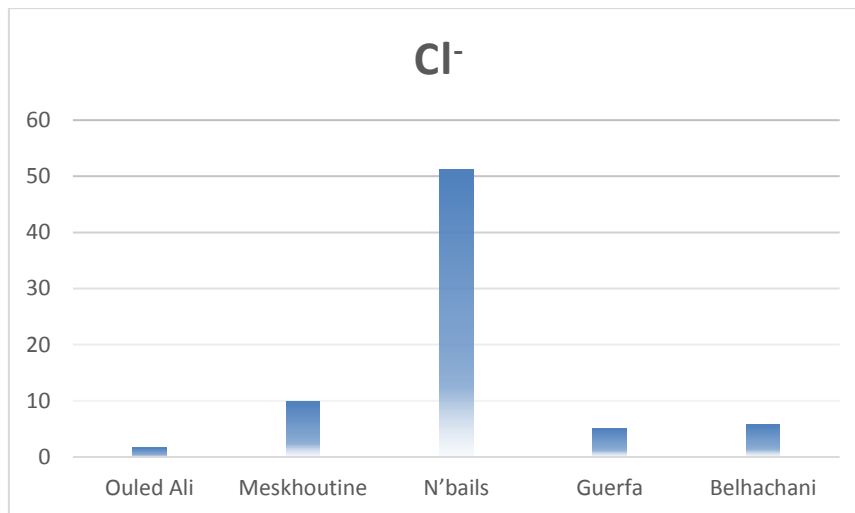


Figure 26. Variations des teneurs Cl⁻ (en mg/L) de la zone d'étude (Guelma, Mai 2017)

Les sources thermales de la zone d'étude présentent des concentrations en chlorures variant de 1,2 à 51,2 mg/l. Le minimum de la concentration est observé à la source thermale de Hammam Ouled Ali, alors que le maximum est enregistré à la source thermale de Hammam N'bails avec une valeur de 51,2 mg/l.

f. Les Bicarbonates : HCO₃

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,

Les teneurs en Bicarbonates observées dans les cinq sources étudiées, oscillent entre un minimum enregistré au niveau de la station Meskhoutine (5,3 mg/l), et un maximum de 12,3 mg/l au niveau de la station de N'bails.

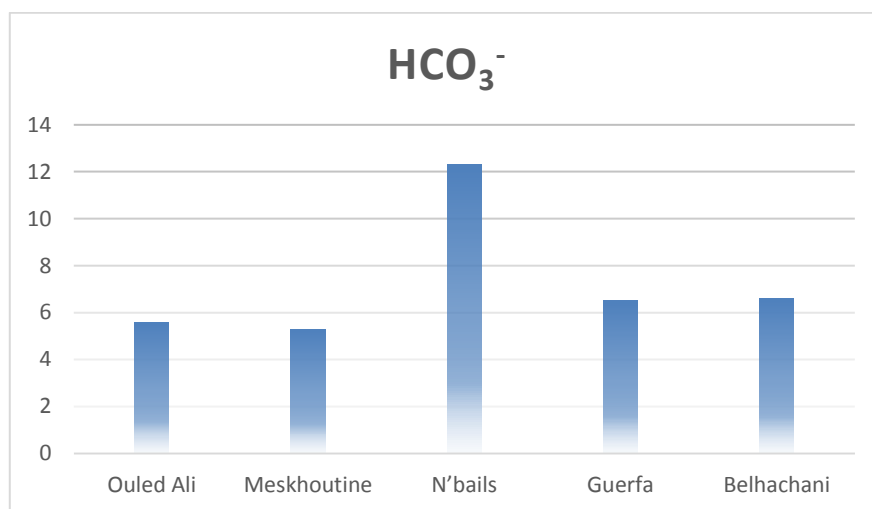


Figure 27. Variations des teneurs HCO₃(en mg/L) de la zone d'étude (Guelma, Mai 2017)

3.3. 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 :

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

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.

A. Rapport $r \text{Mg}^{++}/r \text{Ca}^{++}$

Les valeurs des rapports caractéristiques $r \text{Mg}^{++}/r \text{Ca}^{++}$ sont comprises entre 0,53 et 1,81.

Lorsque ce rapport est supérieur à 1, il traduit la prédominance du Magnésium (Ouled Ali Meskhoutine N'bails).

Lorsque il est inférieur à 1 le Calcium prédomine et c'est le cas des sources Guerfa et Belhachani. Ceci peut être expliqué par la solubilité des calcaires plus riches en Calcium qu'en Magnésium.

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

Lorsque le rapport $r \text{SO}_4^{2-}/r \text{Cl}^-$ est supérieur à 1 il y a prédominance des Sulfates, ceci apparaît dans les sources thermales de Ouled Ali, N'bails, Guerfa et Belhachani.

Lorsque le rapport $r \text{SO}_4^{2-}/r \text{Cl}^-$ est inférieur à 1 il y a prédominance des Chlorures, ce cas caractérise la source thermale de Hammam Meskhoutine.

C. 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.

Toutes les sources étudiées sont à prédominance de sodium.

Tableau 10. Rapports caractéristiques des sources thermales de la zone d'étude

Wilaya	Source thermale	Rapports caractéristiques		
		$r \text{Mg}^{2+}/r \text{Ca}^{2+}$	$r \text{SO}_4^{2-}/r \text{Cl}^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)/r \text{Cl}^-$
Guelma	Ouled Ali	1,34	37,5	3,33
	Meskhoutine	1,17	0,61	1,5
	N'bails	1,81	1,42	1,94
	Guerfa	0,64	15,07	1,64
	Belhachani	0,53	12,69	1,43

3.4. Essais d'évaluation des températures en profondeur à l'aide des géothermomètres

Chimiques

Le géothermomètre 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 température en profondeur des eaux thermo minérales, 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.

Il existe trois sortes de géothermomètres chimiques :

- Le géothermomètre silice T1,
- Le géothermomètre Na –K –Ca T2,

- Le géothermomètre Na/Li T3,

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.

3.4.1. Le géothermomètre Silice (SiO₂), T1

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 d'hydrolyse des feldspaths des roches cristallines ont été mis en solution.

$$T1 (^{\circ}C) = (1522/5,75 - \log [SiO_2]) - 273$$

3.4.2. 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.

$$T2 = (1647 / [\log (Na/K) + \beta \log \sqrt{(Ca/Na) + 2,24}] - 273$$

Na, K et Ca en mol/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 11

Tableau 11. Evaluation de température en profondeur à l'aide des géothermomètres Chimiques.

<i>Wilaya</i>	<i>Source Thermale</i>	<i>Température mesurée à l'émergence</i>	<i>T1 (min) Géothermomètre Silice (SiO₂) (°C)</i>	<i>T2 (max) Géothermomètre (Na⁺ –K⁺ –Ca⁺⁺) (°C)</i>
Guelma	Ouled Ali	53,4	91 ,11	207,17
	Meskhoutine	89,7	107,5	348,34
	N'bail	44,8	79,31	203,011
	Guerfa	60,3	97,32	207,17
	Belhachani	68,1	106,55	155,91

Les résultats obtenus à partir de l'évaluation de la température en profondeur à l'aide des Géothermomètres chimiques, sont reportés sur le graphe de la figure 28

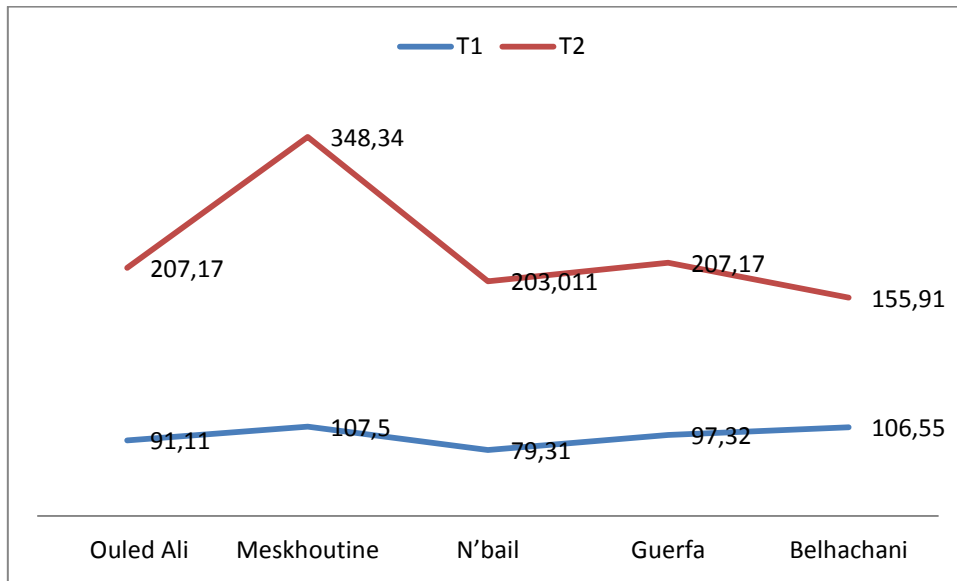


Figure 28. Evaluation de température en profondeur à l'aide des Géothermomètres Chimiques.

3.5. Etude des valeurs relatives

3.5.1. 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 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 alcalino –terreux des argiles alors :

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

Si i.e.b < 0 l'eau est d'origine cristalline,

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

Tableau 12. Indice d'échange de base (i.e.b)

Sources thermales	i.e.b	Origine des eaux
Ouled Ali	-2,33	Cristalline
Meskhoutine	-0, 5	Cristalline
N'bail	-0.94	Cristalline
Guerfa	+0,64	Sédimentaire
Belhachani	-0,44	Cristalline

Les résultats trouvés des valeurs d'indice d'échange de base (i.e.b), sont tous inférieurs à 1 ce qui traduit l'origine des sources thermales de la zone d'étude. (Tableau 12)

3.6. 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.

Les résultats obtenus sont issus des traitements réalisés en utilisant le logiciel FREEQ contenu dans le programme diagramme de l'université d'Avignon (France). Les températures de calculs ont été ramenées à 25 °c dans le but d'harmoniser les calculs des indices de saturation. Les résultats indiquent la présence de plusieurs minéraux particulièrement : l'anhydrite, le gypse, la halite, la calcite l'aragonite et la dolomite dont les indices de saturation varient dans un faible intervalle.

Le tableau 13 donne les valeurs de l'indice de saturation calculé pour les eaux des sources thermales de la région de Guelma.

Tableau 13. Indice de saturation des minéraux dissous dans les eaux des sources thermales (Guelma, Mai 2017) thermales de la région

	Minéraux évaporitiques			Minéraux carbonatés		
	Halite	Anhydrite	Gypse	Aragonite	Calcite	Dolomite
Ouled Ali	-12,68	-5,4	-5,18	-5,84	-5,69	-10,91
Meskhoutine	-11,45	-6,41	-6,19	-5,85	-5,7	-10,99
N'Bail	-9,91	-5,18	-4,96	-5,32	-5,17	-9,74
Guerfa	-12,04	-4,98	-4,76	-5,4	-5,26	-10,36
Belhachani	-11,98	-5	-4,78	-5,44	-5,3	-10,52

3.6.1. Evolution des valeurs de l'indice de saturation dans les eaux de la région

Le dépouillement des résultats, nous a permis de déterminer les minéraux pouvant influencer la composition chimique (Figure 29). Parmi les plus importants nous notons :

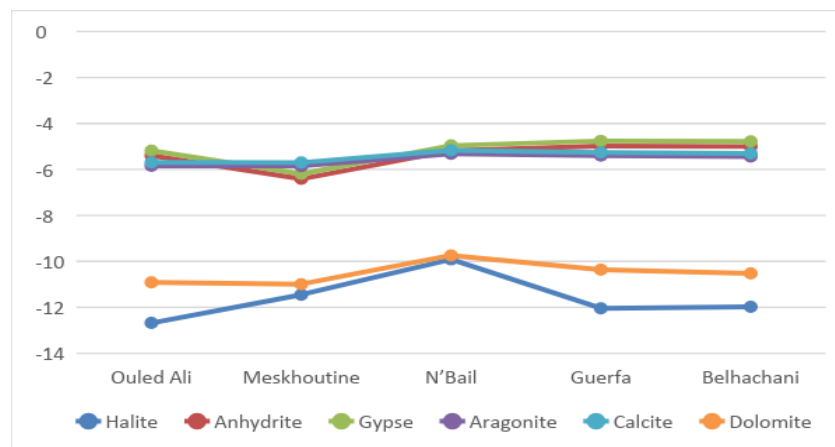


Figure 29. Evolution des indices de saturation dans les eaux de sources thermales (Guelma, Mai 2017)

a. L'anhydrite (Ca SO_4)

L'indice de saturation négatif pour toutes les analyses, indiquant une sous saturation augmentant la minéralisation des eaux.

b. Le gypse ($\text{Ca SO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

L'indice de saturation est négatif pour toutes les analyses, ce qui traduit une sous saturation s'expliquant par une dissolution qui enrichit les eaux en Ca^{2+} et SO_4^{2-} .

c. L'Halite (NaCl)

Les eaux de sources 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.

d. Minéraux carbonatés

Les valeurs d'indice de saturation des eaux de sources thermales dans la région d'étude, vis-à-vis l'aragonite, la calcite et la dolomite, sont négatives ce qui traduit une sous-saturation entraînant des processus de dissolution des éléments carbonatés.

3.7. La méthode D'IIRG

La méthode D'IIRG (Institut International des recherches Géothermiques développée par D'AMORE *et al.* (1983), constitue l'outil le plus utilisé pour la détermination de la nature lithologique du réservoir des eaux thermales. Le principe de cette méthode repose sur l'utilisation des rapports des concentrations des éléments majeurs et la somme des cations $\Sigma(+)$ et des anions $\Sigma(-)$ exprimées en $\text{m}\ddot{\text{e}}\text{q}\cdot\text{L}^{-1}$. Six paramètres (A, B, C, D, E et F), sans unité, sont ainsi définis et normalisés entre -100 et +100 de la manière suivante :

$$\bullet \text{ A} = 100 \times ((\text{HCO}_3 - \text{SO}_4)/\Sigma (-))$$

Ce paramètre aide à différencier entre les eaux circulant à travers les terrains calcaires de celles qui traversent des couches évaporitiques.

$$\bullet \text{ B} = 100 \times ((\text{SO}_4/\Sigma(-)) - (\text{Na}/\Sigma(+)))$$

Le paramètre B permet la discrimination entre les eaux enrichies en sulfate circulant dans les terrains évaporitiques et les eaux enrichies en sodium rencontrées dans les terrains sédimentaires argilo-marneux.

$$\bullet \text{ C} = 100 \times (\text{Na}/\Sigma(+) + \text{Mg}/\Sigma(-))$$

Ce paramètre tend à distinguer entre les eaux dérivées des flyschs ou « volcanites » et celles venant des séries carbonatées évaporitiques ou à partir d'un socle schisto-quartzitique. Les deux types d'eaux ont des teneurs élevées en Na^+ , mais les premières ont une teneur très faible en Cl et les secondes ont un rapport Na/Cl proche de 1.

$$\bullet D = 100 \times ((Na - Mg)/\Sigma(+))$$

Ce paramètre individualise les eaux ayant circulé dans les calcaires dolomitiques.

$$\bullet E = 100 \times ((Ca + Mg)/\Sigma(+)) - HCO_3/\Sigma(-)$$

Le paramètre E distingue principalement les circulations dans les réservoirs carbonatés de celles dans les réservoirs sulfatés.

$$\bullet F = 100 \times (Ca - Na - K)/\Sigma(+)$$

Le paramètre F révèle la croissance de la teneur en K dans les échantillons d'eaux.

Les valeurs permettent d'établir des diagrammes rectangulaires et de les comparer aux diagrammes de référence (α , β , γ et δ) (Figure.30).

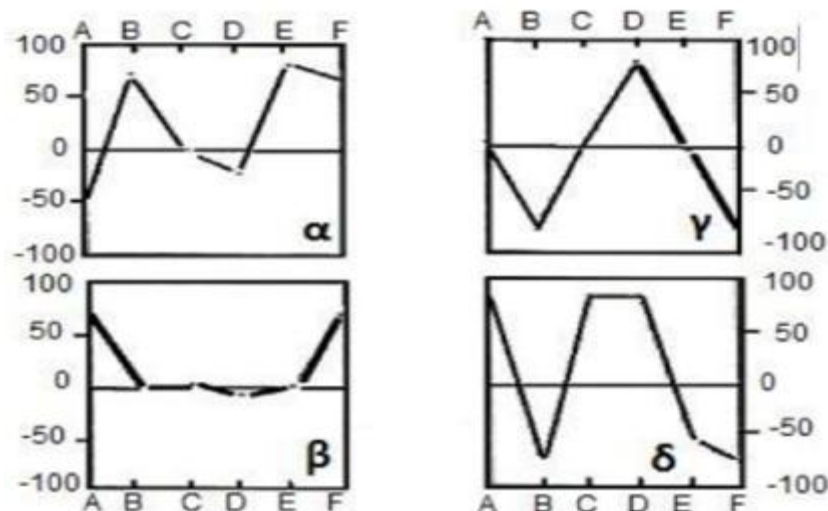


Figure 30. Diagramme de l'Institut international des recherches géothermiques de référence

- α : série évaporitiques, β : circulation dans les calcaires, γ : circulation profonde à travers un socle cristallin, δ : formation argileuse.

Appliquée aux eaux chaudes de la région de Guelma (Figure 31), cette méthode montre deux configurations rectangulaires différentes intermédiaires entre les standards théoriques de référence.

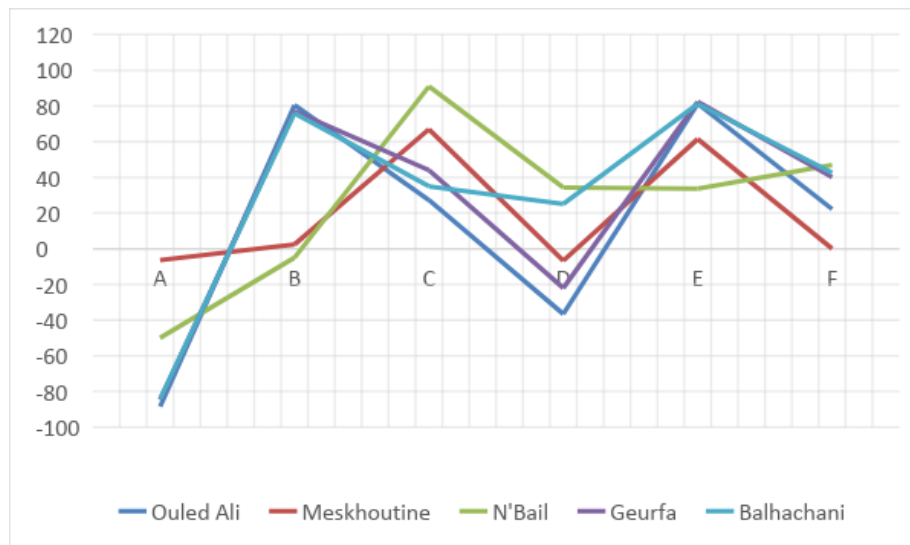


Figure 31. Diagramme de l'Institut international des recherches géothermiques appliqué aux eaux thermales des sources de la région de Guelma

Tableau 14. Les Six paramètres (A, B, C, D, E et F), pour la détermination de la nature lithologique du réservoir des eaux thermales.

paramètres	A	B	C	D	E	F
Ouled Ali	-88,55	80,5	37,3	-36,61	81,3	22,23
Meskhoutine	-6,41	2,4	67	-6,77	61,5	0
N'bail	-50	-5	91	34,35	33,6	46,95
Guerfa	-84,75	77	44	-22,03	82,4	40,11
Belhachani	-84,28	76	35	25,15	81,2	42,51

Les deux sources thermales Hammam Ouled Ali et Meskhoutine s'adaptent beaucoup plus au standard de référence γ : circulation profonde à travers un socle cristallin.

Les sources thermales de Belhachani, Guerfa et N'bail sont plutôt adaptées au standard de référence α : série évaporitiques.

4. 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 :

- Un faciès est de type chloruré et sulfaté calcique et magnésien. Il concerne les sources thermales de (Hammam Ouled Ali, Hammam Guerfa et Hammam Belhachani),
- Un faciès chloruré calcique et sulfaté magnésien qui est rencontré à la source thermale (Meskhoutine)
- Un faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique au niveau de de la source thermale de Hammam N'baïl

L'étude de l'indice de saturation montre des valeurs négatives pour toutes les eaux de sources de la zone d'étude, ce qui traduit une sous saturation par rapport aux éléments évaporitiques et carbonatés.

L'indice d'échange de base pour les eaux de sources thermales a révélé deux origines ; l'une sédimentaire (Hammam Guerfa) et l'autre cristalline pour le reste des sources.

La méthode d'IIRG développée par l'Institut International des recherches Géothermiques, a montré deux standards de référence ; circulation profonde à travers un socle cristallin et série évaporitiques.

Conclusion générale

Le présent travail a été réalisé dans la région de Guelma. Il s'est donné pour objectif l'étude des caractéristiques hydrochimique de quelques sources thermales dans la région.

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, etc...).

La région de Guelma a subi plusieurs phases tectoniques majeures responsables de la mise en place des unités allochtones et la naissance du relief actuel.

La géologie de la région est caractérisée par des formations comprises entre le secondaire et le quaternaire présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement : les calcaires, les calcaires dolomitiques, avec quelques alternances de marnes, des unités argilo marneuses parfois gypseuses et des Schistes.

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 :

- L'eau chaude de la source thermale de Hammam Belhachani 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'Bail les eaux chaudes viennent au jour à la faveur d'importants accidents tectoniques.
- 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.

Du point de vu climatique, il s'agit d'une zone à un climat méditerranéen, Caractérisé par Deux saisons : l'une humide et l'autre sèche et chaude. Elle reçoit une moyenne annuelle de pluie qui varie de 500 à 600 mm/an sous une température moyenne de l'ordre de 18 ,72 °C.

Le bilan hydrique a été interprété selon la méthode de C.W.Thornthwaite, les résultats donnent une évapotranspiration réelle de l'ordre de 428.7 mm/an, et la formule de Tixeront-Berkaloff, donne une valeur de ruissellement de l'ordre de 64,14 mm/an, L'infiltration a été estimée à partir de l'équation du bilan hydrique avec 76,15 mm/an. (11,27 %).

Selon la classification des formations géologiques et suivant leurs intérêts hydrogéologiques, 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.

Pour l'étude hydrochimique, la caractérisation de la qualité des eaux thermales, a été faite par plusieurs méthodes convergeant vers la même constatation.

Les diagrammes de PIPER, STABLER et Schoeller – Berkaloff Ont permis de déceler les différentes tendances chimiques des eaux thermales de la région d'étude. On trouve d'après ces derniers que les eaux thermales appartiennent principalement aux trois faciès.

- Au niveau des sources thermales (Hammam Ouled Ali, Hammam Guerfa et Hammam Belhachani), le faciès est de type chloruré et sulfaté calcique et magnésien.
- Un faciès chloruré calcique et sulfaté magnésien qui est rencontré à la source thermale (Meskhoutine
- Un faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique au niveau de de la source thermale de Hammam N'baïl

L'étude de l'indice de saturation de la région d'étude montre que.

- L'anhydrite (Ca SO_4): et négatif pour toutes les analyses, indiquant une sous saturation augmentant la minéralisation des eaux.

- Le gypse ($\text{Ca SO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$): est négatif pour toutes les analyses, ce qui traduit une sous saturation s'expliquant par une dissolution qui enrichit les eaux en Ca^{2+} et SO_4^{2-} .
- L'Halite (NaCl) : Les eaux de sources 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.
- Minéraux carbonatés : Les valeurs d'indice de saturation des eaux de sources thermales dans la région d'étude, vis-à-vis l'aragonite, la calcite et la dolomite, sont négatives ce qui traduit une sous-saturation entraînant des processus de dissolution des éléments carbonatés.

La méthode D'IIRG : montre que les deux sources thermales ; Hammam Ouled Ali et Meskhoutine s'adaptent beaucoup plus au standard de référence γ : circulation profonde à travers un socle cristallin.

Les sources thermales de Belhachani, Guerfa et N'bail sont plutôt adaptées au standard de référence α : série évaporitiques.

Bibliographie

- 1. A.B.H., 2005.** (Agence des Bassins Hydrographiques ; Constantinois, Seybouse,Mel lègue). Qualité des eaux souterraines dans le bassin de la Seybouse,Rapport interne **P,4,26,64**
- 2 Boussis.A, 2009.** Développement durable: Une Approche Intégrée Pour La Gestion Des Ressources En Eau Dans La Wilaya De Guelma (mémoire du Magister université BADJI MOKHTAR-ANNABA) **p 3 ,4 ,27**
- 3. B. Nabil, 2008.** Impact des rejets industriels du complexe sidérurgique sur les eaux superficielles et souterraines de la plaine de Meboudja. Mémoire de Magister, université d'Annaba.**p, 24**
- 4 .Bouillin, 1977 .** Géologie Alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El Milia (Algérie). Thèse Doctorat, science naturelle. Paris (France). Mem.Soc.Géol.fr.**p ,30**
- 5. Bekkouch et Benhamza, 2009.** Caractéristiques des sources thermales de la région D'Azzaba, thèse de magister, université Badji Mokhtar, Annaba,**p 59,58,57,56,46**
- 6. BENHAMZA.M, 2008.** 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. **p, 47**
- 7. BENHAMZA.M, 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. **p, 54, 52**
- 8.Benmarce, 2007.**Caractéristiques physico-chimiques et isotopiques des eaux sou terrains dans la région de Guelma ; En Vue de l'obtention du diplôme de Magister.**P,4,50**
- 9. Chebouba et al. 2013.** Contribution à l'étude hydrogéologique De la source d'Ain El Djemel, Guelma **P, 5**
- 10. chavane .1919 .** Carte géologique de l'Algérie au 1/50000, feuille n°54, **p ,38**
Guelma, Publ. Serv. Carte géol., Algér

-
- 11. (Chaponnière, 2005) :** Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi-aride : cas du bassin versant du Rehraya (Haut Atlas marocain). Paris (FRA) ; Toulouse : INA-PG ; CESBIO, 268 p. multigr. Th. : Hydrol. et Télédétection, INA-PG : Paris ,17
 - 12. Dont R.O.Fournier, J.J.Rowe et A.H.Truesdell 1973.** An empirical Na-K-Cageothermometer for natural waters. *Geochim.Cosmochim.Acta* 37, 1255-1275. **P,62**
 - 13. Dont R.O.Fournier, J.J.Rowe et A.H.Truesdell 1974 :** Geochemical Indicators of subsurface Temperature. Estimation of temperature and fraction of hot water mixed with cold water. *U.S. Geol. Surv. J. Res.* **p ,62**
 - 14. DIB.H, 2004.** Le thermalisme de l'extrême Est Algérien : Guelma, Souk Ahras, Skikda et Tarf. Encadrement d'un Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Faculté des Sciences de la Terre et de l'Aménagement du Territoire. Université de Constantine. **P, 5, 6,7, 8, 63,55**
 - 15. DIB.H, 2008.** Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien. Publication du service Géologique National, **12, 14, 15, 42, 41, 40,39**
 - 16. Delga, 1969.** Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. *Publ. Serv. Géol. Algérie* **p, 29**
 - 17. D'après J.M.Vila, 1980.** "La chaîne Alpine du Nord-est Algérien et des confins Algérotunisiens". Thèse Sc. Nat. Université Pierre et Marie Curie, Paris, **p, 34,41**
 - 18. F.Z.Haouchine 2012.** Hydrogéochimie et géothermométrie: apports à l'identification du réservoir thermal des sources de Hammam Righa, Algérie, Volume 57, 2012 - Issue 6 *Hydrological Sciences Journal* ,**47**
 - 19. J.M.VILLA.1972 .**La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-tunisiens. (Thèse Doctorat, Université P. et M. Curie, Paris VI).**p ,32**
 - 20. J.M. Vila.** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-tunisiens. (Thèse Doctorat, Université P. et M. Curie, Paris VI) .**p, 32, 45,32**
 - 21. lavsky, J., Snopkova, P., 1987.** Découverte d'Acritarches paléozoïques dans les terrains métamorphiques de l'Edough (Wilaya d'Annaba, Algérie). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 305, 881–884. **p35**
 - 22. Gharbi et al. 2001.2002.** Etude ET reconnaissance hydrogéologique à partir des Données géologiques et géophysiques de la région de (Hammam Brédaa-El Fedjoudj).

Mémoire d'ingénieur. Université Badji Mokhtar. Annaba. P,23,34,37

23. (MICHAD, 1989.The Markowitz Optimization Enigma: is 'Optimized' Optimal? FinancialAnalysts Journal, 1989 p, 50

24. P.Deleau, 1938. Étude géologique des régions de Jemmapes, hammam Meskhoutine et du col des oliviers. Service de la carte géologique .Algérie. Thèse sciences, Paris (France).p, 43

25. Raoult,1974. géologie du centre de la chaîne nummidique (nord du constantinois, Algérie). Thèse sciences, Paris (France), Mém. Soc Géol. Fr. nouv. Série,p ,30

26. STUMM et MORGAN, 1981). Aquatic Chemistry: an Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters, Wiley-Interscience, Toronto.p,50

27. 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.

28. Vincent Valles, 2002. Cours sur les eaux thermales.p, 11, 12,16

29. Villa, 1980. La plaine alpine d'Algérie orientale et ses confins algéro-tunisiens. Doctorat d'état. Université Pierre Et Marie Curie, Paris VI .p, 31