



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Université Batna2

Institut des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département de Géologie

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat Sciences

Filière géologie - option hydrogéologie

Étude des sources thermominérales de la région de Sétif dans leur contexte structural (Est Algérien)

Présentée par :

DJEMMAL Samir

Date de soutenance : 29/ 01/2018.

Devant le jury composé de :

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| - Dr Drias Tarek | Président | Université de Batna 2 |
| - Pr Menani Mohammed Redha | Rapporteur | Université de Batna 2 |
| - Pr CHABOUR Nabil | Examineur | Université de Constantine |
| - Pr Boumazbeur Abderrahmane | Examineur | Université de Tébessa |

REMERCIEMENTS

Avant tout propos, je dois remercier le Bon Dieu le tout puissant qui m'a donné le courage, sagesse et la santé d'aller jusqu'au bout et de ramener ce présent travail à son point ultime.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont permis de mener à bien ce travail. Si j'oublie une personne dans cet exercice, et je le ferai sans doute, je m'en excuse d'avance.

Comment pourrais-je exprimer ce sentiment indescriptible en quelques mots et en si peu de temps pour Mr le **Professeur Menani Mohammed Redha**, mon Directeur de Thèse, sans lui cette thèse ne verra jamais le jour. Je tiens à lui exprimer toute ma reconnaissance de m'avoir proposé ce thème qu'il a suivi de près et soigneusement corrigé. Ses conseils précieux et ses critiques ont été un apport vital pour cette thèse. Je le remercie également pour la confiance et le temps qu'il m'a donnée de m'avoir initié dans le domaine de la recherche, malgré ses responsabilités et ses préoccupations. Ni les mots, ni un langage gestuel ne sauraient traduire avec justesse mes sentiments ; ni le temps, même une éternité, suffirait pour la remercier assez...

Mes remerciements s'adressent particulièrement à **DRIAS Tarek** d'avoir accepté de présider mon jury de soutenance, aux membres examinateurs : **CHABOUR Nabil** ; Professeur à l'université de Constantine et **BOUMAZBEUR Abderrahmane** ; Professeur à l'université de Tébessa, je leurs serai reconnaissant pour le temps qu'ils auront consacré à lire cette thèse et qui nous font honneur de siéger pour évaluer.

Mes remerciements vont également à tous mes enseignants des départements des sciences de la Terre des universités de BATNA et de Constantine sans exception. Un grand Merci pour Madame **DIB Henia** pour leur précieuse aide dans les moments critiques.

Mes vifs remerciements à tous les enseignants et les collègues dès le primaire jusqu'à l'université.

Je ne saurai oublier dans mes remerciements mon épouse KAMILA qui a supporté mes préoccupations et mon stress ainsi que à mes enfants ICHRAK, ARUDJ et MOHAMED EL AMINE, je leurs dédie cette humble œuvre.

Enfin, certaines personnes méritent un remerciement spécial : celles qui ont été à mes côtés dans les moments les plus difficiles. Je les remercie de croire en moi lorsque j'ai de la difficulté à croire en moi-même. A mes très chers parents, mes sœurs et mes frères avant tout et pour tout, que j'adore et je souhaite toujours les voir à mes côtés, je dédie cette thèse.

Merci à tous

Merci pour tout

Table des Matières

Introduction générale	12
CHAPITRE I : Contexte géographique.	
Introduction	15
I.1. Situation géographique	15
I.2. Le climat	17
I.3. Le relief	17
I.4. Le réseau hydrographique	18
I.5. La végétation	19
Conclusion	19
CHAPITRE II : Contexte géologique.	
Introduction	21
II.1. Dispositions particulières en Algérie	21
II.1.1. Les zones internes	22
II.1.1.1. Socle Kabyle	22
II.1.1.2. Dorsale Kabyle	22
II.1.1.2.1. Dorsale interne	22
II.1.1.2.2. Dorsale médiane	23
II.1.1.2.3. Dorsale externe	23
II.1.2. Zone des flyschs	23
II.2.1.1.2.1. Le flysch Maurétanienne	23
II.1.2.2. Le flysch Massylien	24
II.1.2.3. Le flysch Numidien	24
II.1.3. Zone Externe	24
II.1.3. Les séries Telliennes	25
II.1.4. Domaine de l'avant-pays allochtone	25
II.1.4.1. L'organisation Sétifienne	25
II.1.4.2. L'organisation constantinoise	26
II.1.4.2. L'organisation constantinoise	26
II.1.4.2.1. les séries néritiques Constantinoises	26
II.1.4.2.2. Les séries de type Sellaoua	26
II.1.4.3. Une organisation Algéro-Tunisienne	27
II.1.5. Le domaine de l'avant-pays Autochtones et Parautochtones	27
II.1.5.1. Le massif de l'Aurès	28
II.1.5.2. Les monts de Batna-Bellezma	28
II.2. Le contexte géologique local	28
II.2.1. Les formations quaternaires et néogènes peu ou pas tectonisées	30
II.2.2. Le domaine des flyschs	30
II.2.2.1. Nappe Numidien	30
II.2.2.2. Nappe du flysch Maurétanien	30
II.2.2.3. Nappe du flysch Massylien	30
II.2.3. Les nappes telliennes	30
II.2.3.1. La nappe de type Barbacha	31
II.2.3.2. La nappe de type Draa el Arba	31
II.2.3.3. La nappe de type Béni-Abdalla	31
II.2.3.4. Une unité supérieure à matériel Eocène	32
II.2.3.5. La nappe bibanique	32

II.2.3.6. La nappe de Djemila	32
II.2.3.7. La nappe du Djebel Sattor	33
II.2.3.8. La nappe péni-tellienne	33
II.2.4. L'ensemble allochtone Sud Sétifien	33
II.2.4.1. Le domaine médian des Djebels Zdimm, Youssef, Brao et Thoutit	33
II.2.4.2. L'ensemble méridional des Djebels Sekrine, Kalaoun et Koudiat Tella	34
II.2.5. Parautochtone et autochtone Hodnéens	34
II.2.6. Trias Exotique ou Extrusif	34
II.3. Principales phases tectoniques	35
II.3.1. La phase atlasique (structuration Eocène)	35
II.3.2. La phase du Miocène basal	35
II.3.3. La phase Alpine	35
II.3.3.1. Phase post-Burdigalienne	35
II.3.3.2. Phase post-Pontienne et post-Pliocène (néotectonique)	36
II.4. Aperçu structural	36
II.4.1. Les chevauchements	36
II.4.2. Les failles	37
II.4.3. Les plis	38
II.5. Le thermalisme dans son cadre structurale	38
II.5.1. Analyse des linéaments à partir de la carte géologique	38
II.5.2. Interprétation des linéamentaires des trois secteurs	42
II.5.3. Description des rosaces	42
II.5.4. Analyses et significations structurales	42
II.5.4.1. Famille 1 N150-170 (NNW-SSE)	42
II.5.4.2. Famille 2 N130-140 (NW-SE)	43
II.5.4.3. Famille 3 N40-50 (NE-SW)	43
II.6. Carte montre les relations entre la fracturation et le thermalisme	43
Conclusion	44

CHAPITRE III : Contexte géophysique.

Introduction	47
III.1. La sismique réflexion	48
III.2. Principe du disposition d'enregistrement	48
III.2.1. Paramètre d'enregistrement (ENAGEO en 1993)	48
III.2.1.1. Nappe de tir	49
III.2.1.2. Nappe sismo	49
III.2.1.3. Petite réfraction	50
III.2.1.4. Correction statique	50
III.3. Paramètre de traitement	50
III.3.1. Qualité des données sismiques	51
III.4. Interprétation sismique	53
III.4.1. Corrélacion du profil 87 ST1 bis	53
III.5. Interprétation du profil 87 ST 1 bis	53
Conclusion	54

CHAPITRE IV : Contexte hydrogéologique.

Introduction	56
IV.1. Systèmes aquifères	56
IV.1.1. Classification des formations selon leur intérêt hydrogéologique	57

IV.1.1.1. Formations carbonatées favorables au développement des aquifères karstiques	57
IV.1.1.1. Formations de couverture favorable au développement des aquifères poreux	58
IV.1.1.3. Formations non favorables au développement d'aquifères	59
IV.2. Zones de recharge ou d'alimentation des aquifères	59
IV.2.1. Aquifère des dolomies et des calcaires du Jurassique	59
IV.2.2. Aquifères des calcaires et dolomies du Barrémo-Aptien-Cénomanién	59
IV.2.3. Aquifères des grès fissurés de l'Aquitanién	60
IV.2.4. Aquifères des grès conglomératiques du Miocène	60
IV.2.5. Aquifères des couvertures du Mio-pIio-quatérnaire	60
IV.3. Caractéristiques géométriques des aquifères	60
IV.4. Phénomène de karstification	62
IV.5. Colonne lithostratigraphique et hydrogéologique	62
IV.6. Carte en isobathes au toit du réservoir des calcaires fissurés du jurassique	64
Conclusion	65

CHAPITRE V : Contexte hydroclimatologique.

Introduction	67
V.1. Aperçu sur le climat de l'Algérie	67
V.1.1. La région de Sétif	67
V.2. Analyse des paramètres climatiques	70
V.2.1. Précipitation	70
V.2.2. Température de l'air	72
V.3.3. Relation : Précipitation - Température	73
V.3.1. Méthode d'Euverte	74
V.3.2. Indice de Demartone	75
V.3.3. Climagramme d'Emberger	75
V.4 Bilan hydrologique	76
V.4.1. Evapotranspiration	76
V.4.1.1. Evapotranspiration potentielle	77
V.4.1.2. Evapotranspiration réelle	77
V.5. Interprétation des résultats	79
V.6. Paramètres du bilan hydrologique	79
V.6.1. Ruissellement superficiel	80
V.6.2. Infiltration	80
Conclusion	80

CHAPITRE VI : Contexte hydrochimique.

Introduction	82
VI.1. Les principales sources thermales de la région de Sétif	84
VI.1.1. Hammam Guergour	84
VI.1.1.1. Situation Géographique de la source	84
VI.1.1.2. Condition géologique de la source	84
VI.1.2. Hammam Ouled Tabben	86
VI.1.2.1. Situation Géographique de la source	86
VI.1.2.2. Condition géologique de la source	86
VI.1.3. Hammam Boutaleb	88
VI.1.3.1. Situation Géographique de la source	88
VI.1.3.2. Condition géologique de la source	88
VI.1.4. Hammam Soukhna	90
VI.1.4.1. Situation Géographique de la source	90

VI.1.4.2. Condition géologique de la source	90
VI.1.5. Hammam Dehamcha	92
VI.1.5.1. Situation Géographique de la source	92
VI.1.5.2. Condition géologique de la source	92
VI.1.6. Hammam Ouled Yellès	94
VI.1.6.1-Situation Géographique de la source	94
VI.1.6.2-Condition géologique de la source	94
VI.1.7-Hammam Ouled Boutara	96
VI.1.7.1-Situation Géographique de la source	96
VI.1.7.2-Condition géologique de la source	96
VI.1.8 - Hammam Douar El Kebir	98
VI.1.8.1-Situation Géographique de la source	98
VI.1.8.2-Condition géologique de la source	98
VI.2. Etude des paramètres physico-chimiques	100
VI.2.1. Etude des paramètres physiques	100
VI.2.1.1. Température	100
VI.2.1.1.4. Les températures mesurées	100
VI.2.1.2. Potentiel Hydrogène	101
VI.2.1.3. Conductivité	101
VI.2.1.4. Minéralisation	101
VI.3. Etude des paramètres chimiques	102
VI.3.1. Cations	102
VI.3.1.1. Calcium	102
VI.3.1.2. Magnésium	103
VI.3.1.3. Sodium et Potassium	103
VI.3.2 Anions	104
VI.3.2.1 Les Bicarbonates	104
VI.3.2.2 Les Sulfates	104
VI.3.2.3. Les Chlorures	104
VI.3.3. Eléments mineurs	108
VI.3.3.1. Strontium	105
VI.3.3.2. Silice	105
VI.4. Etude des valeurs relatives	106
VI.4.1. Rapports caractéristiques	106
VI.4.1.1. Rapport : rCa^{++}/rMg^{++}	106
VI.4.1.2. Rapport : rSO_4^{-}/rCl^{-}	106
VI.4.1.3 Rapport : $r(Na^{+}+K^{+})/rCl^{-}$	106
VI.4.1.4 Rapport : rSr/rCa^{++}	107
VI.4.2 L'indice dés équilibres chloro-Alcalin (I.C.A)	107
VI.5. Classification des eaux	108
VI.5.1 Classification de Stabler	108
VI.5.1.1 Faciès bicarbonaté	108
VI.5.1.1.1 Faciès bicarbonaté Sodique	108
VI.5.1.2 Faciès chloruré	108
VI.5.1.2.1Faciès chloruré Sodique	108
VI.5.1.3 Faciès sulfaté	108
VI.5.1.3.1 Faciès sulfaté calcique	108
VI.5.1.3.2 Faciès sulfaté Sodique	108
VI.5.2. Classification de Piper	109

VI.5.3 Diagramme de Scholler-Berkaloff.....	110
VI.6 Etude de l'origine des éléments chimiques des sources thermales.....	111
VI.6.1 Matrice de corrélation.....	111
VI.6.2. Relation entre les paramètres.....	111
VI.7. Diagramme de l'Institut international des recherches géothermiques	116
VI.7.1. Le paramètre A	116
VI.7.2. Le paramètre B	116
VI.7.3. Le paramètre C.....	116
VI.7.4. Le paramètre D	116
VI.7.5. Le paramètre E.....	116
VI.7.6. Le paramètre F.....	116
VI.8. Diagramme de Langelier-Ludwing	119
Conclusion.....	120

CHAPITRE VII : Contexte géothermique.

Introduction	122
VII.1. Origine de la thermalité	122
VII.2. Définition de la thermalité.....	122
VII.2.1. Les réactions chimiques exothermiques.....	123
VII.2.2. La désintégration des minéraux radioactifs	123
VII.2.3. Le gradient géothermique	123
VII.2.4. Les mouvements de l'écorce terrestre.....	124
VII.3. Classification thermique des sources thermales	124
VII.3.1. Eaux chaudes des nappes	124
VII.3.2. Eaux chaudes riches en Silice parfois en radon	124
VII.3.3. Eaux chaudes thermotectoniques.....	125
VII.4. Détermination de l'activité thermique	125
VII.5. Détermination du flux de chaleur	125
VII.6. Evaluation des températures en profondeur	125
VII.6.1. Géothermomètre silice	126
VII.6.2. Géothermomètre Na/K	127
VII.6.3. Géothermomètre Na-K-Ca	127
VII.6.4. Géothermomètre CO_3/SO_4	128
VII.6.5. Géothermomètre Na/Li	128
VII.7. Application des géothermomètres chimiques	128
VII.7.1 Géothermomètre silice	128
VII.7.2 - Géothermomètre Na/K	129
VII.7.3 - Géothermomètre Na-K-Ca	129
VII.8. Etablissement de carte	130
VII.8.1. Carte en iso-gradient	130
VII.9. Modèle structural d'écoulement des eaux thermales vers la surface.....	132
Conclusion.....	134
Conclusion générale.....	136
Recommandation	138
Références Bibliographies	140
Annexe A	145
Annexe B	146
Annexe C.....	149

Liste des figures

CHAPITRE I : Contexte géographique.

Figure I.1 : Situation géographique de la région de Sétif	16
Figure I.2 : Reliefs de la région de Sétif	18
Figure I.3 : Réseau hydrographique de la région de Sétif	19

CHAPITRE II : Contexte géologique.

Figure II.1 : Position des différentes unités géologiques des Maghrébides	21
Figure II.2 : Rapports structuraux entre les différentes unités des Maghrébides	22
Figure II.3 : Relations structurales et sédimentaires entre le Néritique et les Sellaoua	27
Figure II.4 : Schéma structural du Nord de l'Algérie	28
Figure II.5 : Contexte géologique de la région de Sétif	29
Figure II.6 : Coupes à travers les nappes telliennes	31
Figure II.7 : Coupe géologique Djebel ANINI - Nappe de Djemila	33
Figure II.8 : Fracturation des trois secteurs	40
Figure II.9 : Rosace de la linéamentaire secteur 01	41
Figure II.10 : Rosace de la linéamentaire secteur 02	41
Figure II.11 : Rosace de la linéamentaire secteur 03	41
Figure II.12 : Rosace de la linéamentaire globale	42
Figure II.13 : Relations entre la fracturation et le thermalisme	44

CHAPITRE III : Contexte géophysique.

Figure III.1 : Dispositif d'enregistrement (tir au centre)	48
Figure III.2 : Nappe de tir de forme parallélogramme	49
Figure III.3 : Nappe sismo de forme parallélogramme 4*12m	49
Figure III.4 : Dispositif de la WZ	50
Figure III.5 : Profils sismique du programme 87 ST du périmètre de Sétif	52

CHAPITRE IV : Contexte hydrogéologique.

Figure IV.1 : Colonne lithostratigraphique	57
Figure IV.2 : Coupe hydrogéologique de Forage Rass El Ma à Forage Djebel Youssef	61
Figure IV.3.1 : Colonne lithostratigraphique et hydrogéologique	63
Figure IV.3.2 : Colonne lithostratigraphique et hydrogéologique	64
Figure IV.4 : Carte en isobathes au toit du réservoir des calcaires fissurés du jurassique	65

CHAPITRE V : Contexte hydroclimatologique.

Figure V.1 : Grands bassins versants de l'Algérie	68
Figure V.2 : Situation de la région de Sétif dans les grands bassins versants	69
Figure V.3 : Carte pluviométrique de la région de Sétif dans les grands bassins versants	69
Figure V.4 : Précipitations moyennes mensuelles des stations	71
Figure V.5 : Précipitations moyennes saisonnières des stations	71
Figure V.6 : Précipitations annuelles station	72
Figure V.7 : Variation moyenne de la température mensuelle station	73
Figure V.8 : Diagramme Ombrothermique station Sétif	74
Figure V.9 : Climagramme de l'Emberger	76

CHAPITRE VI : Contexte hydrochimique.

Figure VI.1 : Inventaire de toutes les sources thermo minérales	83
Figure VI.2 : Schéma structural de la source de Hammam Guergour.....	85
Figure VI.3 : Schéma structural de la source de Hammam Ouled Tabben.....	87
Figure VI.4 : Schéma structural de la source de Hammam Boutaleb	89
Figure VI.5 : Schéma structural de la source de Hammam Soukhna.....	91
Figure VI.6 : Schéma structural de la source de Hammam Dehamcha.....	93
Figure VI.7 : Schéma structural de la source de Hammam Ouled yellès.....	95
Figure VI.8 : Schéma structural de la source de Hammam Ouled boutara.....	97
Figure VI.9 : Schéma structural de la source de Hammam Douar el kebir.....	99
Figure VI.10 : Répartition des eaux dans le diagramme de Piper	109
Figure VI.11 : Répartition des eaux dans le diagramme de Scholler-Berkaloff	110
Figure VI.12: Couple HCO_3^- en fonction SO_4^-	112
Figure VI.13: Couple SO_4^- en fonction Cl^-	112
Figure VI.14: Couple HCO_3^- en fonction Cl^-	112
Figure VI.14.01: Diagramme $\text{HCO}_3^- / (\text{SO}_4^- + \text{Cl}^-)$	112
Figure VI.14.02: Diagramme $\text{Cl}^- / \text{HCO}_3^-$ en fonction de la Conductivité	113
Figure VI.15: Couple Ca^{++} en fonction Cl^-	113
Figure VI.16: Couple Ca^{++} en fonction SO_4^-	113
Figure VI.17: Couple Ca^{++} en fonction HCO_3^-	113
Figure VI.18: Couple Na^+ en fonction SO_4^-	114
Figure VI.19: Couple Na^+ en fonction HCO_3^-	114
Figure VI.20: Couple Na^+ en fonction Cl^-	114
Figure VI.21: Couple Sr^{++} en fonction SO_4^-	114
Figure VI.22: Couple Ca^{++} en fonction Na^+	115
Figure VI.23: Diagramme $\text{Ca}^{++} / \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^- + \text{Cl}^-$ en fonction $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$	115
Figure VI.24 : Diagrammes de références établies par Amore et al.....	117
Figure VI.25: Représentation des eaux thermo minérales sur le diagramme d'amore et al..	117
Figure VI.26: Diagramme de Langelier-Ludwing appliqués aux eaux des sources.....	119

CHAPITRE VII : Contexte géothermique.

Figure VII.1 : Solubilité des différentes espèces de silice avec la température.....	126
Figure VII.2 : Carte du gradient géothermique de Silice (Quartz).....	131
Figure VII.3 : Schémas structural montre le circuit d'écoulement des eaux des sources....	133

Liste des tableaux

CHAPITRE III : Contexte géologique.

Tableau II.1 : Tableau récapitulatif des linéaments des trois secteurs	39
Tableau II.2 : Tableau récapitulatif de linéament secteur N°01.....	41
Tableau II.3 : Tableau récapitulatif de linéament secteur N°02	41
Tableau II.4 : Tableau récapitulatif de linéament secteur N°03	41
Tableau II.5 : Les principales fractures par ordre d'importance.....	42

CHAPITRE III : Contexte géophysique.

Tableau III.1 : Les paramètres d'enregistrement de la campagne 87 ST.....	49
Tableau III.2 : Les paramètres du processing de la campagne 87 ST	51
Tableau III.3 : Qualité des données sismiques	52

CHAPITRE IV : Contexte hydroclimatologique.

Tableau IV.1 : Coordonnées des stations Météorologique de la région de Sétif	68
Tableau IV.2 : Précipitations mensuelles et saisonnières.....	70
Tableau IV.3 : Températures moyennes mensuelles à Sétif (1985 - 2006).....	73
Tableau IV.4 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations et de température	74
Tableau IV.5 : Valeur du rapport (P/T) station de Sétif	75
Tableau IV.6 : Calcul de l'E.T.P selon Thornthwaite à la station de Sétif	77
Tableau IV.7 : Estimation de l'ETR selon Turc à la station de Sétif (1985 - 2006).....	78
Tableau IV.8 : Bilan hydrologique à la station de Sétif (1985 - 2006).....	79

CHAPITRE VI : Contexte hydrochimique.

Tableau VI.1 : Les paramètres mesurés et les appareils utilisés.....	100
Tableau VI.2 : Matrice de corrélation des paramètres	111

CHAPITRE VII : Contexte géothermique.

Tableau VII.1 : Températures estimées par les géothermomètres à silice en °C	129
Tableau VII.2 : Températures estimées par les géothermomètres Na/K en °C.....	129
Tableau VII.3 : Températures estimées par le géothermomètre Na-K-Ca en °C.....	130

Introduction générale

Le travail de recherche que nous présentons à travers ce thème dans le cadre de la thèse de doctorat est l'étude des sources thermominérales de la région de Sétif dans leur contexte structural.

L'exploitation des sources chaudes en Algérie généralement et la région de Sétif particulièrement est limitée, du fait que l'Algérie dispose d'importantes réserves en hydrocarbures. Cependant, l'exploitation de l'énergie géothermique n'a pas encore connu un grand développement dans notre pays. Cette richesse en sources chaudes peut avoir un avenir attrayant.

La région de Sétif a fait l'objet de plusieurs études hydrothermales qui ont été menées à l'échelle globale ou à l'échelle locale, comme celles établies par DIB-ADJOUL, H en 1985, ISSAADI en 1992 - 1996 et ATHAMENA, M en 2006. Ce sont des études typiques des réservoirs hydrothermaux de l'Algérie, cependant elles n'ont pas étudié en détail la relation entre la fracturation et le thermalisme dans la région de Sétif. C'est dans ce dernier contexte que s'inscrit la présente étude.

Afin de comprendre le phénomène du thermalisme, il est intéressant de faire des études basées sur plusieurs apports scientifiques spécialisés, dont le but de répondre aux objectifs suivants :

- L'établissement d'un inventaire le plus complet de toutes les sources thermominérales.
- L'établissement d'une carte interprétative rassemblant les relations entre fracturation et thermalisme.
- L'établissement d'une rosace globale à partir d'une étude linéaire précise pour déduire les directions dominantes de la fracturation.
- La détermination des facteurs tectoniques facilitant l'émergence de ces sources chaudes.
- La distinction entre les différents réservoirs alimentant les sources ainsi que les conditions qui y règnent en utilisant les données chimiques et géophysiques de subsurface.
- La détermination des différents processus d'acquisition de la température et des rapports de mélange entre les différents aquifères existants. Ce mélange ou contact provoque la dissipation d'énergie (Gradient géothermique).

Il s'agira également, pour l'ensemble des sources chaudes, la confirmation de certains résultats en particulier :

- La délimitation des différents systèmes hydrothermaux existants.

- La localisation des zones de recharge ou d'alimentation.
- L'établissement d'un modèle structural d'écoulement des eaux thermominérales de l'origine jusqu'en surface en s'appuyant sur les apports chimiques, géothermiques et géologiques.
- La différenciation entre les formations donnant la minéralisation initiale et la minéralisation acquise pendant les circuits de remontée.

Pour réaliser ce travail, des prélèvements d'échantillons d'eaux destinés aux analyses chimiques en éléments majeurs et mineurs, ainsi que des mesures physicochimiques ont été effectuées sur le terrain pour les huit sources chaudes identifiées. L'analyse des résultats ainsi obtenus sera développée à travers les deux parties constituant notre thèse :

Dans la première partie, après avoir replacé la région dans son cadre géologique, géophysique, hydrogéologique et enfin climatique, nous examinerons les dispositions lithostratigraphiques et structurales et plus particulièrement le système de fracturation et leurs influences sur le thermalisme.

La deuxième partie de ce travail sera consacrée à un inventaire des principales émergences chaudes de la région de Sétif, cette étude permettra d'aboutir aux origines géologiques des sources thermominérales mais aussi d'avoir une idée sur la nature des formations lithologiques traversées par ces eaux et leur dynamique. Elle permettra aussi d'estimer les températures des eaux en profondeur des différentes sources thermominérales en utilisant divers géothermomètres chimiques, comme indicateurs des températures minimales et maximales au droit des aquifères.

Finalement, un modèle structural d'écoulement des eaux thermominérales de l'origine jusqu'en surface et une carte interprétative rassemblant les relations entre fracturation et thermalisme nous permettront de synthétiser l'ensemble des données. Et on terminera avec quelques recommandations pour des études très approfondies dans le futur.

Les résultats obtenus de la présente thèse durant toutes les années de recherches ont fait l'objet de deux publications et une communication internationales :

✚ **Publication, 2017**: Contribution géothermique à l'identification du réservoir thermal de la région de Sétif (Est Algérien). *Afrique SCIENCE* 13(3) (2017) 390 - 399, ISSN 1813-548X.

✚ **Publication, 2017**: The contribution of the fracturation in the emergence of the thermale Springs in Setif city (Eastern Algeria). *Carbonates Evaporites* DOI 10.1007/S13146-017-0375-0, ISSN 0891-2556.

✚ **Communication, 2016**: Study of the thermal springs of the town of setif in their structural context (East Algerian), orally presentation. *2ND ICIEM 2016*, International Conference On Integrated Environmental Management. University of Sfax.

CHAPITRE N°1

Contexte Géographique
Contexte Géographique

Introduction

Pour une étude hydrogéologique réussie, il est nécessaire à faire une vaste connaissance sur les facteurs physico-géographiques caractérisant la région d'étude.

I.1. Situation géographique de la région de Sétif

Du point de vue géographique, la région de Sétif est localisée dans l'Est algérien dans la région des Hauts-Plateaux.

La région d'étude est située sur les hautes terres de l'EST du pays au climat continental particulièrement rude. Elle s'étend sur une superficie de 6549, 64 km² et comprend 60 communes regroupées autour de 20 daïras. C'est une wilaya carrefour traversée par plusieurs routes nationales dont la plus importante est la RN 5 qui traverse la wilaya en son centre et d'Est en Ouest. Elle est également desservie par la voie ferrée (DPAT., 2010) (Fig I.1).

Elle occupe une position prédominante parmi les wilayas des hauts plateaux de l'Est, ce qui fait d'elle leur capitale. Elle constitue également un point de passage d'une grande importance du fait qu'elle est traversée par la route nationale N°05 et récemment par l'autoroute Est Ouest sur un tronçon de 75Km et par la route nationale N°09 qui relie Bejaia à Sétif.

A cet effet elle sert le lieu de transit aux convois de marchandises provenant du Sud et qui se dirigent vers les ports de Bejaia et de Jijel, de plus, elle dispose d'un aéroport ouvert au réseau tant national qu'international. La région de Sétif est délimitée par :

- Au Nord, par les wilayas de Bejaia et Jijel;
- A l'Ouest, celle de Bordj Bou Arreridj.
- A l'Est, par la wilaya de Mila ;
- Au Sud-Est, par la wilaya de Batna ;
- Au Sud- Ouest, par celle de M'sila.

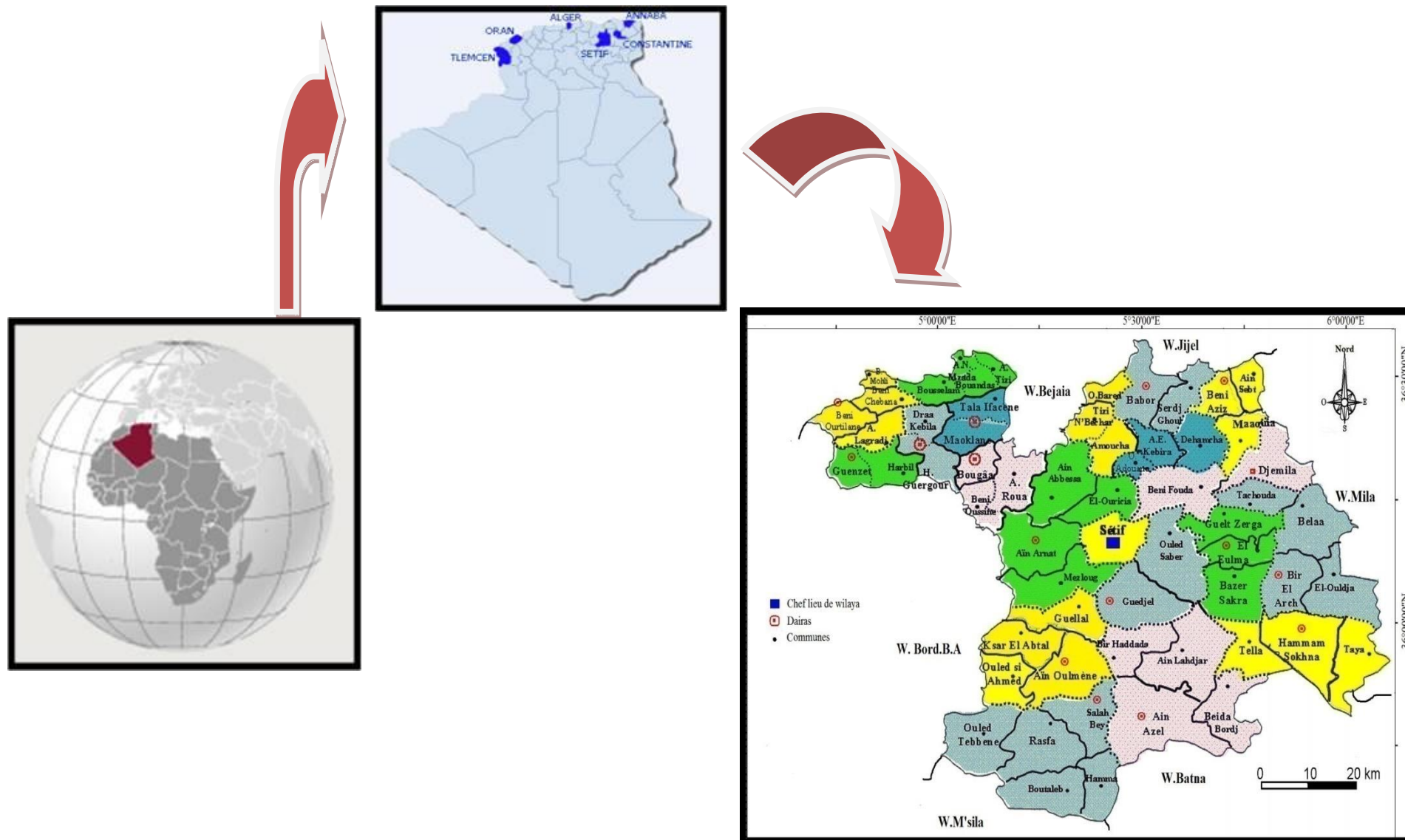


Figure I.1 : Situation géographique de la région de Sétif (DPAT. 2010).

I.2. Le climat

La région de Sétif se caractérise par un climat continental semi-aride, avec des étés chauds et secs et des hivers rigoureux. Les pluies sont insuffisantes et irrégulières à la fois dans le temps et dans l'espace

Les monts de Babor sont les plus arrosés en recevant 700 mm par an, la quantité diminue sensiblement pour atteindre 400 mm en moyenne par an sur les hautes plaines ; par contre la zone Sud –Sud- Est est la moins arrosée, les précipitations ne dépassent pas les 300 mm.

I.3. Le relief

Les Hautes Plainnes se présentent comme une mosaïque de petits éléments juxtaposés (horsts et grabens). Les composantes sont relativement simples : massifs calcaires, glacis encroûté, Merdja et sebkha. Sur le plan relief, on distingue trois grandes zones (Fig I.2) :

Zone montagneuse (Pente > 12 %)

La moitié Nord est organisée à partir de deux lignes principales de reliefs. La plus septentrionale correspond à la chaîne des Babor dont le point culminant est le sommet du Djebel Babor (2004 m). La deuxième ligne de hauteurs moins continue accidente les reliefs qui s'abaissent doucement vers le Sud. D'Ouest en Est, il s'agit des Biban de Zemmoura (1503 m), du Djebel Guergour (1613 m), du Djebel Anini (1554 m), du Djebel Mégriss (1737 m), du Djebel Médjounès (1461 m) et des hauteurs de Djemila (1462 m). La partie Sud et Sud-Ouest de la région est occupés par les premiers contreforts des monts du Hodna et appartient à cette zone, où l'altitude atteint 1890 m à Djebel Boutaleb. Cette zone occupe plus de 40% de la superficie de la wilaya.

Zone des hautes plaines (Pente entre 3 et 12 %)

C'est une immense étendue, occupant 50% de la superficie totale de la wilaya, relativement plate dont l'altitude varie de 950 m à l'Ouest jusqu'à 750 m à l'Est. Des reliefs isolés surgissent de ces plaines dans la partie méridionale de cette zone : le Djebel Zdim (1160 m), le Djebel Youcef (1442 m), le Djebel Braou (1263 m), le Djebel Tnoutit (1192 m) et massifs du Djebel el Meksem (1077 m), du Rokbet el Djemel (1406 m), du Djebel Rherour (1271 m) et du Djebel el Hammam (1237 m).

Zone de dépression (Pente < 3 %) :

Située dans le Sud et le Sud Est de la wilaya, où l'altitude dépasse rarement les 900 m. Cette zone pratiquement plate couvre une superficie de 10% de l'espace de la wilaya et se caractérise par la présence des 'chotts' ou dépression salées (Chott El Beidha près de

Hammam Sokhna ; Chott El Ferain à Ain-Lahdjar et Sebkheth Melloul au Sud de Bazer Sakhra).

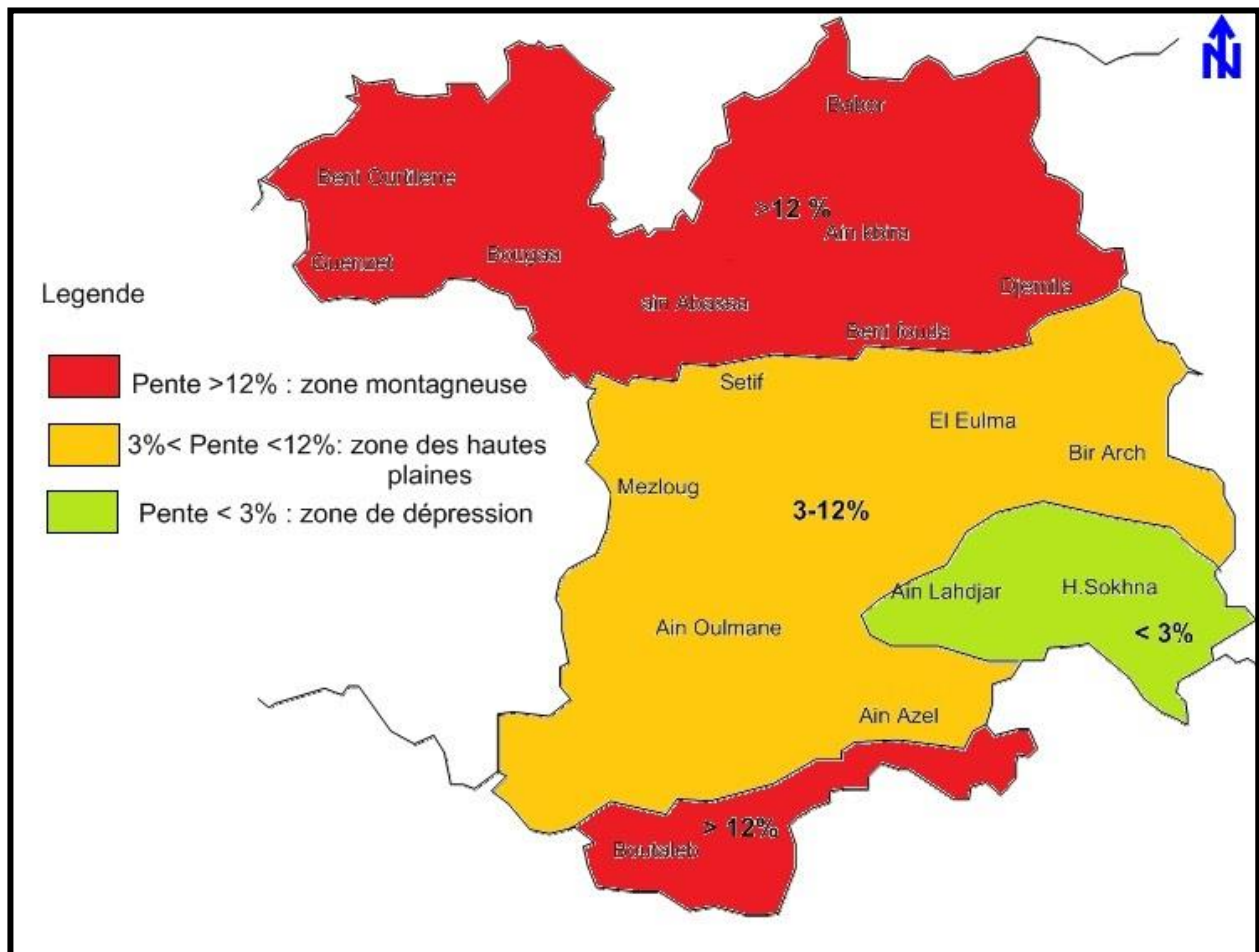


Figure I.2 : Reliefs de la région de Sétif (DSA. 2010).

I.4. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est organisé autour du dispositif montagneux de la région. La moitié Nord envoie ses eaux de surface vers le bassin méditerranéen par les réseaux de l'Oued Bou Sellam qui rejoint la Soummam, de l'Oued Agrioun, de l'Oued el Kebir, bou Selah et de l'Oued Rhumel. Ces réseaux d'Oueds alimentent les barrages et autres retenues collinaires de la région. Le reste possède une hydrographie endoréique centrée sur les Chotts (Fig I.3).

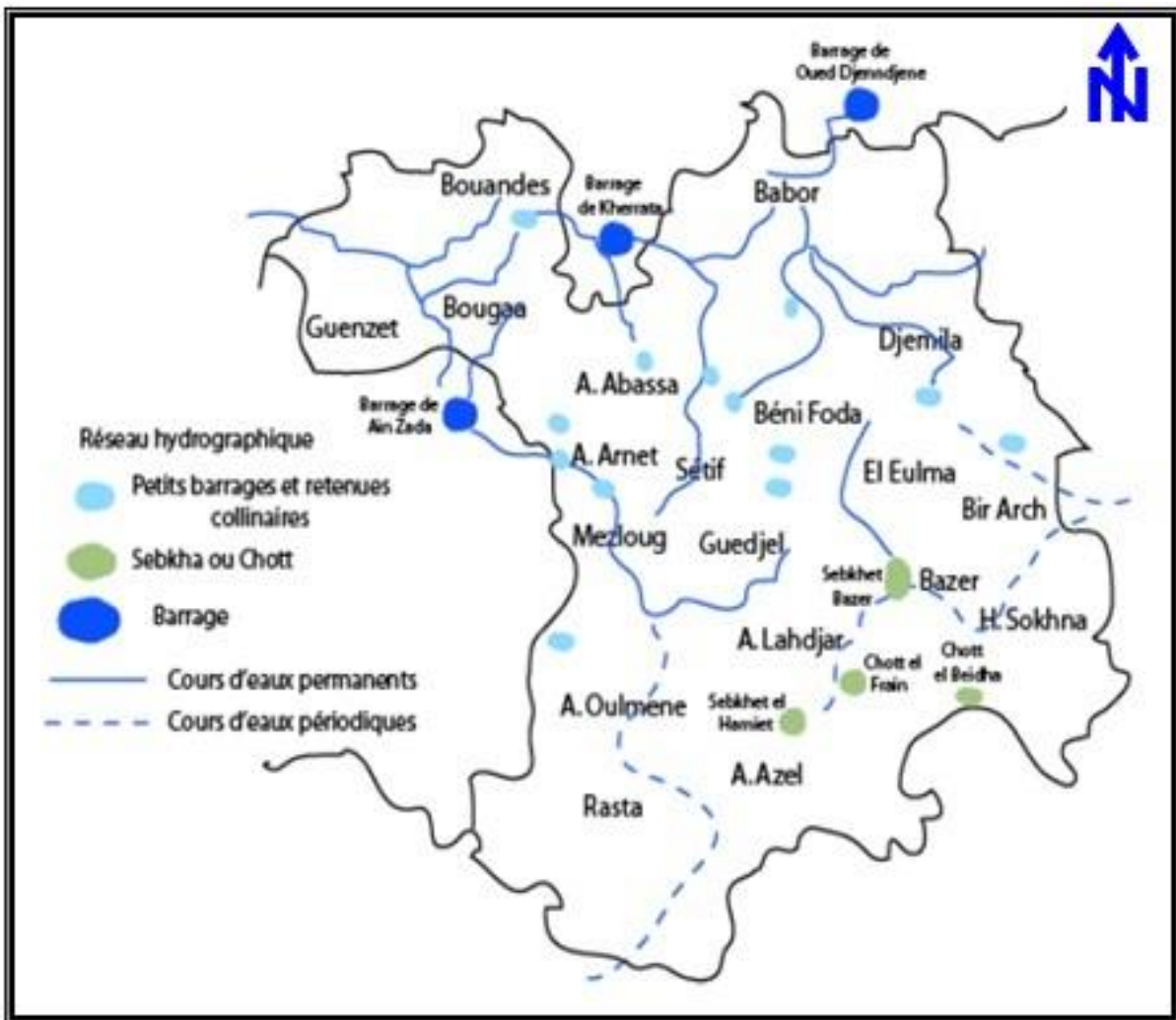


Figure I.3 : Réseau hydrographique de la région de Sétif (DHW. 2006).

I.5. La végétation

La végétation est conditionnée par le climat et les précipitations. La position géographique et l'altitude sont également des éléments importants pour la localisation des différentes espèces. La barrière climatique des reliefs septentrionaux et l'altitude accentuent les contrastes et diversifient la végétation. On distingue sur les monts les forêts d'Alep de cèdre, le sapin de Numidie, le cyprès et le chêne vert et le chêne-liège. Par ailleurs, la zone montagneuse demeure une région de l'arboriculture notamment l'olivier et le figuier.

Conclusion :

La région d'étude est située à environ 300 km au Sud-Est d'Alger et à 100 km au Sud de la Méditerranée. Elle s'étend sur une superficie de 6550 km².

Les hautes plaines sont le domaine de la céréaliculture et des cultures maraîchères. Par contre pour la zone semi aride, et compte tenu de la qualité saline de ses sols, la flore est généralement pauvre.

CHAPITRE N°2

Contexte Géologique
Contexte Géologique

Introduction

L'inventaire et l'étude du patrimoine géologique d'une région donnée est devenue une nécessité absolue. Cette partie vise la description de la paléogéographie et les principales phases tectoniques participant dans la structure actuelle de notre région.

Pour cela, une synthèse géologique de la région s'avère donc intéressante. Elle a été réalisée sur la base des documents suivants:

- La carte géologique de la Wilaya de Sétif (1/200 000);
- Les coupes géologiques de la Wilaya de Sétif.

La région d'étude appartient aux séries telliennes qui font partie des zones externes du tronçon nord-oriental de la chaîne des Maghrébides de l'Afrique du Nord. Cette chaîne s'étend de Gibraltar jusqu'à la Sicile, sur plus de 2 000 km (M. Durand Delga, 1969).

II.1. Dispositions particulières en Algérie

En Algérie, la chaîne des Maghrébides est caractérisée par des structures en nappes essentiellement à vergence Sud. Ces nappes sont issues de trois domaines paléogéographiques, du Nord vers le Sud (Fig II.1), les suivants :

- Les zones internes correspondent au massif primaire de petite grande Kabylie : représentées par le socle Kabyle métamorphique et la dorsale Kabyle sédimentaire.
- Les zones externes ou les zones telliennes correspondant aux différents domaines situés paléogéographiquement sur la paléomarge Africaine, ces zones présentent un caractère chevauchant vers le Sud.
- Les flyschs sont composés par une double série, occupant une position essentielle par rapport aux zones externes, ils reposent avec des modalités variées sur les zones internes ou chaîne calcaire.

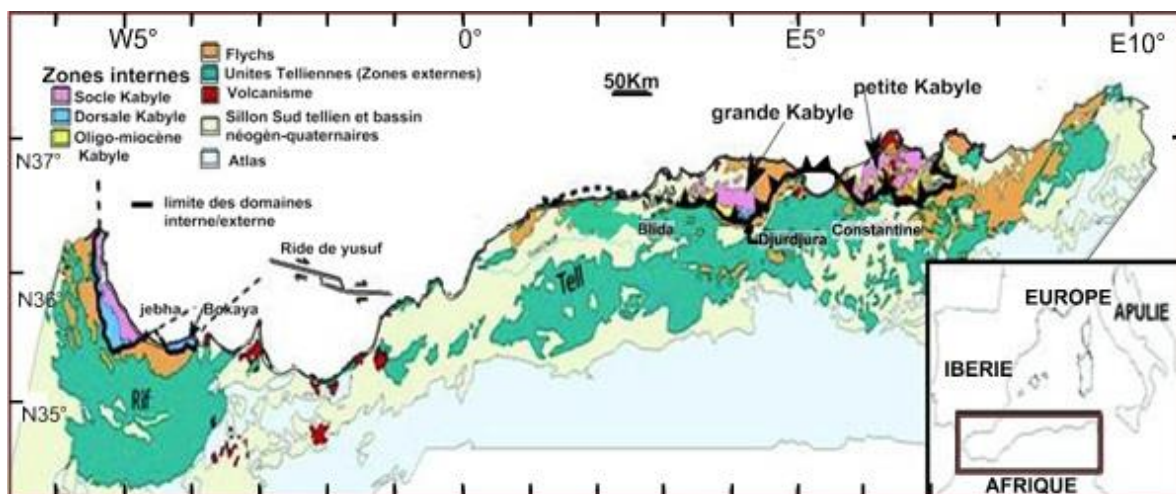


Figure II.1 : Position des différentes unités géologiques des Maghrébides

(Domzig et al, 2006)

A l'échelle de l'Algérie du Nord-Est, une zonation plus fine peut être établie sur une transversale Nord-Sud où les principales zones définies à la fois par leur caractère sédimentaire et structural sont (Fig II.2)

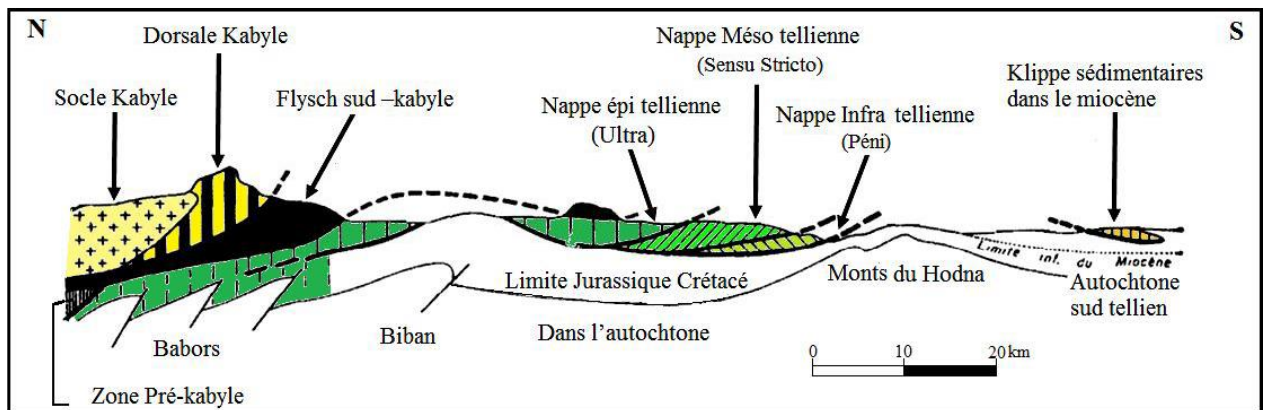


Figure II.2 : Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides (modifiée d'après Durand-Delga, 1969)

II.1.1. Les zones internes

Elles sont représentées par les massifs anciens ou cristallins appelés socle Kabyle ou Kabyliste, formés principalement de roches métamorphiques (gneiss, marbres, phyllades et amphibolites) bordés à leur partie méridionale par les formations de couverture en écailles appelée chaîne calcaire (Glangeaud, L. 1932) ou la Dorsale Kabyle (Raoult, J. F. 1974).

II.1.1.1. Socle Kabyle

On le rencontre dans deux séries d'affleurement : au Nord, les massifs de grandes et petites Kabylie, plus au Sud, le substratum de la Dorsale. Il comprendrait les termes suivants :

- Un ensemble crustal profond constitué de quartzites, granulites (Bouillin et al; 1976).
- Des gneiss présentant des intercalations de quartzites, d'amphibolites et des marbres.
- Des phyllades ayant subi un métamorphisme de basse pression avec une zone inférieure à Biotite et une zone supérieure à chlorite.
- Un ensemble essentiellement sédimentaire paléozoïque débutant au Cambrien et atteignant le Carbonifère (Baudelot et Géry. 1979).

II.1.1.2. Dorsale kabyle ou chaîne calcaire

Elle a été étudiée en détail dans sa partie orientale par (Raoult, J. F. 1974 et Vila, J.M. 1980). C'est une zone étroite et discontinue qui constitue l'axe interne de l'orogène nord-algérien : elle est subdivisée en trois unités :

II.1.1.2.1. Dorsale interne

La dorsale interne occupe une place importante dans l'évolution tectono-sédimentaire,

elle est considérée comme une paléo-plate forme littorale kabyle. Elle est très souvent condensée et montre nettement du sud au nord un amincissement de ces séries ou lacunes. Cette dorsale est caractérisée par une série transgressive sur le substratum paléozoïque,

- Elle débute par des microconglomérats du Permo-Trias;
- Un Trias supérieur et un lias basal à calcaire néritiques ;
- Des calcaires Néocomiens suivi par une lacune jusqu'au Sénonien supérieur ;
- Un Paléocène –Yprésien caractérisé formé de calcaires du Nummulitique II.

II.1.1.2.2. Dorsale médiane

Elle montre, à la base, la même série que la dorsale interne qui peut cependant atteindre le Barrémien. Le Crétacé supérieur, le Paléocène, l'Eocène (Jusqu'au Lutétien inférieur) sont représentés par une série de faible épaisseur caractérisée par un marno-calcaires à microfaunes pélagiques.

II.1.1.2.3. Dorsale externe

Elle est chevauchée par les formations de la dorsale médiane. Elle se caractérise par une série, du Crétacé à l'Eocène, détritique et lacuneuse avec un facies intermédiaire entre l'interne et le médian.

II.1.2. Zones des flyschs ou Domaine des flyschs

La complexité structurale de la zone des flyschs ainsi que la pauvreté de celle-ci en fossiles, ils ont été pendant longtemps mal connus. Ils sont classiquement subdivisés en trois groupes (Raoult, J .F. 1969) distingue :

- Les flyschs de type « Guerrouch » (Tithonique- Crétacé inférieur), ou flyschs Maurétaniens.
- Les flyschs «schisto-quartzeux », (flyschs Albo-aptiens de Glangeaud, 1932), ou flyschs Massylien.
- La nappe numidienne ou les flyschs numidiens.

II.1.2.1. Le flysch maurétanien

D'après (Bouillin, J.P. 1977), le flysch maurétanien montre dans ses séries médianes les plus typiques, de bas en haut :

- Un complexe de base flyschoïde à petits bancs de micrites du Tithonique - Néocomien.
- Un flysch argilo- gréseux qui atteint l'Albien moyen.
- Un Vracono- Cénomano- Turonien calcaire conglomératique ou microconglomératique a bandes silicifiées blanches.

- Un Sénonien et un Paléocène- Eocène moyen argilo- conglomératiques avec, à l'Eocène et notamment au Lutétien, des niveaux bioclastiques à grands Foraminifères.

II.1.2.2. Le flysch massylien

Il a été défini par (Raoult, J. F. 1969) au Nord du Kef Sidi Driss, dans le Nord constantinois et comporte de bas en haut les termes suivants :

- Des calcaires sableux et des argiles du Néocomien.
- Un flysch pélito-quartzitique où dominant les couleurs vertes : c'est un flysch "albo –aptien".

Il est surmonté par des calcaires fins jaunâtres du Vraconien épais de quelques mètres.

- Des phanites noires et blanches d'âge Cénomaniens (Raoult, J.F. 1974).
- Un ensemble flyschoides marno- microbréchiques du Sénonien.

Tous les critères sédimentologiques montrent que les formations massyliennes se sont déposées dans une zone profonde et sans doute à substratum océanique (Bouillin, J.P. 1986). Le flysch massylien d'origine plus méridionale surmonte très généralement le flysch maurétanien.

II.1.2.3. Le flysch Numidien

Ce terme a été proposé par E. Ficheur (1890) pour désigner la trilogie suivante :

- Des argiles varicolores à Tubotomaculum (Oligocène supérieur) dites : argiles sous numidiennes.
- Des bancs de grès épais à grains hétérogènes.
- Des argiles, marnes et silicites appelées : supra-numidienne.

La nappe numidienne dont les sédiments sont postérieurs à la tectonique tangentielle fini-éocène, forme un étage supérieur nettement moins tectonisé et recouvre indifféremment toutes les unités. Elle s'est désolidarisée de son substratum et se trouve dans une position structurale élevée (J.M.Vila, 1980).

II.1.3. Zone externe ou le Tell

Le domaine externe représente la marge téthysienne du continent africain, il est constitué par une série qui s'étend du Trias au Miocène. Le Trias est formé d'évaporites et de roches pélitiques, le Jurassique et le Crétacé à dominances carbonatées, le Crétacé supérieur et le Tertiaire sont constitués des roches pélitiques et des marnes.

En Algérie orientale, ce domaine est représenté par les séries telliennes, les séries de l'avant pays allochtone (J.M. Vila, 1980) et les séries de l'avant pays atlasique autochtone.

II.1.3.1. Les séries telliennes ou nappes telliennes

Il s'agit des séries épaisses à dominante marneuse qui seraient issues du sillon Tellien (J.M.Vila. 1980), après avoir mis en évidence des séries telliennes très méridionales, J.M.Vila les a subdivisées en trois grandes unités: Les unités ultra-telliennes, les unités telliennes sensu-stricto, les séries péni-telliennes et unités méridionales à Nummulites dont les limites suivent à peu près les lignes paléogéographiques du Crétacé, du Paléocène et de l'Eocène.

II.1.4. Domaine de l'avant- pays allochtone

Les séries de l'avant-pays ont été abordées par de nombreux auteurs : A. Péron (1883), E. Ficheur (1893), J. Savornin (1920), R.Lafitte (1939), J.Bertraneu(1955), R.Guiraud(1973), J.M.Vila (1977,1980), M. Aissaoui (1984), N. Kazi Tani (1986), D. Bureau (1986), J.C. Lahondère (1987), M. Chadi (1991), F.E. Coiffait (1992), R. Marmi (1995), etc....

Il correspond aux formations calcaires et marneuses de la plate forme néritique et du domaine atlasique. Il comporte l'avant pays allochtone et l'avant pays autochtone (J.M.Vila, 1980). Les séries de l'avant pays allochtone ont été regroupées (J.M.Vila ,1980) en trois familles :

II.1.4.1. L'organisation Sétifienne

Elle est considérée comme terrains autochtones à parautochtones depuis les travaux de A. Péron (1883), J. Savornin (1920), J. Glaçon (1967) et M. Durand Delga (1969). Cependant, R.Guiraud (1973), associent à celles du Môle néritique constantinois.

A l'exception des Djebels de Guergour et d'Anini qui apparaissent en fenêtre sous la nappe de Djemila, les formations allochtones sud sétifiennes (au sens de J.M. Vila, 1980) présentent une grande homogénéité de caractères et constituent un vaste domaine d'écailles, développées entre les méridiens d'Ain Taghrout à l'Ouest et Ain M'lila à l'Est. Elles forment d'Ouest en Est et du Nord au Sud des alignements de reliefs de Koudiat Della, des Djebels Zdim, Youssef, Braou et Tnoutit, un peu plus au Sud les Djebels Sekrine, Kalaoun, Tella et Tafourer à la bordure Nord du monts du Hodna , Agmérouvel, Zana ,Hammam ,Messaouda, Mestaoua ,Azraouat, Tizourirt-Guedmane, et Hamouda au Nord du monts du Belezma.

Elle comporte des séries argilo-marneuses, dolomitiques, calcaro-dolomitiques, de calcaires massifs et marneuses dont l'âge va du Lias à l'Eocène, la limite Jurassique-Crétacé est marquée par un Hard-ground à encroutements ferrugineux. Les massifs de cette organisation présentent trois types de relations structurales :

- Au Sud, ils recouvrent anormalement les plis emboutis de l'autochtone.

- Dans les Hautes Plaines Sétifiennes, ils présentent des accidents tangentiels internes jalonnés de Trias ; ce sont les écaïlles sétifiennes de (Savornin, J. 1920).
- Au Nord, les Djebels Guergour et Anini apparaissent en fenêtre sous la nappe de Djemila (J.M.Vila et M. Leikine ,1976).

À l'Est, les séries sétifiennes s'intercalent entre l'unité néritique constantinoise et les écaïlles atlastiques des Sellaoua (Wildi, W. 1983).

II.1.4.2. L'organisation constantinoise

Les séries de l'avant- pays allochtone constantinois présentent une différenciation remarquable avec au Nord, les séries néritiques constantinoises et au Sud les séries de type Sellaoua.

II.1.4.2.1. Les séries néritiques Constantinoises

Elles sont considérées comme terrains autochtones à parautochtones depuis les travaux M.Durand Delga (1969).Elles Constituent l'essentiel des reliefs calcaires des monts de Tadjneman, d'Oued Athmania, de Constantine, d'Ain M'lila, Hammam Meskoutine et de Guelma ,sur 160km d'Ouest en Est ,sur 80km du Nord au Sud, ces séries sont caractérisées par d'épaisse formations carbonatées a caractère plate- forme subsidente (J.M.Vila, 1980).

Les séries du domaine néritique constantinois sont représentées essentiellement par des calcaires Jurassico-Crétacé, dont les épaisseurs peuvent atteindre les 2000m. Ces séries se caractérisent par une grande homogénéité de faciès avec un substratum carbonaté et une couverture marneuse ou marno-calcaire d'âge Crétacé supérieur à Eocène. La série des massifs calcaires méridionaux ne dépasse pas le Turonien et se terminent par un contact anormal. Aucune formation d'âge Eocène n'est liée stratigraphiquement à la série néritique constantinoise (J.M.Vila, 1980).Ces unités chevauchent les séries de Sellaoua et l'ensemble sud sétifien. L'autochtonie de ces unités est reprise par (Chadi, M. 1991 et P.E.Coiffait 1992).

II.1.4.2.2. Les séries de type Sellaoua

Ce sont la zone des écaïlles de Sellaoua depuis les travaux de (L. David 1956) et de (C. Voûte 1967). Elles sont regroupées dans l'avant pays allochtone par J. M. Vila (1980) qui a vu en cette zone le siège de raccourcissements considérables qui sont attribués à des chevauchements de grandes ampleurs.

Elles sont développées dans la région d'Ain M'Lila (où elles affleurent mal au pied des séries néritiques constantinoises chevauchantes), d'Ain Fakroun, Ain Babouche (où elles constituent la Chebka de Sellaoua) et s'étalent largement à la faveur d'empilements

spectaculaires de Ksar Sbahi à Souk-Ahras. Elles sont caractérisées par une sédimentation argilo-marneuse durant tout le Crétacé, la série de Djebel Djaffa offre une image des faciès de transition entre les séries néritiques constantinoises septentrionales et les séries de type Sellaoua.

Un modèle (Fig II.3) proposé par (Chadi, M. 1991), concerne l'organisation constantinoise dans lequel les épaisses séries marneuses du Crétacé supérieur-Eocène des Sellaoua représenteraient la couverture stratigraphique normale de la plate-forme constantinoise.

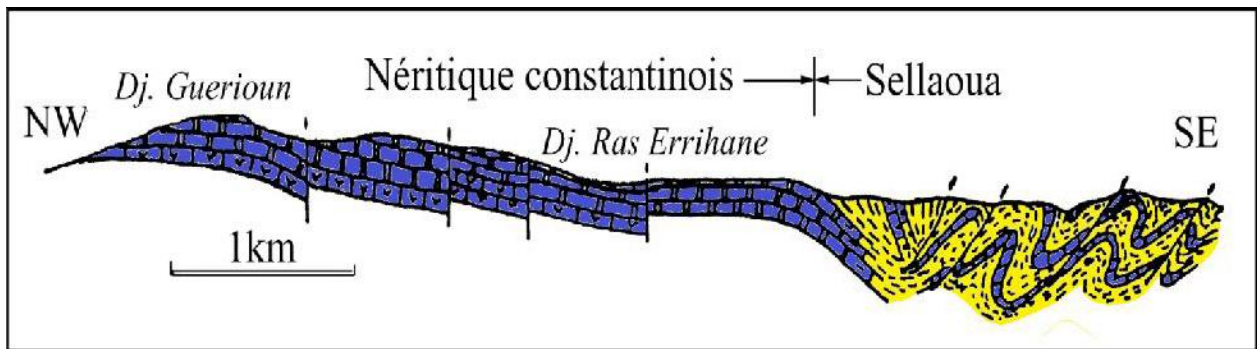


Figure II.3 : Coupe géologique schématique expliquant les relations structurales et sédimentaires entre le Néritique et les Sellaoua (Chadi et al. 1999).

II.1.4.3. Une organisation Algéro-Tunisienne

Elle est propre aux confins Algéro-Tunisiens et à la Tunisie septentrionale (Rouvier, H. 1977). Il s'agit des formations déposées au Nord de la « Ride de l'Hairech » et dont la lithologie est analogue à celle des nappes telliennes ou à celle des séries septentrionales de type Sellaoua dans l'intervalle qui va du Néocomien au Lutétien inférieur- moyen.

II.1.5. Le domaine de l'avant pays Autochtone et Parautochtone

Les séries de l'avant pays atlasique sont représentées au delà de la flexure Nord saharienne (Fig II.4) d'Ouest vers l'Est par les formations parautochtones et autochtones des monts ; du Hodna, du Belezma et de Batna, le massif de l'Aurés, les Hautes Plaines d'Oum El Bouaghi et d'Ain Beida et la vaste zone des diapirs (J.M.Vila, 1980).

L'avant pays se distingue par des séries sédimentaires mésozoïques très homogène, plissées et très épaisses de plate forme subsidente, à intercalations gréseuses, cependant, entre le Berriasien et l'Albien (R.Guiraud, 1973;G. Busson, 1974; L. Delfaud, 1974 et J.M.Vila, 1980).

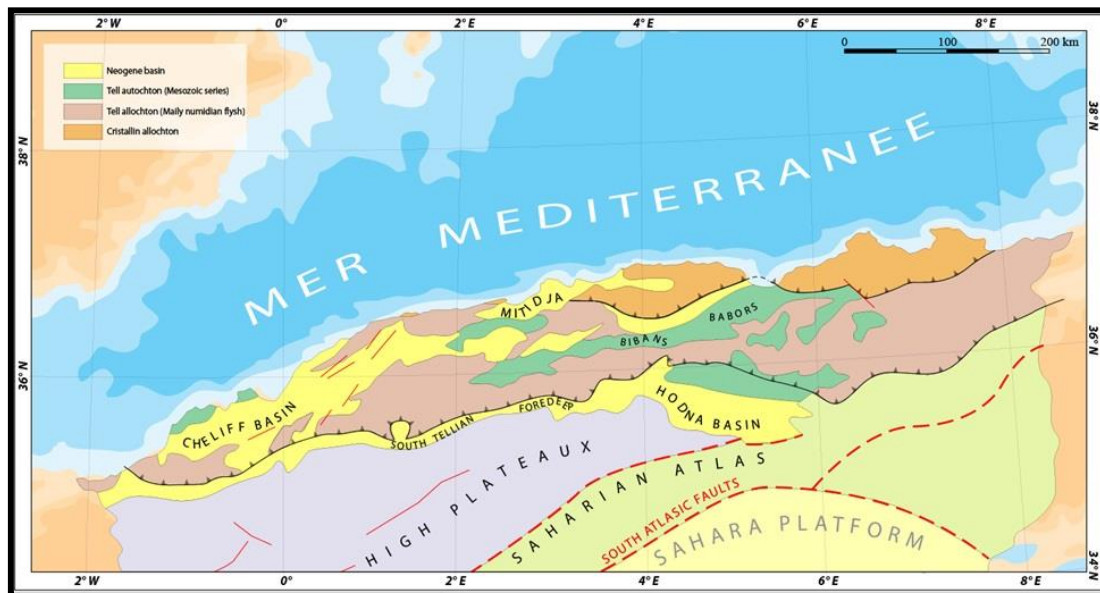


Figure II.4 : Schéma structural du Nord de l'Algérie (In présentation B. Adoum 2014).

II.1.5.1. Le massif de l'Aurès

Les Aurès constituent l'autochtone le plus méridional sur ce tronçon de la chaîne tellienne d'Algérie nord-orientale. Ils appartiennent à l'Atlas Saharien, limités au Sud par « la flexure sud atlasique » ou l'accident sud atlasique qui le sépare de la plate-forme saharienne au Sud. La structure de ces massifs bien connue depuis les travaux de (R.Lafitte ,1939), elle est représentée par des vastes plis plus au moins réguliers orientés Nord-Est et Sud-Ouest, esquissés lors d'une phase tectonique post lutétienne ayant abouti à l'émersion de ce relief.

II.1.5.2. Les monts de Batna-Bellezma

Les monts du Belezma-Batna forment deux grands ensembles : un ensemble parautochtone, représenté par les écaillés du Djebel Metrassi et la série renversée d'El Guelaâ et un ensemble autochtone dont font partie les chaînons des Djebel Bou Ari, Bou Rhioul, Refaâ, le Ravin bleu. Ce sont le prolongement oriental des monts du Hodna, ils sont structurés en de vastes anticlinaux dont les flancs Sud sont très redressés et les flancs Nord présentant des pentages plus faibles.

II.2. Le contexte géologique local

La géologie de la région d'étude présente la répartition des différents terrains qui la constituent et leur appartenance aux différents domaines structuraux de l'Algérie du Nord. On distingue du Nord au Sud les formations suivantes (Fig II.5):

- Des formations quaternaires et néogènes peu ou pas tectonisées.
- Le domaine des flyschs (sous forme de nappes) ;

- Le domaine externe représenté par les nappes telliennes ;
- Les avants pays :
- Parautochtones représenté par l'Allochtone Sud Sétifien ;
- Autochtone : le Hodna.

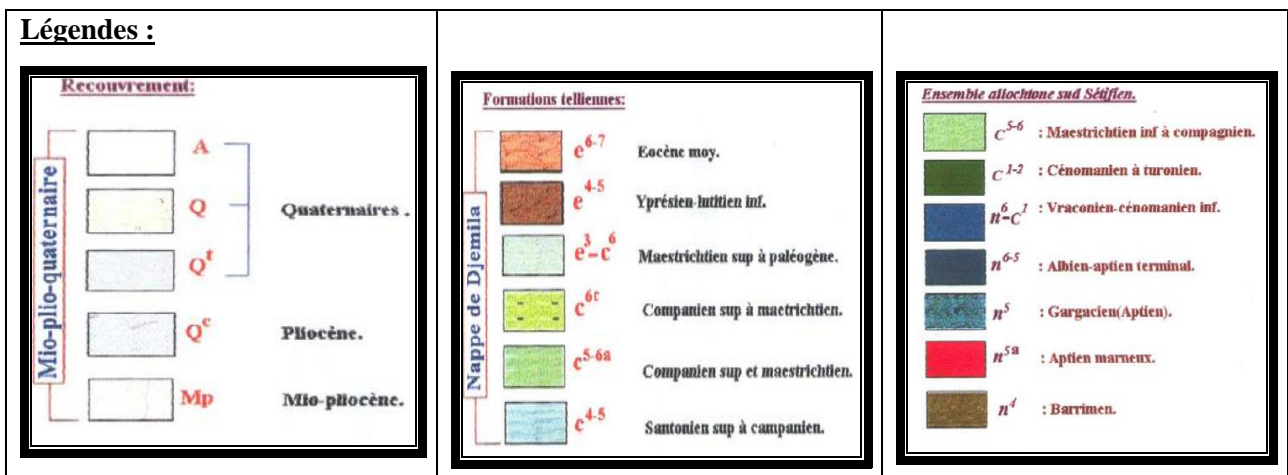
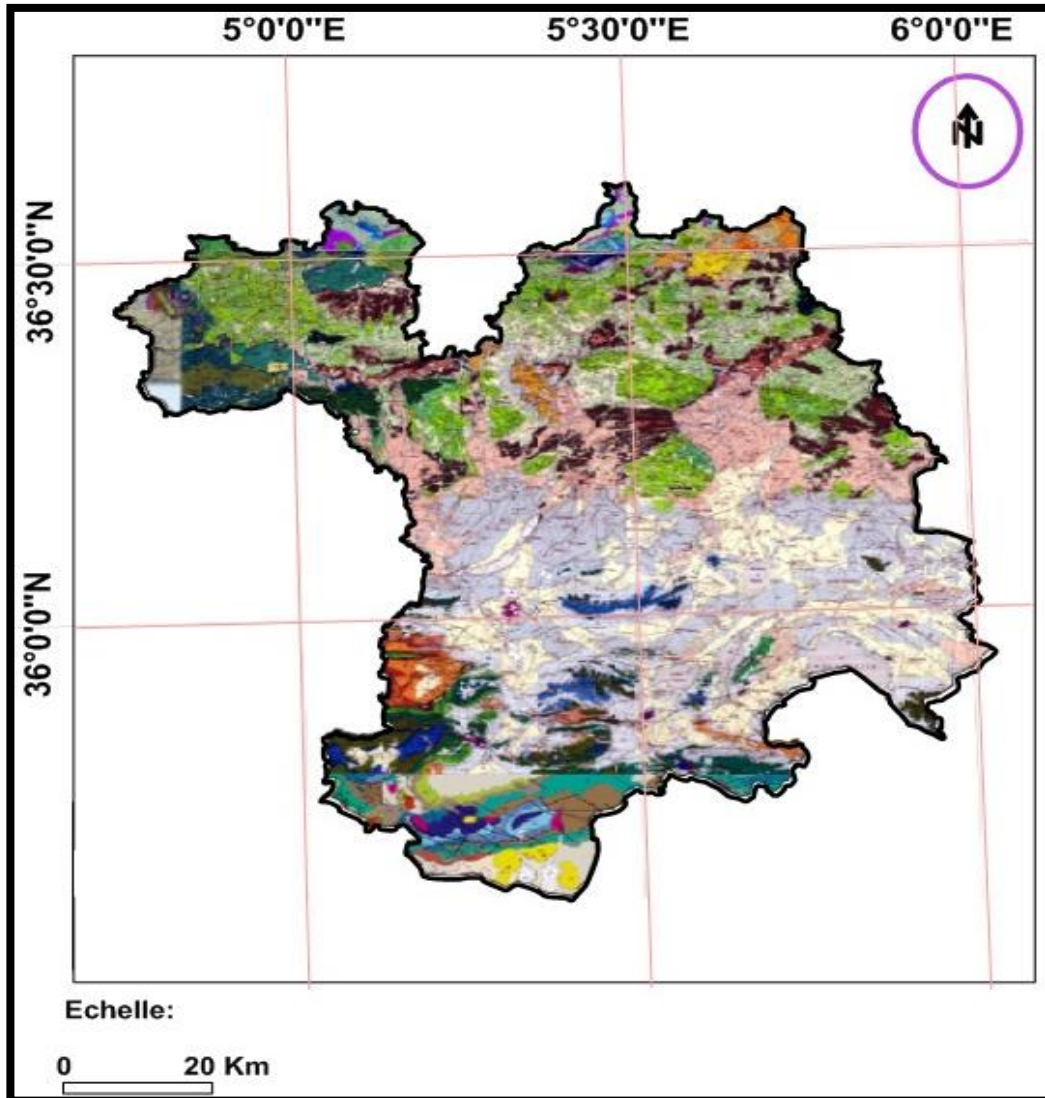


Figure II.5 : Contexte géologique de la région de Sétif 1/200 000 (Sonatrach, 1977).

II.2.1. Les formations quaternaires et néogènes peu ou pas tectonisées

On y reconnaît en particulier :

- Un Villafranchien (Qc) constitué par une alternance d'argiles et de marnes à passées de graviers associées à des calcaires lacustres.
- Un Mio- Pliocène continental formé d'une accumulation de sables, limons rougeâtres, et de conglomérats dont la puissance peut dépasser les 500m à l'Ouest de Mezloug. L'ensemble repose en discordance angulaire sur le Crétacé supérieur.

II.2.2. Le domaine des flyschs

Au domaine des flyschs doivent être rattachées : la nappe numidienne, la nappe du flysch mauritanien et la nappe du flysch massyliennes.

II.2.2.1. La nappe numidienne

La nappe Numidienne est présente dans la moitié septentrionale de la carte (Fig II.5) au niveau de Dj. Megriss et chouf Karoun, elle est composée d'argile verdâtre à la base et d'une alternance de grès grossiers et d'argile dans sa partie supérieure.

II.2.2.2. Nappe du flysch maurétanien

Le Flysch maurétanien est localisé à l'extrême Ouest de la carte (Fig II.5) au niveau de Ras El Fedh et Ras El Reil, il est composé par des dépôts de flysch d'âge Crétacé à Lutétien et de grès micacés du Priabono-Oligocène.

II.2.2.3. Nappe du flysch massylien

Le Flysch Massylien a la même localisation que le Flysch Maurétanien. Il paraît se composer de trois termes qui sont limités à de petits affleurements.

- A la base, des pélites et des argiles alternant avec des bancs centimétriques à décimétriques de grès quartzites fins vert- olive. Elle peut être rapportée à l'Albo- Aptien dont elle présente toutes les caractéristiques.
- En position médiane, mal visible car tous les contacts sont tectoniques, des Phtanites stratifiés en petits bancs qui sont associés à des microbrèches claires. C'est du Turonien.
- Le terme supérieur le plus développé paraît atteindre une centaine de mètres de puissance. C'est une série d'argiles plus ou moins marneuses à calcaires détritiques et à microbrèches en plaquettes ou n'est daté que le Sénonien supérieur.

II.2.3. Les nappes telliennes

Plusieurs unités entre dans la composition du domaine tellien (Fig II.6)

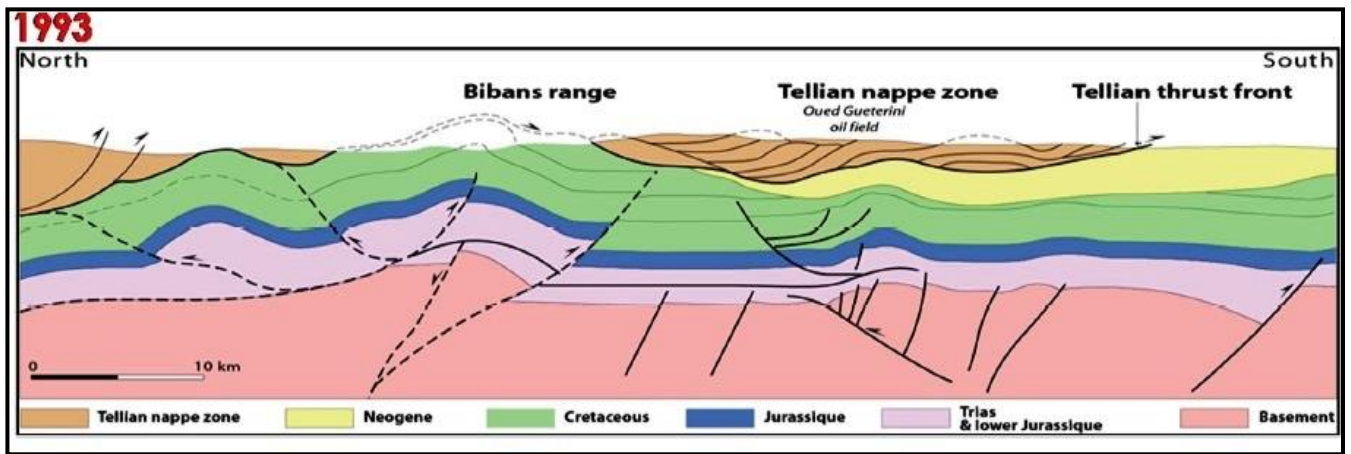


Figure II.6 : Coupes à travers les nappes telliennes (In présentation B. Adoum 2014)

II.2.3.1. La nappe de type Barbacha

Cette unité n'affleure que dans le nord d'Ain Roua (c'est l'autochtone baborien de J. Glaçon). Elle est caractérisée par :

- Un Crétacé inférieur métamorphique (des schistes métamorphiques sombres, durs, à chlorite)
- Un Lias avec des calcaires compacts et des calcaires à silex boudinés alternant avec des lits de marnes écrasés.

II.2.3.2. La nappe de type Draa el Arba

Les affleurements de cette unité sont situés essentiellement sur les crêtes qui vont du Djebel Takoucht au Nord de Djebel Babor.

- Un Sénonien avec une épaisse série de marnes jaunes ou grises à petits bancs de calcaires noirs ou gris et à boules jaunes abondantes. Les termes supérieurs de la série, plus riches en intercalations calcaires sont datés du Maestrichtien dans la région voisine d'Oued Amizour, au Nord.
- Un Cénomaniens avec des marnes brunes et des marno-calcaires noirs à patine jaune claire formant un seul affleurement au Djebel Takintouch, sous la klippe des Béni-Abdallah.

II.2.3.3. La nappe de type Béni-Abdallah

Cette unité constitue les klippes des Béni-Abdallah et de Ras el Fedh au Nord d'Ain Roua, un lambeau sous le Numidien du Djebel Chouf Karoun et une autre klippe de Bouselam et d'Ain Taghrout. Constitué du :

- Sénonien à dominante marneuse ;
- Jurassique d'EI Broul qui est en contact septentrionale avec la klippe des Béni-Abdallah (affleure une série composée de dolomies brunes, de calcaires compacts gris-clair et de calcaires à « filaments »). Ces formations représentent probablement le Lias et le Dogger.

II.2.3.4. Une unité supérieure à matériel Eocène

Cette unité est présente dans trois groupes d'affleurements :

- Sur le versant sud-ouest du Djebel Mégriss;
- Dans la Klippe d'Ain Abessa ;

Et dans celle d'Ain Messaoud. Elle est caractérisée par :

- Une série marneuse, riche en boules jaunes et en bancs dolomitiques atteint au total 400m d'épaisseur, elle est d'âge Eocène moyen et supérieur.
- Des calcaires marneux de l'Yprésien Lutétien inférieur.
- Une série de marnes noire parfois schisteuses à boules jaunes rares d'au moins 180 m d'épaisseur, alternants avec des calcaires marneux, d'âge Maestrichtien supérieur à paléocène.

II.2.3.5. La nappe bibanique

Elle est constituée par une longue bande monoclinale de terrains Crétacés à pendage sud développée entre Berrouaghia à l'ouest et le massif des Djebels Guergour et Anini à l'Est, d'après (Caire, A. 1957 et Kieken, M. 1962 et 1970), les formations bibaniques possèdent :

- Un Crétacé inférieur tendre représenté par un « flysch » grésoschisteux ;
- Passant au sommet à des marnes et des pélites d'âge Albien.
- A partir de l'Albien supérieur s'individualise une barre formée d'alternances de marnes et de calcaires marneux pélagiques comme le sont le Vraconien et le Cénomaniens sus-jacents.
- La limite Cénomaniens-Turonien est tracée par un repère à silex très constant.

II.2.3.6. La nappe de Djemila

La nappe de Djemila constitue l'essentiel du paysage au Nord de Sétif et d'El Eulma et atteint à l'Est les environs de sidi Mérouane. Elle présente des variations assez sensibles aussi bien du Nord au Sud que d'Est en Ouest. C'est la seule unité tellienne représentée par une série complète allant du Lias à la fin de l'Eocène. Pour une simple raison de continuité d'affleurement, on peut rassembler sous le nom de « nappe de Djemila » les unités suivantes :

L'écaille inter-cutanée de Béni- Ourtilane ;

- La série de Bou Sellam aux environs des Djebel Guergour, Anini et Hellel;
- Le Djebel Babor ;
- Le vaste secteur des « dômes Sétifien » autour du Djebel Medjounés, des monts Djemila et des Ouled Sabor.

La nappe de Djemila (Fig II.7), est essentiellement représentée par des calcaires cristallins du Sénonien supérieur ou calcaires des « dômes Sétifien », affleure largement dans

la bordure nord de Sétif. Des calcaires bitumineux surmontés d'alternances marno-calcaires appartenant à l'Yprésien- Lutétien se développent à l'ouest d'El Eulma.

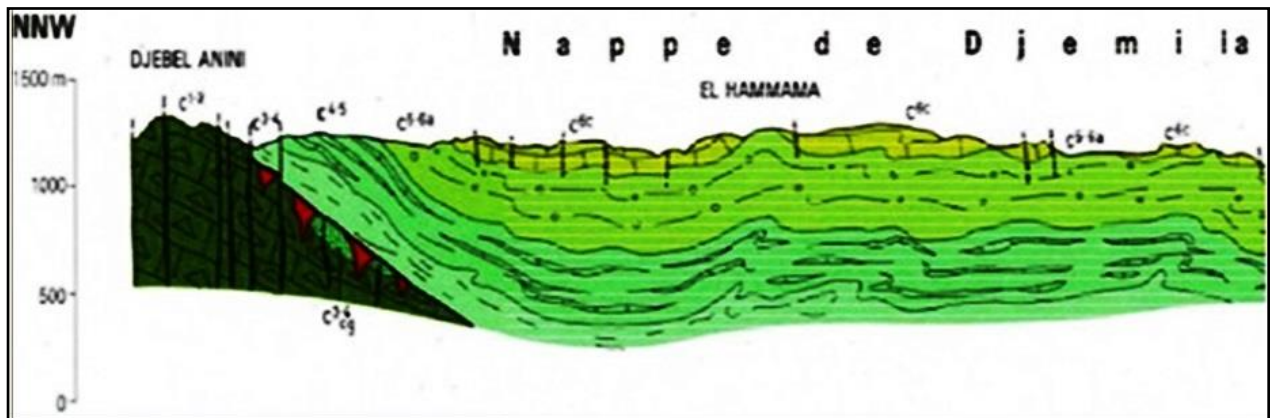


Figure II.7 : Coupe géologique Djebel ANINI – Nappe de Djemila (Vila. J. M. 1980).

II.2.3.7. La nappe du Djebel Sattor

La nappe du Djebel Sattor apparait dans le sud ouest de Sétif. Elle réunit

- Le Miocène marin transgressif ;
- Un Lutétien supérieur marneux ;
- L'Yprésien- Lutétien inférieur à débris formant une barre calcaire ;
- Le Sénonien supérieur lumachellique.

II.2.3.8. La nappe péni-tellienne

La nappe péni-tellienne apparait au Djebel Hellel, au Djebel el Halfa, aux Djebels Bou Cherf et Ouakissène, dans le massif d'Ahmed Rachedi et au Djebel Grouz. Elle est constituée par des marnes et des marno-calcaires d'âge Cénomaniens. Les affleurements du Crétacé inférieur les plus septentrionaux de la nappe péni-tellienne présentent une schistosité dominante qui, au Djebel Bou Cherf, affecte même les calcaires massifs Vracono-Cénomaniens. Ce phénomène disparaît au Djebel Grouz.

II.2.4. L'ensemble allochtone sud sétifien

Il comporte trois ensembles. Du Nord au Sud ; le système septentrional du Djebel Anini au Nord de Sétif; le domaine médian aux Djebels Zdim, Youssef, Brao et Tnoutit, et enfin l'ensemble méridional des Djebels Sekrine, Kalaoun, Koudiat Tella et Djebel Tafourer.

II.2.4.1. Le domaine médian des Djebels Zdim, Youssef, Brao et Tnoutit

Il possède une série carbonatée allant du Lias au Cénomaniens. Cet ensemble affecte la disposition d'un anticlinal cisailé au Djebel Youssef. Le contact de base des dolomies Jurassiques du Djebel Youssef est faiblement incliné vers le Nord. On note l'absence

d'affleurements du Sénonien et de l'Eocène.

II.2.4.2. L'ensemble méridional des Djebels Sekrine, Kalaoun et Koudiat Tella

On observe le même dispositif structural avec une masse de dolomie jurassique qui repose tectoniquement sur une série marno-calcaire du Crétacé inférieur.

Cet ensemble montre une série où le Miocène marin fossilise les structures cisillées par le contact de base. On note aussi que cette série possède une mince couverture Sénonienne et Eocène; où l'abondance des biosparites (présence de galets attestant d'un milieu agité) indique un milieu peu profond.

II.2.5. Parautochtone et autochtone Hodnéens

Les formations parautochtones sont représentées par la série renversée du col de Tifelouine et les terrains du compartiment Nord des failles inverses d'El Bahira (Sud de Salah Bey), Djebel Hadjar Labiod, Ain Azel, et Djebel Gouzi.

Les formations autochtones correspondent à un domaine plissé où se développent une série de petits massifs qui s'étendent sur une centaine de kilomètres, d'Ouest en Est, on distingue: les massifs de Maadid, des Ouled Tebben, du Boutaleb, du Guetiane, du Fourhal et du Talkhempt.

Tout l'ensemble port le nom de Monts du Hodna qu'ils constituent une sorte de barrière qui sépare les plaines sétifiennes de la dépression récente et profonde du Hodna.

Ils sont formés par des roches carbonatées du Crétacé inférieur et supérieur (calcaires, marno-calcaires et dolomies) et constituent le début de l'Atlas saharien qui développe ses grandes structures plissées et faillées jusqu'aux portes du désert.

II.2.6. Trias exotique ou extrusif

Il correspond aux terrains les plus anciens connus à l'affleurement dans la région. Il est essentiellement représenté par des évaporites. Il n'affleure jamais en position stratigraphique normale, sous les assises liasiques, mais, au contraire, il se présente en pointements diapirique et en lames injectées le long des accidents tectoniques, sans aucune stratification.

D'après (Vila, J.M. 1980), les masses triasiques jalonnent les contacts anormaux tangentiels à l'exception des secteurs autochtones méridionaux où le Trias occupe une position anticlinale clairement extrusive.

II.3. Principales phases tectoniques

La période pré-tectogénique a commencé dès le Trias, la chaîne alpine d'Algérie s'est surtout structurée au cours des phases tectoniques tertiaires. La structuration du bassin maghrébin est héritée d'une structuration ancienne (R. Guiraud, 1973), il s'agit d'un ancien accident fracturé profond coïncide actuellement avec la flexure sud atlasique, qui sépare la plate forme saharienne stable des domaines de l'avant pays de la chaîne des Maghrébides (Fig II.4) (R. Guiraud, 1973 ; D. Bureau, 1984 et 1986). Les importantes phases tectoniques qui règnent dans la région et qui sont à l'origine de ce dispositif structural actuel sont :

II.3.1. La phase atlasique (structuration Eocène)

Cette phase compressive se situe vers la fin du Lutétien, c'est la phase priabonienne à vergence sud au sens de (Vila. J. M. 1980). Elle marquée par l'arrêt des séries à la fin de l'Eocène. L'Oligocène qui y fait suite ne reflète plus du tout l'appartenance à une quelconque unité. Toutes les séries sont plissées suivant la direction SW-NE et E-W. Dans les zones méridionales de l'aire d'étude, les soulèvements en blocs de certains compartiments et la formation de petits grabbens démontre la rigidité de la couverture : un chevauchement vers le Sud se dessine à cette époque.

II.3.2. La phase du Miocène basal

Cette phase marquée par un hiatus dans la sédimentation, lequel n'est rompu que par la transgression du Burdigalien supérieur. Dans certains secteurs, ce Burdigalien fossilise des structures plissées à flancs verticaux évoquant des plis coffrés au Sud du Djebel Sekrine.

II.3.3. La phase Alpine

Les mouvements alpins se traduisent par deux phases :

II.3.3.1. Phase post-Burdigalienne

C'est la phase la plus violente ayant affecté au cours des temps géologiques les séries Secondaires et Tertiaires ainsi que les structures anciennes. Tout se passe comme si une poussée s'exerçant en direction du Sud. Dans la partie méridionale et dans les compartiments surélevés, sont fortement écaillés et "chevauchant" vers le Sud, alors que les anticlinaux sont étirés en lames. Dans la partie septentrionale les séries tertiaires sont très intensément plissées écaillées et décollées du substratum Secondaires. Les torsions d'axe de plis, décrochements et compressions supplémentaires observées dans les nappes telliennes et le parautochtone et autochtone Hodnéen sont dus à la phase Alpine.

II.3.3.2. Phase post-Pontienne et post-Pliocène (néotectonique)

Cette phase est responsable de l'orographie actuelle. La tectonique récente est marquée par l'effet des grandes failles verticales. Le résultat le plus évident de cette néotectonique est la création des bassins intercontinentaux où se déposent des molasses et des dépôts lacustres.

II.4. Aperçu structural

La région d'étude se présente comme une vaste étendue nivelée et s'étendent sur une longueur d'environ 80 km d'Est en Ouest, et une largeur maximum d'environ 50 km. Elle est considérée comme un bassin continental fermé rempli par des dépôts néogènes et quaternaires. Ces dépôts forment la couverture d'un substratum très hétérogène varie du Nord au Sud et d'Est à l'Ouest.

Les structures actuelles de la région sont le résultat de mouvements tectoniques tertiaires et en particulier, les mouvements assez intenses (post Eocène, anti Oligocène) qui sont les premières responsable sur la plus part des fractures. Aussi, les mouvements poste Miocène, intense avec déplacements accentués. Ces structures sont représentées essentiellement par des plissements, des chevauchements, des décrochements et des nappes de charriage.

II.4.1. Les chevauchements

Ce type de contact est représenté essentiellement par les chevauchements de l'ensemble allochtone sud sétifien, ce dernier est constitué par des unités très complexe qui renferme des écailles et des lames isolées affectées elles-mêmes. On distingue deux lignes principales de chevauchement :

Dans le centre, la ligne des masses chevauchantes Zdimm, Youssef, Braou, Tnoutit ; cet ensemble vers l'Est son contacte de base va rejoindre les formations de la nappe néritique constantinoise et vers l'Ouest s'enfonce sous les nappes telliennes et plus précisément la nappe de Djebel Sattor. Au nord l'ensemble recouvert par la nappe tellienne de Djemila.

Au Djebel Youssef, deux chevauchements peuvent être observés, le premier dans le col de Mzaret Sekkaken où il montre l'affrontement entre les dolomies jurassiques de la série chevauchante qui recouvrent anormalement les grès barrémiens. Le seconde dans l'extrémité Nord-Est du Djebel Guetar, un paquet de dolomie jurassique recouvre anormalement un petit monoclinale de calcaires aptiens, cette surface marquée par un chert siliceux broyé à mouchetures de malachites et d'azurite.

Au Sud, la ligne de chevauchement des Djebels Sekrine, Kalaoun et Tafourer, par la poussée de ses masses vers le Sud, elles affrontent les chainons du Hodna et déterminent le

front sud sétifien (accident très continu). Aussi, Djebel Sekrine plissé en genou, et c'est à partir de ce plissement précoce qu'a été réalisé le chevauchement, ce dernier est bien visible dans la partie méridionale (le Crétacé inférieur chevauchant vers le Sud le Miocène Hodnéen), il dont le porté est avoisiner de 10km.

II.4.2. Les failles

Les failles sont très nombreuses dans la région d'étude et très variées, elles affectent les formations carbonatées et parfois le socle cristallin, provoquent des fracturations et déterminent les directions préférentielles de circulation interne des eaux des sources chaudes.

Par ailleurs les décrochements sont bien visibles le long de l'accident chevauchant d'El Bahira au Sud de Salah Bey et dans l'anticlinal de Hadjar El Bioud, elles présentent une cinématique dextre. L'analyse des cartes géologiques qui couvrent la région permet de distinguer plusieurs familles :

- Famille N-S : les failles subméridiennes sont bien représentées dans les formations carbonatées des Djebels Osmane, Zdimm, Youssef, Kalaoun, le Crétacé du flanc Est de Djebel Hadjar Labiod et avec une nette concentration dans le flanc Est de Djebel Sekrine.
- Famille E-W : cette famille est présentée presque dans tous les massifs avec une nette concentration au niveau des formations aptiennes carbonatées de la partie septentrionale de Djebel Tafourer, les versants septentrionales du Djebel Sekrine et dans l'anticlinal de Hadjar Labiod où leurs étendues est supérieures à 3km.
- Famille NE-SW : les failles de cette direction affectent Djebels Zdimm, Youssef, Tnoutit Koudiat Tella et l'anticlinal complexe de Hadjar el Bioud. Elles sont bien représentées dans la Koudiat El Meddour, Djebel Ouled Sabor et les carbonates barrémiens du flanc Est de Djebel Sekrine.
- Famille NW-SE : le système des failles NW-SE affectant les formations crétacées des Djebels Zdimm, Gourine, El Djezaiz, Tella, Kalaoun, le jurassique de Djebel Braou dans le flanc NW et le Miocène hodnéen de Djebel el Hassane.
- Famille NNW-SSE : les failles de cette famille affectent quelques massifs, elles sont bien représentées dans les formations Crétacées de Draa El Oust, le flanc Est de Djebel Zdimm, avec une nette concentration dans le dôme sénonien de Djebel El Djezaiz et l'anticlinal d'Ain el Kahla. Cette système de failles présente des pendages principalement 70 à 80°ENE avec un étendues atteindre 1km à Ain El Kahla, (Flerov, V et Tourqui, M.1988).
- Famille WNW-ESE : cette famille est présente presque dans tous les massifs avec une nette concentration au niveau des formations crétacées de la partie septentrionale de Djebel Sekrine et la partie septentrionale du Djebel Kalaoun où elle constitue un faisceau de failles parallèles.

- Famille NNE-SSW : les failles de cette famille sont rares, mais elles sont bien représentées dans les formations jurassiques de la partie centrale du Djebel Youssef.
- Famille ENE-WSW : les failles de cette famille sont les plus rares, mais elles sont présentes dans le flanc Est du Djebel Gourine et au niveau de Oued Guergour qui travers le Miocène hodnéen du Djebel el Hassane.

II.4.3. Les plis

Les plis en générales simple, mais découpés par des failles et des chevauchements. Ils sont rencontrés sous forme des anticlinaux qui forment l'ensemble des hauts reliefs, et des synclinaux forment en général les dépressions.

Dans la région d'étude, les plis d'orientation Est-Ouest sont représentés au niveau de l'anticlinal de Djebel Youssef et Djebel El Hassane, quant aux alignements Nord-Est, Sud-Ouest, le dôme Sénonien de Djebel Gourine et de Djebel Sekrine montrent un meilleur exemple de cette orientation.

II.5. Le thermalisme dans son cadre structural

De nombreuses études sur le thermalisme ont tendance à montrer l'étroite relation entre la fracturation et le thermalisme. Presque la totalité des remontées chaudes sont facilitées par une ou plusieurs fractures importantes se recoupant souvent et affectant des reliefs provoquent l'émergence des sources thermominérales. Pour cela, une analyse détaillée (Fig II. 8) de notre région a été effectuée en deux étapes :

Etape 1 : Nous avons effectué une analyse statistique sur l'ensemble des fractures et linéaments déterminés à la base de la carte géologique et des mesures effectuées sur le terrain. Pour cela, on a construit des rosaces de fréquences, afin de mieux mettre en évidence la **densité**, l'**orientation** et la **fréquence** des fractures. Il s'agit en fait d'une caractérisation de six-cent vingt-huit fractures recensées par leurs positions dans un plan (x, y). On aboutira de la sorte à des représentations en rosaces de **fréquences cumulées**.

Etape 2 : Notre étude sera résumée par une carte interprétative assemblant les relations entre la fracturation et le thermalisme.

II.5.1. Analyse des linéaments à partir de la carte géologique

Cette analyse est basée sur l'utilisation des données géophysiques associées à des études géologiques permettant de mettre en évidence des mégastructures d'échelle supérieure à la centaine de kilomètres. Afin de faire ressortir les structures majeures de la région, nous avons procédé selon trois étapes principales :

- Le report systématique des linéaments avec l'élaboration d'une carte et le traitement des

données présentées sous forme des tableaux.

- La réalisation de rosaces directionnelles.
- La description des linéaments et de leurs répartitions.

Tableau II.1 : Tableau récapitulatif des linéaments des trois secteurs.

Orientation		Nombre de linéament	
		Trois secteurs	
		N°	%
N-S	N0-10	43	28
NE-SW	N40-50	62	41
E-W	N80-90	50	33
EEN-WWS	N100-110	50	33
NW-SE	N130-140	131	87
NNE-SSW	N20-30	52	34
NE-SW	N60-70	52	34
NW-SE	N120	37	25
NNW-SSE	N150-170	151	100
Total		628	100

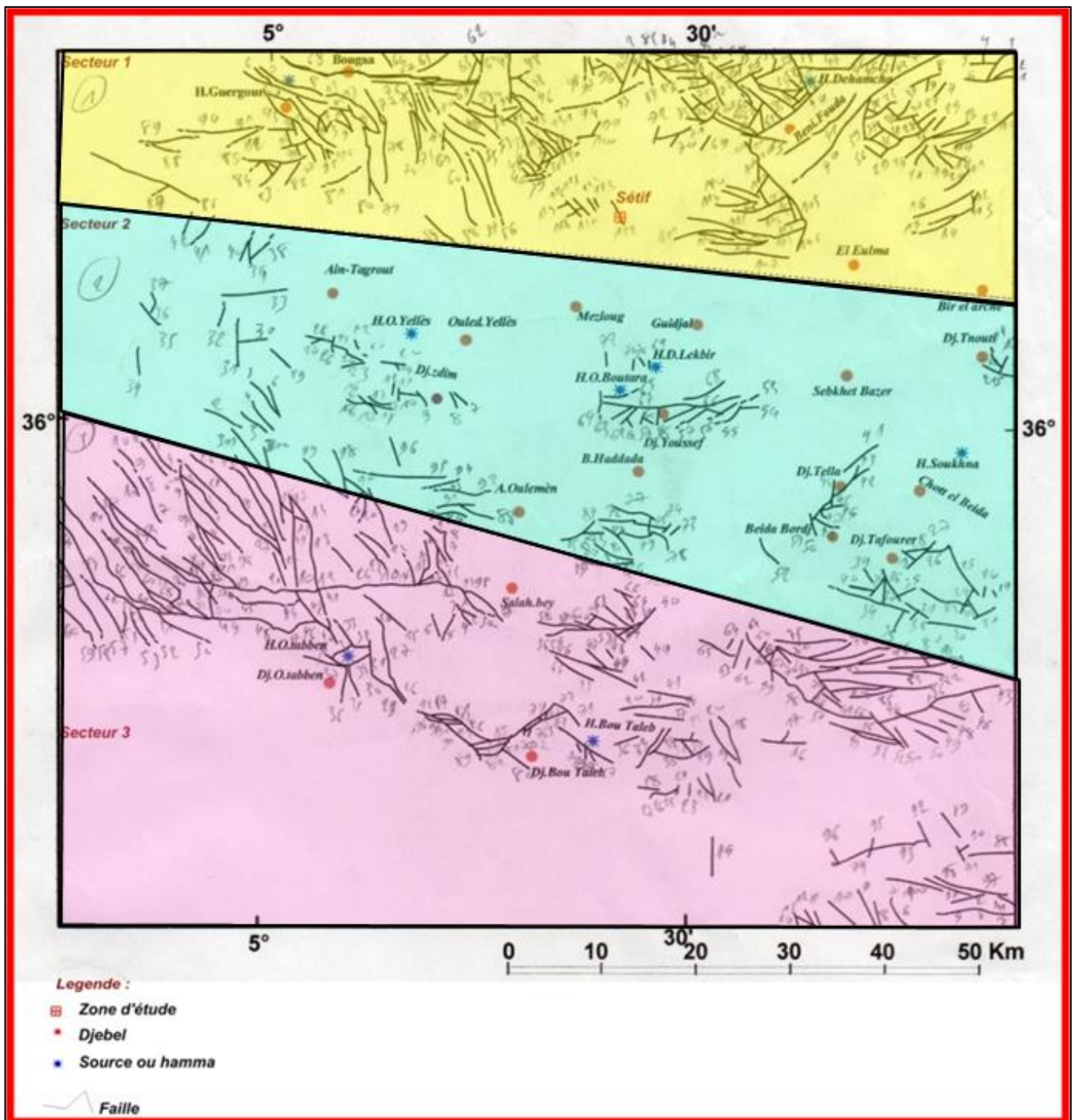


Figure II.8 : Fracturation des trois secteurs.

Tableau II.2 : Tableau récapitulatif de linéament secteur N°01.

Orientation		Nombre de Linéament	
		Secteur 1	
		N°	%
N-S	N0-10	17	39
NE-SW	N40-50	34	77
E-W	N80-90	18	41
EEN-WWS	N100-110	17	39
NW-SE	N130-140	41	93
NNE-SSW	N20-30	20	45
NE-SW	N60-70	18	41
NW-SE	N120	5	11
NNW-SSE	N150-170	44	100
Total		214	34

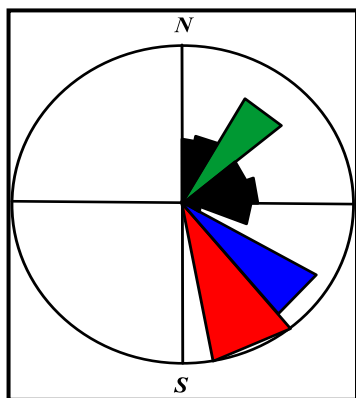


Figure II.9 : Rosace du linéamentaire secteur 01

Tableau II.3 : Tableau récapitulatif de linéament secteur N°02.

Orientation		Nombre de Linéament	
		Secteur 2	
		N°	%
N-S	N0-10	9	30
NE-SW	N40-50	15	50
E-W	N80-90	14	47
EEN-WWS	N100-110	7	23
NW-SE	N130-140	27	90
NNE-SSW	N20-30	11	37
NE-SW	N60-70	12	40
NW-SE	N120	2	7
NNW-SSE	N150-170	30	100
Total		127	20

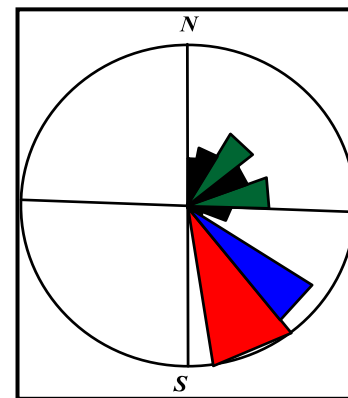


Figure II.10 : Rosace du linéamentaire secteur 02

Tableau II.4 : Tableau récapitulatif de linéament secteur N°03.

Orientation		Nombre de Linéament	
		Secteur 3	
		N°	%
N-S	N0-10	17	22
NE-SW	N40-50	13	17
E-W	N80-90	18	23
EEN-WWS	N100-110	26	34
NW-SE	N130-140	63	82
NNE-SSW	N20-30	21	27
NE-SW	N60-70	22	29
NW-SE	N120	30	39
NNW-SSE	N150-170	77	100
Total		287	46

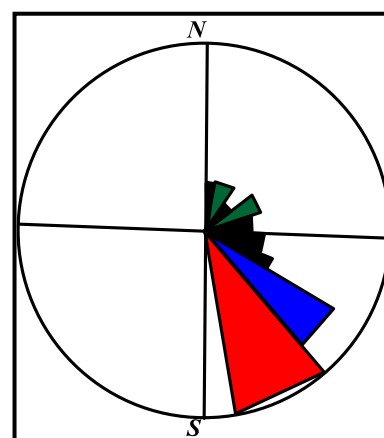


Figure II.11 : Rosace du linéamentaire secteur 03

II.5.2. Interprétation des linéamentaires des trois secteurs

Une étude linéamentaire générale pour déduire la direction dominante des fracturations a été établie à partir des trois secteurs (Tab II.5).

Secteur global	
Orientation	Importance (%)
N-S (N40-50)	28
NE-SW (N40-50)	41
E-W (N80-90)	33
EEN-WWS (N100-110)	33
NW-SE (N130-140)	87
NNE-SSW (N20-30)	34
NE-SW (N60-70)	34
NW-SE (N120)	25
NNW-SSE (N150-170)	100

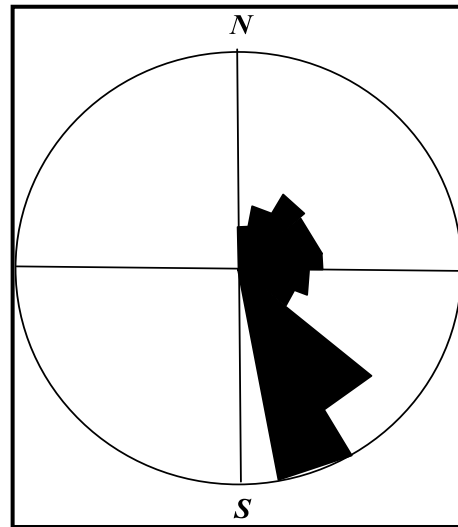


Figure II.12 : Rosace de la linéamentaire globale.

II.5.3. Description des rosaces :

Après l'élaboration des rosaces (Fig II. 9, II.10, II.11 et II.12), on distingue les familles de direction de linéaments significatives des trois secteurs, nous les avons ordonnées selon leur importance comme suit :

- La famille 1 : N150-170 (NNW-SSE) ;
- La famille 2 : N130-140 (NW-SE) ;
- La famille 3 : N40-50 (NE-SW).

II.5.4. Analyse et significations structurales

II.5.4.1. Famille 1 N150-170 (NNW-SSE)

La direction N150-170 (NNW-SSE), parfois associée à des plis E-W (M.Durand Delga ,1955 et P. Deleau, 1938), elles sont bien représentées dans les formations Crétacées de Djebel Zdimm avec une nette concentration dans le dôme sénonien de Djebel El Djezaiz et l'anticlinal d'Ain el Kahla correspondre aux accidents normaux d'âge Miocène.

Elle est en relation avec le volcanisme basique contemporain à une sédimentation argilo-gypseuse dominante (D. Bureau, 1970 ; R. Guiraud, 1973, M. Aissaoui, 1984). Elle s'observe dans le vaste anticlinal d'Ain Azel, elle présente probablement la fracture thermique des H. Boutaleb et Ouled tabben.

II.5.4.2. Famille 2 N130-140 (NW-SE)

Cette famille affecte les formations crétacées des Djebels Zdimm et Tella, elle peut correspondre aux accidents liés à la phase atlasique d'âge Eocène, il s'agit de décrochements dextres. Elle est plus fréquente dans le domaine autochtone externe (J.M.Vila, 1980).

D'après R. Guiraud (1990) certaines cassures ont permis la mise en surface de pointements triasique, comme le cas à Melloul, Soukhna..etc. Certaines anomalies géochimiques et géothermiques constatées dans la région peuvent trouver une explication grâce à cette famille d'accident, comme c'est le cas des H. Soukhna et Ouled Yelles.

II.5.4.3. Famille 3 N40-50 (NE-SW)

Cette famille affecte les formations de Djebels Zdimm, Youssef, Thoutit Koudiat Tella, elle peut correspondre aux failles Eocène, il s'agit de décrochements senestres, D'après J.M.Vila, 1980 ces failles ont permis la mise en place de la chaîne calcaire, les flyschs et les séries telliennes en lames ou en plis couchés à vergence Sud. Cette famille est moins fréquente, elle présente probablement la fracture thermique des H. Guergour et Dehamcha.

II.6. Carte montre les relations entre la fracturation et le thermalisme

La carte interprétative rassemblant les relations entre fracturation et thermalisme (Fig II.13) est un document essentiel dans l'étude de la cartographie structurale car elle fournit une image de la distribution des fractures en classes d'intensité et d'orientation. On a tenté d'élaborer une carte relative à notre région d'étude.

La région est divisée en trois secteurs distincts selon le nombre et l'orientation des fractures. Le secteur N°01 correspond au relief se trouvant au Nord des djebels Babor, Gergour et massif de Kharata, le secteur N°03 est plus au Sud dans le massif de Dj. Boutalab et Babor, alors que la majorité du terrain, relativement plat occupant le centre de terrain, correspond au secteur N°2.

A partir d'une étude linéamentaire détaillée des trois secteurs, on a constaté que :

- Le secteur N°01 est représenté par un nombre moins important de linéaments (214 soit 34 %) par rapport au secteur N°03
- Le secteur N°02 est représenté par 127 linéaments soit 20 % du total.
- Le secteur N°03 est représenté par un nombre très important des linéaments par rapport aux autres secteurs, avec un total de 287 soit 46 %.
- Du point de vue thermal, seulement trois directions (NNW-SSE, NW-SE et NE-SW) sont en étroite relation avec les émergences chaudes
- Un grand nombre de sources chaudes se situent sur une ou plusieurs fractures souvent

entrecroisées, de direction soit NNW-SSE soit NW-SE soit NE-SW généralement très importantes, affectant les formations profondes et arrivant parfois jusqu'au socle.

- L'émergence de ces sources dans leur majeure partie se trouve aux abords des affleurements carbonatés (calcaires et dolomies), il est lié probablement aux fractures profonds et récents.

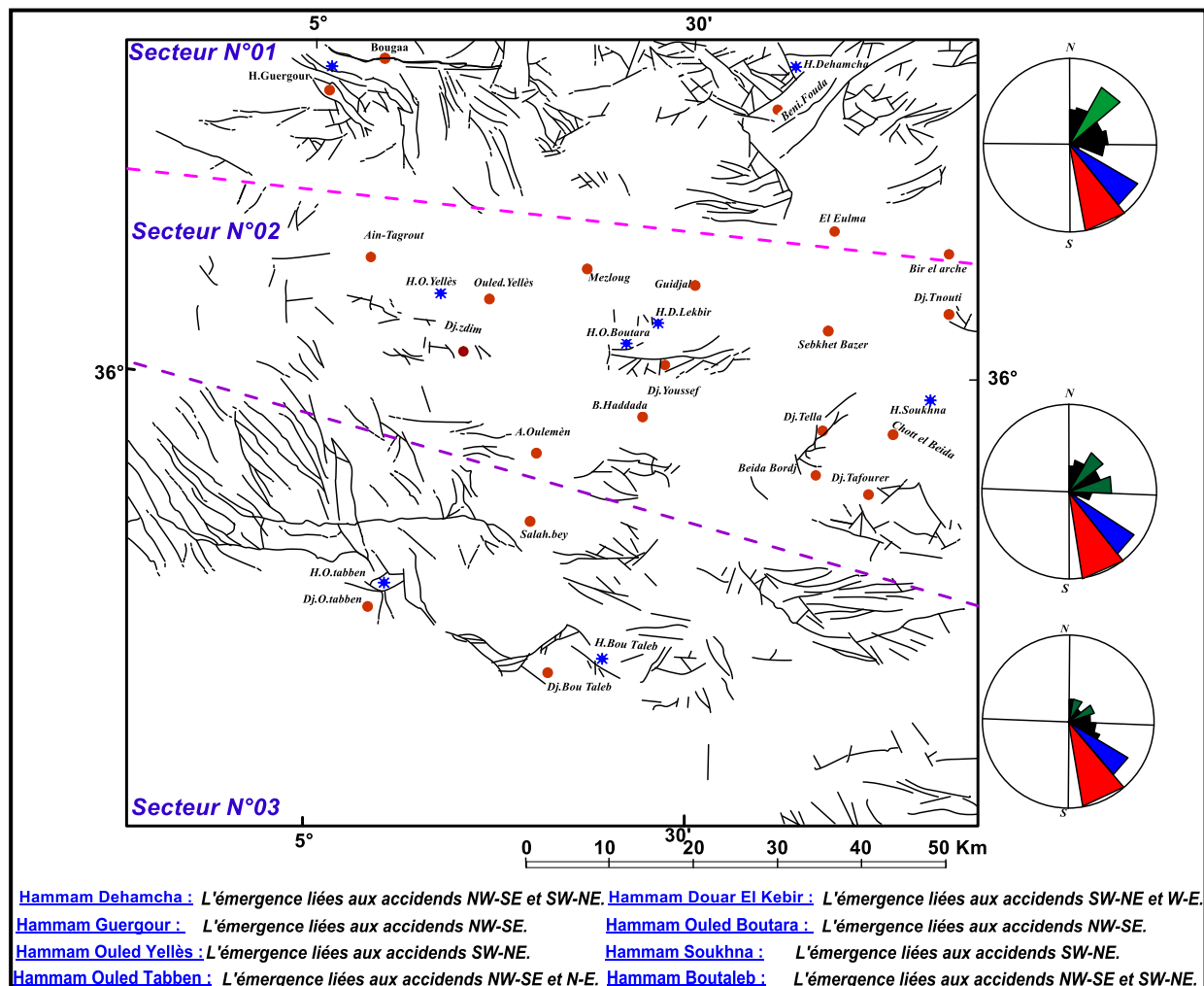


Figure II.13 : Relations entre la fracturation et le thermalisme.

Conclusion

En Algérie du Nord, la chaîne des maghrébides montre trois domaines, du Nord au Sud, qui sont les suivants : le domaine interne (socle Kabyle, dorsale Kabyle), le domaine médian (domaine des flyschs) et le domaine externe (les séries telliennes et l'avant-pays).

La région de Sétif fait partie des zones externes du tronçon nord orientales de la chaîne des maghrébides de l'Afrique du Nord, entre les séries telliennes au Nord et les séries de l'avant-pays au Sud. On ce qui concerne le domaine de l'avant-pays, certains auteurs privilégiant une thèse allochtone (R.Guiraud, 1973 ; J.M. Vila, 1980), considèrent que l'avant pays est subdivisé en deux grands ensembles ;

- Un avant-pays septentrional comprenant la plate-forme sétifienne, la plate forme néritique

constantinoise et le bassin des Sellaoua.

- Un avant-pays méridional correspondant au domaine atlasique.

Les travaux réalisés par N. Kazi Tani, (1986), M. Chadi (1991) et P.E. Coiffait (1992), mettent en doute l'allochtonie. Ils considèrent que l'avant pays septentrional est resté solidaire au soubassement de la marge nord-africaine.

La géologie de la région d'étude est très compliquée, du fait de son appartenance à la chaîne alpine. Cette dernière est considérée comme un bassin continental fermé rempli par des dépôts néogènes et quaternaires. Ces dépôts forment la couverture d'un substratum très hétérogène.

La présence des formations marneuses et argileuses du néocomien, et quelques fois l'Aptien marneux, l'aptien terminal et l'albien constituent des barrières étanches vis-à-vis des circulations des eaux souterraines. Elles jouent un rôle de substratum imperméable, provoquent l'instabilité des terrains et le changement du faciès chimique des eaux y traversés.

La présence des formations carbonatées du crétacé inférieur qui présentent une perméabilité en grand, favorise le développement de grands aquifères karstiques dans la plupart des cas concernés par l'emménagement et la circulation d'eaux chaudes.

La structure actuelle de notre région, est le résultat de l'action conjuguée de plusieurs mouvements tectoniques et en particulier, les mouvements assez intenses de tertiaire. Ces accidents (plis et les failles) dans la plupart des cas sont entrecroisés, leurs points d'intersection sont jalonnés par une ou plusieurs émergences chaudes très importantes (ex : H. boutaleb, Ouled tabben et Dehamcha). Une grande partie de ces émergences sont situés sur des fractures d'orientations NNW-SSE.

Les grands accidents tectoniques affectant les formations carbonatées et parfois atteint le socle cristallin a grandement facilité l'acheminement des eaux thermominérales profondes en surface et la libération d'un flux de chaleur très important réchauffant les nappes aquifères sus-jacentes avec dissipation d'une grande partie de leur énergie originale (gradient géothermique) et assurant la communication entre les différents réservoirs.

À partir d'une étude linéamentaire détaillée, plusieurs fractures profondes ont été décrites pouvant se regrouper en familles d'après leur direction. Les directions dominantes suivantes leur ordre d'importance sont comme suit : (NNW-SSE), (NW-SE) et (NE-SW).

CHAPITRE N°3

Contexte Géophysique
Contexte Géophysique

Introduction

La méthode géophysique la plus utilisée pour déterminer les structures du sous-sol est la méthode sismique. La mise en œuvre la plus répandue est la sismique réflexion de type couverture multiple. Cette technique fournit une échographie du sous-sol à 2 ou 3 dimensions c'est-à-dire la connaissance de la nature géologique des sédiments, leur extension aussi bien horizontale ou verticale (épaisseur) et aux mécanismes qui contribuent à leurs émergences.

En sismique 2D, l'image obtenue après traitement est une section sismique. L'axe horizontal de la section représente les abscisses géographiques des points de la surface le long du profil d'acquisition et l'axe vertical représente le temps d'écoute (temps double).

Les événements sismiques, qui apparaissent sur la section, correspondent à des arrivées d'ondes réfléchies à incidence normale sur des marqueurs sismiques.

Les marqueurs sismiques correspondent à des discontinuités d'impédances acoustiques différentes. On rappelle que l'impédance acoustique d'un milieu correspond au produit $\rho.v$ représentant respectivement la densité du milieu et la vitesse de propagation de l'onde dans ce milieu. La pointe de ces marqueurs fournit une image structurale du sous-sol. L'analyse des attributs et du caractère des événements sismiques ouvre la voie vers les interprétations stratigraphique et lithologique de la sismique réflexion.

La sismique comporte, comme toute méthode de prospection géophysique, trois phases : l'acquisition des données, leur traitement et leur interprétation.

Comme partout au Nord de l'Algérie, l'exploration géophysique dans la région de Sétif a commencé au début des années 50 par des méthodes de surface telle que; La sismique réfraction, l'aéromagnétique, les études structurales de surface et la cartographie.

Dans la wilaya de Sétif, l'activité géophysique basée sur la méthode de sismique réflexion, a été introduite en 1987. Celle-ci a permis de réaliser environ 158 km de profils correspondants approximativement à 1788 points de tir, soit une faible densité de 0.05 Km / Km². Cette étude avait pour objectifs essentiels:

- Localiser des différents accidents tectoniques,
- Localiser les formations argilo-gypseux du Trias (Guellal, Bazer et Beni-Fouda ...) provoquent l'instabilité des terrains et le chimisme des eaux des sources,
- Localiser les formations aquifères (carbonatées) et leurs modalités d'alimentation (affleurement).

III.1. La sismique réflexion

La sismique réflexion permet d'obtenir une information sismique dans une région donnée suivant des profils espacés de quelques kilomètres. Les sources et les récepteurs sont en général disposés en surface. Les ondes sismiques émises traversent la zone altérée avant d'atteindre les couches consolidées. La zone altérée filtre les hautes fréquences et par conséquent, la résolution verticale est limitée

III.2. Principe du dispositif d'enregistrement

La phase d'acquisition qui se déroule sur terrain consiste à envoyer des ondes sismiques dans le sous-sol puis enregistrer l'énergie réfléchi sous forme de données numériques sur des bandes magnétiques.

La méthode d'acquisition utilisée est conventionnelle (Fig III.1). Les conditions de surface ainsi que la tectonique de la région d'étude particulièrement complexe (zone de nappes) ont rendu très difficile l'établissement et le choix des paramètres d'enregistrements.

En effet, la campagne 87 ST a été réalisée en tir en surface et en forage avec des trous de 3 m de profondeur, une charge unitaire de 2 kg, un dispositif d'enregistrement de 48 traces avec un tir au centre, la couverture est de 2400%.

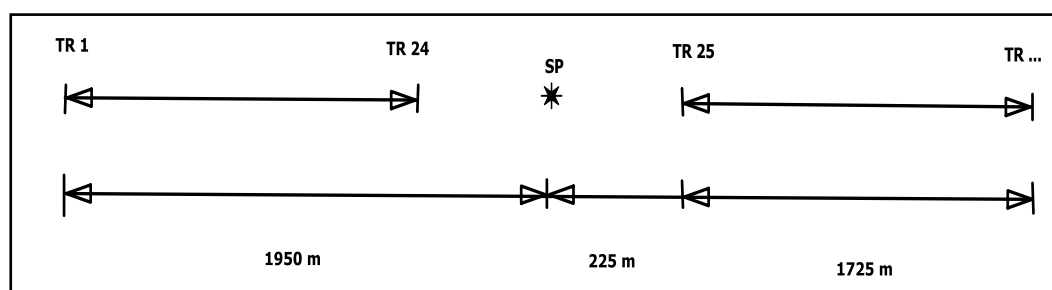


Figure III.1 : Dispositif d'enregistrement (tir au centre).

III.2.1. Paramètre d'enregistrement (ENAGEO en 1993)

Les informations sismiques sont enregistrées avec un laboratoire DFS IV 48 traces de format SEG B.

- Un inter-trace et inter-tir de 75 m;
- Un offset latéral de 25 m puis 40 m (charge);
- Un offset longitudinal 2 x 225 m.

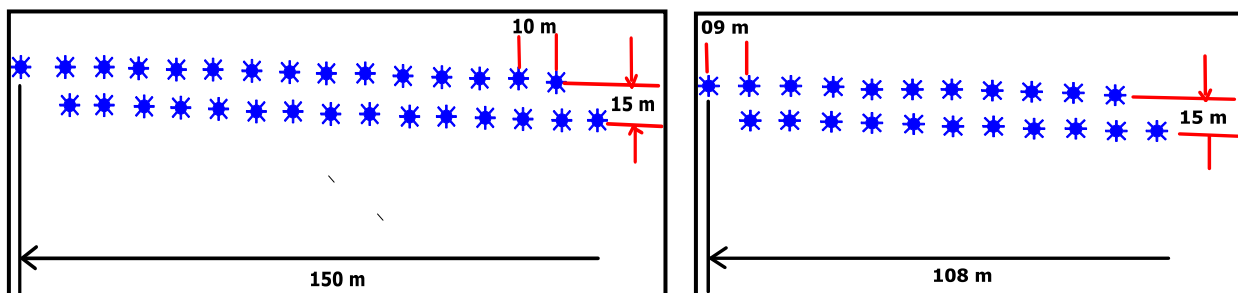
Tableau III.1 : Les paramètres d'enregistrement de la campagne 87 ST du périmètre de Sétif.

Distance entre rangées (m)	Emission				Réception						
	Champ de tir				Spread diagram				Nappe sismo		
	Longueur (m)	Source	Charge (Kg)	Offset	Dist entre traces (m)	Dist entre PT (m)	Nbr de trace (m)	Nbr de Géophone	Dist entre rangées (m)	Longueur de base (m)	Filtre d'énergie (HZ)
15	150 108	Dynamite	15*2	1725-225 225-1725	75	75	48	4*12	10	105	8 - 124

L'enregistrement a été réalisé avec un pas d'échantillonnage de 2 m pour une durée de 5s, $L_c = 8$ Hz et $H_c = 124$ Hz (filtrage spatiale).

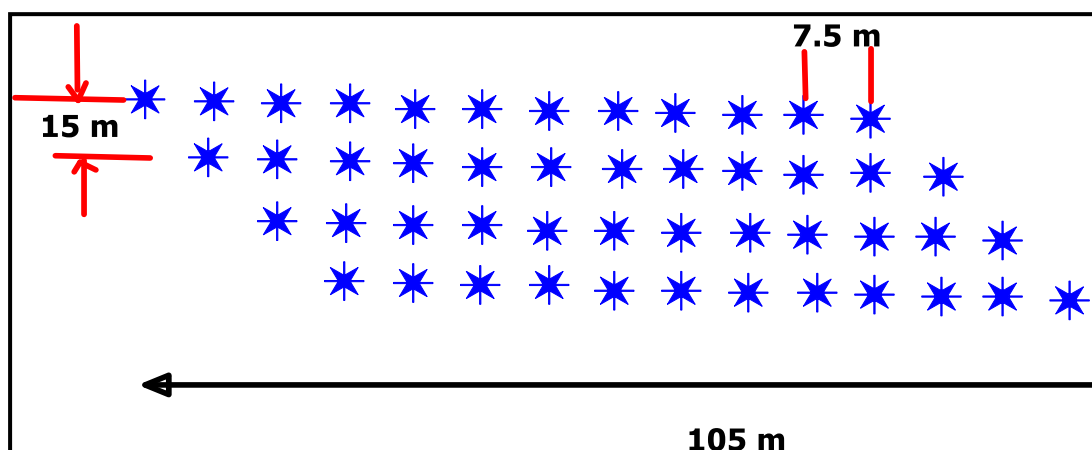
III.2.1.1. Nappe de tir.

Elle consiste en un parallélogramme de 2 rangées de 15 charges chacune avec 10m et 9m entre charge et 15m entre ligne. La Longueur totale est de 150 et 108 m. La charge totale est de 15 x2 kg (Fig III.2).

**Figure III.2** : Nappe de tir de forme parallélogramme

III.2.1.2. Nappe sismo

C'est un parallélogramme (filtrage) de 4 x 12 géophones la longueur des nappes est de 105 m et 7.5 m entre géophone et 10 m entre rangées (Fig III.3).

**Figure III.3** : Nappe sismo de forme parallélogramme 4*12m.

III.2.1.3. Petite réfraction

Les tirs de petites réfractions ont eu lieu en profondeur de 3m. Un dispositif de 300m de longueur a été utilisé avec un total de 4 tirs par plaque et la charge varie généralement de 1 à 3 kg selon la nature du terrain, le dispositif de la WZ (Fig III.4).

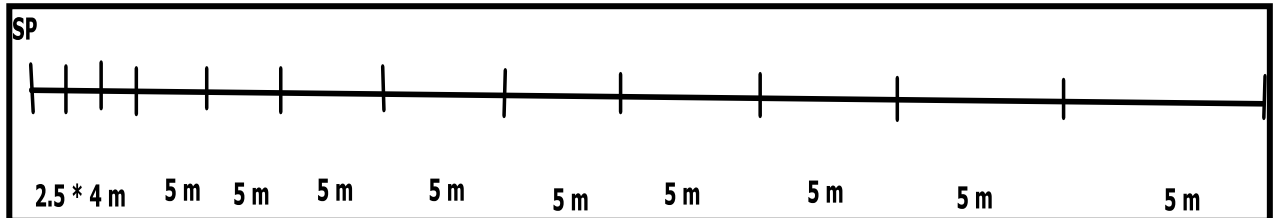


Figure III.4 : Dispositif de la WZ.

III.2.1.4. Correction statique

L'exploitation des tirs de réfraction à été faite par la méthode d'interceptes. Les corrections ont été calculées par rapport à :

- Un plan de référence DP= 950 m (datum plan);
- La vitesse de comblement est variable sur l'ensemble du programme. l'interprétation de la WZ a montré un modèle simple à une couche et de vitesse variable (550 m/s - 1100 m/s).

Pour que ce modèle est très simple et reflète la nature de la zone altérée de la région. Il faut d'abord calibrer à des carottages VT. Les profils présentent une mauvaise présentation, pourrait expliquer par la dégradation de la qualité des données sismiques (les données sont bruitées, mauvaise acquisition).

III.3. Paramètre de traitement

La phase de traitement sismique consiste en une succession de traitements élémentaires permettant de passer des données terrain enregistrées à une section sismique qui montre les différents réflecteurs sismiques correspondant aux horizons géologiques.

Lors de l'enregistrement de terrain beaucoup de facteurs viennent atténuer le rapport signal / bruit. Le but du traitement est d'améliorer le plus possible ce rapport. La finalité est de restaurer au plus le signal et d'atténuer au maximum les bruits.

Concernant les résultats du traitement initial pour quelques profils ont été de qualité difficilement interprétable, ceci est du probablement à la combinaison de plusieurs facteurs, dont les importants sont :

- Modèle de subsurface assez complexe (zones de nappes);

- La définition de la WZ n'a pas été fait sur la base de carottages VT;
- Le choix des paramètres d'enregistrement a été définie sur la base de concepts d'analogie ;
- Absence de tir de bruits, dont les résultats permettront une meilleure définition de la géométrie de l'émission et de la réception.
- Traitement très conventionnel. Ceci a amené le district a demandé un retraitement plus performant.

A cet effet, plusieurs procédures assez puissantes ont été utilisées dans la séquence du retraitement pour atténuer les bruits et améliorer la qualité des signaux (filtre F/K, statiques résiduelles, surface consistante, migration). Les procédures qu'il faut souligner sont :

- Filtre temporel en cône pour l'atténuation de l'onde aérienne ;
- Filtre F/K (avant stack) pour atténuer les ondes de surface ;
- Statiques résiduelles, surface consistante pour une meilleure définition et l'atténuation des composantes basses et / hautes fréquence des statiques résiduelles ;
- Migration (différences finies).

Tableau III.2 : Les paramètres du processing de la campagne 87 ST du périmètre de Sétif.

Processing	Processing	DP (m)	Statics Sec		Vilosity Analyse	Gain Type	Deconvolution				Filtre (HZ)
			Carte (S)	Schift (ms)			Type	Operat Lent (ms)	Window (ms)	Prewhith	
DATA,CONT	E,NA,GEO	950	Variable	32	CVA	AGC	Spike	120	100 3000	3%	8 55

III.3.1. Qualité des données sismiques

Le programme sismique grossièrement limité au Nord par le profil 87 ST 2 et au Sud par le profil 87 ST 1 bis est caractérisé par une qualité de bonne à moyenne sur la majeure partie du programme (Fig III.5).

Néanmoins, la qualité moyenne est probablement dûe à la combinaison de plusieurs facteurs dont les plus importants sont:

- Conditions de surface ;
- Géologie complexe ;
- Acquisition mal adaptée.

Le positionnement des profils sur la carte géologique de la région montrent que ce levé traverse une topographie chahutée de différents affleurements et une zone composée d'un empilement de nappes (nappes telliennes). Ces séries sédimentaires allochtones nuisent à la bonne continuité des réflecteurs ainsi qu'à la qualité des données (Fig III.5).

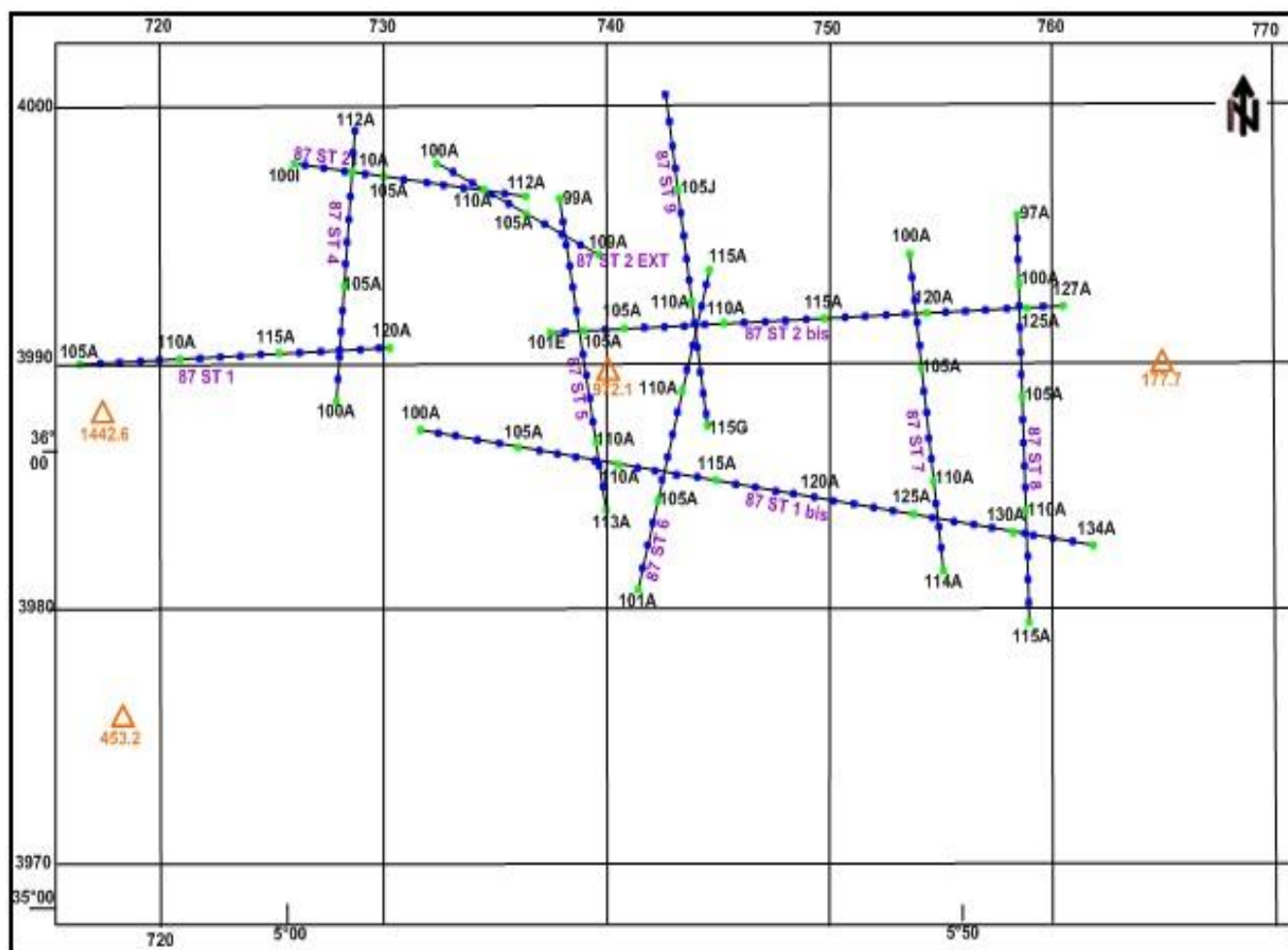


Figure III.5 : Profils sismique du programme 87 ST du périmètre de Sétif.

Mais malgré cette constatation, l'énergie sismique existe mais est inorganisée en raison de la difficulté de maîtrise des vitesses dans cette zone dont l'assise géologique est effectivement compliquée.

Tableau III.3: Qualité des données sismiques.

Nom du profil	Du - Au	Km	Nbr de record / 48 traces	Qualité
87 ST 1	105 - 120G	13,95	185	Mauvaise
87 ST 1 bis	100i - 112	23,7	103	Bonne
87 ST 2	107 - 134	10,2	258	Moyenne
87 ST 2 bis	101E - 127	23,4	198	Moyenne
87 ST 2 Ext	100 - 109	8,1	88	Moyenne
87 ST 4	100 - 112	10,72	129	Mauvaise
87 ST 5	99 - 113	12,6	149	Bonne
87 ST 6	101 - 115	13	140	Moyenne
87 ST 7	100 - 114	12,6	140	Mauvaise
87 ST 8	97 - 115	16,2	190	Moyenne
87 ST 9	100J - 115G	12,7	108	Moyenne
	TOTAL	146,97	1788	

III.4. Interprétation sismique

La phase finale est l'interprétation sismique. Cette phase nous permet l'extraction de l'information géologique à partir des données sismiques traitées (i.e. traduction des données sismiques en une information géologique). Cette information permet la compréhension de la structure, de la lithologie et de la stratigraphie de la zone étudiée.

III.4.1. Corrélation du profil 87 ST1 bis

Une tentative de suivi de quelques horizons sur le profil 87 ST 1 bis de qualité moyennement bonne a été d'une manière générale aisée à l'Ouest du profil entre les points de tirs 107A et 113A s'étalant sur une longueur d'une dizaine de Km, à ce niveau les réflecteurs se caractérisent par une bonne continuité des réflexions notamment lorsque l'horizon est situé à de grande profondeur temporelle allant jusqu'à 2.5 s.

Les difficultés de corrélation se sont faites sentir beaucoup plus en allant vers l'Est où on assiste à une détérioration de la qualité sismique (inversion de polarité, dégradation du signal et changement de faciès ou d'autres éléments tectoniques sans d'autant oublier la difficulté de maîtrise des vitesses dont l'assise géologique est réellement compliquée), surtout la direction du profil (petit angle entre un plan de faille et la direction du profil).

Néanmoins, les paramètres de terrain et de traitement adéquat peuvent améliorer sensiblement la qualité d'une section sismique même dans le cas d'une tectonique cassante.

III.5. Interprétation du profil 87 ST 1 bis (Voir annexe A)

Le profil 87 ST 1 bis de direction Ouest - Est couvrant une trentaine de km est situé à l'Est de la limite frontale de la structure de Djebel Youssef et au Nord du Djebel Tella montre un bassin probablement Crétacé, pratiquement calme où les réflecteurs représentent une bonne isopacité, dans sa partie Ouest.

L'examen de la section sismique 87 ST permet d'avancer les conclusions suivantes :

- Une continuité des formations en profondeur jusqu'à plus de 3Km, traduit la mise en place des massifs calcaires sur des formations conductrice triasique, ces formations provoquent l'instabilité des formations sous-jacentes et masquer le faciès chimique original des eaux.
- Dans la partie Ouest les affleurements sont réduits, les structures très faillées et le trias relativement proche.
- Un jeu de faille normal défini trois panneaux d'effondrement dans le panneau le plus à l'Ouest c'est à dire le plus effondré, une faille d'équilibre (faille inverse) dessine entre 114 A et 120 A un " pop up " .

- La structure anticlinale de Djebel Youssef à cœur jurassique repose sûrement sur les séries Crétacées représentées (série renversée) par la section en question, ces séries semblent être de très bons réservoirs;
- Cette tectonique permet aussi l'installation d'une série de dépressions fermées drainant la majorité des eaux de surface et souterraines de la région et d'attribuer à ce domaine une allure en horsts et en grabens plus qu'une structure en forme de nappe de charriage.

Conclusion

La prospection sismique faite par (E.NA.GEO en 1993) dans le contexte géologique de la région de Sétif, permet d'arriver à :

- Localiser les formations carbonatées appartenant probablement aux Crétacés, jurassique et des formations triasiques appartenant probablement aux albien, aptien, ainsi que leurs alternances.
- Identifier les formations carbonatées qui présentent les zones favorisant le développement d'aquifère et les formations marneuses et argileuses résistantes qui constituent des barrières étanches vis-à-vis des circulations d'eaux souterraines et qui présentent aussi un risque de contamination des eaux.
- Localiser les accidents tectoniques et les grandes lignes structurales qui contribuent à la communication hydraulique entre les réservoirs et le changement des faciès chimiques des eaux écoulés.
- Ses travaux ont permis, en collaboration avec la géologie (Coupe géologique 1993), de prévoir le modèle structural d'écoulement des eaux thermominérales du gisement thermique jusqu'en surface, et les formations géologiques donnant les faciès chimiques acquis au cours de l'ascension des eaux chaudes.

CHAPITRE N°4

Contexte Hydrogéologique
Contexte Hydrogéologique

Introduction

L'efficacité des études hydrogéologiques s'accroît considérablement avec le développement des investigations géologiques et géophysiques.

L'un des buts essentiels pour chaque étude hydrogéologique est l'identification des aquifères, des zones de recharge ou d'alimentation. Pour cela, on s'intéressera aux formations susceptibles de constituer de bons réservoirs d'eau. Et enfin l'établissement d'une carte en isobathe du réservoir thermominéral à partir des données géothermiques et d'inventaires des sources thermominérales.

La région d'étude est composée de trois unités hydrogéologiques :

- Les sédiments de couverture ;
- Les carbonates du mésozoïque ;
- Le paléogène. Le caractère argilo-marneux, et la présence des formations salées du trias jalonnant les formations tectonisées laissent penser au problème (salinité) de contamination des eaux.

IV.1. Les Systèmes aquifères

Pour connaître les formations susceptibles de constituer de bons réservoirs d'eau, on a classé les formations suivant leur perméabilité (Fig IV.1):

Le Quaternaire est argileux, les marnes étant imperméables, les graviers, sables et galets, constituent, en revanche, la matrice à écoulement interstitiel de l'aquifère mio-plio-quaternaire. Par ailleurs, les formations calcaro-dolomitiques du Jurassique, du Crétacé et du Paléogène, constituent un système aquifère à porosité secondaire liée à la fracturation.

Les calcaires lacustres, les conglomérats du Mio-Pliocène et les alluvions récentes du Quaternaire constituent un système aquifère à porosité primaire (Inter-granulaire).

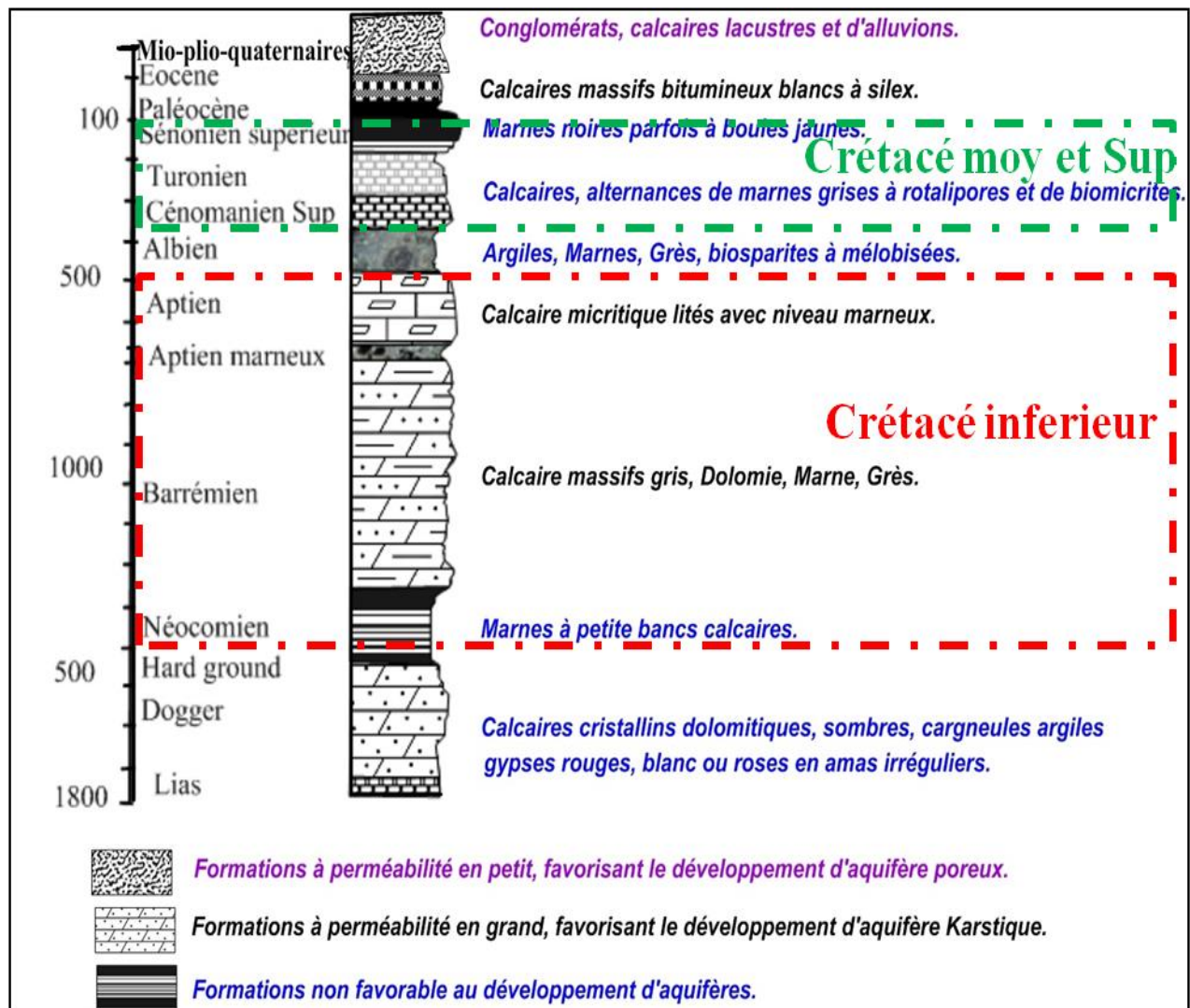


Figure IV.1 : Colonne lithostratigraphique (carte géologique de Sétif J.M.Vila, 1977).

IV.1.1. Classification des formations selon leur intérêt hydrogéologique

En hydrogéologie, les paramètres hydrodynamiques et la nature lithologique des formations géologiques jouent un rôle primordial dans la classification et la distinction entre les différents aquifères.

IV.1.1.1. Formations carbonatées favorables au développement des aquifères karstiques

Les réservoirs des carbonates fracturés et fissurés sont représentés par les formations calcaro-dolomitiques des Djebels Brao, Tnoutit, Kalaoun, Tella et Tafourer, avec une superficie de l'ordre de 1001 km² et forment un réservoir d'eau très étendu.

Les dolomies du Jurassique supérieur ont une épaisseur d'environ 300 mètres. Cette formation est caractérisée par un réseau de fractures très complexe. Elle est susceptible à la formation d'un aquifère aux capacités appréciables.

Les calcaires et les dolomies du Néocomien présentent une bonne perméabilité et une karstification de la roche, du fait des diaclases qui recoupent les joints de stratification créant facilement des vides de dissolution. Les petites sources et les grottes qui se trouvent à la base de cette formation témoignent des circulations d'eau karstique.

Les calcaires massifs gris, dolomies, marnes et grès du Barrémien ont une épaisseur d'environ 350m. Du fait des fractures et des diaclases qui recoupent les joints de stratification créant des conduites, elles assurent la circulation de façons très facile.

Les calcaires micritiques lités avec niveaux marneux de l'Aptien (Gargossien) présentent les mêmes caractères que les calcaires du Barrémien.

Les calcaires Albo-Cénomaniens présentent les mêmes caractères cités précédemment, malgré leur faible épaisseur et leur faible extension, ils pourraient constituer un bon réservoir.

Et enfin, les calcaires massifs bitumineux blancs à silex de l'Eocène.

IV.1.1.2. Formations de couverture favorables au développement des aquifères poreux

Elles ont une perméabilité en petit. La majorité de ces formations sont rattachées au Mio-Plio-Quaternaire couvrant des surfaces importantes.

Le Mio-plio-quaternaire est formé par un dépôt continental très hétérogène. Il est composé de galets, graviers, sables à remplissage argileux et limoneux dans lesquels s'intercalent plusieurs niveaux argilo-marneux et des calcaires lacustres de très faibles épaisseurs.

L'aquifère mio-plio-quaternaire s'étend vers le sud jusqu'aux piedmonts Nord des Djebels Boutaleb, Gouzi et Fourhal. Vers l'Ouest, il est limité par les flancs Est des Djebels Sekrine, Hadjar Labiod et du Kef El Djebbas. Son épaisseur est variable, des forages servant à l'alimentation en eau potable ainsi que des études effectuées par CGG 1973 ont donnés des épaisseurs allant de 8 à 125 mètres ou la côte absolue varie entre 620 m et 955 m.

L'aquitaniens est constitué par des grès fissurés gris et beiges qui alternent avec des grès graveleux et des calcaires graveleux fissurés. A la base de cette alternance, on a des conglomérats.

Le Miocène gréseux conglomératique affleure en plusieurs endroits, ce qui permet donc une bonne alimentation par infiltration des eaux météoriques, son épaisseur est estimée entre 40 à 50m.

Les grès fissurés de l'Aquitaniens contiennent une nappe en charge dont le toit est constitué par des marnes et argiles du Miocène moyen. Son mur serait constitué de marnes du Sénonien Cénomaniens. Les mesures du niveau statique dans les forages captant le Miocène ont montré que l'écoulement se fait des piémonts des Djebels vers la plaine (Sud vers Nord).

IV.1.1.3. Formations non favorables au développement d'aquifères

Ces formations jouent un rôle de barrière (substratum imperméable ou semi perméable) en profondeur vis-à-vis de la circulation des eaux souterraines, ces formations sont :

- Les argiles et gypses broyés du Trias ;
- Les marnes à petits bancs calcaires du Néocomien ;
- Les marnes et les calcaires marneux du Crétacé moyen et inférieur.

IV.2. Zones de recharge ou d'alimentation des aquifères

Il existe plusieurs sortes d'alimentation des aquifère en eau, soit par l'écoulement de surface là où l'infiltration se fait à travers le sol, soit par l'écoulement souterrain (infiltration latérale) et enfin l'alimentation directe des réservoirs aquifères au niveau des affleurements par les eaux de pluies.

IV.2.1. Aquifère des dolomies et des calcaires du Jurassique

Le recouvrement Mio-Plio-Quaternaire met en charge cet aquifère dont l'épaisseur est de près de 400 mètres de dolomies noires. Il affleure aux Djebels Brao, Tnoutit, Youssef et Kalaoun.

Au sud, exactement dans la région d'Ain Azel, les affleurements dispersés du Jurassique comportent au point de vue lithologique une alternance de calcaires et dolomies.

L'alimentation en eau de cet aquifère se fait par impluvium direct alors que la décharge se traduit par des pertes verticales vers les formations sous-jacentes et horizontales par des sources vers les formations aquifères du Mio-Plio-Quaternaire.

IV.2.2. Aquifères des calcaires et dolomies du Barrémo-Aptien-Cénomaniens

L'épaisseur et les caractéristiques lithologiques de cet aquifère varient selon les endroits. Aux Djebels Brao et Youssef, le caractère lithologique dominant est le calcaire et l'épaisseur atteint 100 mètres, alors qu'aux Djebels Zdim, Kalaoun et Sekrine, cette épaisseur varie de 400 à 800 mètres, ont donnés des débits environ de 50 l/s (Boudoukha, A 1988). La recharge se fait par précipitation directe vu leur grande extension.

IV.2.3. Aquifères des grès fissurés de l'Aquitainien

L'alimentation de cet aquifère se fait par infiltration directe des eaux météoriques et par les eaux des massifs karstiques qui l'entourent. D'après les résultats des différents forages exécutés 1980 et les travaux de Glaçon, 1960, on peut conclure que l'aquifère Aquitainien dont l'épaisseur comprise entre 40 et 50m est le siège d'une nappe en charge avec une circulation de fissures. Le mur correspond aux marnes du Sénonien et Cénomaniens et le toit aux marnes et argiles du Miocène moyen.

IV.2.4. Aquifères des grès conglomératiques du Miocène

L'alimentation de cet aquifère se fait par infiltration directe vu son affleurement dans plusieurs endroits, ce qui assure une bonne alimentation par infiltration des eaux météoriques.

D'autre part, on peut préjuger que la nappe Miocène est alimentée par les eaux des formations carbonatées du Crétacé inférieur (vu la direction d'écoulement des eaux souterraines, la direction des pentes et les analyses hydrochimiques).

IV.2.5. Aquifères des couvertures du Mio-plio-quadernaire

En dehors des infiltrations directes des eaux de précipitations, la nappe superficielle reçoit toutes les eaux qui proviennent à partir des flancs des Djebels de Brao, Tnoutit, Sekrine, Youssef, Kef El Djebbas, Hadjar Labiod, Gourzi. Boutaleb et Djebel Fourhal. Une alimentation de l'aquifère du Mio-plio-quadernaire se fait par les eaux des calcaires Karstifiés du Jurassique, Crétacé inférieur et probablement aussi de l'Eocène.

IV.3. Caractéristiques géométriques des aquifères :

Une coupe hydrogéologique (Fig IV.2) au centre de la région d'étude a été établie à partir de la carte géologique, les logs stratigraphiques et la carte piézométrique. Il en ressort :

- La géométrie de l'aquifère.
- La relation hydraulique entre les différentes nappes.

La coupe hydrogéologique (Forage Rass el ma – Forage Djebel Youssef) montre un horizon d'un aquifère à nappe libre constitué par les recouvrements du Quadernaire qui sont :

Les alluvions récentes, terres arables, glaciés polygéniques et les calcaires lacustres du Villafranchien.

Le niveau piézométrique est relativement subhorizontal à légèrement incliné vers le Sud-Ouest qui atteint 36 m de profondeur à l'approche de Djebel Youssef.

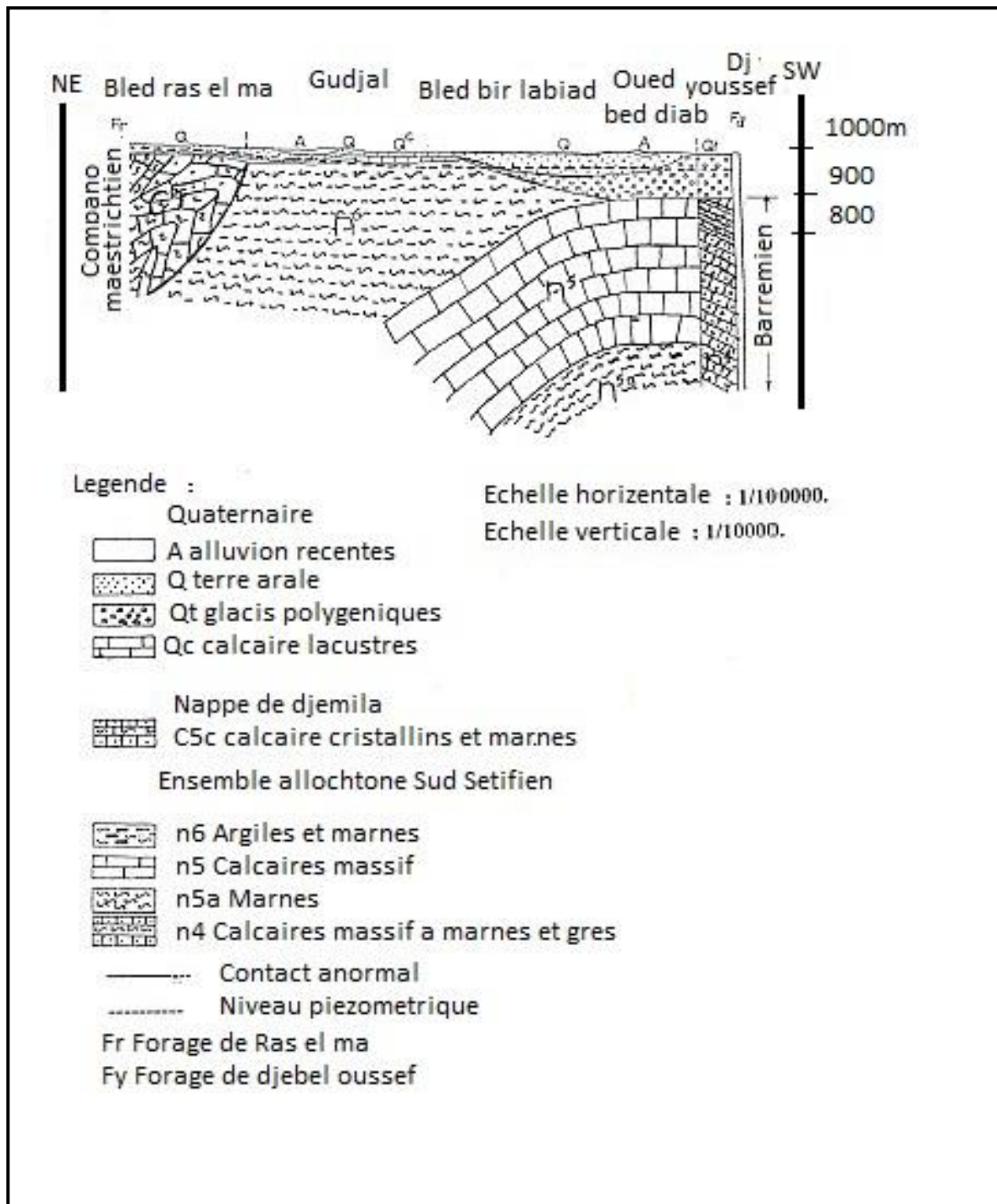


Figure IV.2: Coupe hydrogéologique de Forage Rass El Ma à Forage Djebel Youssef (DHW de Sétif 2006).

Les calcaires du Barrémien, les calcaires massifs de l’Aptien et les calcaires cristallins et les marnes du Campanien – Maastrichtien constituent l’aquifères karstique qui montre une structure plissée et forme un substratum semi-perméable de la nappe libre.

Un contact anormal entre l’ensemble allochtone sud sétifien et la nappe de Djemila est également visible au niveau de la coupe.

IV.4. Phénomène de karstification

La karstification se fait à partir des actions mécaniques (corrosion) et chimiques (dissolution) des eaux superficielles et souterraines qui transforment les fissures et les fractures en conduites et cavités de diverses dimensions qui contribuent à créer des réservoirs d'eau souterraine.

Dans la région d'étude, la karstification est localisée entre le Sénonien supérieur et les mouvements tangentiels du Miocène (Boudoukha A et al. 2012). Au niveau des djebels Anini au Nord-Ouest et djebel Youssef au Sud, exactement à côté de H. Ouled Yelles, la présence des affaissements partiels dans le terrain confirme l'existence de dolines.

L'écoulement des eaux chaudes dans le réseau karstique correspond généralement aux familles de failles de direction NNW-SSE (N150-170).

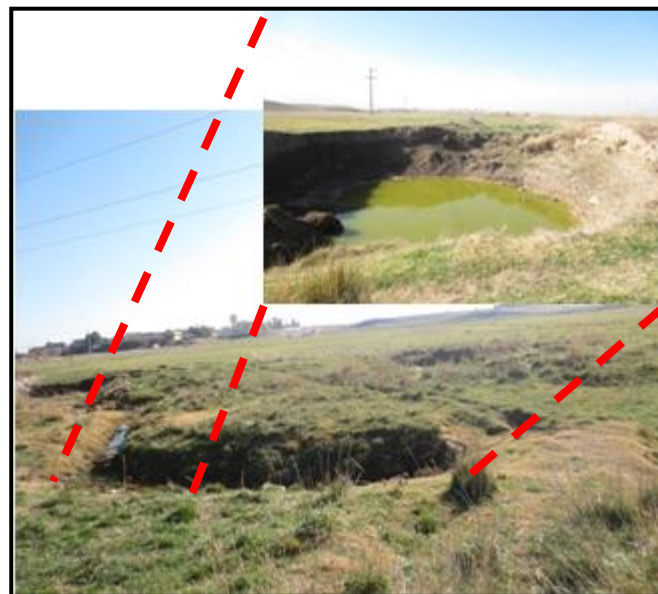


Photo N°01 : Phénomène de karstification (Hammam Ouled Yelles).

IV.5. Colonne lithostratigraphique et hydrogéologique

La définition des ces différentes formations ainsi que la carte de recouvrement nous permettent d'établir la colonne lithostratigraphique et hydrogéologique de la région étudiée (Fig IV.3.1 et IV.3.2).

Log stratigraphique	Unité	Système et sous système	Etage et sous etage	Symbole	Lithostratigraphie	Epaisseur (m)	Affleurement	Perméabilité relative	Hydrogéologie
	Recouvrement (formations peu ou pas tectonisées)	Quaternaire		A	Alluvions récentes	/	développé le long des oueds	Perméable	Aquifère libre poreux de Mio-plioquaternaire
				Q	terre arables Alluvions anciennes et quaternaires indéterminées	/	surtout dans la moitié sud de secteur.		
				Q ^t	Glacis polygénique Nappant les reliefs	/	principalement plus au sud et aux alentours de bled Oum El Adjoul et Mizaret oum El Ateche		
	Pleistocène	Villafranchien	Q ^c	Sols à croûtes et calcaires lacustres	10 - 20	dans la majorité de secteur	impermeable		
	Mio-pliocène continentale		MP	Sables, limon graviers, calcaires lacustres, rougeâtres conglomérats	/	principalement au Nord de secteur.			
				Argile rougeâtre	/				

Formations télliennes (nappe de djemila)									
	Eocène inférieur et moyen	Yprisien lutitien Inf	e ^{4-5 d} - e ⁴⁻⁵	calcaire bitumineux blancs à cassures noires et silex noirs à débris et abondant de débris	200	A la berge gauche de l'oued bou sellam et au Nord du Sétif Centre	perméable	Complexe aquifère	
	Crétacé pléogène	maastrichtien sup à pléogène	e ³ - c ⁶	marnes noire indifférenciés à boules jaunes	300	Au tour d'El Gasria et plus au Nord de Sétif	semi-perméable		
		campanien sup et maastrichtien	c ^{6q}	calcaire en bancs métriques riche en débris au Nord devenant umacheliques aux ouled saber	250 à 280	Ouled saber et principalement au NE de Sétif	perméable		
	Sénonien sup - Crétacé sup	maastrichtien à campanien	c ^{5-6 d} c ^{5-6 a}	marne et calcaire cristallins à débris d'Ostréidés	100	Rive gauche de l'oued Tadjre	semi-perméable		
				marne sombre à boules jaunes	100	Au centre de Sétif			
		santonien sup à campanien	c ⁴⁻⁵	marne-calcaire bien réglés à débris d'orbitolines roulés et de redustes devenant calcaire à huîtres	70	Djebel Chauaffa à l'ouest d'el Eulma	semi-perméable à perméable		
	caniacien à santonien	c ³	marne grise à rosatre	70	Kef raib N-E du Djebel Chauaffa	semi-perméable			

Figure IV.3.1 : Colonne lithostratigraphique et hydrogéologique

Extrait de la carte géologique de Sétif (J.M.Vila, 1977).

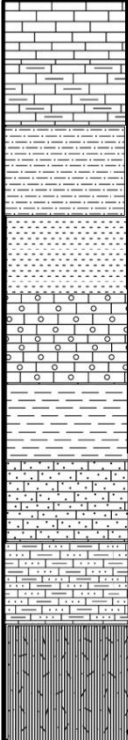
	Ensemble allochtone sud Sétifien	Crétacé moyen	Cénomaniens à Cénomaniens	c ¹⁻²	Barres calcaires avec intercalations marneuses à la base	150 à 200	plus au sud dans djebel Youssef	perméable	Complexe aquifère
		Crétacé moyen inférieur	vraconien Cénomaniens INF	n ⁶ - c ¹	marnes claires et biomicrite	150 à 200	plus au sud dans djebel Youssef	perméable	
		Crétacé inférieur	Albien Aptien terminal	n ⁶⁻⁵	argiles et marnes	130 à 140	/	semi-perméable	
			Gargacien Aptien	n ⁵	calcaires à orbitolines	250 à 300	Machtet oum el ajoul, Mzaret oum El Atache et plus au sud	perméable	
			Aptien marneux	n ^{5-a}	marnes jaunes	150	Mzaret oum El Atache	semi-perméable	
			Barrémien	n ⁴	calcaires massifs dolomies marnes et grès	300	plus au sud dans koudiet taga	perméable	
			Néocomien	n ¹⁻³	marnes à petits bancs de calcaires	200	flanc sud de djebel Youssef	semi-perméable	
Trias exotique		t dt	argiles gypses broyées et grès glaçon calcaro-dolomitique		S-N du secteur d'étude	impermeable	Substratum		

Figure IV.3.2 : Colonne lithostratigraphique et hydrogéologique
Extrait de la carte géologique de Sétif (J.M.Vila, 1977).

IV.6. Carte en isobathes au toit du réservoir des calcaires fissurés du jurassique

La carte (Fig IV.4), montre que les valeurs de profondeur du réservoir thermo minérales sont plus importantes dans les parties ouest, centre et sud de la région et diminuent en allant vers l'est et le nord; les valeurs maximales sont enregistrées aux alentours des sources H, Ouled Yelles (3150m) et H, Ouled Boutara (3010m). La valeur minimale est enregistrée autour de Source de H, Dehamcha (2590m).

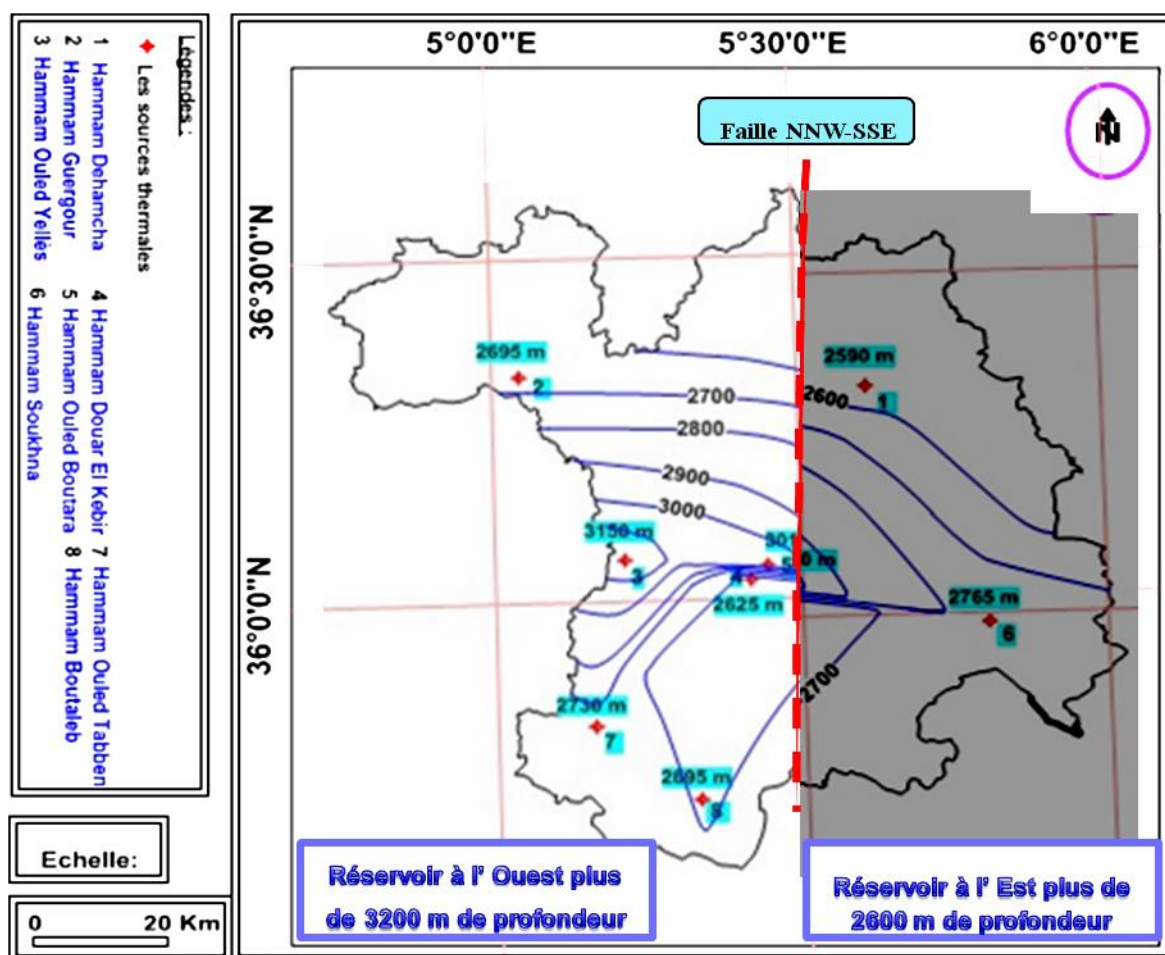


Figure IV.4 : Carte en iso-bathes au toit du réservoir des calcaires fissurés du jurassique.

Conclusion

Pour connaître les formations susceptibles de constituer de bons réservoirs d'eau, on a classé les formations suivant leur perméabilité comme suit:

- Les formations conglomératiques du mio-pliocène, les calcaires lacustres du villafranchien, ainsi que les formations alluvionnaires du quaternaire qui recouvrent des surfaces importantes. Ces formations présentent une perméabilité en petit, favorisant le développement d'aquifère poreux. Les formations carbonatées karstifiées et gréseuses qui présentent une perméabilité en grand (fissure), favorisant le développement d'aquifère karstique. Et les formations marneuses et argileuses du néocomien, et quelques fois l'aptien marneux et l'aptien terminal, et l'albien qui constituent des barrières étanches vis-à-vis des circulations d'eaux souterraines. Elles jouent un rôle de substratum imperméable.

L'alimentation de la majorité des aquifères se fait soit par infiltration directe des eaux météoriques soit par les eaux des massifs karstiques qui les bordent.

La carte en isobathes nous permet d'estimer la profondeur des points chauds du territoire de la région d'étude.

CHAPITRE N°5

Contexte Hydroclimatique
Contexte Hydroclimatique

Introduction

Dans l'optique de cette introduction hydrologique on s'attachera plus particulièrement à déterminer les apports d'eaux dans la région d'étude en mettant l'accent sur les quantités d'eau reçues et les quantités d'eau perdues par l'évapotranspiration. Donc, il s'agit d'une approche de bilan hydrologique dans cette région.

L'étude climatique est basée sur les données des précipitations et des températures. Elle permet de définir le bilan hydrologique et se basant sur l'évapotranspiration réelle, le ruissellement et l'infiltration. Elle détermine le taux d'infiltration à l'alimentation et au renouvellement des aquifères.

V.1. Aperçu sur le climat de l'Algérie

Etant donnée sans extension en latitude, le territoire algérien touche à plusieurs zones climatiques. Au Nord, il atteint la frange méridionale de la zone tempérée ou le climat de type méditerranéen.

Vers l'intérieur, le climat méditerranéen se dégrade rapidement et la tendance vers l'aridité s'amplifie, les pluies de la saison froide deviennent insuffisantes et des climats semi-arides et arides apparaissent. Au-delà des chaînes atlasiques, le désert s'installe définitivement précisément au Sud de l'isohyète 100mm

En ce qui concerne la région d'étude, le climat est de type méditerranéens et est semi-aride. Il est caractérisé par une saison froide relativement tempéré durant laquelle des perturbations cycloniques apportent des pluies souvent substantielles surtout sur les reliefs, suivis d'une période chaude et sèche.

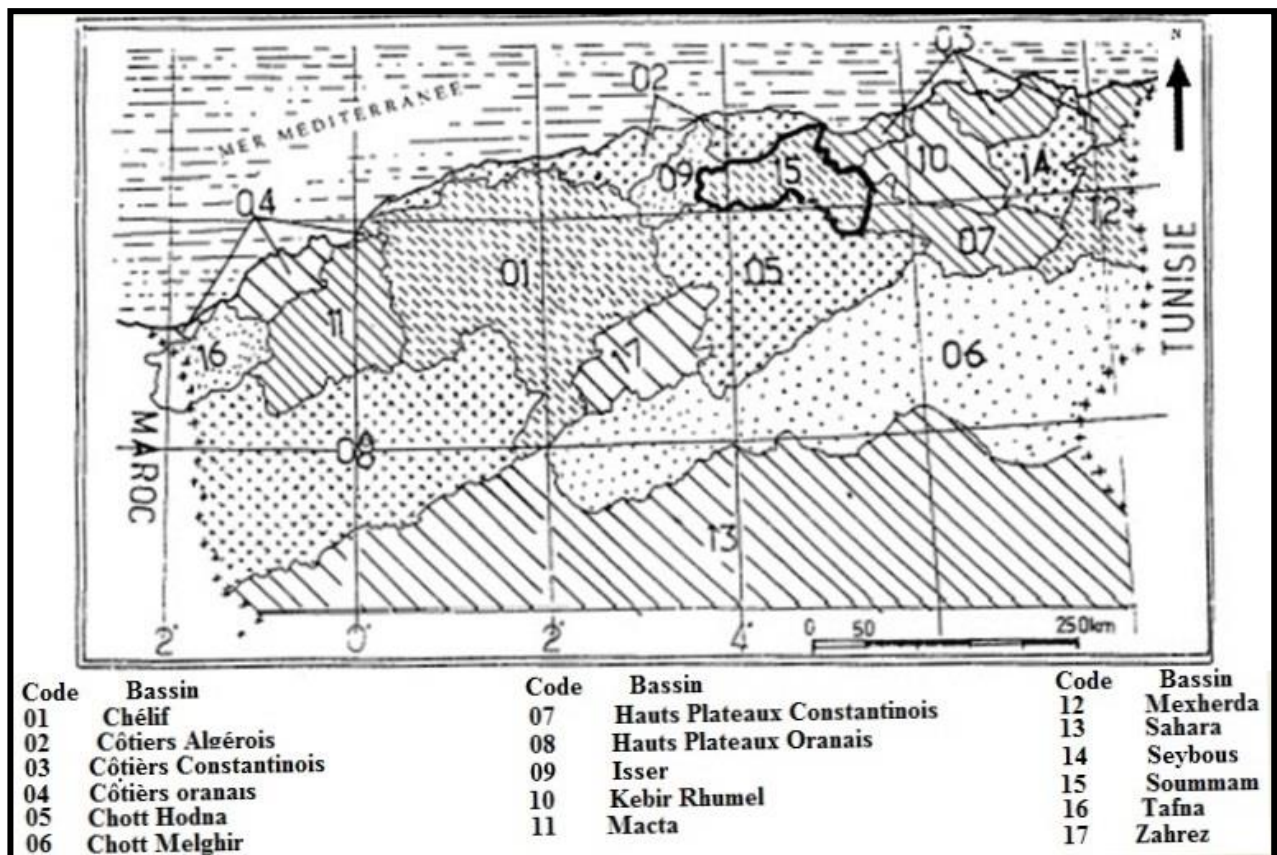
V.1.1. La région de Sétif

La région d'étude appartient aux hautes plaines sétifiennes, caractérisées par un climat semi aride. Elle fait partie du grand bassin versant de la Soummam selon la codification de l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (A.N.R.H.) (Fig V.1). Il s'agit du bassin versant N° 15 d'un code 15.06.(Fig V.2). Pour pouvoir étudier l'air d'étude on s'est référé :

- A la carte pluviométrique (Fig V.3) établie par l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (A.N.R.H) et les données pluviométriques des stations ;
- Aux données des précipitations de Sétif ainsi que les températures données par l'Office National Météorologique de Constantine.

Tableau V.1: Coordonnées des stations Météorologique de la région de Sétif

Code	Station	X (Km)	Y(Km)	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Année d'observation
15.06.12	Sétif	740,10	321,85	5°20' 50'' E	36°10'16''N	970	1985 – 2006
15.06.10	Beni fouda	742,00	328,60	5°36' E	36°19'N	800	1985 – 2006
15.06.13	Guellal	745,75	337,50	5°20' E	36°02'N	908	1985 - 2006

**Figure V.1 :** Grands bassins versants de l'Algérie (A.N.R.H. 2006)

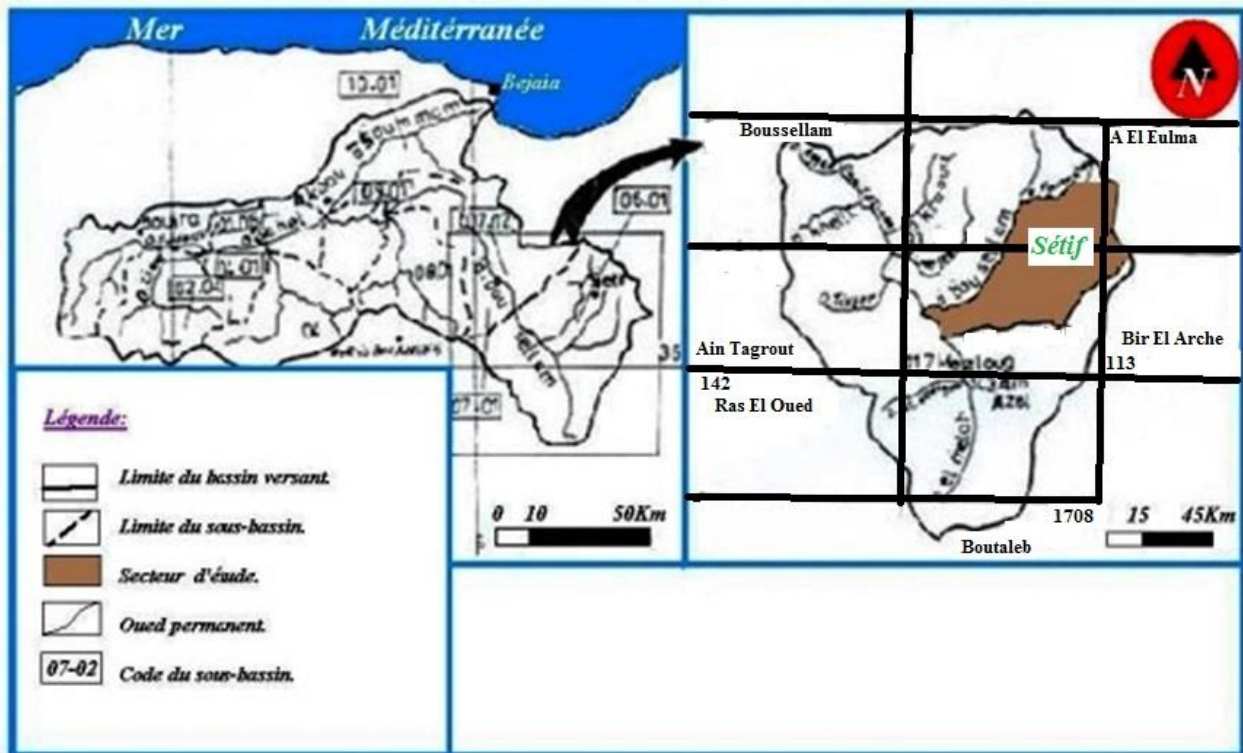


Figure V.2 : Situation de la région de Sétif dans les grands bassins versants (A.N.R.H 2006)

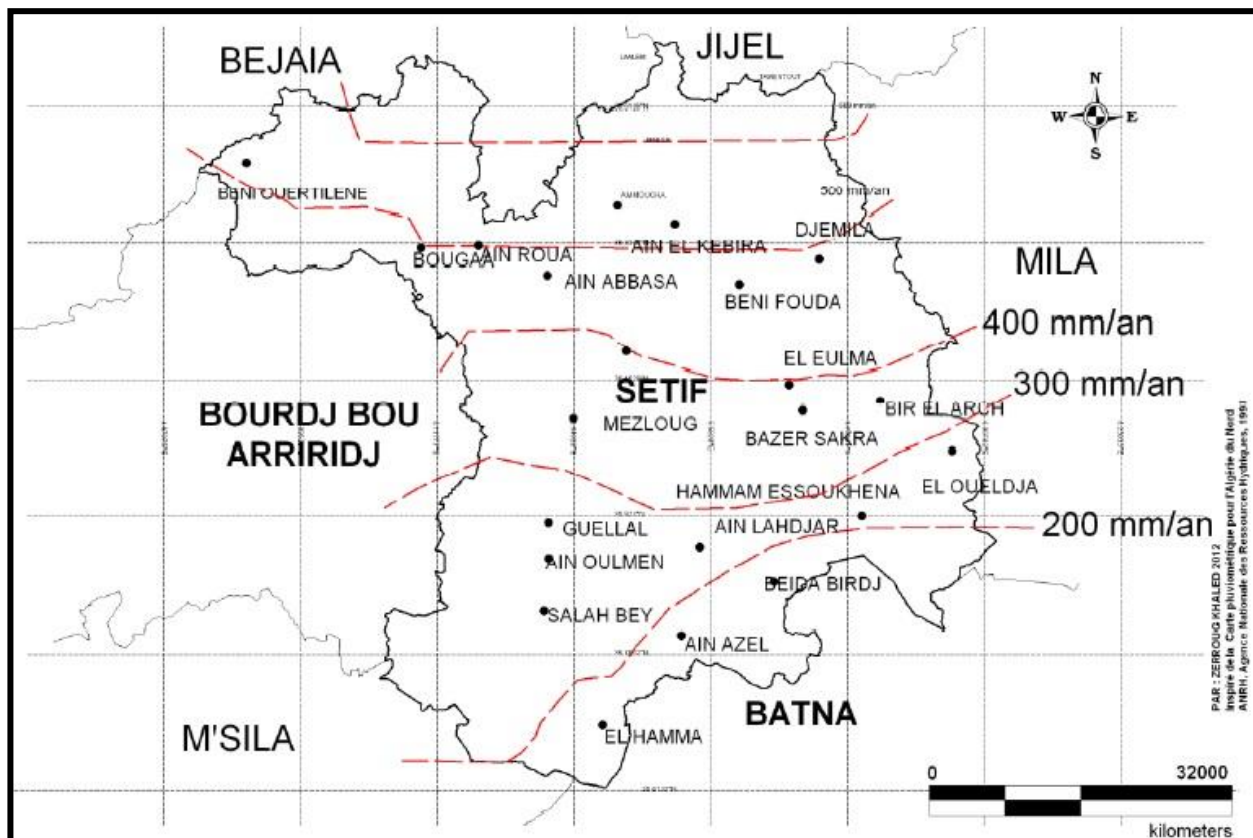


Figure V.3 : Carte pluviométrique dans les grands bassins versants (A.N.R.H 2006).

V.2. Analyse des paramètres climatiques

V.2.1. Précipitation

La précipitation est la totalité de lame d'eau quantifiée par la pluviométrie. Elle est d'origine diverse : pluie, neige, grêle, ... etc. D'après la carte de pluviométrique, les précipitations dans la région d'étude sont comprises entre 300 et 400 mm par an.

Tableau V.2 : Précipitations mensuelles et saisonnières – période récente (1985 – 2006).

Mois Station	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Août	Année
Sétif	44.4	30.5	38.5	50	41.1	30.7	31.8	37.3	47.2	22.4	12.8	12.6	399.4mm
	113.4			121.8			116.3			47.8			
	28.39			30.49			29.11			11.96			100%
Beni fouda	32.7	37.7	44.5	78.1	63.0	40.8	41.6	41.7	43.1	15.4	8.6	9.2	456.4mm
	149.9			181.9			126.4			24.2			
	32.84			39.85			27.69			5.30			100%
Guellal	36.5	27.8	31.7	41.5	36.4	26.1	35	32.9	38.3	18.9	9.3	14.3	348.7mm
	96			104			106.2			42.5			
	27.53			29.82			30.45			12.18			100%

Les figures V.4 et V.5 montrent les variations des précipitations moyennes, mensuelles et saisonnières respectivement durant la période récente (1985–2006). Le maximum des précipitations moyennes mensuelles observé est :

- 50 mm à Sétif durant le mois de Décembre ;
- 78,1 mm à Beni fouda durant le mois de Décembre ;
- 41.5 mm à Guellal durant le mois de Décembre.

Le minimum des précipitations moyennes mensuelles observé est :

- 12.6mm à Sétif durant le mois d'Août ;
- 8.6mm à Beni fouda durant le mois de Juillet ;
- 9.3mm à Guellal durant le mois de Juillet.

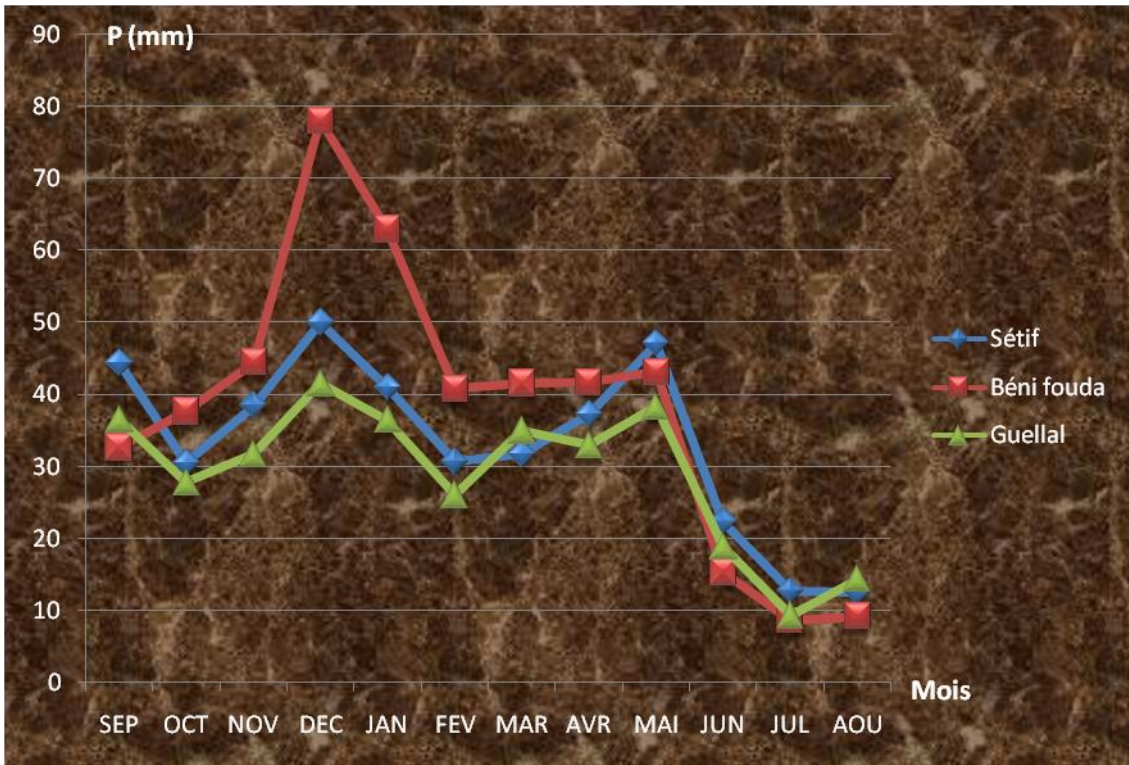


Figure V.4 : Précipitations moyennes mensuelles stations : Sétif, Béni fouda et Guellal
Période (1985-2006).

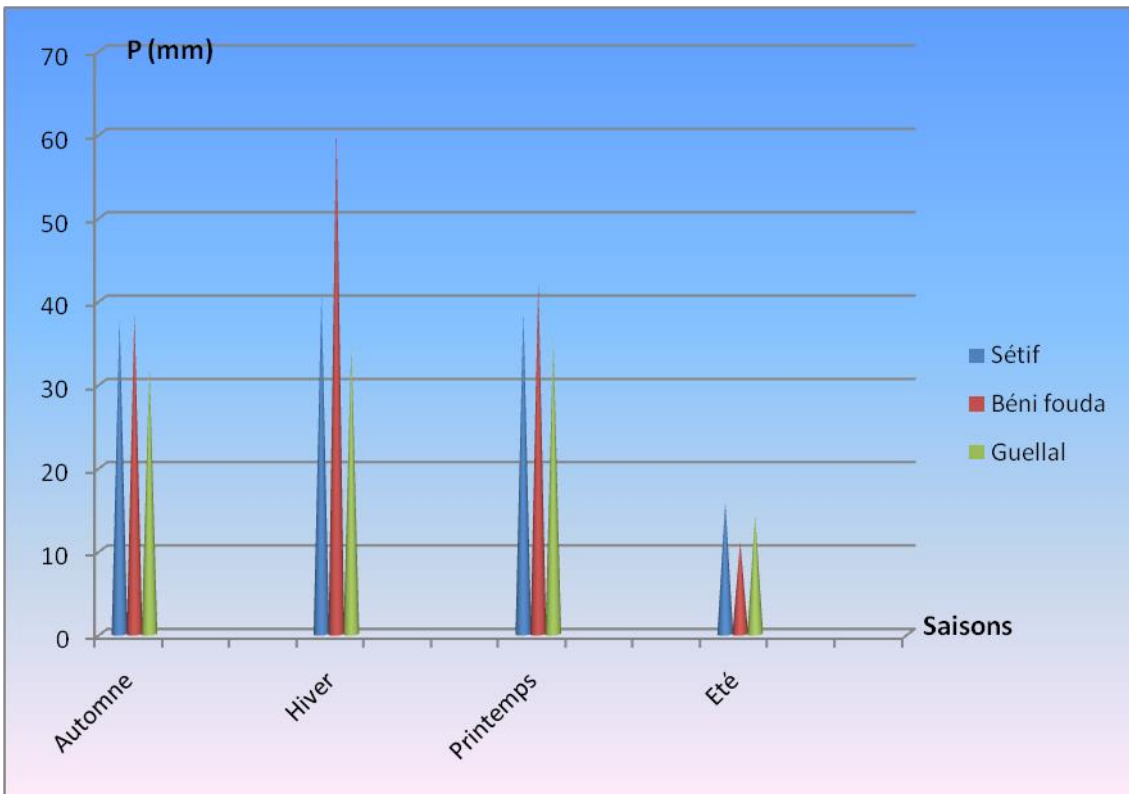


Figure V.5 : Précipitations moyennes saisonnières stations : Sétif, Béni fouda et Guellal
Période (1985-2006).

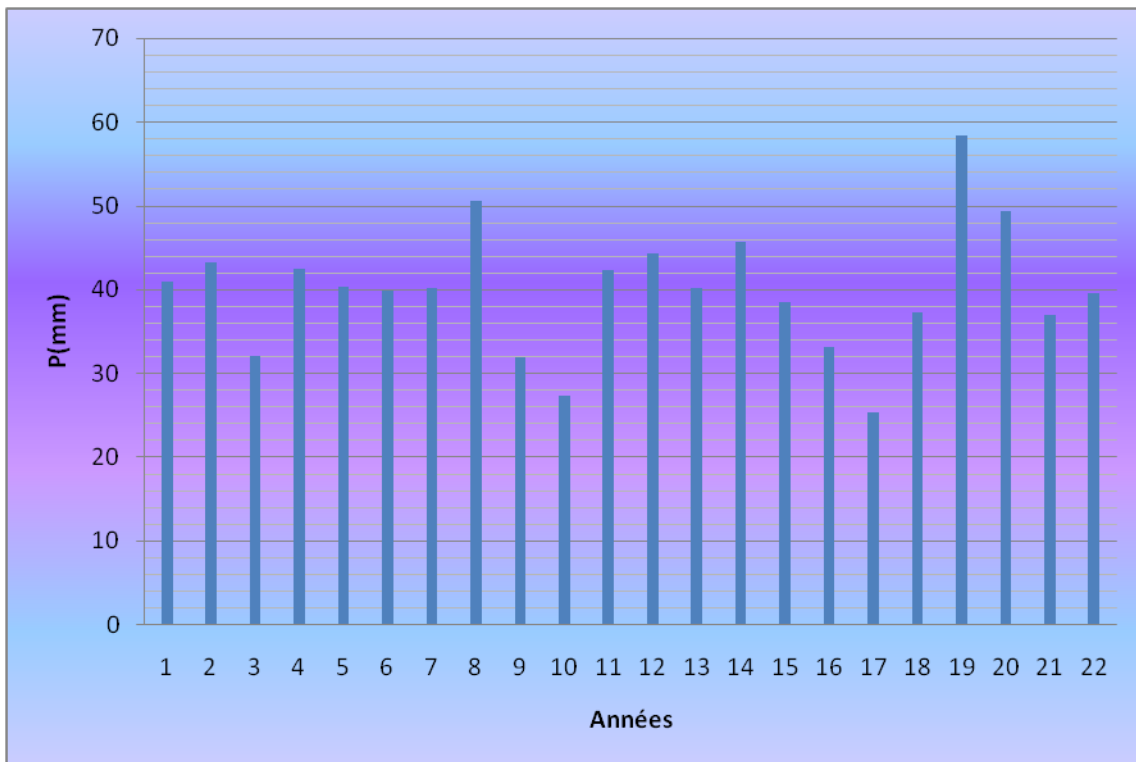


Figure V.6 : Précipitations annuelles stations : Sétif Période (1985-2006).

Pour le régime saisonnier, la saison la plus pluvieuse est l'hiver pour les stations de Sétif et Beni fouda est printemps pour Guellal avec :

- 121.8mm à Sétif;
- 181.9mm à Beni fouda;
- 106.2mm à Guellal.

La saison la plus sèche est l'été avec :

- 47.8mm à Sétif;
- 24.2mm à Beni fouda;
- 42.5mm à Guellal.

D'après la figure V.6 il est important de noter que le régime pluviométrique de la région d'étude du type multimodal et l'année pluvieuse est représenté par la colonne 2003.

V.2.2. Température de l'air :

La température de l'air (Fig V.7) est un paramètre ayant une grande influence sur le bilan hydrologique. Il conditionne l'évapotranspiration.

Le tableau V.3 montre les variations de la température moyenne mensuelle à la station de Sétif durant la période 1985 – 2006.

Tableau V.3 : Températures moyennes mensuelles à Sétif (1985 – 2006).

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			moy
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aoû	
Max	27.1	21.7	14.5	10.4	9.3	11.4	14.5	17.3	23.3	29.3	33.2	32.9	20,4
Min	15.7	11.9	6.3	3.0	1.7	2.4	4.6	6.9	11.7	16.3	19.8	19.9	10.01
(max+min) /2	21.4	16.8	10.4	6.7	5.5	6.9	9.55	12.1	17.5	22.8	26.5	26.4	15.21
	16.2			6.36			13.03			25.23			

- Max : désigne la température moyenne mensuelle des maxima, (°C) ;
- Min : désigne la température moyenne mensuelle des minima, (°C) ;
- (Max + Min /2) : désigne la température moyenne mensuelle (°C).

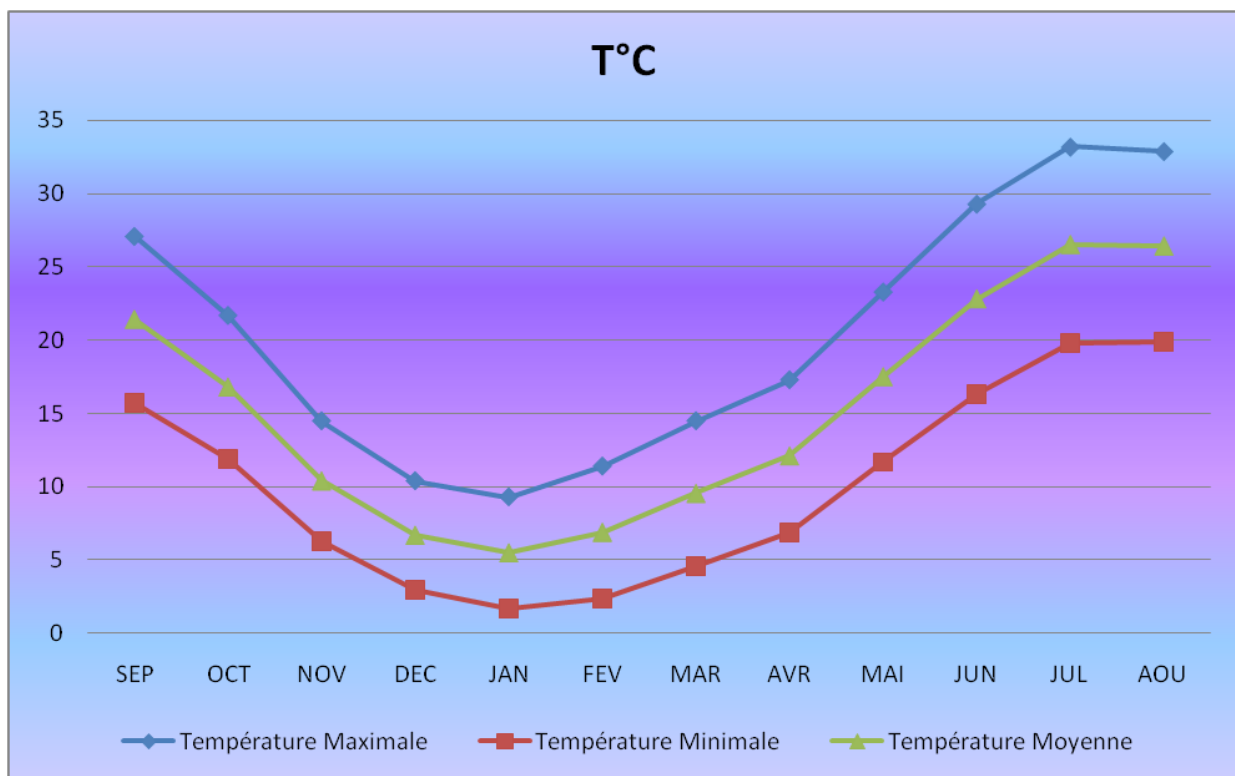


Figure V.7 : Variation moyenne de la température mensuelle stations Sétif
Période (1985-2006).

Selon le tableau 3, la température moyenne de l'été est de 25.23°C et celle de l'hiver est de 6,36°C. Les températures atteignent le maximum au mois de Juillet à environ 33.2°C, et leur minimum au mois de Janvier à environ 1.7°C (Fig IV.7). La température moyenne durant la période d'observation (1985 – 2006) est de l'ordre de 15.21°C (Fig IV.7).

V.3. Relation : Précipitation - Température

Le diagramme Ombrothermique (Fig V.8) est établi selon la méthode de Gausson et Bagnouls et dont les températures sont reportées à l'échelle double des précipitations (Tab. 4). Cela permet de déterminer la période sèche durant laquelle la moyenne mensuelle des précipitations du mois est inférieure ou égale au double de la température ($P \leq 2T$).

Tableau V.4 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations et de température à Sétif (1985 – 2006).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Août
P (mm)	44.4	30.5	38.5	50	41.1	30.7	31.8	37.3	47.2	22.4	12.8	12.6
T (°C)	21.4	16.8	10.4	6.7	5.5	6.9	9.55	12.1	17.5	22.8	26.5	26.4

D'après le diagramme Ombrothermique (Fig V.8) quatre (04) valeurs dont ($P \leq 2T$), correspondant aux mois : mi- Jui jusqu'à mi-October, de ce fait la période déficitaire en eau afin de pouvoir répondre aux besoins en eau d'irrigation s'étale de : mi- Jui jusqu'à mi-October.

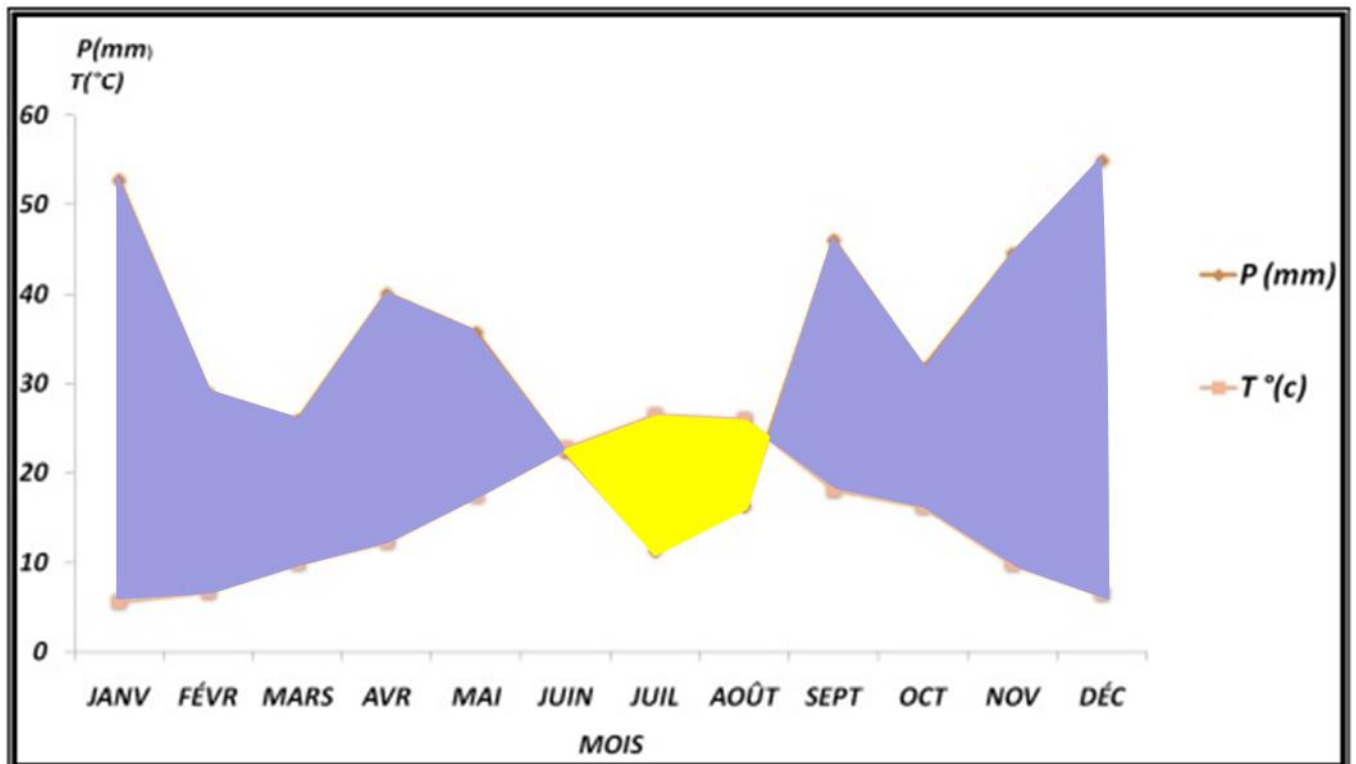


Figure V.8 : Diagramme Ombrothermique stations Sétif Période (1985-2006).

V.3.1. Méthode d'Euverte

Cette méthode consiste à l'établissement des rapports où :

- P : désigne la précipitation moyenne mensuelle en mm ;

- T : désigne la température moyenne mensuelle en °C.

Si :

- $P/T < 1$: Le régime est très sec ; $1 < P/T < 2$: Le régime est sec ; $2 < P/T < 3$: Le régime est sub-humide; $P/T > 3$: Le régime est humide.

Tableau V.5 : Valeur du rapport (P/T) station de Sétif (1985 -2006)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aoû
P (mm)	44.4	30.5	38.5	50	41.1	30.7	31.8	37.3	47.2	22.4	12.8	12.6
T (°C)	21.4	16.8	10.4	6.7	5.5	6.9	9.55	12.1	17.5	22.8	26.5	26.4
P/T	2.07	1.81	3.70	7.46	7.47	4.44	3.32	3.08	2.69	0.98	0.48	0.47

D'après le tableau V.5; le régime est sec durant la période de Jui à la fin Octobre à l'exception le mois de septembre.

V.3.2. Indice de Demartone

Demartone a défini un indice d'aridité (A) en se basant sur le régime des précipitations des températures comme suit : $A = P/(A+10)$ (01)

Où :

- P : désigne la précipitation moyenne annuelle en mm ;

- T : désigne la température moyenne mensuelle en °C.

A la station de Sétif :

- P = 399.4mm

- T= 15.21°C $A = 399.4 / (15.21 + 10) \Rightarrow A = 15.84$

La valeur de A est comprise entre 10 à 20 et selon la classification Demartone, il s'agit d'un régime semi-aride, lié à la répartition saisonnière des températures et des précipitations.

V.3.3. Climagramme d'Emberger

Le climagramme d'Emberger (Fig V.9) est un abaque comportant : En ordonnée, les valeurs de Q2, données par la relation : $Q2 = 2000 [P/(M2 - m2)]$ (02)

Où : - P : désigne la précipitation moyenne annuelle en mm ;

- M : désigne le maximum du mois le plus chaud en degré Kelvin (°K) ;

- m : désigne le minimum du mois le plus froid en degré Kelvin (°K)

Avec T (°K) = T (°C) + 273,15 / A la station de Sétif :

- $P = 399.4\text{mm}$
- $M = 33.2 + 273,15 \Rightarrow M = 306,35^\circ\text{K}$
- $m = 1,7 + 273,15 \Rightarrow m = 274,85^\circ\text{K}$ $Q2 = 2000 [399.4/((306.35)^2 - (274,85)^2)]$
 $Q2 = 43,63$

En abscisses, il s'agit de reporter les valeurs de la température moyenne des minima de la saison froide qui est de $1,80^\circ\text{C}$. Le point obtenu de coordonnées $1,7 ; 43,63$, montre que le climat à la station de Sétif est du type semi-aride, cela est concordant avec l'indice de Demartone.

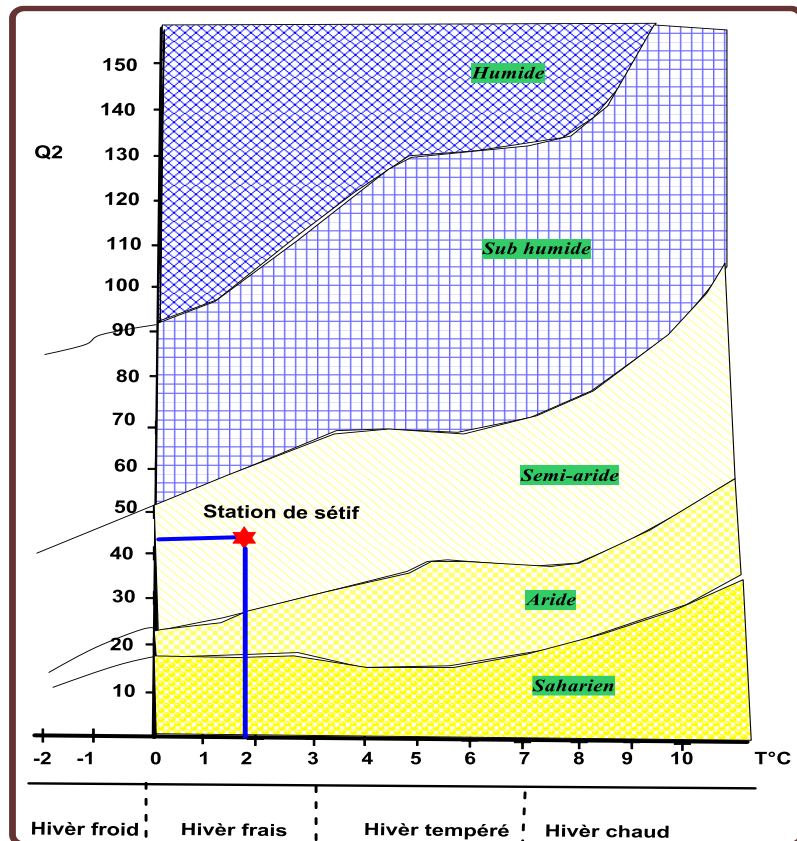


Figure V.9 : Climagramme de l'Emberger.

V.4. Bilan hydrologique

Le bilan hydrologique permet d'évaluer la répartition des précipitations entre leurs paramètres (pluies, neige, etc). Ainsi les réserves d'eaux emmagasinées dans la région d'étude. Le bilan est établi selon la formule suivante : $P = \text{ETR} + R + I + W_a$ (03)

Où P : désigne la précipitation moyenne annuelle en mm ;

- ETR : désigne l'évapotranspiration réelle en mm ;
- R : désigne le ruissellement en mm ;
- I : désigne l'infiltration en mm.
- W_a : désigne la variation des réserves.

V.4.1. Evapotranspiration

C'est la restitution d'eau à l'atmosphère à partir d'une surface quelque soit sa nature : sol, végétation, surface d'eau libre, neige ou glace, par transformation d'eau en vapeur. Elle est liée au climat, elle joue un rôle très important pour estimer le bilan hydrologique.

V.4.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP)

Pour un climat semi-aride et sub-humide, Thornthwaite a proposé la formule suivante pour le calcul de l'ETP : $ETP = 16 [10T/I]^a$ (mm) (04)

Avec :

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

- $i = (T/5)^{1,514}$ et $a = 0,0165 + 0,5$
 - $ETP_c = (ETP \times K)$

Où :

- ETP : désigne l'évapotranspiration potentielle non corrigée, mm ;
- ETPc : désigne l'évapotranspiration potentielle corrigée, mm ;
- K : désigne facteur de correction mensuel à une altitude de 32,64;
- I : désigne indice thermique annuel;
- I : désigne indice thermique mensuel;
- a : désigne l'exposant climatique;
- T : désigne la température moyenne annuelle.

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 6 ci-dessous :

Avec : $a = 1,60$ et $I = 68,96$

Tableau V.6 : Calcul de l'E.T.P selon Thornthwaite à la station de Sétif (1985 – 2006).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Août	Année
P (mm)	44.4	30.5	38.5	50	41.1	30.7	31.8	37.3	47.2	22.4	12.8	12.6	399.4
T (°C)	21.4	16.8	10.4	6.7	5.5	6.9	9.55	12.1	17.5	22.8	26.5	26.4	15.21
i	9.04	6.25	3.03	1.56	1.16	1.6	2.66	3.81	6.67	9.9	12.5	12.42	70.67
ETP (mm)	94.22	63.81	29.68	14.7	10.8	15.4	25.85	37.8	68.32	104.3	132.6	131.76	54.57
K (36,64°)	1,03	0,97	0,86	0,84	0,9	0,8	1,03	1,1	1,21	1,2	1,24	1,16	/
ETPc(mm)	97.05	61.90	25.52	12.4	9.4	13.1	26.63	41.6	82.67	27.2	164.5	152.84	814.74

ETPc = 814.74mm soit 203.99% de la précipitation.

V.4.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle (ETR) ou déficit d'écoulement est la quantité d'eau libre. Ce paramètre est calculé par plusieurs méthodes :

V.4.1.2.1. Formule de Turc

La formule de Turc est valable pour tout type de climat. Elle est en fonction de la précipitation et de la température :

$$ETR = P / [\sqrt{0,9 + (P^2/L^2)}] \quad (05)$$

$$\text{Avec } L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

Où :

- ETR : désigne l'évapotranspiration réelle en mm ;
- P : désigne la précipitation annuelle en mm ;
- L : désigne un paramètre dépendant de la température ;
- T : désigne la température moyenne annuelle en °C.

Tableau V.7 : Estimation de l'ETR selon Turc à la station de Sétif (1985 – 2006).

Paramètres	P (mm)	T (°C)	L= F°(T)	ETR (mm)	ETR (%)
Station de Sétif (1985 – 2006)	399.4	15.21	980.25	387,76	97.08

V.4.1.2.2. Méthode de Thornthwaite

Un bilan hydrologique mensuel peut être établi pour l'intégration de la précipitation et l'évapotranspiration potentielle (ETP). Cette méthode permet d'estimer à chaque mois les paramètres suivants :

- L'évapotranspiration réelle (ETR) ;
- La réserve facilement utilisable (RFU) ;
- Le déficit agricole (Da) ;
- Et l'excédent (Water surplus) (Wa).

L'établissement de ce bilan débute par le calcul de la RFU. Cette dernière est la quantité d'eau stockée dans le sol. Elle est donnée par la formule suivante :

$$RFU = (1/3) Da. He. P. \quad (06)$$

Où :

- Da: désigne la densité apparente du sol, Da = 1,4 ;
- He: désigne la capacité de rétention en %, He = 30% ;
- P: désigne la profondeur du sol.

Pour un sol de 0,4 m de profondeur, la RFU est de 56mm.

Tableau V.8 : Bilan hydrologique à la station de Sétif (1985 – 2006).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Août	Année
P (mm)	44.4	30.5	38.5	50	41.1	30.7	31.8	37.3	47.2	22.4	12.8	12.6	399.4
T (°C)	21.4	16.8	10.4	6.7	5.5	6.9	9.55	12.1	17.5	22.8	26.5	26.4	15.21
ETPc (mm)	97.05	61.90	25.52	12.36	9.40	13.10	26.63	41.57	82.67	127.21	164.49	152.84	814.74
P-ETPC	-52.6	-31.4	12.98	37.64	31.7	5.07	5.17	-4.2	-35.4	-104.8	-151.6	-140.2	/
ETR	44.4	30.5	25.52	12.36	9.40	13.10	26.63	37.3	47.2	22.4	12.8	12.6	216.0 54.08%
RFU	0	0	12.98	50.62	56	56	56	51.73	16.26	0	0	0	299.59
Da	52.65	31.40	0	0	0	0	0	0	0	88.55	151.69	140.24	464.53 116.30%
Wa	0	0	0	0	26.3	5.07	5.17	0	0	0	0	0	36.56 9.15%

Si :

- $P > ETP \Rightarrow ETR = ETP \Rightarrow RFU = P - ETP$
- $P < ETP \Rightarrow ETR = P \Rightarrow RFU = 0$
- $Da = ETP_i - (P_i + RFU_i - 1)$ avec i: désigne le mois.

V.5. Interprétation des résultats

Les précipitations deviennent supérieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP) de Novembre jusqu'au Février, c'est une période d'alimentation des aquifères.

Les aquifères n'atteignent pas leur maximum durant les mois Jan, Fév, Mar.

- Un $Wa = 36.56\text{mm}$, Cela représente 9.15% des précipitations.
- Un $ETR = 216.0\text{mm}$. Cela représente 54.08% des précipitations.
- Un déficit agricole débute du mois de Nov. jusqu'au mois de Mai. Celui-ci est de 464.53mm soit 116.30% des précipitations. Il existe deux périodes :
- Une période déficitaire : d'Avril Jusqu'à Décembre ;
- Une période humide de Janvier jusqu'à Mars.

V.6. Paramètres du bilan hydrologique

La formule du bilan hydrologique est la suivante : $P = ETR + R + I + Wa$ (07)

Où :

- R : désigne le ruissellement moyen en mm ;
- I : désigne l'infiltration en mm ;
- Et Wa : désigne la variation des réserves en mm souvent négligeable.

V.6.1. Ruissellement superficiel

C'est un paramètre très important pour toute étude hydrologique. Il est estimé à partir de la formule de Tixeront – Berkaloff : $R = P^3/3 (ETP)^2$ (08)

A la station de Sétif :

- $P = 399.4\text{mm}$;
- $ETPC = 814.74\text{mm}$;
- $R = 31.99$ ce qui représente 8,01% des précipitations.

V.6.2. Infiltration

L'infiltration est le passage de l'eau à travers la surface du sol. Ce paramètre est aussi très important puisqu'il conditionne l'aquifère. Il est exprimé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I + Wa \quad (09)$$

avec $I = P - (ETR + R)$

A la station de Sétif:

- $P = 399.4\text{mm}$;
- $ETR = 216.0\text{mm}$;
- $R = 31.99\text{mm}$;
- $I = 151.41\text{mm}$, ce qui représente 37.90% des précipitations.

La quantité d'eau infiltrée depuis la surface de sol traversant la zone aérée pour rejoindre la zone saturée est dite infiltration efficace. Celle-ci participe à l'alimentation des aquifères existants dans la zone d'étude.

D'après les calculs, les valeurs de ruissellement sur les différentes stations implantées au niveau des hautes plaines sétifiennes sont toujours inférieures à 10%.

Conclusion

- La région d'étude fait partie du grand bassin de la Soummam.
- L'étude des facteurs climatiques révèle un climat semi-aride avec un hiver froid et humide et un été chaud et sec.
- Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 399.4mm à la station de Sétif.
- La température moyenne annuelle est de 15.21°C à la station de Sétif.
- L'E.T.P moyen calculé est de 203.99% des précipitations.
- Le déficit des précipitations est estimé à 116.30% des précipitations.
- Le ruissellement et l'infiltration sont respectivement de l'ordre de 8.01% et 37.90% des précipitations. Cela constitue une bonne alimentation pour les aquifères de la région.

CHAPITRE N°6

Contexte Hydrochimique
Contexte Hydrochimique

Introduction

L'étude hydrochimique donne des informations à l'hydrogéologue, elle permet de comparer les eaux entre elle-même, et trouver une solution sur non seulement l'origine des sources thermominérales mais aussi les facteurs tectoniques qui interviennent dans leur émergence.

À cet effet, il s'agit d'une étude dont interprétation des résultats des analyses physicochimiques des échantillons prélevés en 19/Décembre/2013, de huit sources thermominérales permet de :

- Etablir un inventaire le plus complet de toutes les sources thermominérales (Fig VI.1).
- Déterminer la répartition quantitative des éléments majeurs ;
- Déterminer les principaux faciès chimiques des eaux et leurs relations avec l'environnement géologique.
- Déterminer l'origine des sources thermominérales de la région étudiée (le gisement thermal).

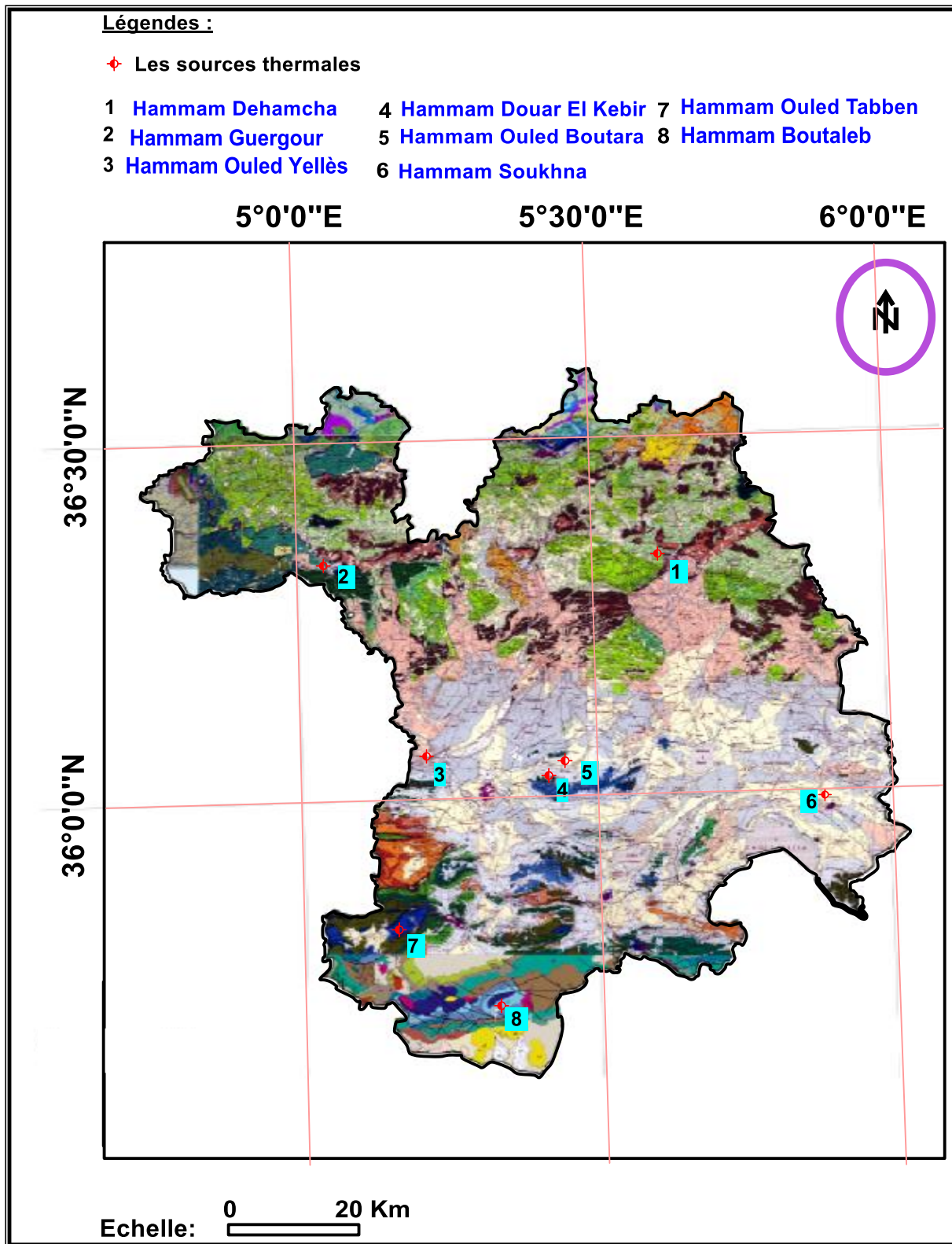


Figure VI.1: Inventaire de toutes les sources thermo minérales de région de Sétif.

VI.1. Les principales sources thermominérales de la région de Sétif

La région de Sétif est comprend huit sources thermo minérales qui sont comme suit:

VI.1.1. Hammam Guergour (S1)

- Longitude X= 711.600
- Latitude Y= 338
- Altitude Z= 650 m

VI.1.1.1. Situation Géographique de la source (S1)

Les sources thermo minérales de Hammam Guergour se trouvent à environ à 08Km au Sud-Ouest de Bougaa et 55Km au Nord-Ouest de Sétif. L'émergence sourde sur la rive droite de l'Oued Bou-sellam à 01Km après la sortie de cette rivière des gorges de Guergour, elles sont classées parmi les sources les plus radioactives du monde, après celles de Jachimove et Brembach (Dib.Adjoul-H 1985). La température moyenne annuelle de l'air est de 13.90°C.

VI.1.1.2. Condition géologique de la source (S1)

Selon le professeur J.Savornin (1920), l'eau thermale est dûe non seulement au système de failles mais surtout au pointement triasique voisin. Le monoclinale de djebel Guergour à cœur Jurassique est interrompue dans sa partie Nord par une faille de direction Ouest-Est dans le rejet peut attendre 2000m. Ce style structural, il semblerait qu'il s'agit d'écailles profondes, liées à une tectonique de socle sur une couverture plastique (synthèse des travaux géologique et géophysique sur le permis de prospection de Sétif 1994).

La mise en place d'un réseau de failles conjuguées est dûe aux mouvements posthumes du socle dont l'orientation privilégiée est N115° à N140'E. Il semblerait aussi qu'il s'agit d'un réseau karstique comble par des sédiments ferrifères avec l'absence d'exutoire important. Toutes ces caractéristiques assurent la présence d'un important aquifère en profondeur. L'émergence de la source se trouve dans les formations Cénomaniens à Lutétien, à la faveur d'une famille de faille de direction Nord-Ouest, Sud-Est. (Fig VI.2)

L'eau à un caractère sulfaté calcique en relation avec la présence du Trias en profondeur. Ces eaux renferment également des chlorures et les teneurs en sodium et magnésium sont aussi importantes du fait de la présence de la dolomie infranéocomienne.

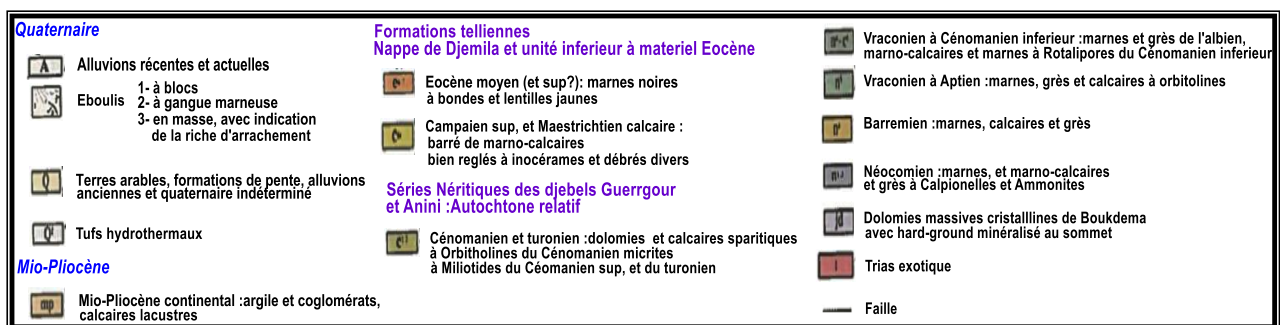
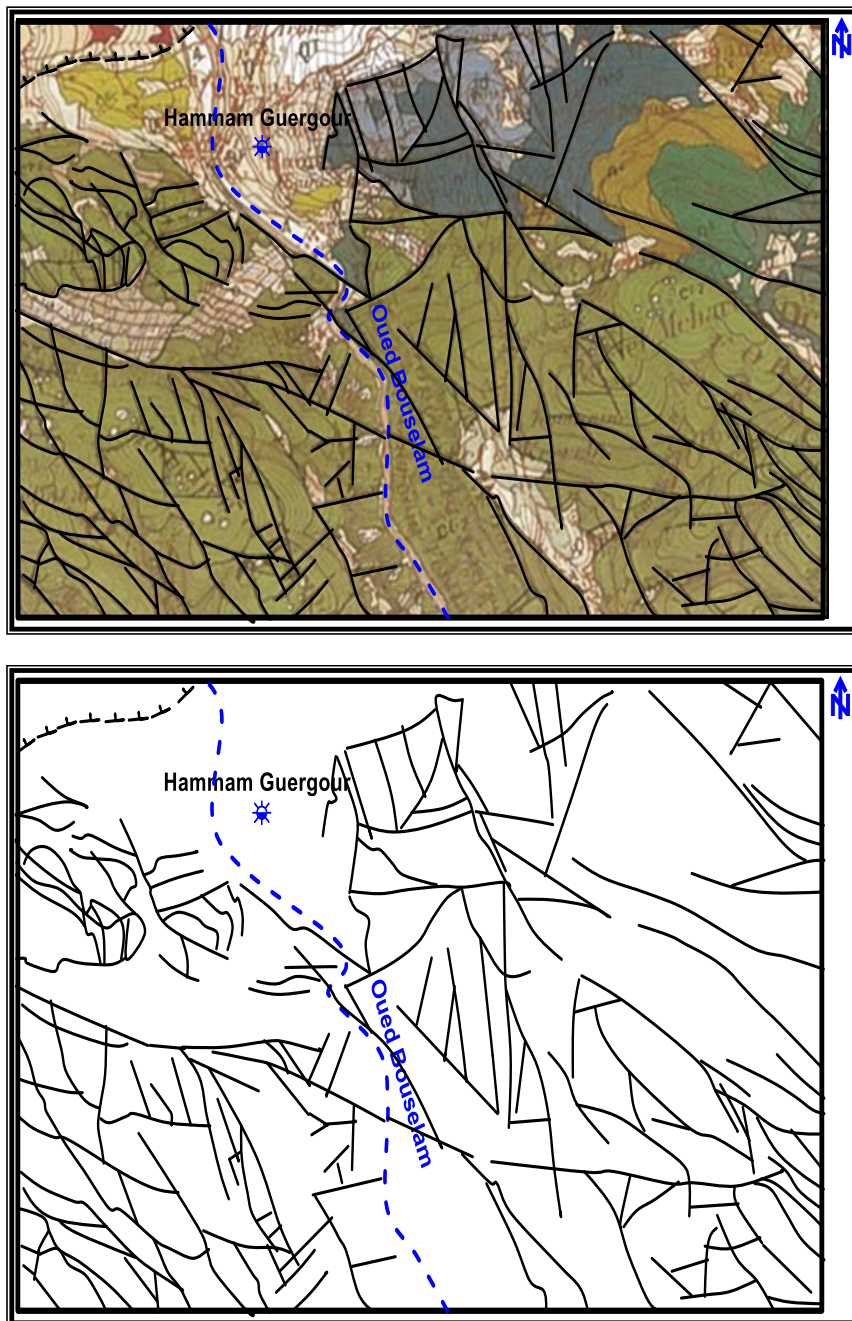


Figure VI.2: Schéma structural extrait de la carte géologique de Bouselam de la source de Hammam Guergour.

VI.1.2. Hammam Ouled Tabben (S2)

- Longitude X= 719.200
- Latitude Y=279
- Altitude Z=1150 m

VI.1.2.1. Situation Géographique de la source (S2)

La source thermo minérale d'Ouled Tabben se trouve au Sud-Ouest de Sétif, sur la route nationale Sétif-Magra à 08Km de la maison forestière Ain Dahlia. Elle émerge sur la rive droite de l'Oued Ennfida.

VI.1.2.2. Condition géologique de la source (S2)

L'émergence de l'eau se fait au niveau des calcaires massifs et des calcaires dolomitiques du Barrémien très fracturé, cependant ces massifs ou panneaux qui ont été affaissés pendant les mouvements du socle constituent les zones de gisement ou de circulation des eaux thermominérales.

La source émerge à la faveur d'un système de failles conjuguées Nord-Ouest Sud-Est, mais le plus prépondérante est celle d'orientation N20 E (Fig VI.3). L'eau est sulfatée calcique riche en chlorures.

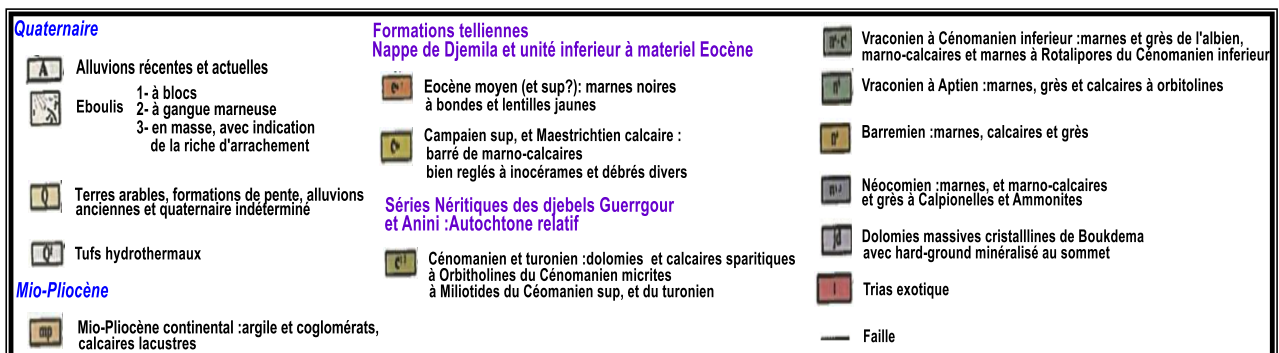
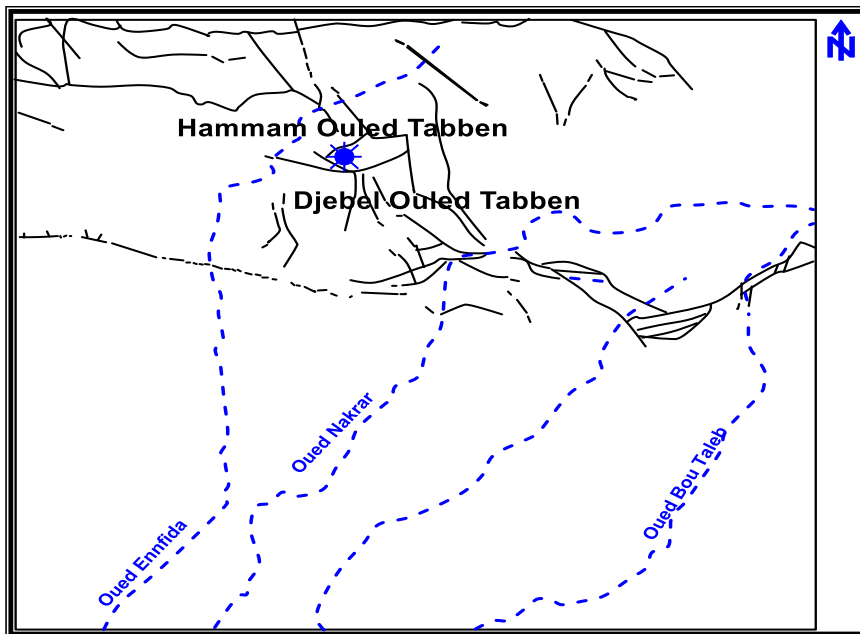
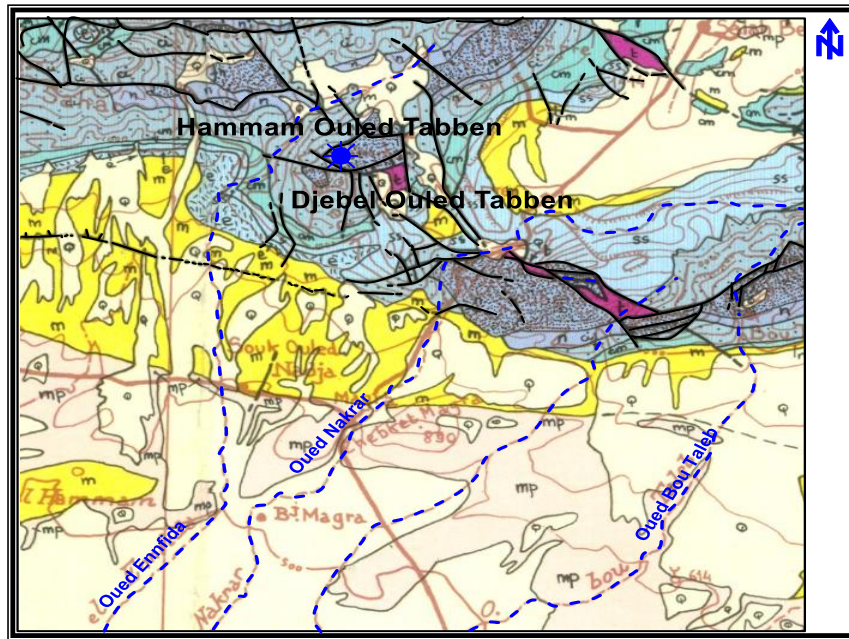


Figure VI.3: Schéma structural extrait de la carte géologique de Bouselam de la source de Hammam Ouled Tabben.

VI.1.3. Hammam Boutaleb (S3)

- Longitude X= 741.650
- Latitude Y=272.600
- Altitude Z=1100 m

VI.1.3.1. Situation Géographique de la source (S3)

La source thermo minérale Boutaleb se trouve à environ de 60Km au Sud-Ouest de Sétif et à 28 Km au Sud de Ain Azel. Il est connu sous le nom d'Ain Ouled Soufian.

L'émergence de la source se trouve sur le flanc Sud du Dj, Boutaleb et sur le rive droite d'Oued Boutaleb.

VI.1.3.2. Condition géologique de la source (S3)

Le massif de Boutaleb est constitué par un grand anticlinal dont l'axe de direction Est-Ouest dans la partie occidentale du massif, s'incurve légèrement vers l'Est-Nord-Est de la zone centrale et orientale.

Le cœur liasique de cet anticlinal est formé de trois compartiments ou îlots distincts qui sont de l'Ouest en Est :

Le noyau de Sou Bella, Dj Bou Ich, et Dj Bou hellal. Néanmoins que Dj Afhrane est couverts par une série Jurassique Crétacé complète jusqu'au Cénomaniens.

L'émergence de la source se trouve au niveau de piedmont du Dj, Boutaleb à la faveur d'un réseau de failles conjuguées de direction Nord-Ouest, Sud-Est et une degré moins important de direction Sud-Ouest, Nord-Est. Elle prend presque l'orientation générale d'un réseau de failles qui ont été mise place dès les mouvements posthumes du socle. (Fig VI.4). L'eau est Sulfatée sodique riche en Chlorure et en calcium, due à la présence du trias en profondeur.

Il semblerait que la source soit en contact probable avec un système volcanique ou plutonique (P.Verdeil. 1977)

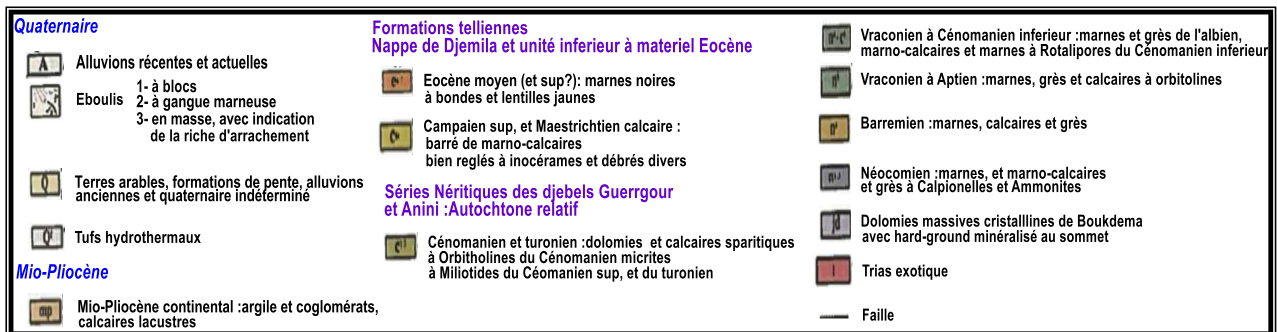
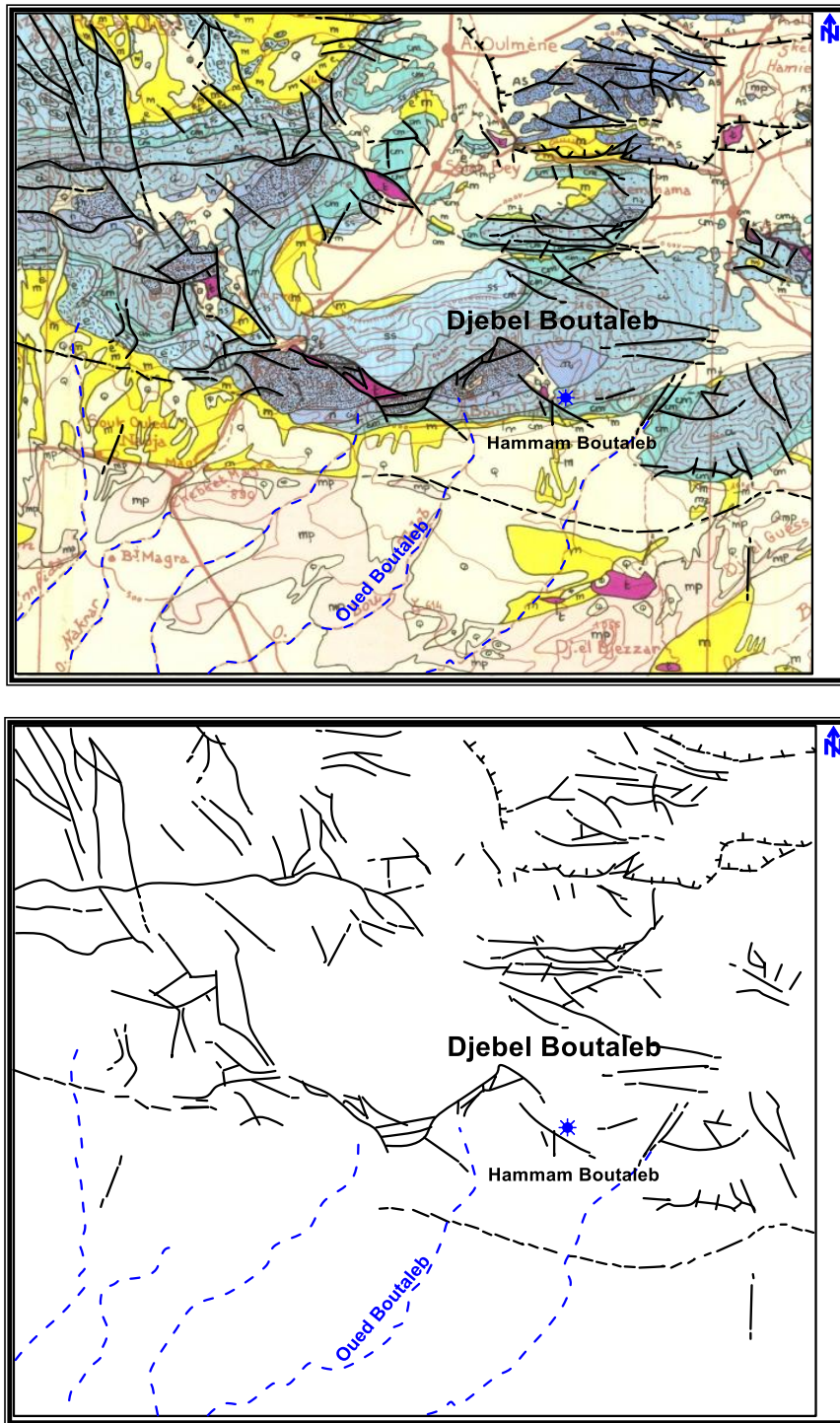


Figure VI.4: Schéma structural extrait de la carte géologique de d'Algérie Orientale de la source de Hammam Boutaleb.

VI.1.4. Hammam Soukhna (S4)

- Longitude X= 780.500
- Latitude Y=302.500
- Altitude Z=900 m

VI.1.4.1. Situation Géographique de la source (S4)

La source thermo minérale de Hammam Soukhna se trouve à environ 20Km au Sud d'El Eulma et à 50Km au Sud de Sétif, à proximité de la route nationale N°77 reliant Sétif à Batna.

VI.1.4.2. Condition géologique de la source (S4)

D'une part, l'émergence de la source se trouve à 06 Km des affleurements des formations triasiques et dans une vaste plaine quaternaire, entourée par les chotts El Beida et Soukhna.

D'autre part, la source de Hammam Soukhna est installée dans une vaste cuvette entourée par plusieurs massifs, citons l'exemple de koudiat Dourdour, Djebel Tella, Djebel Tafouer et Djebel Agmeroual. La source semblerait correspondre qu'à un exutoire avec un débit important d'artésianisme naturel commun de ces massifs calcaires limitrophes. Il est probablement liée à une flexure très récente qui verticalise non loin du Mio-Pliocène à Koudiat Dourdour où la croûte Villafranchienne est déformée.

La source voit le jour à la faveur d'un système de faille conjuguées dont la direction privilégiée est Sud-Ouest, Nord-Est. Ils sont toujours le résultat du mouvement posthume du socle N115 à N140 E. (Fig VI.5). L'eau est Chlorurée Sodique riche en calcium.

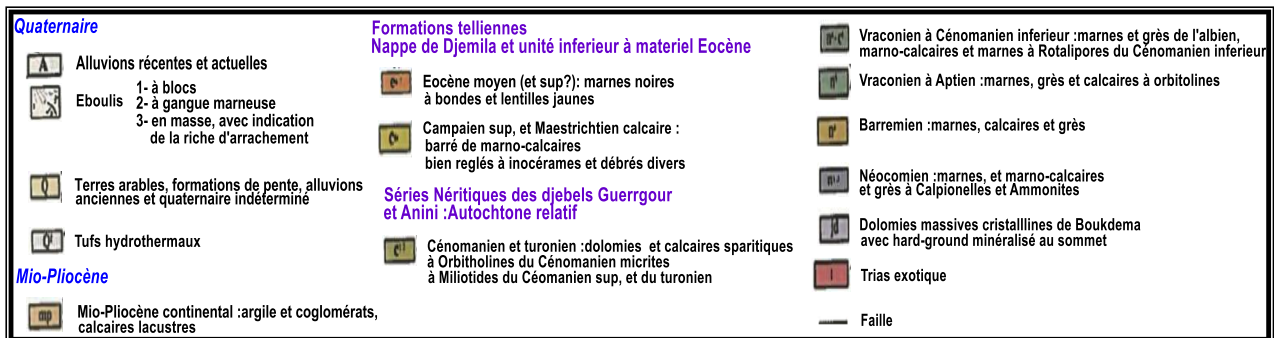
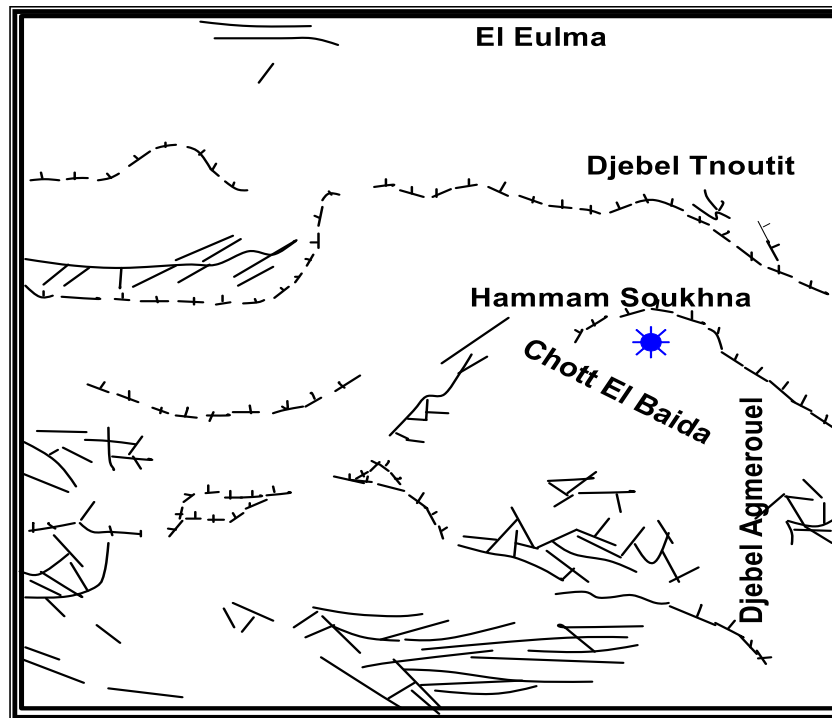
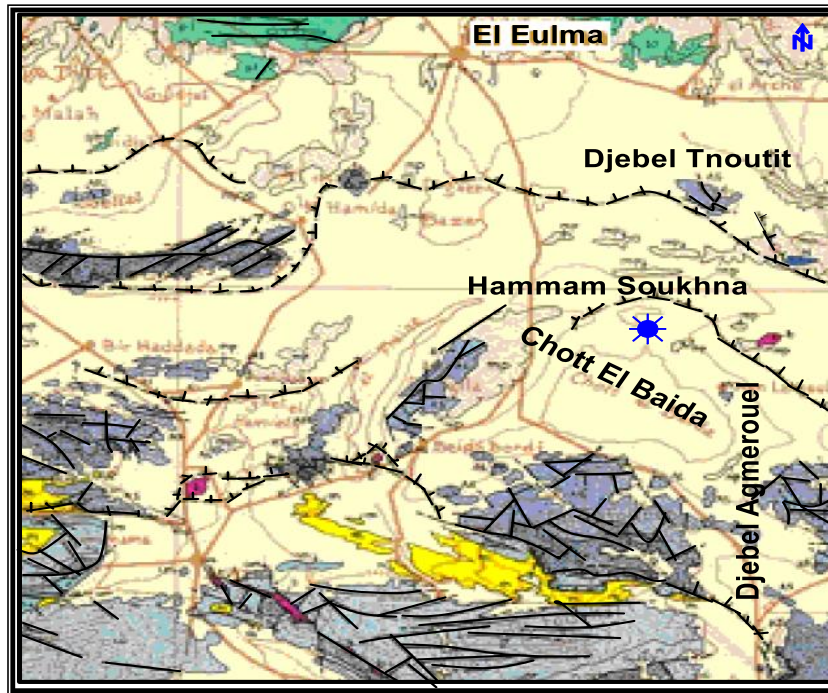


Figure VI.5: Schéma structural extrait de la carte géologique de d’Algérie Orientale de la source de Hammam Soukhna.

VI.1.5. Hammam Dehamcha (S5)

- Longitude X= 762
- Latitude Y=341.650
- Altitude Z=550 m

VI.1.5.1. Situation Géographique de la source (S5)

La source thermale de Hammam Dehamcha est située au Nord-Ouest d'el Eulma, à 10Km de Beni Fouda et à 06Km de la route départementale el Eulma – Arbaoun, l'émergence se trouve dans la rive droite de l'Oued Dehamcha sur le flanc Sud de Dj, Temtart.

VI.1.5.2. Condition géologique de la source (S5)

La source se trouve comme la plupart des sources thermales de la région de Sétif dans la nappe de charriage de Djemila, elle émerge à la faveur d'une faille.

La source thermale de Hammam Dehamcha voit le jour dans les formations d'âge Cénomaniens à Lutétiens à la faveur d'un système de failles conjuguées Nord-Ouest, Sud-Est et Sud-Ouest, Nord-Est dont la direction favorisée est Nord-Ouest, Sud-Est. Ils sont le résultat du mouvement post-orogène du socle de direction N60E ou même N90° (Fig VI.6).

Ce système de failles est responsable du découpage des formations calcaires en grands panneaux les uns en surface servent de zones d'infiltrations, les autres en profondeur constituent des zones de gisement ou de circulation des eaux thermales liées à cette fracturation profonde. L'eau est Bicarbonatée Sodique riche en Chlorure de calcium.

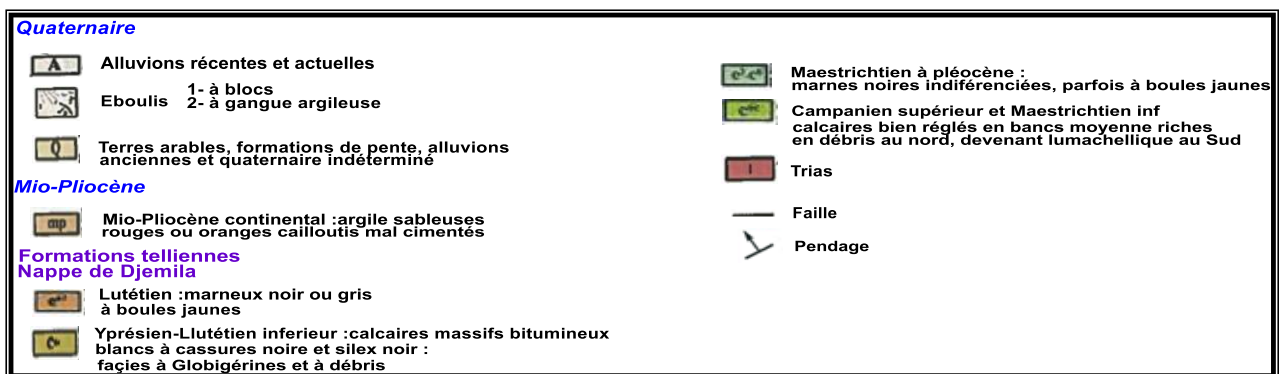
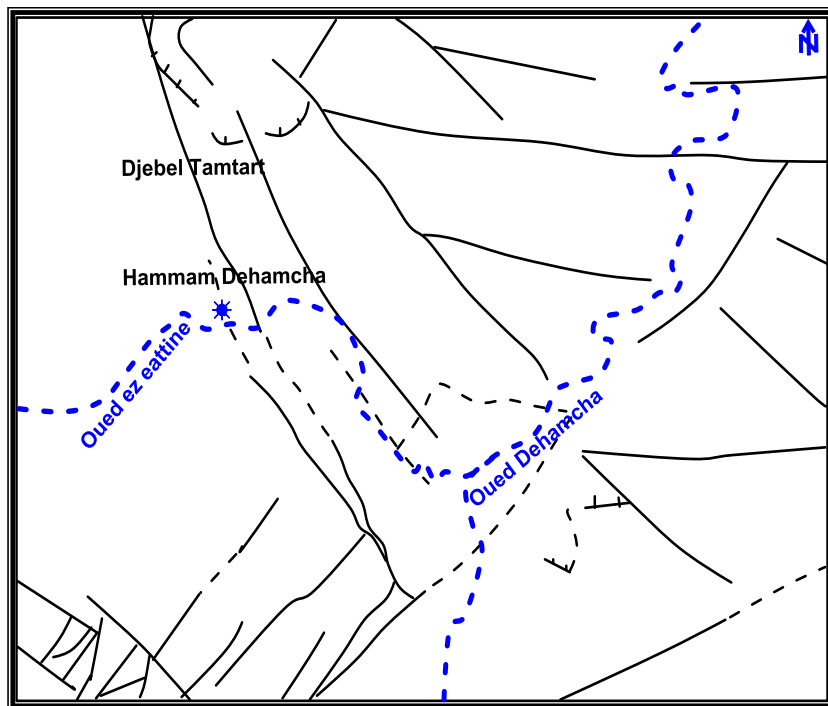
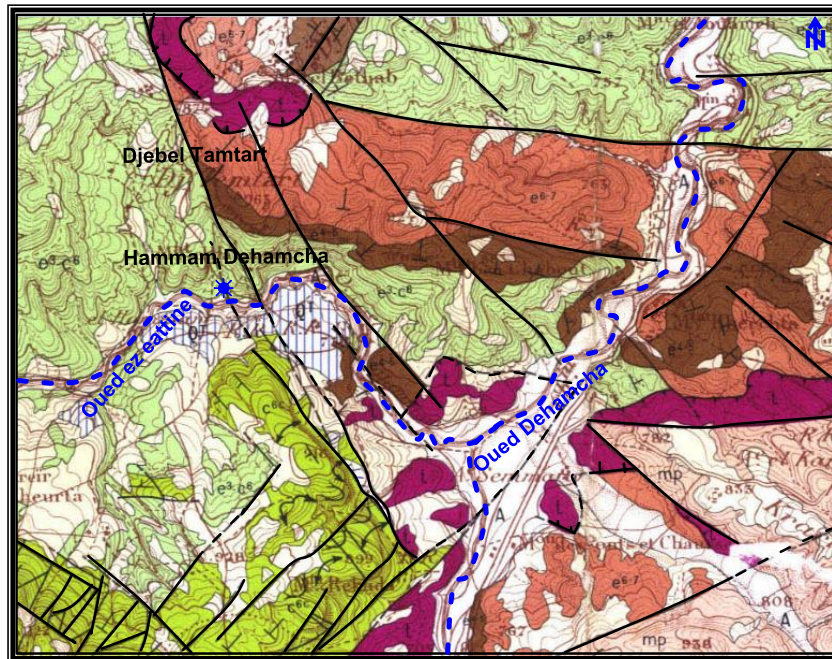


Figure VI.6: Schéma structural extrait de la carte géologique de Djemila de la source de Hammam Dehamcha.

VI.1.6. Hammam Ouled Yellès (S6)

- Longitude X= 727.400
- Latitude Y=309.800
- Altitude Z=878 m

VI.1.6.1. Situation Géographique de la source (S6)

Les sources thermo minérales de Hammam Ouled Yellès sont situées au Sud-Ouest de la ville de Sétif, à 10Km de Mezloug.

VI.1.6.2. Condition géologique de la source (S6)

Les griffons émergent dans la plaine Mio-pliocène entre les Dj Z'dim et Youssef formés par les calcaires du crétacé Supérieur. Entre les deux massifs calcaires se trouve un important complexes gypsifère qui pourrait également exister en profondeur au voisinage des sources.

L'émergence des sources se trouve dans le flanc du massif calcaire du Dj Z'dim, à la faveur d'une famille de faille de direction Sud-Ouest, Nord-Est qui s'infléchirait ensuite vers le Nord. Il est probablement lié au mouvement du socle de direction N60E ou même N90°, qui est responsable sur la mise en place de ce système de faille (Fig VI.7). L'eau est Sulfatée calcique riche en bicarbonate.

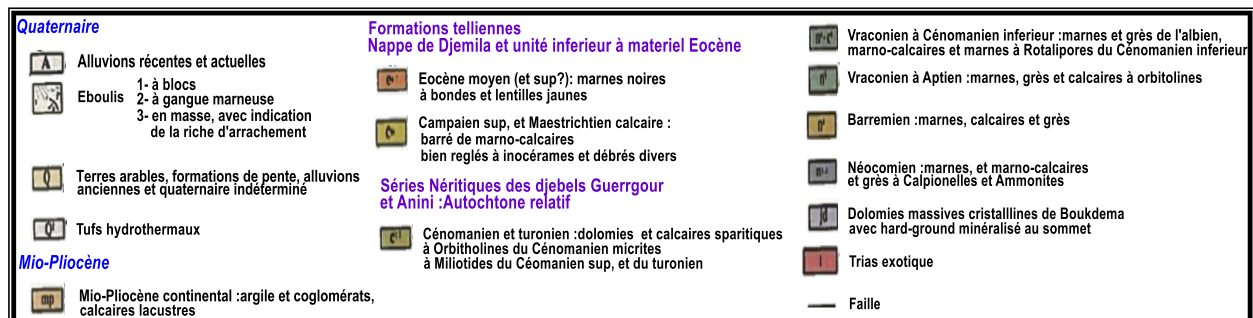
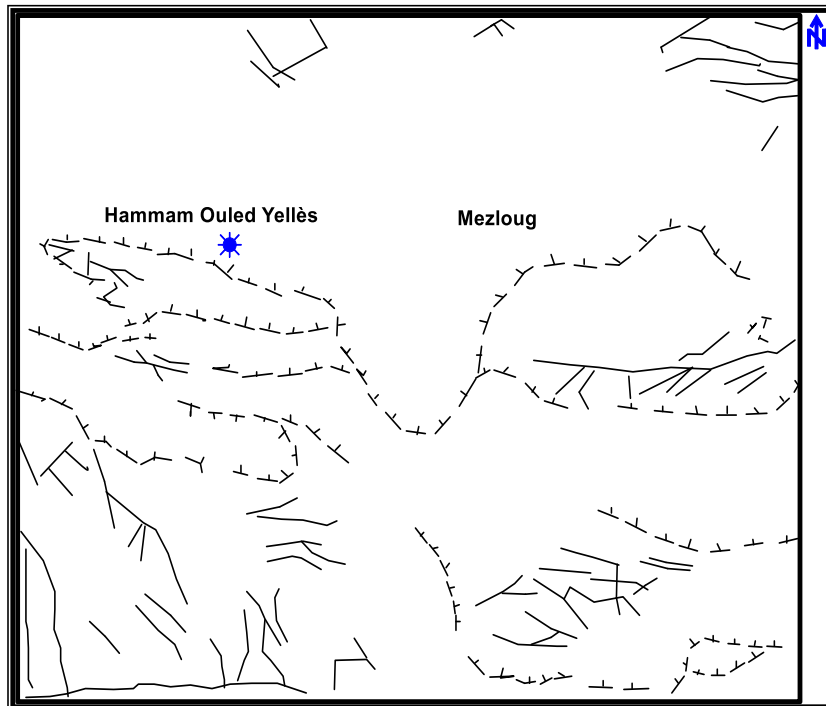
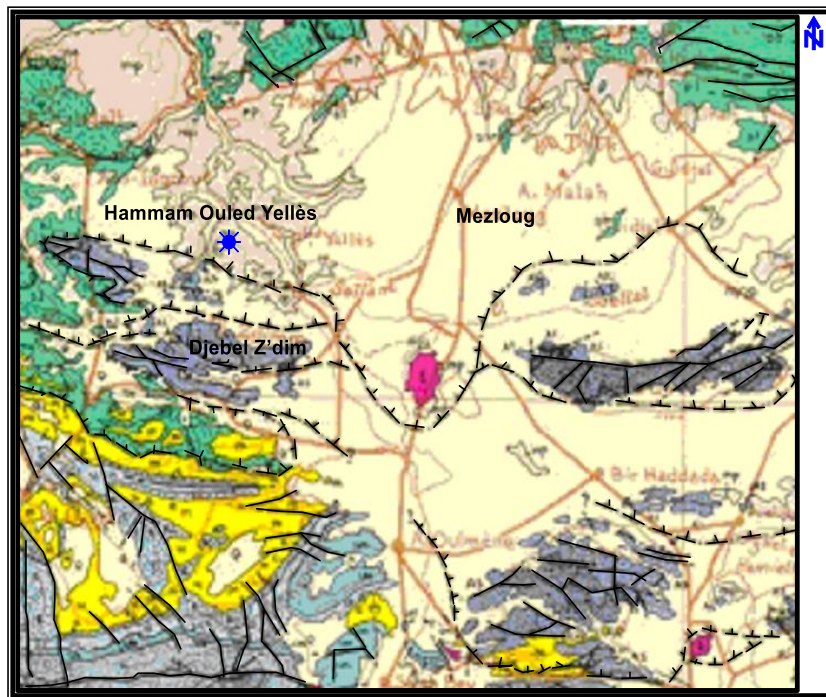


Figure VI.7: Schéma structural extrait de la carte géologique de Djemila de la source de Hammam Ouled Yellès.

VI.1.7. Hammam Ouled Boutara (S7)

- Longitude X= 727.200
- Latitude Y=309.400
- Altitude Z=943 m

VI.1.7.1. Situation Géographique de la source (S7)

La source thermo minérale de Hammam Ouled Boutara est située au Sud-Ouest de la ville de Sétif, à 15Km de Guidjal sur le flanc Est du Djebel Zdim.

VI.1.7.2. Condition géologique de la source (S7)

La source de Hammam Ouled Boutara émerge sur le flanc Est du Djebel Z'dim formé par les calcaires du Crétacé inférieur. Au voisinage de cette formation se trouve des affleurements gypsifères qui pourrait également exister en profondeur (Fig VI.8).

L'émergence des sources se trouve sur le flanc Est du Dj Z'dim dans les calcaires de l'aptien, à la faveur d'une famille de faille de direction Sud-Ouest, Nord-Est. Il est probablement lié au mouvement régional du socle de direction N60E, même N90°, qui est responsable sur la mise en place de ce système de faille. L'eau est Sulfatée sodique riche en calcium.

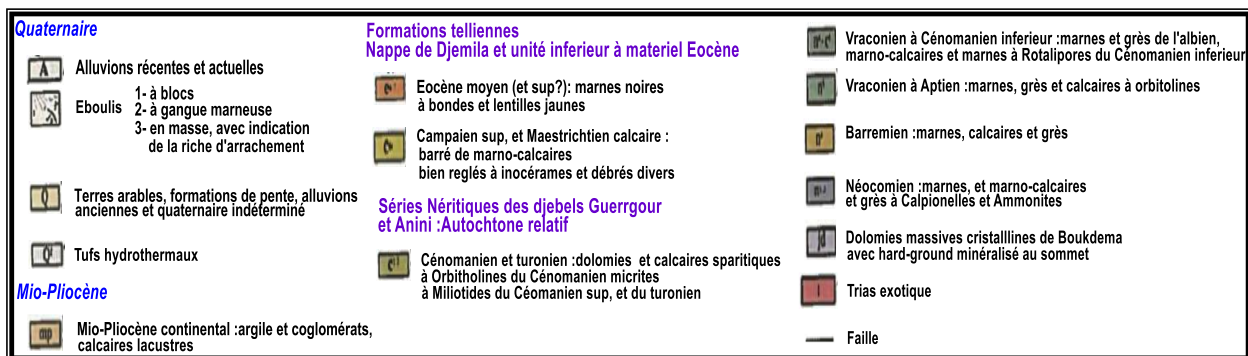
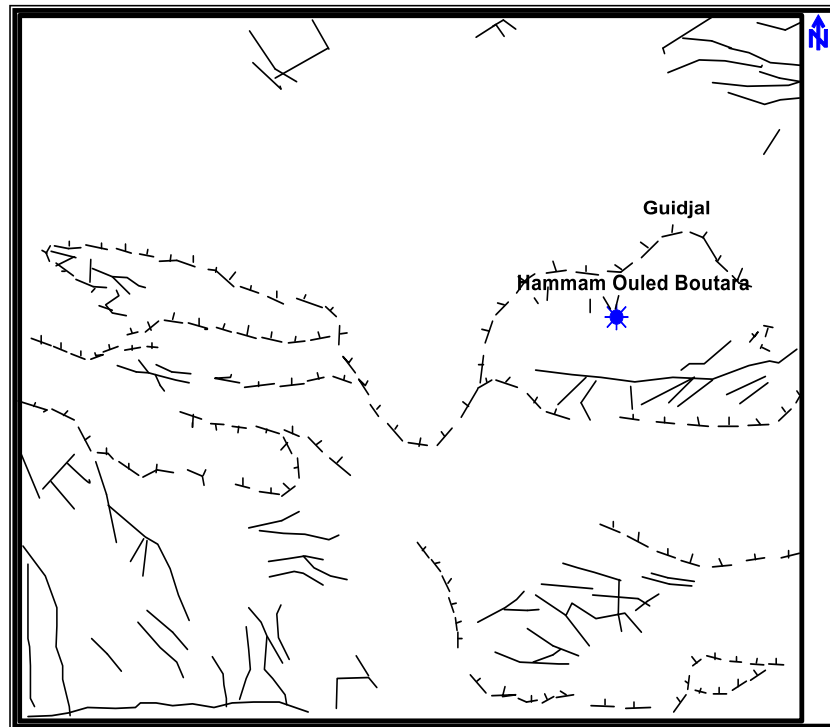
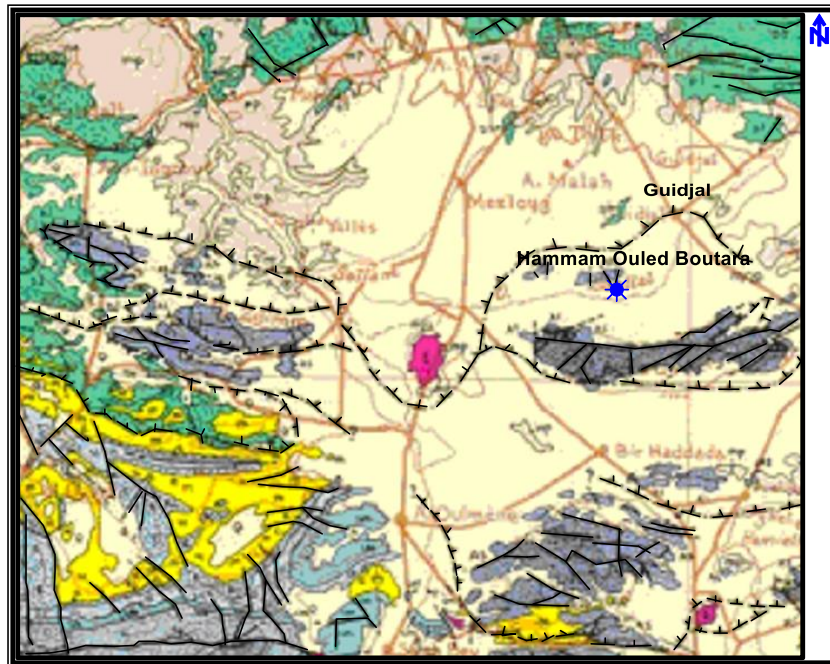


Figure VI.8: Schéma structural extrait de la carte géologique de Djemila de la source de Hammam Ouled Boutara.

VI.1.8. Hammam Douar El Kebir (S8)

- Longitude X= 746.500
- Latitude Y=310.200
- Altitude Z=930m

VI.1.8.1. Situation Géographique de la source (S8)

La source thermo minérales de Hammam Douar El Kebir est située au Sud-Ouest de la ville de Sétif, à 05Km de Guidjal sur flanc Nord-Ouest de Djebel Youssef.

VI.1.8.2. Condition géologique de la source (S8)

La source de Hammam Douar El Kebir émerge sur le flanc Nord-Ouest du Djebel Youssef formé par les calcaires du crétacé inférieur. A limitrophe de cette formation se trouve des affleurements gypsifères qui pourraient également exister en profondeur, il se trouve de quelque dizaine de kilomètre de la source d'Ouled Boutara (Fig VI.9).

L'émergence de la source se trouve sur le flanc Nord-Ouest du Djebel Youssef, à la faveur d'un système de faille conjugués de direction Sud-Ouest, Nord-Est, et même Ouest-Est. Il semblerait lié au mouvement global du socle de direction N60E, qui est responsable sur les accidents affectant les formations de notre région d'étude. L'eau est Sulfatée calcique riche en bicarbonate.

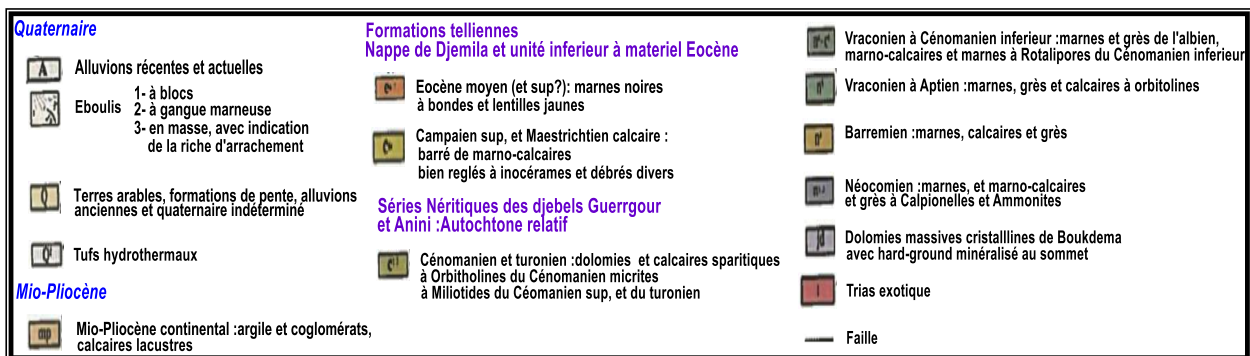
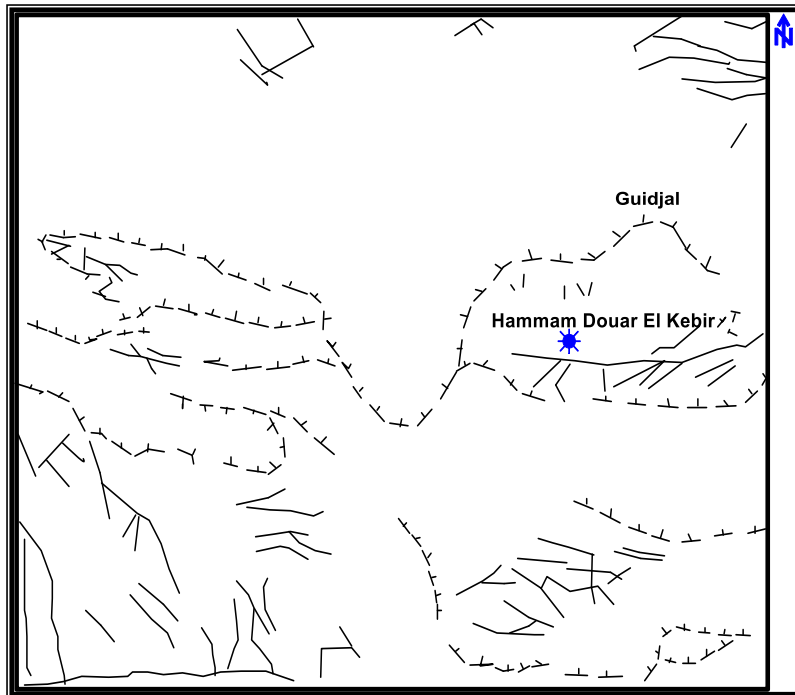
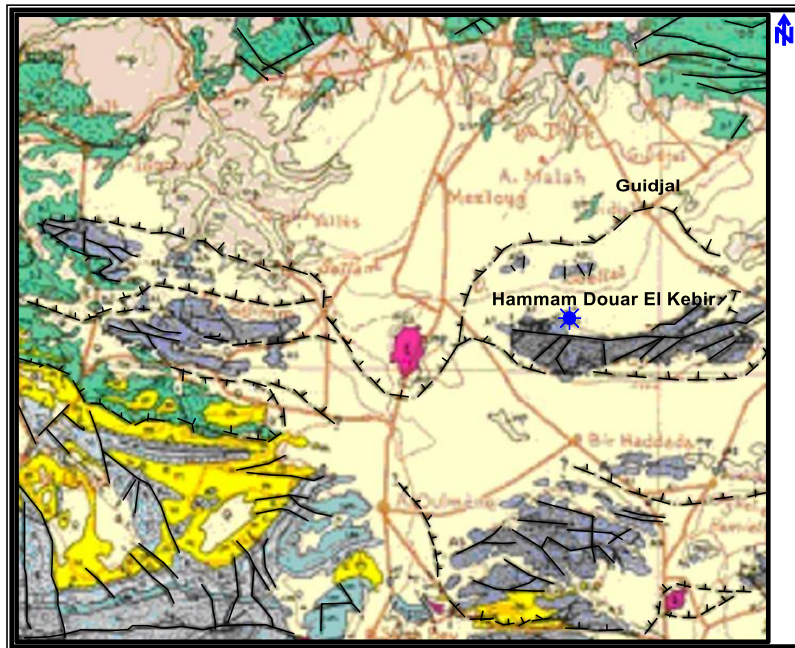


Figure VI.9: Schéma structural extrait de la carte géologique de Djemila de la source de Hammam Douar El Kebir.

VI.2. Etude des paramètres physico-chimiques

L'analyse chimique des différents prélèvements des sources thermominérales de la région de Sétif nécessite de faire un recours aux travaux de laboratoire

Les travaux de laboratoires ont concerné les analyses chimiques aussi bien des éléments majeurs que des oligo-éléments.

Tableau VI.1 : Les paramètres mesurés et les appareils utilisés

Paramètres mesurés	Outils de mesure	Lieu de mesure
Température (°C)	Thermomètre digital (Hanna)	In situ
pH	pH-mètre	Exploration Boumerdes
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductimètre, marque HACH CO150	Exploration Boumerdes
Salinité (mg/l)	Conductimètre, marque HACH CO150	Exploration Boumerdes
Eléments majeurs	Spectrophotométrie	ORGM
Eléments mineurs	Spectrométrie à émission plasma -icp-jy32 -comena/-crna/dtn/dtsa	ORGM

VI.2.1. Etude des paramètres physiques

L'origine de l'eau ainsi que sa solubilité est gérée par un certains paramètres qui sont : La température (T°), le potentiel hydrogène (pH), la conductivité (σ) et la minéralisation (Me).

VI.2.1.1. Température (T°)

Elle joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, et dans la dissolution des sels dissous, donc sur la conductibilité. Ce paramètre est très important à connaître, car il permet de différencier les eaux qui circulent près de la surface de celles qui circulent en profondeur et donc influe sur la qualité de l'eau.

VI.2.1.1.1. Les températures mesurées

Les températures mesurées in situ en degré Celsius, varient entre 30 °C température la plus basse mesurée à Hammam Dehamcha et 52 °C température la plus élevée mesurée à Hammam Boutaleb. On remarque aussi qu'à l'exception du Hammam Dehamcha, Douar El Kebir et Boutara le reste des sources présente des températures élevées. On constate que les sources de Hammam Dehamcha, Douar el kebir et Boutara présentent des eaux

mésothermales, les sources de hammam Guergour, Boutaleb, Ouled Tabben et Soukhna présentent une eau **hyperthermale** et à l'exception de la source de Hammam Ouled Yelles présente une eau **orthothermale**.

VI.2.1.2. Potentiel Hydrogène (pH)

Il exprime la concentration en ion H^+ d'une solution, c'est-à-dire l'alcalinité ou l'acidité d'une eau, par définition le pH est le logarithme décimal de l'inverse de la concentration H^+ :

PH = - Log $[H^+]$, l'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique, si :

- $[H^+] < [OH^-] \Rightarrow pH > 7$: l'eau est basique ;
- $[H^+] > [OH^-] \Rightarrow pH < 7$: l'eau est acide ;
- $[H^+] = [OH^-] \Rightarrow pH = 7$: l'eau est neutre.

Les valeurs du pH mesurées montrent que tous les sources d'eau ont des valeurs qui oscillent autour de la neutralité ($pH=7$), à l'exception du Hammam Ouled Tabben et Ouled Yellès (6.92 et 6.95 respectivement) le reste des sources présentent des valeurs qui varient entre 7.03 comme valeur minimale pour la source de Hammam Douar El Kebir, et 7,6 comme valeur maximale à Hammam Boutaleb.

VI.2.1.3. Conductivité (σ)

C'est la conductance électrique d'une eau. Elle dépend de la concentration totale et la nature des ions présents dans l'eau. Elle donne une estimation approchée de la minéralisation des eaux, selon ISSAADI A. (1992), les sources thermales algériennes sont groupées en quatre classes :

- Classe 1 : où la conductivité est inférieure à 2000 $\mu S/cm$;
- Classe 2 : où la conductivité est comprise entre 2000 et 7000 $\mu S/cm$;
- Classe 3: où la conductivité est comprise entre 7500 et 15000 $\mu S/cm$;
- Classe 4 : où la conductivité est supérieure à 15000 $\mu S/cm$.

Les valeurs de la conductivité électrique varient entre 1160 $\mu S/cm$ comme valeur minimale pour la source de Hamma Dehamcha et 3160 $\mu S/cm$ comme valeur maximale à Hammam Guergour.

VI.2.1.4. Minéralisation (Ms)

La minéralisation d'une eau représente la totalité des substances et les matières en suspension quelles soit organiques ou minérales. Elle est exprimée en mg/l.

Les valeurs de la minéralisation varient entre 711.9mg/l comme valeur minimale pour la source de Hamma Dehamcha et 1922.6mg/l comme valeur maximale à Hammam Guergour.

Les valeurs relativement élevées de la conductivité électrique de l'eau et de la minéralisation témoignent d'un apport salin important suite à la dissolution des évaporites.

Selon la classification de (Issaadi,A. 1981), les Sources situés respectivement sur le flanc nord ouest du Djebel Youssef (Source Douar Lekbir),sur le flanc Est du Djebel Zdim (Source de Douar Ouled Boutara),sur le flanc Sud de Dj,Temtart (Source de Dehamcha),et sur le flanc Sud de Dj Z'dim (Source Ouled Yellès) se rangent dans la classe une (01) où la conductivité électrique est inférieure à 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que Issaâdi à qualifié de faiblement minéralisées.

La majorité des sources qui se rangent dans cette classe est strictement liée aux réservoirs carbonatés. Ainsi, la minéralisation des eaux de cette classe peut être enrichie par la suite d'un lessivage des formations argileux encrouté de silice ou par condensation des eaux dans les cavités karstiques (Djemmal S. 2009)

Par contre le reste des points d'eau se rangent dans la classe deux (02) où la conductivité électrique est comprise entre 2000 et 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dont la minéralisation est affectée par les formations évaporitiques (Boudoukha A.1998).

VI.3. Etude des paramètres chimiques

Lors de son transit, l'eau acquit une composition chimique liée à la nature lithologique du terrain traversé. La dissolution est facilitée par la chaleur ambiante et par la durée du contact entre l'eau et la roche.

Le gaz carbonique est présent à l'état d'inclusions dans les cristaux des roches. Les mouvements géologiques, en déformant ou en écrasant celles-ci, libèrent le gaz qui monte alors vers la surface pour se dissiper dans l'atmosphère. Au cours de sa migration, il peut rencontrer l'eau thermale, et s'y dissoudre jusqu'au moment où, quand la pression diminue, il commence à se dégager sous forme de bulles, contribuant ainsi à l'accélération de la remontée de l'eau. En d'autres endroits, il chemine seul en empruntant des failles et les drains secs.

Les sources thermales par leur trajet souterrain beaucoup plus long et beaucoup plus profond lui a permis d'acquérir la température et la composition chimique unique qui lui donne à chacune son originalité (Boudoukha,A. 1998).

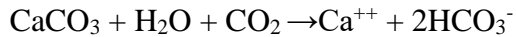
L'analyse des eaux des différentes sources de la région de Sétif montre les principaux éléments chimiques suivants :

VI.3.1. Cations

VI.3.1.1. Calcium (Ca^{++})

C'est un élément de la dureté totale. Son origine naturelle provient essentiellement de

l'attaque des formations carbonatées par le gaz carbonique.



Dans la région d'étude, la teneur en Calcium varie de 124.24mg/l comme valeur minimale pour la source de Dehamcha à 769.53 mg/l comme valeur maximale pour la source d'Ouled Taben.

Une teneur faible en calcium fait penser à un échange de base contre le sodium ou à l'absence de minéraux riches en calcium faiblement altérables. Par contre une teneur élevée en calcium provient de la mise en solution du gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) ou de l'anhydrite.

Ces concentrations indiquent que ces sources sont influencées par la dissolution des formations carbonatées et les formations gypseuses (Boudoukha A. 1998).

VI.3.1.2. Magnésium (Mg^{++})

Dans la région d'étude, la teneur en Magnésium varie de 19.44mg/l comme valeur minimale pour la source de Boutara à 77.76 mg/l comme valeur maximale pour la source guerggour.

C'est aussi un élément de la dureté totale. La mise en solution de cet ion prend beaucoup de temps. Il provient de l'attaque des formations dolomitiques par le gaz carbonique, de la dissolution de MgSO_4 dans les terrains gypseux entraînant le magnésium et aussi des minéraux ferromagnésiens.

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

Ces concentrations indiquent que ces sources sont influencées par la dissolution des formations évaporitiques (Djemmal S. 2009).

VI.3.1.3. Sodium et Potassium ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$)

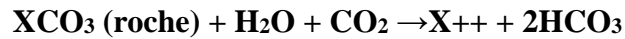
Dans la région d'étude, la teneur en Sodium et Potassium varie de 138,98mg/l comme valeur minimale pour la source d'Ouled Yelles à 845.5 mg/l comme valeur maximale pour la source de Boutaleb.

Le Sodium est beaucoup plus abondant par rapport au Potassium. Il est toujours présent dans les eaux naturelles avec des teneurs variables. Il provient du lessivage des formations riches en NaCl (argile et marne) et des eaux usées d'origine industrielle et domestique. Ces concentrations indiquent que ces sources sont influencées par le lessivage des formations argileuses encroutées de silice. (Djemmal, S. 2009).

VI.3.2. Anions

VI.3.2.1. Les Bicarbonates (HCO_3^-)

Dans la région d'étude, la teneur en Bicarbonates varie de 30 mg/l comme valeur minimale pour la source de Dehamcha à 52 mg/l comme valeur maximale pour la source de Boutaleb. Les Bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre : « la roche – l'eau et le gaz carbonique » selon l'équation générale suivante :



Leur origine principale est la dissolution des roches carbonatées, ainsi leur concentration dans l'eau est fonction de :

- La nature des terrains traversés ;
- La température de l'eau ;
- Et la pression du CO_2 dissout.

VI.3.2.2. Les Sulfates (SO_4^{--})

Dans la région d'étude, la teneur en Sulfates varie de 14.53 mg/l comme valeur minimale pour la source d'Ouled Taben à 15.96 mg/l comme valeur maximale pour la source de Boutaleb. La concentration des eaux naturelles en Sulfates est très variable. Ils résultent de :

- La solubilité des gypses ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) ;
- L'utilisation des engrais chimiques ;
- Des eaux de pluie où le Soufre présent dans l'atmosphère subit une oxydation ;
- Et du lessivage des terrains argileux et marneux.

Ces concentrations indiquent que ces sources sont beaucoup plus liées aux formations gypseuses.

VI.3.2.3. Les Chlorures (Cl^-)

Dans la région d'étude, la teneur en Chlorures varie de 284 mg/l comme valeur minimale pour la source de Douar El Kebir à 830.7 mg/l comme valeur maximale pour la source de Soukhna. Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles mais à des proportions variables. Ils proviennent essentiellement

- De la dissolution des sels naturels par le lessivage des terrains salifères ;
- Des rejets des eaux usées d'origine domestique et industrielle.

Le chlore est présent dans les eaux naturelles bien qu'il soit en faible quantité. Dans l'eau de pluie il avoisine les 4 mg/l et dans l'eau de mer les 18,98 g/l. La teneur du chlore dans les eaux continentales peut être maximum sur les zones côtières et moindres en s'éloignant de

la mer. Généralement les eaux riches en chlore sont riches en sodium, parfois le calcium remplace le sodium. Ces concentrations indiquent l'existence d'importants apports salifères des formations évaporitiques liées à la Sebkhah se trouvant près de Hammam Soukhna. Rappelons, que les Nitrates ne sont pas analysés, mais il est à penser qu'ils soient en forte concentration dans les eaux car les agriculteurs utilisent les engrais chimiques de façon abusive.

VI.3.3. Eléments mineurs

Les éléments mineurs sont les éléments présents à de très faibles teneurs dans les eaux étudiées. La présence d'éléments mineurs ou éléments traces ou encore oligoéléments dans les eaux thermales est d'une grande importance car elle permet de préciser les caractères et l'origine de ces eaux.

VI.3.3.1. Strontium

Dans la région d'étude, la teneur en Strontium varie de 0.01 mg/l comme valeur minimale pour la source de Boutara à 9.96 mg/l comme valeur maximale pour la source de Guergour.

Le strontium est un métal alcalino-terreux, on le trouve dans la nature sous forme de strontianite SrCO_3 et de célestite SrSO_4 qui accompagne généralement les formations évaporitiques, il est considéré comme un indicateur très utile pour la détermination de l'origine de la minéralisation (Edmunds, W.M, 1980, 1995), le strontium et le calcium présentent un comportement géochimique identique.

Le strontium peut occuper les sites libres dans le réseau de certains minéraux carbonatés (dolomie, calcite aragonite) mais surtout il est associé au réseau cristallin du gypse sous forme de célestite (SrSO_4) et aussi dans la structure des minéraux argileux. Il constitue ainsi un bon marqueur de la présence des évaporites (Edmunds, W.M, 1980). Il permet ainsi de déterminer et de distinguer l'origine des sulfates. Ainsi des faibles concentrations en Sr indiquent une provenance des sulfates à partir de l'oxydation des sulfures, alors que des fortes teneurs impliqueraient une dissolution des évaporites (Dib.Adjoul-H.1985).

VI.3.3.2. Silice

Dans la région d'étude, la teneur en Silice varie de 26 mg/l comme valeur minimale pour la source de Dehamcha à 38.4 mg/l comme valeur maximale pour la source d'Ouled Yelles.

Cet élément est très fréquent dans les eaux thermales, sa solubilité augmente avec la température et l'alcalinité de l'eau, d'ailleurs la silice est employée comme géothermomètre qui sert à l'estimation de la température de l'eau en profondeur. L'altération des roches à

laquelle est attribuée la mise en solution de Na, K, Ca et Mg provoque la libération de la silice et c'est pour cette raison que toutes les eaux thermales contiennent de la silice en teneurs variables.

Dans les roches sédimentaires, la silice se présentera sous forme colloïdale, la température et le PH joueront également dans son entrainement.

N'ayant pu dans son analyse distinguer, la silice en solution de la silice polymérisée, les valeurs que nous avons intéressent la silice totale, (Dib.Adjoul-H.1985). Rappelons que l'analyse du fer à été effectuée sur quelques échantillons où les concentrations est supposées importante, par contre les résultats montrent l'inverse c.-à-d. les concentrations obtenues ayant des valeurs très faible allant vers zéro, ces le cas des sources de Dehamcha et Douar El Kebir.

VI.4. Etude des valeurs relatives

VI.4.1. Rapports caractéristiques : L'étude de variation de ces rapports permet de :

- Voir l'évolution chimique des eaux pendant leur trajet souterrain ainsi que le contact avec le milieu géologique ;
- Donner des indications sur la zone d'alimentation et la circulation des eaux souterraines.
- Les principaux rapports étudiés sont : rCa^{++}/rMg^{++} ; rSO_4^{-}/rCl^{-} ; $r(Na^{+}+K^{+})/rCl^{-}$ et rSr^{++}/rCa^{++}
- Et afin d'expliquer l'origine de la minéralisation et des sels d'autres rapports ont été étudiés.

Ce sont les cas de $(rCl^{-} / rSO_4^{-})/\sigma$, $(rSO_4^{-} / rHCO_3^{-})/\sigma$, $(rCl^{-} / rHCO_3^{-})/\sigma$, etc...

VI.4.1.1. Rapport : rCa^{++}/rMg^{++}

Dans la région d'étude toute les Sources, soit 100%, où $rCa^{++}/rMg^{++} > 1$, montrent la prédominance du Ca^{++} .

VI.4.1.2. Rapport : rSO_4^{-}/rCl^{-}

Dans la région de Sétif il y à deux modes d'interprétations, on à :

- Six sources (06), soit 75,00% où $rSO_4^{-}/rCl^{-} > 1$. Cela implique la prédominance des Sulfates.
- Deux sources(02), soit 25,00 % où $rSO_4^{-}/rCl^{-} < 1$ le Cl^{-} prédomine, cela est lié au lessivage des terrains salifères.

VI.4.1.3. Rapport : $r(Na^{+}+K^{+})/rCl^{-}$

Dans la région d'étude il y à deux cas, on à :

Cinq (05) sources, soit 62,5% où $r(Na^{++}K^{+})/rCl^{-} > 1$: le Sodium prédomine. Les autres Sources où $r(Na^{++}K^{+})/rCl^{-} < 1$: traduit la prédominance des Chlorures

VI.4.1.4. Rapport : rSr^{++}/rCa^{++}

Le rapport molaire (Sr^{++}/Ca^{++}) permet déterminer l'origine de la salinité. D'après (Meybeck.1984), il est supérieur à 5 ‰ dans les évaporites du Trias alpin, par contre, au Maroc, il est supérieur à 7 ‰ dans les eaux de l'aquifère turonien du bassin de Tadla (Hsissou et al,1996). En Algérie, il est supérieur à 3 ‰ dans les évaporites du Djurdjura (Abdesselam et al. 2000).

Dans la région de Sétif toute les Sources, dont les valeurs sont varie entre 4 et 17 ‰, soit 100%, où $rSr^{++}/rCa^{++} > 1‰$, correspondant une eau évaporitiques. S'il est supérieur à 1‰, traduisant une eau qui a circulé dans des terrains qui sont en contact avec les formations terrigènes. (BRADY et WALTER 1992), ainsi l'augmentation de la température des sources agit fortement sur l'accélération des réactions chimiques, confirmant ainsi la mise en solution d'évaporites, comme certain chercheurs citons l'exemple de HSISSOU et al. (1996), montré que la salinité des eaux est contrôlée par les chlorures, le sodium et les sulfates.

VI.4.2. L'indice des équilibres chloro-Alcalin (I.C.A)

Il concerne les rapports entre le chlore et les cations alcalins susceptibles de lui être associés, il est défini par la relation :

- $rCl - r(Na+K) / rCl$ pour $rCl > rNa+rK$
- $rCl - r(Na+K) / rSO_4 + rHCO_3 = rNO_3$ pour $rCl < rNa+K$

Dans les eaux de rivières, lacs de bassins fermés, eaux souterraines provenant de l'altération de roches cristallines ou cristalloyphyllics, l'indice de déséquilibre chloro-alcalin sera généralement négatif. Cette disposition s'explique par le fait que la mise en solution des silicates amène beaucoup plus d'ions alcalins que d'ions chlore.

L'I.C.A. positif est celui de l'eau de mer, il est prédominant pour les eaux incluses dans les sédiments marins actuels de même que dans les eaux à concentration élevée. Dans un aquifère sans variation lithologique notable, les eaux peuvent présenter des I.C.A. dissemblables, l'indice pouvant être négatif en surface et positif en profondeur ou l'inverse. Pour la région de Sétif l'émergence des sources se situent au niveau des séries sédimentaires. Le calcul de l'I.C.A nous a montré que pour Huit (08) émergences, Cinq (05) présentaient un I.C.A négatif variant entre -0.003 et -0.542 et trois (03) ont un I.C.A positif compris entre 0.103 et 0.423. Pour P.Verdeil, la source de Hammam Bou Taleb pourrait se trouver en liaison avec un éruptif localisé.

VI.5. Classification des eaux

Plusieurs méthodes et diagramme de classification des sources thermo minérales ont été proposées par divers auteurs. Dans le cadre de cette étude, seulement les classifications de Stabler et de Piper, ainsi que les diagrammes de Scholler-Berkaloff, de l'Institut international des recherches géothermiques et de Langelier-Ludwing ont été prises en considération.

VI.5.1. Classification de Stabler

Dans cette classification, les concentrations exprimées en mg/l sont réduites en quantité en réaction pour cent (r%) par rapport à la concentration (T). La formule ionique étant obtenue en classant de gauche à droite et par ordre décroissant, les quantités en réaction pour cent des ions en suite celles des cations, en se basant sur la prédominance de tel ou tel ion.

Cette classification a mis en évidence trois (03) familles de faciès :

VI.5.1.1. Faciès bicarbonaté

Il est représenté par une seule famille :

VI.5.1.1.1. Faciès bicarbonaté Sodique

Il est représenté uniquement par la source de Dehamcha, dû au lessivage des formations salifères.

VI.5.1.2. Faciès chloruré

Il est représenté par une seule famille :

VI.5.1.2.1. Faciès chloruré Sodique

Il est représenté uniquement par la source de Soukhna, dû au lessivage des formations argileux encrouté de silice.

VI.5.1.3. Faciès sulfaté

Il est représenté par Six (06) familles :

VI.5.1.3.1. Faciès sulfaté calcique

Ce faciès occupe la majeure partie du terrain. Il est représenté par hammam Guergour, Ouled Tabben, Douar El kebir et Ouled Yelles, dû au lessivage des formations gypsifères.

VI.5.1.3.2. Faciès sulfaté Sodique

Il est représenté par les sources de Boutaleb, et Boutara, dû au lessivage des formations gypsifères.

VI.5.2. Classification de Piper

Cette méthode (Fig VI.10) est basée sur la représentation des résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Piper qui permet de classer et comparer les eaux entre elles. Ce diagramme comporte un losange ABCD et deux triangles équilatéraux dont les côtés sont divisés en cent (100) parties égales correspondant à des quantités en réaction pour cent (calculé par rapport à des ions de même signe). Ainsi dans chaque triangle, un point représentatif est obtenu. Les deux parallèles supportant ces deux points s'intercroisent en un seul point dans le losange ABCD, indiquant la nature du faciès chimique des eaux. Les points sont représentés sur le diagramme de Piper et les faciès obtenus sont (Fig.10).

- Le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien, il est présenté par quatre (04).
- Le faciès chloruré sodique et sulfaté sodique, il est présenté par le reste des sources.
- Les cations ont une tendance vers le pôle calcique.
- Les anions ont une tendance vers le pôle chloruré et sulfaté

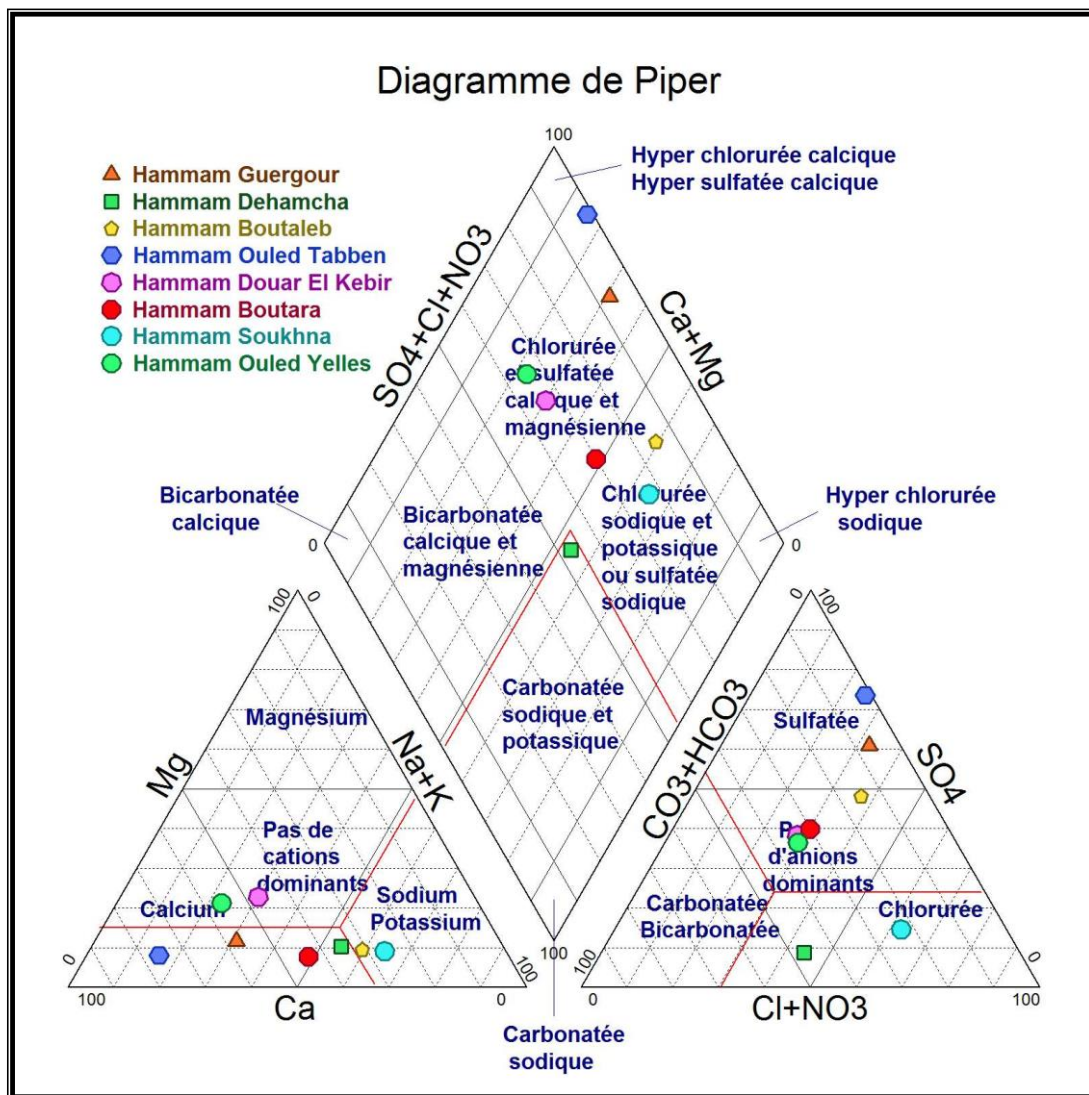


Figure VI.10: Répartition des eaux dans le diagramme de Piper.

VI.5.3. Diagramme de Scholler-Berkaloff

C'est une ancienne classification en semi logarithmique dit diagramme de Scholler-Berkaloff. Ce dernier est le plus simple et le plus expressif des diagrammes, il est créé pour permettre la représentation graphique des analyses chimiques de plusieurs échantillons d'eau à la fois et la lecture rapide des caractéristiques chimiques de l'ensemble de ces échantillons. Le faciès chimique de l'eau analysée peut être donné par l'association des plus fortes concentrations côté anions et côtés cations.

La figure VI.11 nous montre les résultats d'une telle représentation des compositions en éléments majeurs de nos sources d'eau sur ce diagramme. Ce dernier est présenté selon les faciès chimiques des eaux des sources concernés et qui sont respectivement:

- Eaux à faciès Sulfaté Calcique ($\text{SO}_4\text{-Ca}$) : il est représenté par les sources de Guergour, Ouled Tabben, Douar El Kebir et en fin Ouled Yelles.
- Eaux à faciès Sulfaté Sodique ($\text{SO}_4\text{-Na}$) : il est représenté par les sources de Boutaleb, et en fin Boutara.
- Eaux à faciès Chloruré Sodique (Cl-Na) : il est représenté par la source de Soukhna.
- Eaux à faciès Bicarbonaté Sodique ($\text{HCO}_3\text{-Na}$) : il est représenté par la source de Dehamcha.

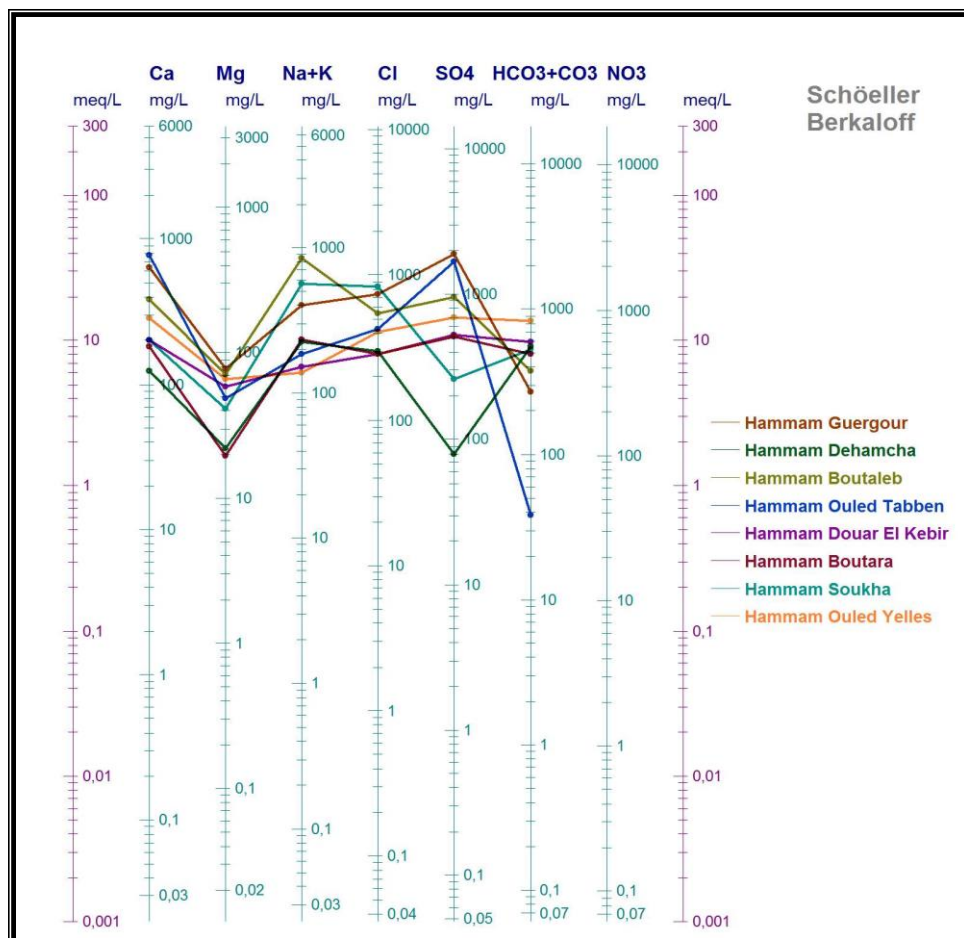


Figure VI.11: Répartition des eaux dans le diagramme de Scholler-Berkaloff.

VI.6. Etude de l'origine des éléments chimiques des sources de la région de Sétif

D'après les analyses chimiques des eaux des sources de la région de Sétif, les faciès chimiques obtenus sont :

- 04 : Ca-SO₄ pour les sources : Guergour, Ouled Tabben, Douar El Kebir et en fin Ouled Yellès;
- 02 : Na-SO₄ pour les puits : Boutaleb et Boutara;
- 01 : Na-HCO₃ pour le puits : Dehamcha;
- 01 : Na-Cl pour les puits : Soukhna.

VI.6.1. Matrice de corrélation

Tableau VI.2: Matrice de corrélation des paramètres.

Eléments chimiques	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Sr ⁺⁺	σ à 20°C
Ca ⁺⁺	1,000							
Mg ⁺⁺	0,271	1,000						
Na ⁺ + K ⁺	0,002	0,102	1,000					
HCO ₃ ⁻	0,649	0,009	0,043	1,000				
SO ₄ ⁻	0,920	0,393	0,004	0,523	1,000			
Cl ⁻	0,100	0,186	0,394	0,059	0,101	1,000		
Sr ⁺⁺	0,336	0,527	0,049	0,085	0,481	0,399	1,000	
σ à 20°C	0,351	0,350	0,596	0,300	0,356	0,746	0,420	1,000

II.6.2. Relation entre les paramètres

L'application des graphes ainsi des diagrammes binaire, nous a permis d'affirmer l'importance des faciès sulfaté et à un degré moindre chlorurés et bicarbonatés, des sources thermo minérales dans notre région. Pour ce là, nous avons utilisé le logiciel Origin 06 pour vérifier les relations entre ces paramètres.

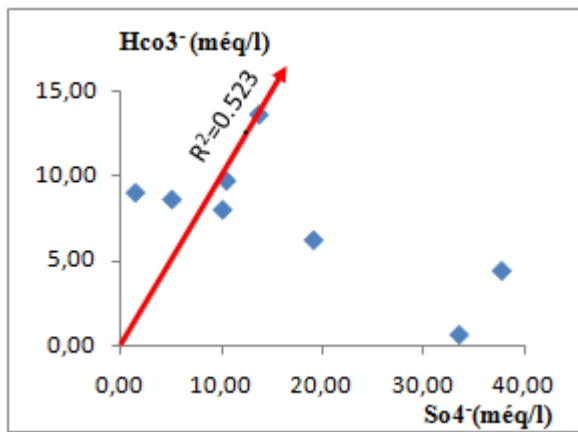


Figure VI.12: Couple HCO₃⁻ en fonction SO₄²⁻

Le graphe montre un excès de SO₄²⁻ qui détermine la dominance des ions SO₄²⁻, que HCO₃⁻ soit 75% montrent une origine évaporitiques. La forte teneur en sulfates dans les eaux des sources chaudes (37méq/l) pourrait également être attribuée à la dissolution de l’anhydrite.

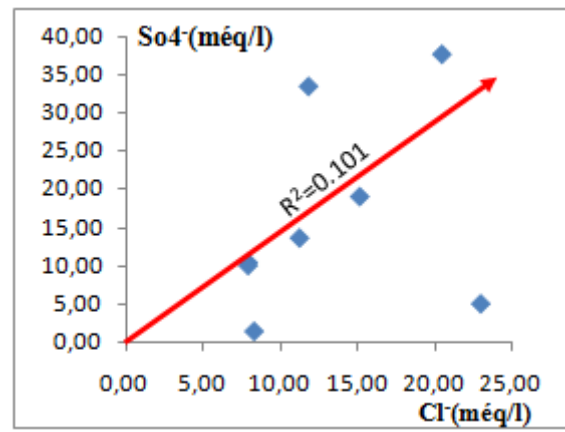


Figure VI.13: Couple SO₄²⁻ en fonction Cl⁻.

Le graphe montre un excès des ions Cl⁻ qui détermine la dominance de Cl⁻ que SO₄²⁻ soit 75% résultants de la dissolution de l’halite, les deux autres points montrent une autre origine.

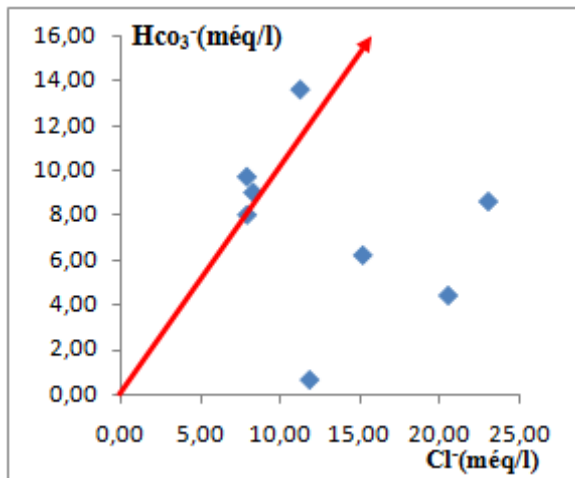


Figure VI.14: Couple HCO₃⁻ en fonction Cl⁻.

La représentation des points sur le graphe montre une tendance vers la dominance des ions Cl⁻ (la concentration des points qui se trouvent sur la droite ayant les mêmes concentrations). Autrement la relation entre ces paramètres en fonction de la conductivité (Fig. 14.1 et 14.2). Nous conduit d’affirmer l’ion le plus prépondérant.

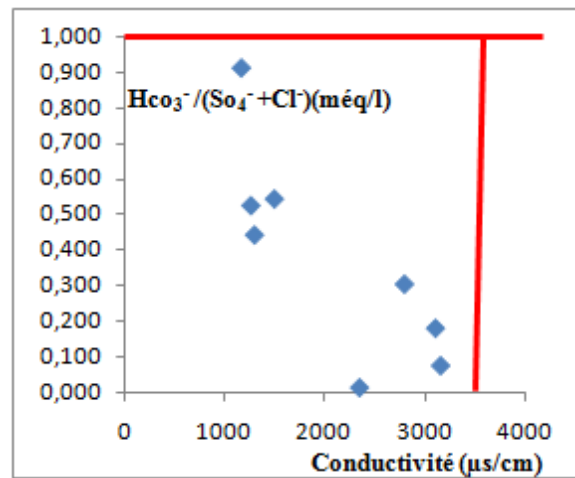


Figure VI.14.01: Diagramme HCO₃⁻/(SO₄²⁻

+Cl⁻) en fonction de la Conductivité.

Le graphe montre pour des conductivités inférieures à 3500 (µS/cm) la dominance des ions évaporitiques SO₄²⁻ et Cl⁻ des ions HCO₃⁻

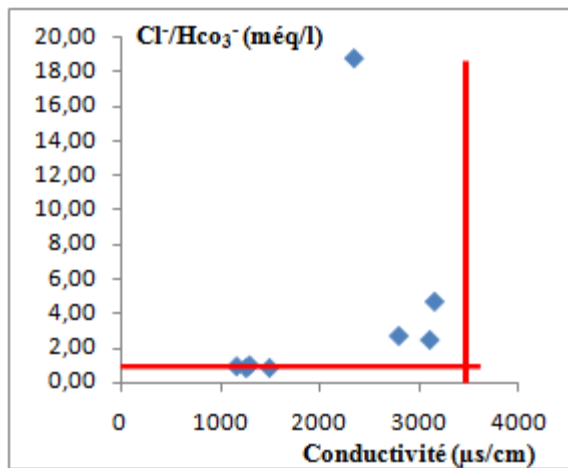


Figure VI.14.02: Diagramme $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ en fonction de la Conductivité.

Le graphe montre que jusqu'à des conductivités inférieures 3500 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) les ions Cl^- dominent les HCO_3^- . Cela justifie les relations antérieures étudiées.

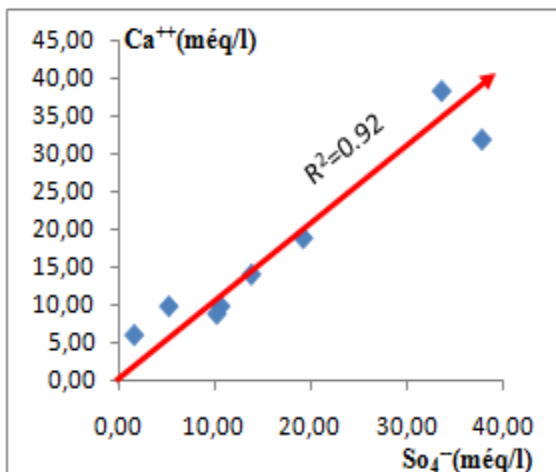


Figure VI.16: Couple Ca^{++} en fonction So_4^-

La représentation graphique est caractéristique d'une eau qui a circulé dans des terrains qui sont en contact avec les formations terrigènes. P.V. Brady et al (1992) ont montré que l'augmentation de la température des sources agit fortement sur l'accélération des réactions chimiques et contribue à la mise en solution d'évaporites (gypse, anhydrite et halite).

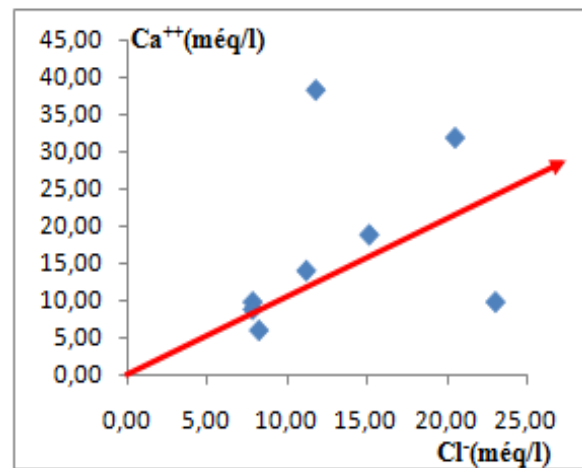


Figure VI.15: Couple Ca^{++} en fonction Cl^-

La représentation des points sur le graphe montre une tendance à l'alignement, des ions Ca^{++} et Cl^- , donc la représentation graphique montre une origine évaporitiques probable.

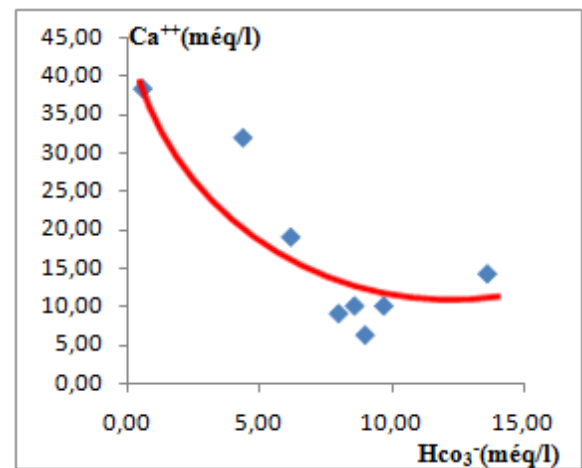


Figure VI.17: Couple Ca^{++} en fonction Hco_3^-

La représentation montre une évolution indépendamment des ions Ca^{++} et HCO_3^- . Elle montre une origine évaporitiques. Cela a été évoqué par Issaâdi (1992) que le réservoir carbonaté des eaux thermales qui ont donné cet excès en calcium et lors de l'ascension de ces eaux en surface a induit la dissolution des formations évaporitiques.

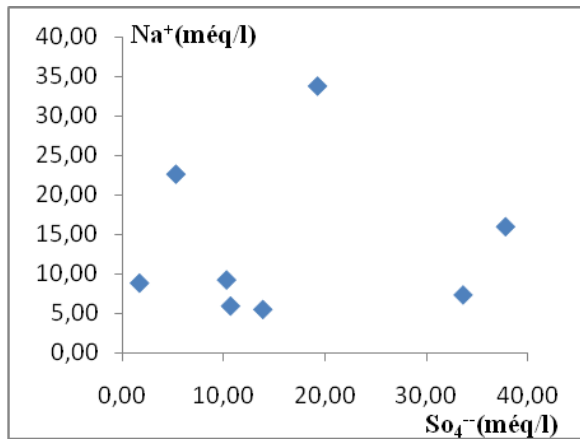


Figure VI.18: Couple Na⁺ en fonction SO₄²⁻.

La représentation des points sur le graphe montre une évolution indépendamment des ions Na⁺ et SO₄²⁻ (nuage de points). La représentation graphique montre une origine autre que les sulfates.

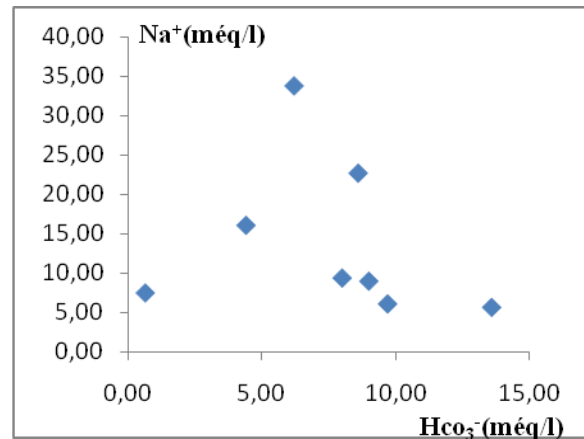


Figure VI.19: Couple Na⁺ en fonction HCO₃⁻.

La représentation des points sur le graphe montre une évolution indépendamment des ions Na⁺ et HCO₃⁻ (nuage de points). La représentation graphique, montre une origine autre que les carbonates.

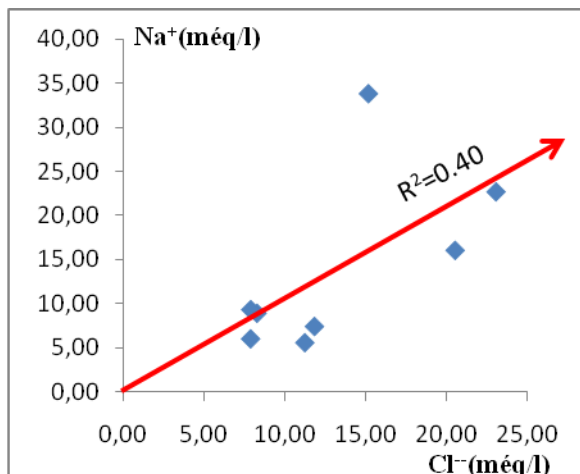


Figure VI.20: Couple Na⁺ en fonction Cl⁻.

Cette présentation montre une bonne distribution autour d'une droite de pente légèrement inférieure à celle de la halite. Cette approche tend donc à indiquer que la salinité de l'eau thermique résulterait d'une dissolution des formations salifères. Même la bonne corrélation SO₄-Ca, et C.E. - HCO₃⁻ / (SO₄+Cl) appuie cette hypothèse.

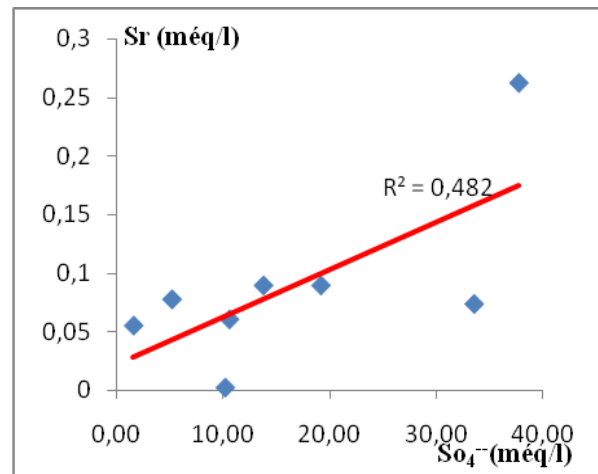


Figure VI.21: Couple Sr²⁺ en fonction SO₄²⁻.

La représentation des points sur le graphe montre une tendance à l'alignement, donc la représentation graphique du strontium en fonction des sulfates, montre une origine évaporitiques, traduisant la dissolution de l'halite et Anhydrite ou de la pyrite. Cette approche appuie les résultats trouvés dans le rapport Sr²⁺/Ca²⁺.

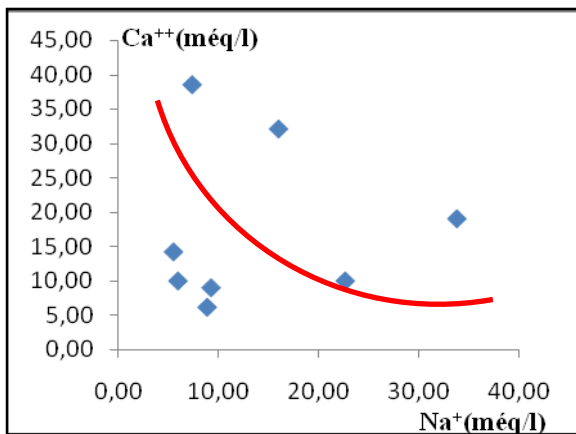


Figure VI.22: Couple Ca^{++} en fonction Na^+ .

Le graphe montre une corrélation entre Ca^{++} et Na^+ où on a une diminution du Calcium alors que le sodium reste en évolution (échange de base entre sodium et le calcium).

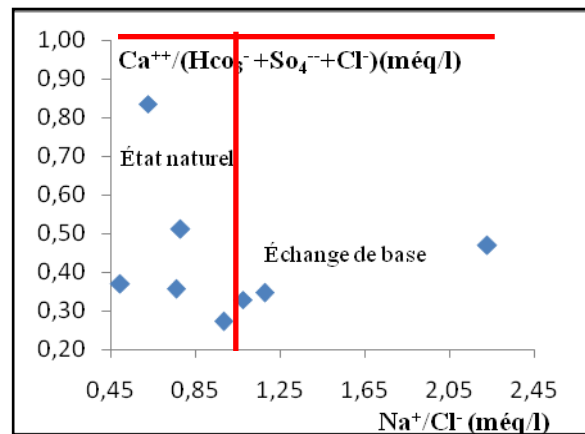


Figure VI.23: Diagramme $\text{Ca}^{++}/\text{Hco}_3^- + \text{So}_4^{--} + \text{Cl}^-$ en fonction Na^+/Cl^- .

Le graphe montre une possibilité d'échange de base entre Ca^{++} et Na^+ , c'est-à-dire deux ions Na^+ de l'eau seraient échangés contre ion Ca^{++} des formations argileuses.

VI.7. Diagramme de l'Institut international des recherches géothermiques

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 thermo minérales. 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 méq/l. Six paramètres (A, B, C, D, E et F), sans unité, sont ainsi définis et normalisés entre -100 et +100 de la manière suivante :

VI.7.4.1. Le paramètre A

Ce paramètre aide à différencier entre les eaux circulant à travers les terrains calcaires de celles qui traversent des couches évaporitiques $A = 100 \times ((\text{HCO}_3 - \text{SO}_4)/\Sigma (-))$ (01)

VI.7.4.2. Le paramètre B

Ce paramètre 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. $B = 100 \times ((\text{SO}_4/\Sigma (-)) - (\text{Na}/\Sigma(+)))$ (02)

VI.7.4.3. Le paramètre C

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 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. $C = 100 \times (\text{Na}/\Sigma(+) + \text{Mg}/\Sigma(-))$ (03)

VI.7.4.4. Le paramètre D

Ce paramètre individualise les eaux ayant circulé dans les calcaires dolomitiques. $D = 100 \times ((\text{Na} - \text{Mg})/\Sigma(+))$ (04)

VI.7.4.5. Le paramètre E

Le paramètre E distingue principalement les circulations dans les réservoirs carbonatés de celles dans les réservoirs sulfatés. $E = 100 \times ((\text{Ca} + \text{Mg})/\Sigma(+) - \text{HCO} / \Sigma(-))$ (05)

VI.7.4.6. Le paramètre F

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

$$F = 100 \times (\text{Ca} - \text{Na} - \text{K})/\Sigma(+) \quad (06)$$

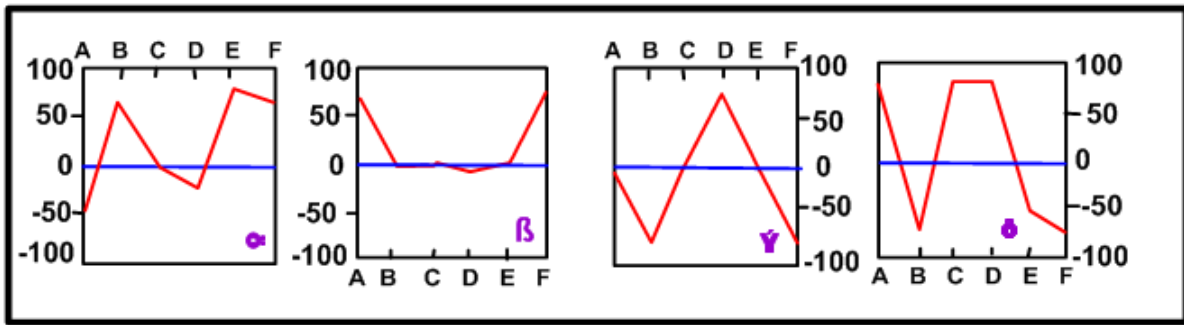
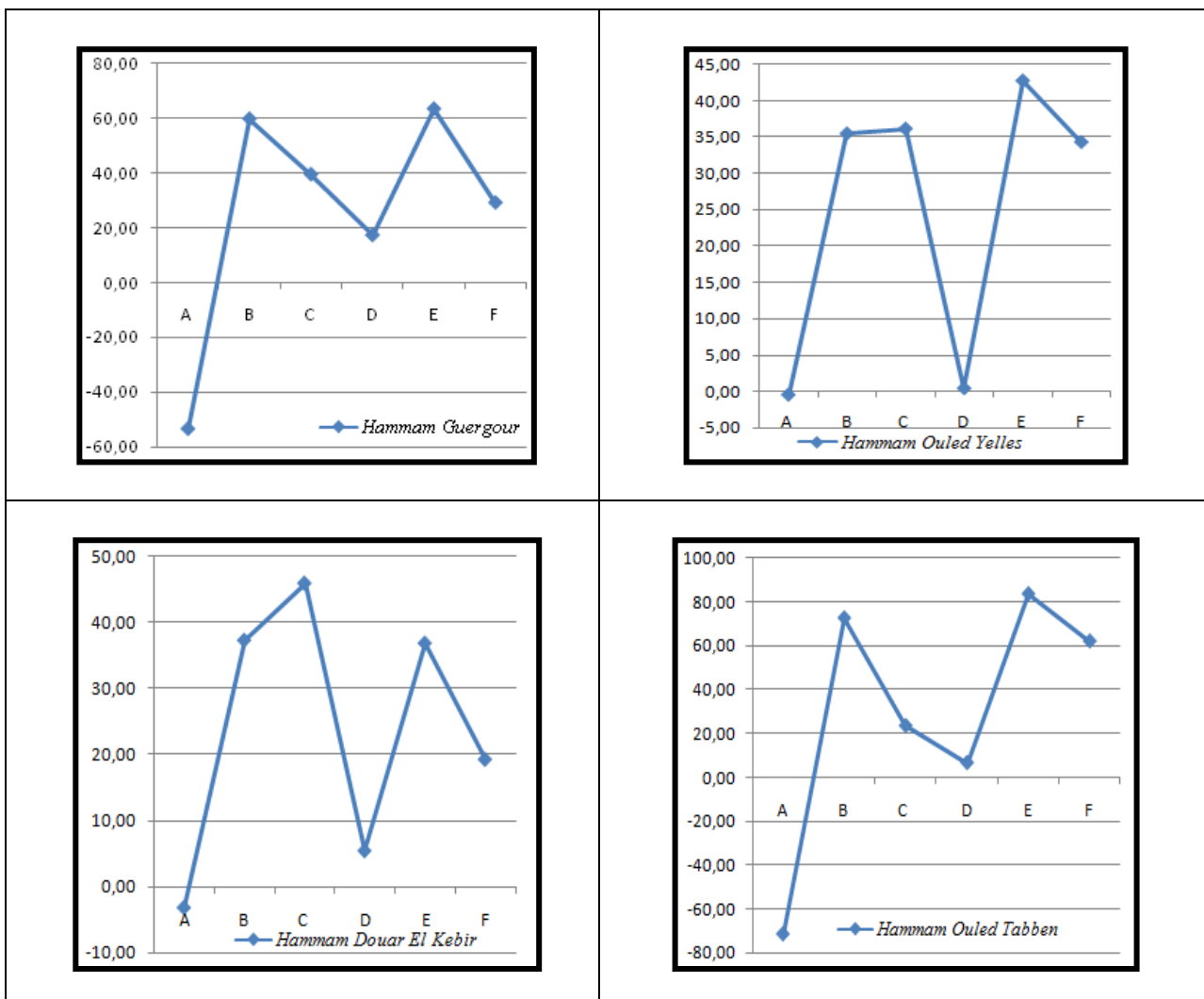


Figure VI.24: Représentation graphique des diagrammes de référence établis par Amore et al, 1983 (α : série évaporitique; β : circulation dans les calcaires; γ : circulation profonde à travers un socle cristallin; δ : formation argileuse).

Les valeurs permettent d'établir des diagrammes rectangulaires et de les comparer aux diagrammes de référence (α , β , γ et δ) établis par les auteurs. Cette méthode a été appliquée aux sources thermales de la région de Sétif, et nous permettons de découvrir trois (03) aspects rectangulaires différents intermédiaires entre les standards théoriques de référence.



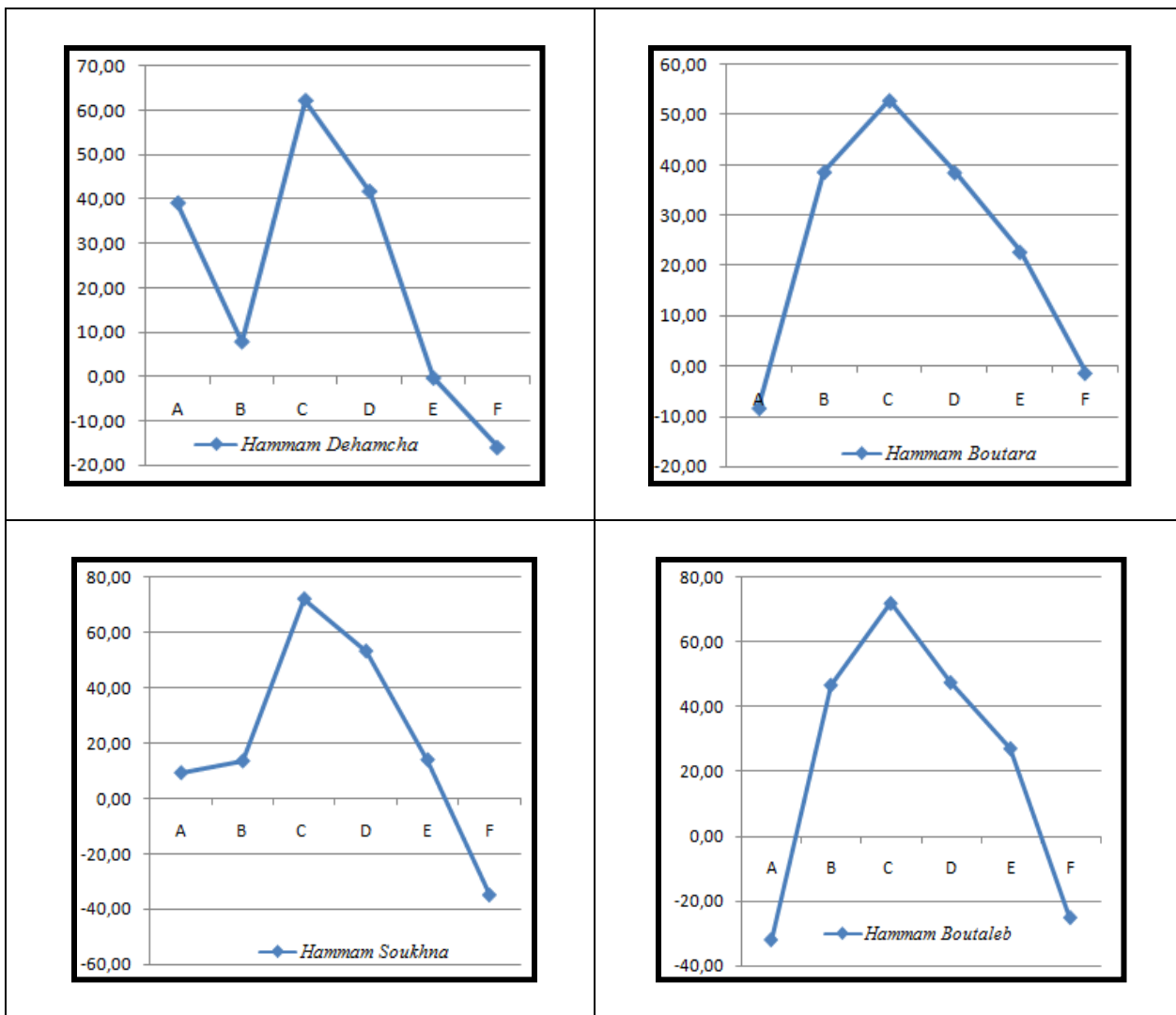


Figure VI.25: Représentation des eaux thermo minérales sur le diagramme d'amore et al. 1983.

L'application des diagrammes de l'institut international des recherches géothermiques (Fig VI.24 et VI.25) nous permettrons de conclure que la représentation graphique des diagrammes de références établies par Amore et al. 1983 se rapprochent beaucoup plus du spectre (γ) caractérisant le socle avec une nette variation au niveau des paramètres D, F et B, E.

Cependant, l'effet des failles elle atteint dans son parcours vers la surface les formations carbonatées et les terrains terrigènes salifères. La fluctuation de ces paramètres (D et F) serait en relation avec une circulation à travers le réservoir calcaro-dolomitique du jurassique. La fluctuation des paramètres B, E indiquerait une circulation à travers les formations terrigènes salifères, riches en évaporites.

VI.8. Diagramme de Langelier-Ludwing

Le diagramme confirme l'effet des terrains salifères sur le chimisme des eaux des sources (Fig VI.26). Ainsi, l'augmentation de la concentration en sodium et en potassium se fait en parallèle avec celle des chlorures et des sulfates pourraient être attribués à la dissolution de l'anhydrite et de l'halite (Boudoukha. A et al 2012), mais d'une manière inverse avec celle des éléments carbonatés. Cette tendance pourrait être due aussi à un échange de base Na - Ca avec les argiles, entraînées des profondeurs par la dysharmonie thermique affectant la région, comme il a été démontré par CHULLI et al. 2011 dans un cas similaire à Sfax en Tunisie orientale.

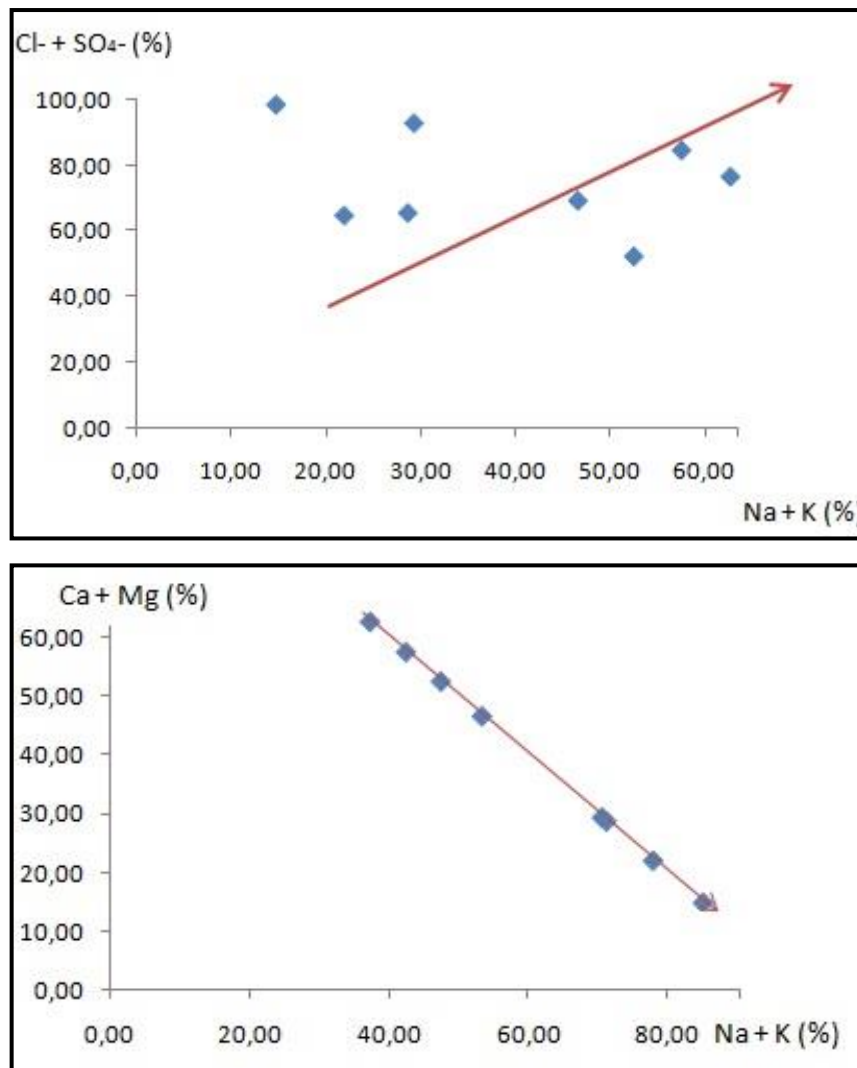


Figure VI.26: Diagramme de Langelier-Ludwing appliqués aux eaux des sources. Ca+Mg en fonction de Na+K et Cl+SO₄ en fonction Na+K

L'acquisition des teneurs en Cl⁻ et Na⁺ peut également résulter de la dissolution de l'halite ou peut également résulter du lessivage des formations argileuses encroûtées de silice (Djemmal S. 2009)

Conclusion :

Tenant compte de l'effet des conditions géologiques, climatiques et hydrogéologiques, cette étude hydrochimique a permis de mettre en évidence l'hétérogénéité de la plupart des paramètres physico-chimiques ayant une influence sur l'évolution et la qualité des eaux.

La température des sources thermominérales de la région de Sétif s'étale de 30 jusqu'à 52°C, le pH mesuré varie de 6,92 jusqu'à 7,6. Les valeurs de la dureté sont élevées, elle varie entre 711.9 à 1922.6 ce qui donne à l'eau le caractère dure.

Les sources fortement minéralisées (salinité) deviennent très chargées suivant le sens d'écoulement c-à-d d'Ouest vers Est ainsi qu'aux endroits où la prédominance des formations évaporitiques pour les éléments : Cl^- , SO_4^{2-} , Sr^{2+} ainsi Na^+ + K^+ et les formations carbonatées et évaporitiques pour les éléments : Ca^{2+} et Mg^{2+} .

Selon la classification de Piper et de Scholler-Berkaloff quatre (04) faciès existent dans le terrain d'étude. Les plus répandus sont les faciès sulfatés calciques et sulfatés sodiques ; bicarbonatés sodiques et chlorurés sodiques.

La détermination des rapports caractéristiques en association avec les résultats des graphes binaires nous permettrons de conclure que la répartition des faciès est en liaison directe avec le lessivage des formations carbonatées et évaporitiques, pour les éléments HCO_3^- et SiO_2 pourraient avoir autre origine que carbonaté et évaporitiques, il peut être profondes liées aux formations métamorphiques (schistes).

L'étude de ces rapports caractéristiques et le diagramme de Langelier-Ludwing, montrent que l'origine des ions Cl^- et Na^+ pourraient être résultée de la dissolution de l'halite. Elles montrent également l'existence d'un phénomène d'échange de base entre les alcalins de l'eau Na-Ca avec les alcalino-terreux (Ca^{2+}) des formations argileuses entraînées des profondeurs par la dysharmonie thermique affectant la région.

Le rapport ($\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$) montre que les sources liées aux formations évaporitiques se caractérisent par des fortes teneurs en éléments majeurs comme les chlorures, les sulfates, le calcium et le sodium. Elles ont toutes acquies une minéralisation dite secondaire au cours de la remontée et hors du réservoir thermal. La minéralisation originelle liée aux formations carbonatées a été masquée par les fortes libérations d'éléments en provenance des évaporites ainsi l'augmentation de la température des sources agit fortement sur l'accélération des réactions chimiques, confirmant ainsi la mise en solution d'évaporites (gypse et anhydrite).

L'application des diagrammes de l'IIRG nous permettrons de dire que les sources sont d'origine profonde, ayant circulé dans un socle cristallophyllien et sous l'effet des failles elle atteint dans son parcours vers la surface les formations carbonatées et terrigènes salifères.

CHAPITRE N°7

Contexte Geothermique
Contexte Geothermique

Introduction

La géothermométrie est un outil qui permet l'estimation de la profondeur des réservoirs géothermiques et la température des derniers équilibres chimiques ou isotopiques avant l'émergence. Les eaux profondes et les gaz arrivent à la surface et apportent généralement avec eux leur histoire géochimique. Toutefois, pendant son ascension, l'eau chaude peut subir un mélange avec les eaux froides superficielles pouvant compliquer l'utilisation des géothermomètres chimiques, cela conduirait soit à une surestimation, soit à une sous-estimation des températures. À noter que la remontée des eaux thermominérales depuis leurs réservoirs d'origine s'accompagne généralement d'une diminution de la température et d'un changement de la minéralisation totale.

Cependant, la mesure directe de la température aux émergences n'est pas un moyen fiable pour détecter une anomalie de chaleur en profondeur. Elle est plus élevée en profondeur atteint son maximum au niveau du réservoir. En effet il existe une perte ou abaissement de température entre celle-ci mesurée à l'origine et à l'émergence. Cette perte de chaleur est liée probablement aux contacts soit avec les eaux froides de subsurface soit avec les parois du circuit hydrothermal.

VII.1. Origine de la thermalité

On sait depuis longtemps, grâce aux exploitations minières que la température augmente avec la profondeur. Une température élevée est donc, à priori, un indice d'origine profonde. On explique la relation entre la température et la profondeur par le terme de gradient géothermique. Par définition le gradient géothermique (degré géothermique), est la profondeur de pénétration dans le sol, exprimée en mètres, nécessaire pour que la température augmente de 1°C. Elle est variable suivant les endroits et la profondeur ; sa valeur est en moyenne de 30 à 35 m. Elle augmente dans les massifs granitiques (60 à 80 m), et diminue dans les régions volcaniques (10 à 15 m).

Le gradient géothermique est fonction du flux de chaleur terrestre et de la conductibilité calorifique des roches. Dans une région considérée ; une valeur plus au moins élevée du gradient géothermique traduira l'intensité de ce flux de chaleur (Issaâdi, A.1992).

VII.2. Définition de la thermalité

La température d'une eau souterraine est un facteur relatif lié aux valeurs de la température extérieure elle-même fonction de la localisation géographique une eau froide au Sahara pourra être considérée comme chaude au Labrador. Diverses classifications ont été proposées pour ranger les eaux en fonction de leur thermalité, nous retiendrons la définition de

H. Schoelier qui considère comme thermales des eaux dont la température est supérieure à la température moyenne annuelle de l'air du lieu 4° C.

Nous admettrons donc avec P. Verdeil la distribution suivante :

- Eaux Athermales : eaux dont la température est inférieure à la température moyenne du lieu d'émergence.
- Eaux Hydrothermes : eaux dont la température est égale à la température moyenne du lieu d'émergence.
- Eaux Mésothermes : eaux dont la température est comprise entre la température moyenne du lieu d'émergence plus 4° C et 37° C qui est la température du corps humain.
- Eaux Orthothermes : eaux dont la température est comprise entre 37° C et 45° C.
- Eaux Hyperthermes : eaux dont la température est supérieure à 45° C.

La répartition des eaux algériennes dans les différentes classes thermiques appelle quelques remarques préalables :

Tout d'abord, la température mesurée à l'émergence n'est pas forcément représentative de la température réelle du griffon, un refroidissement des eaux thermales ayant pu se produire au cours de leur remontée vers la surface par dégazage, échanges thermiques avec les parois du circuit hydrothermale, ou par mélange avec les eaux froides en surface c'est ce qui se produit par exemple en hiver une température normale par contre en été une température élevée.

Par ailleurs, divers facteurs sont susceptibles d'intervenir pour assurer la thermalité de l'eau. Les uns auront un rôle accessoire, ce sont :

VII.2.1. Les réactions chimiques exothermiques

Elles ont pu être invoquées pour expliquer la thermalité de quelques sources. Parmi les réactions les plus courantes, nous retiendrons : la réduction des sulfates, la transformation de l'anhydrite en gypse, l'oxydation des pyrites de fer, mécanismes que nous savons se développer au niveau des émergences existant en Algérie, sans qu'il nous soit possible de préciser le volume de l'énergie fournie.

VII.2.2. La désintégration des minéraux radioactifs

La concentration de ces éléments par exemple au niveau des filons pegmatitiques peut justifier l'élévation de la température des eaux qui y sont associés. D'autres auront valeur générale, ce sont :

VII.2.3. Le Gradient géothermique

Qui représente le nombre de degrés d'augmentation de la température pour 100 m de profondeur. Il est fonction du flux de chaleur terrestre et de la conductibilité calorifique des

roches. Pour l'Algérie septentrionale, P. Verdeil admet une valeur moyenne de flux :

$$F \times m = 5,4428 \pm 0,4187.10^{-6} \text{ J/cm}^2/\text{s} \quad (01)$$

Valeur très faible par rapport à la radiation solaire moyenne qui est de : $R_s = 3,4.10^{-2} \text{ J/cm}^2/\text{S}$. Sur ces bases, nous aurons une augmentation moyenne de la température (degré géothermique) de 1° C pour 30 m de profondeur.

D'après les études qui ont été faite auparavant par plusieurs chercheurs citons l'exemple de Issaadi (1996) et Boudoukha (2012), ils ont estimé que la région d'étude appartient à une zone où le gradient géothermique est de 35°C/km-1 .

III.2.4. Les mouvements de l'écorce terrestre

Dans les zones actives de la marge Algérienne, il y aurait production d'énergie calorifique liée :

- A des déformations mécaniques lentes dont l'existence est traduite dans ces secteurs par la microsismicité.
- A la rupture des formations mises sous tension dans les grandes zones de dislocation (séismes).
- A des déplacements lents du réseau de failles sans séismes majeurs.

Cette énergie serait ensuite véhiculée vers la surface par les eaux souterraines circulant dans les zones de dislocation. Il n'est pas possible pour l'instant d'estimer son ordre de grandeur, faute d'un réseau de mesures au niveau des failles actives. Retenons cependant à titre indicatif que lors du séisme d'Ech Chellef du 10 octobre 1980 des fissures ouvertes dans les calcaires du Djebel des Attafs ont laissé échapper des dégagements gazeux qui ont carbonisé la végétation environnante (Dib.Adjoul-H 1985).

VII.3. Classification thermique des sources thermo minérales

Selon P. Verdeil les sources algériennes ont été classées en trois (03) :

VII.3.1. Eaux chaudes des nappes

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" se rangent également dans ce groupe les eaux rencontrées dans les forages au niveau de la nappe saharienne. Exp : du Forage de Zelfana, Eau dans les grès de l'Albien ($41,5^\circ \text{ C}$).

VII.3.2. Eaux chaudes riches en Silice parfois en radon.

Liées à un volcanisme ou à un plutonisme récent, Ces eaux, bien représentées en Sicile ou en Italie le sont moins en Algérie où l'on ne peut qu'émettre l'hypothèse de leur présence sur

des données chimiques, mais sans preuve formelle de leur existence.

VII.3.3. Eaux chaudes thermotectoniques

Liées aux zones de déformations actives et paraissant se regrouper pour constituer des bandes thermiques d'extention et de largeurs variables et d'orientation générale N 115° à N 140° E.

VII.4. Détermination de l'activité thermique

L'activité thermique représente l'énergie véhiculée en surface sous forme de chaleur par les sources . Elle donne de précieux renseignements aussi bien sur la densité de la fracturation que sur les conditions d'ouverture des fissures, une eau pouvant circuler librement ayant moins tendance à échanger des calories avec le milieu encaissant au cours de sa remontée. La relation ci-dessous montre le mode de calcul de l'activité thermique :

$$at = (Qs - Qm)*q \text{ KJ/S} \quad (02)$$

Où :

- at = Activité thermique s'exprime en kilojoules par secondes;
- Qs = Température de l'eau à l'émergence;
- Qm = température de la zone d'homothermie annuelle;
- q = Débit des griffons en litres/seconde

VII.4.1. Détermination du flux de chaleur

Le flux de chaleur terrestre qui est en moyenne de $1,4 * 10^{-6}$ J/cm²/seconde peut se trouver profondément modifié dans certains secteurs par les remontées d'eaux thermales. Dans la région d'étude le flux de chaleur se raccorde à la normale.

Nous avons donc étudié le flux amené par les eaux chaudes par kilomètre carré de bassin versant en utilisant la relation : $Ft = at / k.m^2 = X \text{ J/k.m}^2/s$ (03)

VII.4.1. Evaluation des températures en profondeur

L'utilisation des eaux à des fins géothermiques implique que l'on puisse connaître leur température en profondeur soit au niveau du gisement thermal quand il en existe un, soit au point le plus bas du circuit thermal. Basées sur la composition chimique des eaux qui arrivent à l'émergence, de nombreuses méthodes ont été proposées pour résoudre ce problème, elles ont reçu le nom de méthodes géothermométriques. Le calibrage des géothermomètres a été souvent effectué dans des formations cristallines. A cet effet, pour conduire à des résultats probants, l'application des géothermomètres dans des formations sédimentaires doit se faire avec des précautions, parmi lesquels on peut citer :

- La concentration des éléments considérés dans la roche encaissante doit être en quantité suffisante.
- Un équilibre chimique doit être établi entre les minéraux de la roche et l'eau.
- Le circuit d'écoulement entre le réservoir et le point d'émergence doit être court.
- Absence d'autres réactions secondaires ou de mélange avec de l'eau des autres aquifères

VII.4.1.1. Géothermomètre silice

Les différentes variétés allotropiques de la silice se dissolvent en donnant naissance, à l'équilibre, à un monomère non chargé en SiO_4 . La réaction de solubilisation est :



Cette réaction est indépendante du PH et de la force ionique de la solution. Trois variétés allotropiques peuvent intervenir et prédominent à différentes températures (Fig VII.1).

- Au-dessus de 160°C, c'est le quartz qui précipite.
- Entre 120 et 160°C, c'est le quartz et le calcédoine qui peuvent précipiter.
- A la température ordinaire, c'est la silice amorphe.

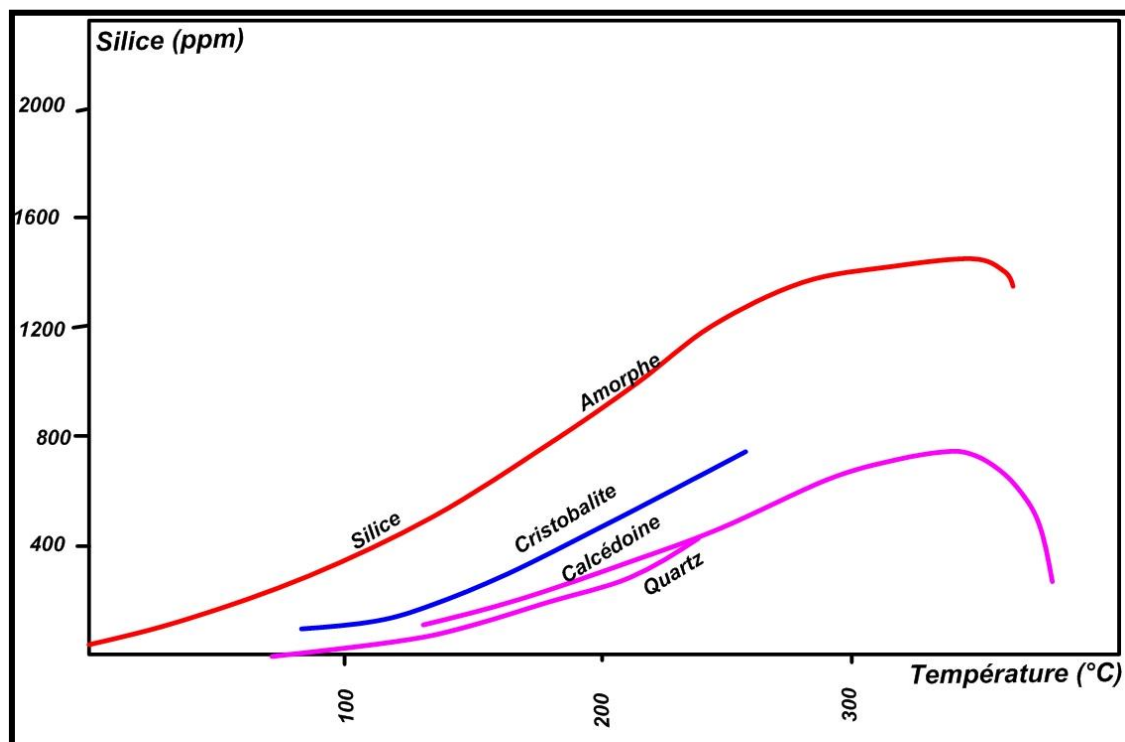


Figure VII.1: Solubilité des différentes espèces de silice avec la température.

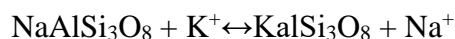
D'après les observations effectuées sur de nombreux champs chauds que la teneur en silice des eaux est davantage liée aux possibilités de mise en solution en profondeur qu'à la solubilité de la silice amorphe qui se trouve en surface ou à proximité.

De nombreuses courbes expérimentales donnant la teneur en silice en fonction de la température de l'eau dans la zone de mélange, ont été proposées, nous avons retenu ici :

- Quartz sans perte de vapeur: $T = (1309 / 5,19 \log \text{SiO}_2) - 273,15$ (04)
 - Calcédoine: $T = (1032 / 4,69 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$ (05)
 - α -Cristobalite: $T = (1000 / 4,78 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$ (06)
 - β -Cristobalite: $T = (781 / 4,51 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$ (07)
 - Silice amorphe: $T = (731 / 4,52 - \log \text{SiO}_2) - 273,152$ (08)
 - Quartz perte de vapeur maximale à 100°C: $T = (1522 / 5,75 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$ (09)
- Où :
- SiO_2 est exprimé en mg/l.

VII.6.2. Géothermomètre Na/K

Une relation entre le rapport Na/K et la température profonde de l'eau a été mise en évidence par (D.E. White. 1965- 1970) puis (A.I. Ellis. 1970). Ils ont mis cette constatation en relation avec l'équilibre :



Les deux feldspaths n'étant pas miscibles, l'équilibre s'écrit en effet $[\text{Na}^+]/[\text{K}^+] = K(T)$.

Les équations correspondantes sont :

- Selon A.J. Ellis: $T = [908 / 0,700 + \log (\text{Na}/\text{K})] - 273,15$ (10)
- Selon R.O. Fournier: $T = [1217 / 1,483 + \log (\text{Na}/\text{K})] - 273,15$ (11)
- Selon A.H. Trusdell: $T = [856 / 0,857 + \log (\text{Na}/\text{K})] - 273,15$ (12)
- Selon Arnorson: $T = [933 / 0,993 - \log (\text{Na}/\text{K})] - 273,15$ (13)

Où :

- Na et K sont exprimés en mg/l;
- T est exprimé en °C.

Ce géothermomètre est généralement utilisé pour estimer les températures élevées des eaux vers 200°C mais qui diverge quelque peu vers 100°C.

L'avantage de ce géothermomètre est qu'il est insensible aux concentrations ou dilutions puisqu'il fait intervenir le rapport de la concentration.

L'inconvénient est que l'on suppose que l'équilibre est atteint et il est bien souvent très difficile de montrer qu'il en est bien ainsi.

VII.6.3. Géothermomètre Na-K-Ca

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

Il est basé sur le rapport Na/K en tenant compte également du calcium. Il a été mis au point pour les eaux riches en calcium ou de température inférieure à 100°C. R.O Fournier et

A.H Truesdell. 1973 ont donné la formule suivante :

$$T = [\log (\text{Na/K}) + \beta \log (\text{Ca /Na})^{1/2} + 2.06] + 2.47] - 273,15 \quad (14)$$

Les concentrations chimiques sont exprimées en mg/l et $B= 4/3$ quand l'équilibre est atteint à une température inférieure à 100°C ou $B= 1/3$ quand l'équilibre est atteint à une température supérieure à 100°C. la racine carré du calcium teint compte de la bivalence de cet élément.

VII.6.4. Géothermomètre CO_3/SO_4

P. Oustriere et M. Leleu 1979, ont mis au point un géothermomètre faisant intervenir les concentrations en sulfates totaux et en carbonates totaux. Les formules de calcul des températures sont :

$$- T = 74.91 \log (\text{CO}_3 / \text{SO}_4) + 192 \quad (15)$$

- Les concentrations sont exprimées en méq/l.

$$- T = 110.42 \log \text{SO}_4 - 150 \quad (16)$$

Les concentrations sont exprimées en mg/l.

VII.6.5. Géothermomètre Na/Li

Fouillac et Michard 1981, ont mis au point un géothermomètre liant le rapport Na/Li à la température s'écrit : $T = (1000 / \log (\text{Na/Li}) - 0.14) - 273$ (17)

VII.7. Application des géothermomètres chimiques

L'utilisation des géothermomètres suppose qu'il n'y a pas de changement chimique significatif de l'eau au cours de sa remontée, malgré les différents refroidissements possibles et souvent remarquables (Bouri. 2007)). Toutefois, pour estimer la température du dernier équilibre thermodynamique, on a appliqué plusieurs géothermomètres, mais il semble que celui de la silice (quartz) qui correspond la température du dernier équilibre thermodynamique est le mieux adapté aux eaux des sources de la région d'étude.

VII.7.1. Géothermomètre Silice

L'application des géothermomètres à silice sur l'ensemble des sources chaudes nous permet de supposer que les eaux des points étudiés sont en équilibre avec le quartz (T1), et avec la calcédoine (T2), mais elles ne le sont pas avec la cristobalite (T4 et T5), ni avec la silice amorphe (T6). On constate aussi que les températures estimées avec les géothermomètres quartz (T1) et calcédoine (T2) sont plus chaudes au niveau des sources de Hammam Boutara et Ouled Yelles, et ne dépassent pas 100 °C pour l'ensemble des sources. Elles représentent une partie plus chaude de l'aquifère et pourraient être dues au contact avec le socle.

Tableau VII.1: Températures estimées par les géothermomètres à silice en °C

Source	T (°C) mesurée	Géothermomètre silice					
		T1	T2	T3	T 4	T 5	T6
Hammam Guergour	48	76,87	80,82	45,39	27,17	-17,90	-35,02
Hammam Dehamcha	30	73,60	77,94	41,96	24,02	-20,81	-37,73
Hammam Boutaleb	52	76,44	80,44	44,94	26,75	-18,29	-35,38
Hammam Ouled Tabben	48	77,87	81,70	46,44	28,14	-17,01	-34,19
Hammam Douar El Kebir	34	74,97	79,14	43,39	25,34	-19,60	-36,60
Hammam Boutara	37	85,88	88,72	54,89	35,88	-9,83	-27,51
Hammam Soukhna	45	78,71	82,44	47,33	28,95	-16,26	-33,49
Hammam Ouled Yelles	40	89,89	92,22	59,15	39,77	-6,20	-24,14

VII.7.2. Géothermomètre Na/K

L'application des géothermomètres Na/K, à permis de constater que ces géothermomètres ont donné des températures supérieures à celles calculées par les géothermomètres à silice, elles dépassent tous les 100 °C. Les calculs basés sur le géothermomètre T9 n'excèdent que rarement cette température.

Tableau VII.2: Températures estimées par les géothermomètres Na/K en °C

Source	T (°C) mesurée	Géothermomètre Na/K			
		T7	T8	T9	T10
Hammam Guergour	48	113,4	115,4	68,5	-1695,8
Hammam Dehamcha	30	107,7	111,1	63,7	-1622,8
Hammam Boutaleb	52	138,2	133,8	88,9	-2087,4
Hammam Ouled Tabben	48	130,7	128,3	82,7	-1952,6
Hammam Douar El Kebir	34	161,4	150,5	107,8	-2624,9
Hammam Boutara	37	132,5	129,6	84,2	-1983,4
Hammam Soukhna	45	116,2	117,6	70,8	-1733,4
Hammam Ouled Yelles	40	265,1	219,5	191,0	-7751,4

VII.7.3. Géothermomètre Na-K-Ca

L'application du géothermomètre Na-K-Ca a donné des températures clairement supérieures à celles calculées par les géothermomètres à silice. Lorsque l'eau dépose du carbonate de calcium on peut observer des températures anormalement élevées, avec des quantités importantes de CO₂ libre. Mais on pourrait également admettre, à leur niveau un apport d'eaux chlorurées sodiques liées au complexe gypsifère qui déplaceraient l'équation $\log (Na/K) + \log (Ca/Na)$ vers des basses valeurs responsables des valeurs excessives calculées (Boudoukha, A. 2012).

Tableau VII.3: Températures estimées par le géothermomètre Na-K-Ca en °C

Source	T (°C) mesurée	Géothermomètre Na-K-Ca
		T11
Hammam Guergour	48	190,8
Hammam Dehamcha	30	181,8
Hammam Boutaleb	52	356,3
Hammam Ouled Tabben	48	121,0
Hammam Douar El Kebir	34	157,5
Hammam Boutara	37	190,7
Hammam Soukhna	45	295,5
Hammam Ouled Yelles	40	179,4

VII.8. Etablissement de carte

L'évolution du paramètre physique (température, ainsi la profondeur d'un réservoir dans son interprétation en iso-valeur est guidée par son aspect géométrique. Pour cela, il est nécessaire d'en établir l'architecture à travers les cartes de gradient géothermique en silice (Quartz) et de profondeur. Ces cartes montrent l'allure et la forme des zones les plus perspectives de point de vue gradient et profondeur, dont il faut analyser et chercher à implanter d'autre Hammam ultérieurement.

III.8.1. Carte du gradient géothermique

La carte montre que les valeurs du gradient sont plus importantes dans les parties ouest, centre et sud de la région les valeurs maximales sont enregistrées aux alentours des sources H. Ouled Yelles (89,89) et H. Ouled Boutara (85,88) et diminuent en allant vers l'est et le nord, la valeur minimale est enregistrée autour du source de H. Dehamcha (73,60).

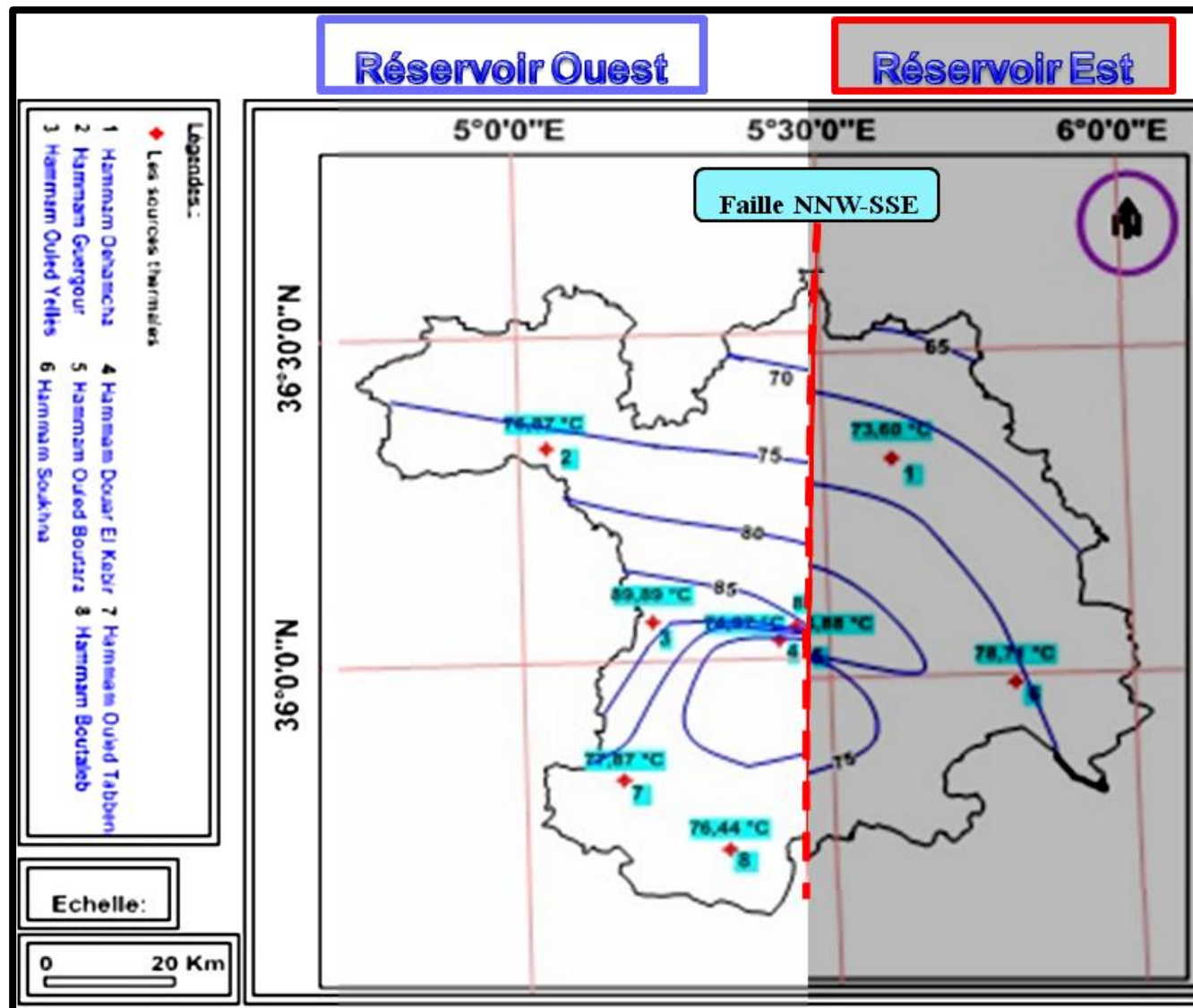


Figure VII.2: Carte du gradient géothermique basée sur des températures estimées par le géothermomètre à Silice (Quartz).

III.4.8. Modèle structural d'écoulement des sources thermo minérales vers la surface

Le complexe thermal de la région de Sétif, est constitué par deux systèmes hydrothermaux (Fig VII.3), l'un profond plus de 3200 m se trouve à l'Ouest, l'autre peu profond environ de 2600 m se trouve dans la partie Est.

D'après ISSAADI 1992, l'alimentation du complexe thermal se trouve plus loin. Alors que, l'analyse de la position structurale en association avec l'analyse géochimique (cartes de gradient, de profondeur et de faciès), nous admettrons de constater que la seule possibilité d'alimentation en eau se trouve dans la partie Ouest au niveau du Djebel Babor et Bibans de Zemmoura.

Les mouvements atlasiques alpins semblent être les principaux responsables des températures élevées dans la partie occidentale (Verdeil, P. 1977), où les eaux se réchauffent ensuite pendant leur remontée vers la surface la minéralisation originelle liée aux formations carbonatées et cristallophylliennes a été masquée par les fortes libérations d'éléments en provenance des évaporites qui lui permettent d'acquérir un second faciès salifère dans la partie orientale.

L'émergence des sources occidentales dans leur majeure partie se trouve aux abords des affleurements qui sont formés par des calcaires, des dolomies et des grès, il est dû à l'existence d'un court-circuit à forte perméabilité entre le gisement thermal et les points d'émergences.

À cet effet, nous allons attribuer à l'existence de deux systèmes hydrothermaux constitués un complexe thermal. Ils sont séparés par des failles d'orientation **NNW-SSE**.

La diminution aussi des valeurs de température et de profondeur se fait en parallèle suivant le circuit d'écoulement, cela, confirme l'existence de deux réservoirs, le premier se trouve à l'Ouest et le deuxième se trouve à l'Est.

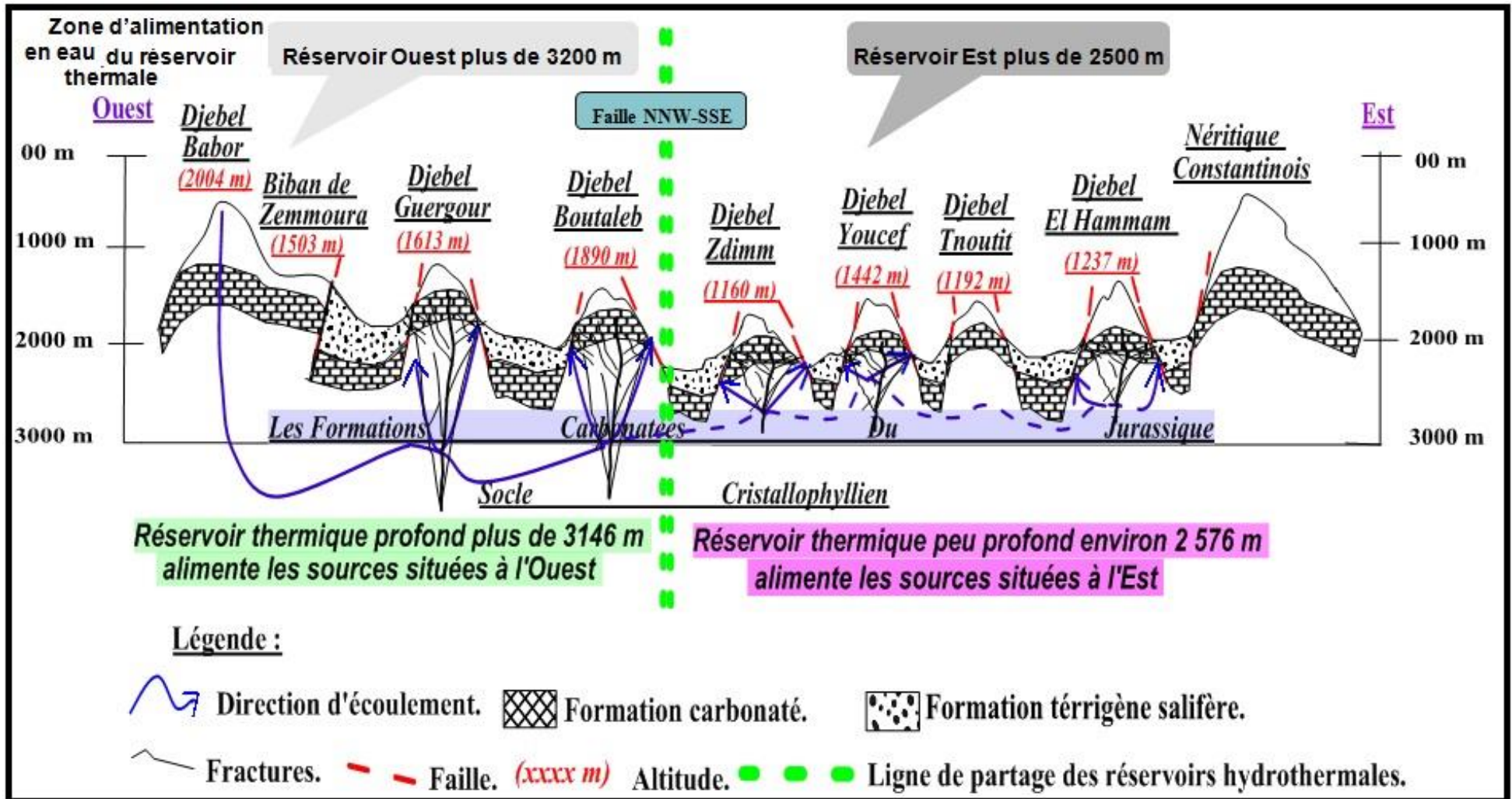


Figure VII.3 : Schémas structural montre le circuit d'écoulement des eaux des sources.

Conclusion

La région de Sétif appartient à une zone où le gradient géothermique est de l'ordre de 35 °C/km-1 , nous permettant d'évaluer la profondeur du réservoir entre 2 600 à 3200 m.

Afin d'estimer la température maximale atteinte par l'eau dans le réservoir lors des derniers équilibres chimiques, et ce à partir de sa composition chimique au point d'émergence, nous avons utilisé les géothermomètres à silice.

L'utilisation de ces géothermomètres suppose qu'il n'y a pas de changement chimique significatif de l'eau au cours de sa remontée. La température de l'eau estimée à l'origine est de 80 °C . Elle est nettement supérieure à celle mesurée à l'émergence, traduit une dissipation moyenne de 48 °C pendant la remontée vers la surface.

Cette dissipation pourrait être due, soit au mélange avec des eaux moins profondes et plus froides, soit à la diffusion thermique liée à un grand circuit d'écoulement de ces eaux pour arrivée en surface.

L'interprétation des cartes en iso-valeur de gradient et de profondeur montre que les valeurs de gradient et de profondeur sont très importantes à l'Ouest et diminuent ont allant vers l'Est. Les valeurs maximales sont enregistrées aux alentours des Sources H, Ouled Yelles et H, Ouled Boutara. Quoique, la valeur minimale soit enregistrée autour du source de H, Dehamcha.

Le modèle structural d'écoulement des eaux thermominérales conforte l'existence de deux systèmes hydrothermaux, l'un à l'ouest profond plus de 3200m, sa minéralisation originelle est liée aux formations carbonatées et cristallophylliennes. L'autre à l'Est moins profond plus de 2600 m sa minéralisation est liée à la libération d'éléments en provenance des évaporites qui lui permettent d'acquérir un faciès salifère.

Conclusion

Générale

L'idée fondamentale qui sous-tend toute l'analyse de cette thèse, est de comprendre et de restituer l'ensemble des mécanismes tectoniques à l'origine de ces émergences et de l'évolution des caractéristiques typologiques des faciès chimiques des sources thermo-minérales dans la région de Sétif.

La région d'étude appartient à la chaîne Alpine qui constitue l'ossature des reliefs de toute l'Algérie septentrionale au nord de la flexure saharienne. Elle fait partie de l'Est Algérien, est un vaste territoire dont le potentiel géothermique est contenu dans les bassins sédimentaires, elle constitue le siège de huit sources.

Sur le plan géologique, les études géologique et géophysique effectuées dans notre région d'étude montre que la thèse allochtonistes favorisée par R.Guiraud, 1973 ; J.M. Vila, 1980 qui défini que le domaine de l'avant pays reposent sur une formation conductrice principalement triasique ne semble plus convaincante, une structure en horst et en graben définis par Kazi Tani, 1986, Chadi 1990 et Coiffait 19901 semble plus acceptable.

Les hautes plaines sétifiennes sont considérées comme un bassin continental fermé rempli par des dépôts néogènes et quaternaires. Ces dépôts forment la couverture d'un substratum très hétérogène varie du Nord au Sud et d'Est à l'Ouest. Ce dernier est essentiellement constitué par les formations de la plate-forme sétifiennes, mais il devient hodnéennes au Sud, tellien au Nord et à l'Ouest et néritique à l'Est.

Sur le plan tectonique, la région montre un dispositif structural très compliqué. Cette complexité se traduit essentiellement par des plissements, des chevauchements, des décrochements et des nappes de charriage.

Cette tectonique a abouti à un système de failles conjuguées de directions NNW-SSE, NW-SE et NE-SW, qui faciliteraient la communication entre les différents réservoirs et l'acheminement des eaux chaudes profondes jusqu'à la surface.

La carte assemblant les relations entre la fracturation et le thermalisme et la rosace globale montrent que la majeure partie des émergences se trouve aux abords des affleurements sur des fractures d'orientations NNW-SSE.

Sur le plan hydrogéologique la seule ressource en eau dans La région d'étude qui offre des possibilités d'énormes réserves d'eaux chaudes est obtenue à partir des aquifères karstiques profonds alimentés à la faveur des fractures des massifs carbonatés du crétacé et du jurassique.

Sur le plan hydroclimatique le climat est du type semi-aride avec une précipitation moyenne annuelle de 400 mm/an. L'évapotranspiration est plus de 97% des précipitations, sous un climat contrasté chaud et sec en été, humide et froid en hiver.

Sur le plan hydrochimique l'ensemble des sources thermominérales émergentes avec

des températures varie entre 30 °C et 52 °C, caractérisant un système géothermal de basse enthalpie et un pH mesuré variant de 6,92 jusqu'à 7,6. La totalité des sources rencontrées présentent des eaux mésothermales sauf Hammam Boutaleb qui présente une eau hyperthermale.

Quatre différents faciès chimiques reconnus ($\text{SO}_4\text{-Ca}$, $\text{SO}_4\text{-Na}$, $\text{HCO}_3\text{-Na}$ et Cl-Na). Un pourcentage élevé de sources, jalonnant les grands accidents, lié aux massifs calcaires ou au socle cristallin sont souvent chauds. Un second groupe, lié aux formations terrigènes salifère.

L'application des diagrammes de l'IIRG permet de dire que les sources sont d'origine profonde, ayant circulé dans un socle cristallophyllien et sous l'effet des failles de direction variées elle atteint dans son circuit vers la surface les formations carbonatées et les formations terrigènes salifères.

Quoique, les rapports caractéristiques, les graphes binaires et les diagrammes de Langelier-Ludwing montrent que les sources liées aux formations évaporitiques se caractérisent par des fortes teneurs en éléments majeurs comme les chlorures, les sulfates, le calcium et le sodium. Elles ont toutes acquies une minéralisation dite secondaire au cours de la remontée et hors du réservoir thermal. La minéralisation originelle liée aux formations carbonatées a été masquée par les fortes libérations d'éléments en provenance des évaporites ainsi l'augmentation de la température des sources agit fortement sur l'accélération des réactions chimiques, confirmant ainsi la mise en solution d'évaporites (gypse et anhydrite).

Les géothermomètres à silice semblent les mieux adaptés dans notre cas. Ils donnent des températures profondes de l'ordre de 80°C. Celles-ci sont supérieures à celles mesurées à l'émergence et traduisent une dissipation moyenne de 48 °C.

L'interprétation des cartes en iso-valeur de gradient et de profondeur montre que les valeurs de gradient ainsi de profondeur sont très importantes à l'Ouest et diminuent vers l'Est.

L'analyse de ces résultats, confrontée au gradient géothermique de la région, nous permettrons de dire que l'aquifère qui alimente les deux réservoirs est emmagasiné dans les calcaires fissurés du jurassique, où les eaux ont circulé à des profondeurs plus de 2600 m.

Enfin, et se basant sur les données géologiques, géophysiques, hydrochimiques et géothermiques, on peut dire que nous sommes arrivés à l'hypothèse qui montre le modèle structural d'écoulement des eaux thermominérales et confirme aussi l'existence de deux systèmes hydrothermaux, l'un se trouve dans les formations carbonatées et cristallophylliennes à l'Ouest profond plus de 3200m et l'autre dans les formations terrigènes salifères à l'Est plus de 2600 m.

Recommandations

Le manque de données en particulier géophysiques (Sismique et diagraphie) et isotopiques ne nous a pas permis d'avoir plus d'informations concernant cet énorme réservoir thermominéral. À cet effet un certain nombre de recommandations peuvent être évoqués :

L'application des méthodes diagraphiques de haute résolution (diagraphies d'imagerie – borehole imaging ex ; FMI et UBI) nous permettrons de voir **l'aspect tectonique et structural** de subsurface et de tracer **le circuit d'écoulement** et le lieu d'emmagasinement de ces eaux.

L'utilisation des techniques isotopiques très développées permettant un suivi dans le temps des **caractéristiques chimique des sources** (taux de mélange et parenté chimique). **d'étudier et de modéliser** les réservoirs hydrothermaux.

Chercher à trouver les meilleures façons de **bénéficier de cette richesse**, comme le cas dans certains pays européens. **Réchauffement** en Islande, **Besoins domestiques** (hôtels) et **Besoins industriels** à la nouvelle Zélande.

Références

Bibliographiques

Bibliographiques

Cette bibliographie comporte les ouvrages effectivement consultés, non seulement ceux qui sont cités dans le texte, mais tous ceux qui sont à la source de cette réflexion universitaire.

- ACHI K. (1970). Etude hydrogéologique de la zone Nord occidentale du bassin du Hodna. Thèse de doctorat 3ème cycle. Université d'Alger.
- APPELO C.A.J. et D. POSTMA (1993). Geochemistry, groundwater and pollution. *J. Hydrol.*, 155, 295-296.
- ATHAMENA, M. (2007). Étude des ressources thermales de l'ensemble allochtone sud sétifien. Mémoire de Magister, Univ. Batna, Algérie, 150 p.
- AVIAS J. PASSAVY J. et VALAT J.L. (1977). Géothermie: Essai de détermination géothermométriques des températures profondes maximales des principales zones hydrothermiques du Languedoc - Roussillon et des Pyrénées Orientales. C.R. acad. SC. Paris. T. 284. Série D. 1025.
- ARCY D. DESOIGNES J. et RISLER J.J. (1975). Documentation sur le thermalisme et les eaux minérales en France. *Annales des Mines F.* page 63 -68.
- BERTRANEU J. (1952). Le massif de Bou Taleb. Stratigraphie. XIX è congrée internationale de géologie monographies régionales. 1ère série Algérie n° 5.
- BOUCHARREB-HAOUCHINE F.Z. (1993). Apport de la géothermométrie et des données de forages profonds à l'identification des ressources géothermiques de l'Algérie du Nord. Application à la région du Hodna. Mémoire de Magister, Univ. Alger, Algérie, 105 p.
- BOUCHARREB-HAOUCHINE F.Z. et A. BOUDOUKHA (2009). Hydro-geochemical and litho-structural approach of deep circulations in the mounts of Hodna, Algeria. *Eur. J. Sci. Res.*, 37, 12-20.
- BOUDOUKHA, A et et ATHAMENA, M. (2012). Caractérisation des eaux thermales de l'ensemble Sud sétifien. Est algérien, *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 25, n° 2, 2012, p. 103-118.
- BOUDOUKHA A. (1998). Hydrogéologie des hautes plaines sétifiennes et hydrochimie des eaux souterraines. Thèse de Doctorat, Univ. Annaba, Algérie, 230 p.
- BOUDOUKHA A. (2008). Identification des aquifères profonds par la prospection électrique. Application à l'Est algérien. *Sci. Technol. A*, 28, 47-52.
- BOUDOUKHA, A, BELKACEM, M (2014) Caractérisation électrique des formations aquifères de l'est algérien. *Courrier du Savoir* 18:77–82.
- BOURI S., M. GASMI, M. JAOUADI, M. SOUISSI, A.MIMI, A. LAHLOU et H. DHIA (2007). étude intégrée des données de surface et de subsurface pour la prospection des bassins hydrogéothermiques cas du bassin de Maknassy (Tunisie centrale). *Hydrol. Sci. J.*, 52, 1298-1315.
- BRADY P.V. et J.V. WALTER (1992). Surface chemistry and silicate dissolution at elevation temperature. *Am. J. Sci.*, 292, 639-658.
- CHAUVE, H. LAMI et C. AIGOUN (2000). Arguments hydrogéochemiques en faveur de Trias évaporitique non affleurant dans le massif du Djurdjura (dorsale kabyle, élément des Maghrébines). *Rev. Sci. Eau*, 13, 155-166.
- CASTANY G. (1967). *Traité pratique des eaux souterraines.*

- CHADI, M. (2004). Cadre géologique et structurale des séries crétacées néritiques du Constantinois (Est -Algérien), Doctorat d'état Université, Constantine, 219 p.
- CHULLI B., J. MAKNI, M. BEDIR et H. BENDHIA (2011). Une approche multidisciplinaire pour la prospection des bassins hydrogéothermiques: cas du Sahel de Sfax (Tunisie orientale). *Hydrol. Sci. J.*, 56, 507-520.
- COIFFAIT P.E. et J.M. VILA (1976). La série des Azerou (région des Biban, Algérie), un témoin de la plate-forme néritique sétifienne sous la nappe bibanique. *C.R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, 269-271, Paris, France.
- CORMY, G. DAMIANS, J ARCHIMBAULD (1970). Les possibilités géothermiques de l'Algérie. Vol. 2. Part 1.
- D'AMORE, F.G. SCANDIFIO et PANICHI, C. (1983). Some observations on the chemical classification of ground waters. *Geothermics*, 12, 141-148.
- DEMDOUM, A (2010). Etude hydrochimique et impact de la pollution sur les eaux de la région d'el eulma. Thèse doct, Sc .Univ de Constantine, 205p.
- DHW (1973). Logs stratigraphique et hydrogéologique des forages (Fr-Fdj) de Sétif.
- DIB-ADJOU, H. (1985). Le thermalisme de l'Est algérien. Thèse de Doctorat, Univ. Alger, Algérie, 281 p.
- DJEMMAL, S. et BENMOUSSA, S. (2006). Origine de la salinité des eaux souterraines dans la partie S-E de la wilaya de Sétif, Mém, ingénierat, Université de Mentouri Constantine, 190p.
- DJEMMAL, S. (2009). L'effet de la sebkha sur la qualité des eaux souterraines dans la partie Sud-Est de la wilaya de Sétif cas de Guidjal, Mém, magister, Université de Mentouri Constantine, 151p.
- DJIDI, K, BAKALOWICZ, M. et BENALI, A. (2008). Mixed, classical and hydrothermal karstification in a carbonate aquifer hydrogeological consequence. The case of the Saida aquifer system, Algeria. *C.R. Geosci.*, 340, 462–473.
- DPAT (2010). Annuaire statistique de la Wilaya de Sétif. pp 3,49,87-97.
- DSA, (2015). Direction d'Agriculture et du Développement Rural, Rapports de la DSA, Algérie, pp.8-16.
- DUBOURDIEU G. (1956). Etude géologique de la région de l'Ouenza (confins Algéro-Tunisiens). Service de la carte géologique de l'Algérie.
- DURAND DELGA, M (1969). Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie, *Publ. Serv. Carte géol. Algérie, N. S., Bull. n°39*, 9 fig, pp 89-131.
- FEKRAOUI, A. (2007). Caractéristiques géochimiques des eaux géothermales de la région d'Oran. *Rev. Ener. Renouv.* 07, 75–80.
- FACCA, G. (1966). Appréciations sur les possibilités géothermiques de l'Algérie du Nord-Est.
- FABRE, J. (1976). Introduction à la géologie du Sahara algérien. S.N.E.D. Edit. Alger.

- FRITZ, B. (1981). Etude thermodynamique et modélisation des réactions hydrothermales et diagénétiques. Mémoire n° 65. Inst. de géologie. Université L. Pasteur Strasbourg.
- GLAÇON, J. (1967). Recherches sur la géologie et les gites métallifères du Tell sétifien. Bull. Serv. Geol. Alger, 552 p.
- GUIGUE, S. (1940). Les sources de l'Algérie. Etude géochimique. Tome 1.
- GUIGUE, S. (1947). Les sources de l'Algérie. Etude géochimique. Tome 2.
- HSISSOU Y, P. CHAUVE, J. MANIA, A. MANGIN, M. BAKALOWICZ et A. GRAIZ (1996). Caractérisation des eaux de l'aquifère du Turonien du bassin de Tadla (Maroc) par le rapport des concentrations molaires Sr^{2+}/Ca^{2+} . J. Hydrol., 183, 445-451.
- ISSAADI A. (1992). Le thermalisme dans son cadre géostructural, apports à la connaissance de la structure profonde de l'Algérie et de ses ressources géothermales. Thèse de Doctorat, Univ. Alger, Algérie, 274 p.
- ISSAADI, A. (1996). Mécanismes de fonctionnement des systèmes hydrothermaux. Application aux eaux algériennes et aux eaux de Hammam Bou-Hadjar. Bull. Ser. Géol. Algérie, 7, 71-85.
- ISSAADI, A. et BOUCHARB-HAOUCHINE, F.Z. (1997). Estimation du flux de chaleur en Algérie du Nord à partir de la thermométrie silice. Bull. Ser. Geol. Algérie, 8, 29-39.
- JEANTIN, M. (1979). Les sources minérales carbogazeuses de la haute Ardèche. Etude géologique et hydrogéologique. Thèse Sème cycle. Université de Grenoble.
- LAHLOU MIMI, A., H. BENDHIA, S. BOURI, A. LAHRECH, L. BENABIDET et F.Z. BOUCHARB-HAOUCHINE (1998). Application of chemical geothermometers to thermal springs of the Maghreb. North Africa. Geothermics, 27, 211-233.
- LAKHDAR, A., NTARMOUCHENT, A., RIBEIRO, M, BEQQALI, M, K. EL OUADECHE, L. BENABIDETE, M. DAHIRE, Y. DRIOUCHE et BENSLIMANE, A. (2006). Nouvelle approche géologique et géodynamique du complexe hydrothermal de Mouley Yakoub (Bordure septentrionale du sillon Sud Rifain). Comunicações Geológicas, 93, 185-204.
- LAMBRAKIS, N et KALLERGIS, G. (2005). Contribution to the study of Greek thermal springs: hydrogeological and hydrochemical characteristics and origin of thermal waters. Hydrogeol. J., 13, 506–521.
- LAISSOUB, B. (1974). Etude des eaux minérales, thermales et en Oranie. Thèse Institut des Sciences médicales. Oran; le 34.
- MEBARKI, A. (2009). Ressources en eau et aménagement en Algérie. Les bassins hydrographiques de l'Est. Office des Publications Universitaires, Algérie, 389 p.
- MEZERZI, A. (2015). Les formations évaporitiques triasiques des Hautes Plaines Sétifiennes (NE Algérien). Répartition et caractérisation des substances minérales associées. Mém, magister, Université de Mentouri Constantine, 170p.
- O.N.M Sétif (2010). Données climatologiques.
- KIEKEN M. (1961). Les traits essentiels de la géologie algérienne. Livre à la mémoire

de P. FALLOT. C.1 62 p. 545 - 614 - 10 f - 6 pl.

- RODIER J. (1996). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^e édition, DUNOD (éditeur), Paris, 1365 p.
- RACHID, N (1987) Etude hydrogéologique et hydrochimique des eaux thermales du centre algérien (Nord). Geochemistry. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, French.
- SAIBI, H (2015). Geothermal resources in Algeria. In: Proceedings world geothermal congress, Melbourne, Australia, 19-25.
- SARROT REYNAUD, J. SALEHI E. (1977). Détermination des taux de mélange des eaux et superficielles par utilisation des géothermomètres chimiques en Azerbaïdjan oriental. Iran. 102^e congrès national des sociétés savantes. Limoges fasc. II page 191 - 202.
- SARROT REYNAUD, J. POULAIN P,A et MARCE, A. (1977). Tectonique et anomalies géothermiques des sources des bordures orientales et méridionales du massif du Pelvoux. Géologie alpine Tome 53.
- SCHOELLER, H. (1975). Le problème thermique et chimique des eaux thermales Symposium International sur les problèmes thermiques et chimiques des eaux thermales. Grenoble.
- SCHOELLER, H et M. (1977). Le géothermomètre basé sur les rapports cations sur Silice de l'eau thermale et de l'aquifère profond. C.R. acad. Paris t 284. Série D. 1273.
- SONATRACH, (1994). Synthèse des travaux géologiques et géophysiques (sismique, gravimétrie et aéromagnétisme) sur le permis de Sétif. 31 p.
- TOUBAL, A. (2005). Regard sur les perspectives hydrogéologiques profondes des hautes plaines sétifiennes à travers la prospection électrique. Bull. Serv. Geol. Algérie,16, 55-67.
- VERDEIL, P. (1975). Aperçu sur les eaux minérales thermales et de l'Algérie du Nord dans leur contexte géotectonique (en coll. avec H. Gonad) C.R. séminaire nat. de géologie Alger.
- VERDEIL, P. (1977). Le thermalisme algérien dans son cadre géostructurale (en coll. avec H. Gonad et J. Grevellec) 5^e réunion des Sciences de la terre. Rennes.
- VILA, J.M (1980). La chaîne alpine d'Algérie orientale et les confins algéro-tunisiens. Thèse de Doctorat, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, France, 665 p.
- WILDI, W. (1983). La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. Rev. Geol. Dynam. Geogr. Phys., Paris, Masson, 201-297.

ANNEXES

Section sismique du programme 87 ST du périmètre de Sétif.

Analyses chimiques (en mg/l) et paramètres physico-chimiques des sources .

Sources	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Sr ⁺⁺	SiO ₂	pH	T°C	Conductivité
Guergour	641,28	77,76	392	8,8	739,6	1890	268.4	9,96	28,2	7,22	48	3160
Dehamcha	124,24	21,87	218	4,51	298,2	80	549	2,1	26	7,2	30	1170
Boutaleb	380,76	70,47	820	25,5	546,4	960	378.2	3,4	27,9	7,6	52	3110
Ouled Tabben	769,53	48,6	180	5,09	426	1680	38.4	2,8	28,9	6,92	48	2350
Douar El Kebir	200,4	58,32	144	5,87	284	530	591.7	2,3	26,9	7,03	34	1265
Boutara	180,36	19,44	226	6,54	284,1	510	488	0,01	35	7,35	37	1300
Soukhna	200,4	41,31	554	12,93	830,7	260	524.6	2,95	29,5	7,29	45	2800
Ouled Yelles	284,56	65,61	126	12,98	404,7	690	829.6	3,4	38,4	6,95	40	1500

Formule caractéristique

Sources	Formule caractéristique	Faciès chimiques
Hammam Guegour	Ca ⁺⁺ >Na+K>Mg ⁺⁺ / SO ₄ ⁻ > Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻	Eau sulfaté calssique
Hammam Dehamcha	Na+K>Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ / HCO ₃ ⁻ > Cl ⁻ > SO ₄ ⁻	Eau bicarbonaté sodique
Hammam Boutaleb	Na+K>Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ / SO ₄ ⁻ > Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻	Eau sulfaté sodique
Hammam Ouled Tabben	Ca ⁺⁺ >Na+K>Mg ⁺⁺ / SO ₄ ⁻ > Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻	Eau sulfaté calssique
Hammam Douar El Kebir	Ca ⁺⁺ >Na+K>Mg ⁺⁺ / SO ₄ ⁻ > HCO ₃ ⁻ > Cl ⁻	Eau sulfaté calssique
Hammam Boutara	Na+K>Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ / SO ₄ ⁻ > HCO ₃ ⁻ > Cl ⁻	Eau sulfaté sodique
Hammam Soukha	Na+K>Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ / Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ⁻	Eau chloruré sodique
Hammam Ouled Yelles	Ca ⁺⁺ >Na+K>Mg ⁺⁺ / SO ₄ ⁻ > HCO ₃ ⁻ >Cl-	Eau sulfaté calssique

Etat de PH

Sources	PH	Etat
Hammam Guegour	7,22	Eau basique
Hammam Dehamcha	7,2	Eau basique
Hammam Boutaleb	7,6	Eau basique
Hammam Ouled Tabben	6,92	Eau acide
Hammam Douar El Kebir	7,03	Eau basique
Hammam Boutara	7,35	Eau basique
Hammam Soukha	7,29	Eau basique
Hammam Ouled Yelles	6,95	Eau acide

Classification des eaux selon la conductivité électrique

Sources	Minéralisation (mg/l)	Conductivité (µS/cm)	Classe
Hammam Guegour	4017,84	3160	2
Hammam Dehamcha	1295,82	1170	1
Hammam Boutaleb	3181,33	3110	2
Hammam Ouled Tabben	3147,62	2350	2
Hammam Douar El Kebir	1814,29	1265	1
Hammam Boutara	1714,44	1300	1
Hammam Soukha	2423,94	2800	2
Hammam Ouled Yelles	2413,45	1500	1

Classification des eaux selon la température mesurée

Sources	Température	Type
Hammam Guegour	48	Eau mésothermale
Hammam Dehamcha	30	Eau mésothermale
Hammam Boutaleb	52	Eau hyperthermale
Hammam Ouled Tabben	48	Eau mésothermale
Hammam Douar El Kebir	34	Eau mésothermale
Hammam Boutara	37	Eau mésothermale
Hammam Soukha	45	Eau mésothermale
Hammam Ouled Yelles	40	Eau mésothermale

STATION : SETIF**PRECIPITATIONS : moyennes mensuelles en mm et 1/10èmes****Code station : 150612**

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Annuel
1985	39.1	35.1	29.6	35.9	46.8	19.4	87.0	40.8	57.5	0.9	16.8	0.0	40.9
1986	47.2	48.7	51.3	47.3	39.7	33.2	64.8	25.6	36.8	17.9	8.3	11.5	43.2
1987	5.4	29.1	39.6	32.4	22.3	71.6	15.6	12.7	44.4	8.8	29.4	8.8	32.0
1988	28.8	5.4	37.4	132.9	23.8	11.9	42.0	41.5	52.8	37.3	10.8	0.0	42.5
1989	48.0	24.4	11.6	14.2	23.7	34.3	25.2	60.4	52.2	72.7	12.3	24.1	40.3
1990	36.1	4.2	74.4	528	35.2	2.1	23.3	49.9	65.6	30.4	10.5	13.9	39.8
1991	26.6	88.6	29.3	205	6.5	39.9	56.5	28.3	80.5	11.5	9.8	3.2	40.1
1992	69.8	16.1	35.1	837	34.4	34.8	32.4	66.5	73.2	19.7	37.8	1.5	50.5
1993	28.4	4.3	54.4	40.2	26.4	41.5	27.9	12.5	62.8	1.5	0.7	18.6	31.9
1994	77.3	55.0	5.6	16.4	26.0	32.0	21.1	23.8	2.7	0.0	9.5	3.5	27.3
1995	44.5	37.1	22.3	25.4	94.0	25.7	63.0	41.9	3.7	61.8	0.0	3.0	42.2
1996	18.8	9.2	10.7	29.7	62.0	92.4	47.9	52.9	69.2	22.9	9.1	18.1	44.3
1997	84.5	45.1	69.4	43.7	32.4	7.7	4.5	37.3	20.3	20.8	10.5	26.2	40.2
1998	120.0	16.5	57.9	23.2	9.6	39.7	13.1	42.6	101.2	19.4	0.8	11.9	45.6
1999	85.5	50.1	23.9	80.9	65.3	15.9	19.4	8.4	4.3	25.4	0.0	4.9	38.4
2000	39.4	47.3	15.2	61.3	5.9	5.7	21.5	28.9	61.9	20.3	0.0	23.9	33.1
2001	47.2	14.4	37.1	8.5	79.3	20.1	8.6	13.2	19.3	0.0	0.0	4.0	25.2
2002	4.3	10.1	101.2	67.4	22.7	24.0	29.3	8.8	24.2	1.5	44.2	33.8	37.2
2003	30.2	69.3	14.0	85.7	115.8	29.0	37.6	63.2	43.8	59.4	13.7	22.4	58.4
2004	17.4	37.4	50.2	101.2	42.5	18.4	34.1	68.8	73.6	16.4	0.0	32.6	49.3
2005	26.9	22.7	68.7	52.3	28.0	39.8	14.2	50.6	1.0	35.9	20.0	8.7	36.9
2006	52.0	1.0	9.1	45.0	61.8	37.0	9.8	42.4	88.0	7.4	37.8	3.2	39.45
moyenne	44.4	30.5	38.5	50.0	41.1	30.7	31.8	37.3	47.2	22.4	12.8	12.6	399.4

STATION DE BENI FOU DA**PRECIPITATIONS : moyennes mensuelles en mm et 1/10èmes****Code station : 150610**

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Annuel
1985	35.5	37.7	16.3	35.7	56.9	28.3	175.9	36.8	49.1	0.0	21.3	0.0	49.4
1986	43.8	37.7	54.1	78.1	49.9	21.7	73.2	26.9	17.7	14.7	5.9	0.3	43.8
1987	1.2	37.7	55.3	32.0	38.0	79.3	40.6	18.9	43.2	6.0	14.3	5.5	35.0
1988	28.3	37.7	21.9	194.4	39.8	10.5	62.7	40.8	33.8	28.2	2.7	2.7	46.6
1989	39.6	37.7	9.7	7.3	40.8	60.6	72.9	55.2	24.8	52.3	14.6	11.7	42.4
1990	11.5	37.7	133.1	886	54.1	0.0	23.9	76.9	93.8	27.9	10.9	15.6	53.8
1991	33.8	37.7	27.9	177	20.4	66.1	78.5	29.4	85.1	4.2	4.8	3.2	45.8
1992	22.7	37.7	47.1	1525	45.4	22.3	28.4	106.9	60.1	14.3	43.9	1.2	55.8
1993	13.0	37.7	17.0	72.6	39.2	55.2	19.2	11.7	35.6	0.0	0.0	7.8	27.6
1994	45.3	37.7	2.2	51.2	29.7	73.3	18.5	34.1	3.5	0.0	7.4	0.5	31.1
1995	37.6	37.7	15.9	17.9	148.6	27.2	48.5	43.5	6.9	44.1	0.6	18.9	44.2
1996	11.1	37.7	15.7	46.0	51.9	131.5	33.9	36.4	50.1	47.7	2.2	15.8	44.2
1997	29.1	37.7	64.6	66.4	31.4	8.6	7.2	39.0	15.5	24.4	1.1	7.4	32.9
1998	87.3	37.7	115.9	65.9	14.5	47.1	19.4	54.9	83.8	5.8	0.0	4.0	52.6
1999	44.4	37.7	22.1	113.8	86.8	20.9	22.0	12.8	11.4	10.3	3.4	2.2	39.6
2000	15.5	37.7	10.9	78.6	15.2	10.5	19.1	20.0	39.4	31.0	0.0	16.6	29.0
2001	41.5	37.7	12.2	16.0	161.0	20.5	16.2	21.6	29.7	0.0	0.0	17.0	34.1
2002	8.2	37.7	177.8	155.1	29.7	46.3	18.4	12.7	36.3	0.0	9.5	24.5	52.9
2003	16.2	37.7	22.1	133.9	198.1	27.2	44.3	84.5	37.9	4.5	9.2	14.7	64.0
2004	49.2	37.7	74.0	170.2	88.0	19.7	37.4	74.5	98.0	10.1	21.7	17.0	68.2
2005	46.0	37.7	55.6	66.8	53.8	68.9	19.1	51.5	3.0	11.1	4.2	5.0	39.3
2006	57.6	37.7	7.6	57.9	92.9	51.5	36.4	27.6	88.5	2.5	12.0	11.6	44.6
moyenne	32.7	37.7	44.5	78.1	63.0	40.8	41.6	41.7	43.1	15.4	8.6	9.2	456.4

STATION DE GUELLAL**PRECIPITATIONS : moyennes mensuelles en mm et 1/10èmes****Code station : 150613**

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Annuel
1985	15.9	37.2	17.1	24.2	33.1	27.7	126.4	26.4	64.4	2.3	21.0	0.0	39.6
1986	56.6	48.2	23.7	100.3	32.4	12.5	72.6	16.6	19.1	26.8	0.0	30.8	44.0
1987	0.0	27.4	18.7	28.2	15.8	38.6	27.4	10.9	52.6	2.4	14.4	15.6	25.2
1988	18.1	4.0	23.7	83.6	1.2	7.0	21.3	27.6	46.2	32.8	0.0	0.0	26.6
1989	52.2	7.5	4.9	11.9	14.0	9.5	8.2	48.4	33.3	67.6	37.8	18.9	31.4
1990	36.5	3.0	50.6	396	21.2	0.9	26.2	67.3	84.6	26.8	14.1	23.1	39.4
1991	33.5	71.9	26.3	162	8.9	35.1	75.6	25.8	76.5	35.2	3.5	3.8	41.2
1992	29.8	27.6	33.1	97	44.6	28.2	62.1	43.2	58.7	20.2	23.2	1.2	38.2
1993	24.9	3.1	43.6	21.7	26.1	49.2	31.3	4.9	37.4	0.0	2.6	5.2	25.0
1994	65.8	73.6	6.6	18.9	23.7	19.2	24.6	22.3	0.0	0.0	17.0	24.1	29.6
1995	47.7	7.2	8.5	18.8	109.8	26.9	73.5	32.2	0.0	25.7	1.8	0.0	35.2
1996	11.0	7.2	7.1	20.6	61.2	57.0	51.3	38.1	66.7	53.5	19.5	16.6	41.0
1997	55.8	37.3	39.1	59.9	26.2	7.7	4.2	56.2	6.0	20.8	11.5	15.9	34.1
1998	75.8	12.5	38.4	7.7	6.1	13.1	6.1	42.9	66.4	16.5	0.0	23.7	30.9
1999	28.2	55.2	26.4	80.5	54.3	24.9	15.5	10.0	6.2	13.5	10.9	4.2	33.0
2000	46.4	22.3	23.4	53.0	1.2	7.5	14.0	7.9	93.5	8.7	1.3	19.2	29.8
2001	43.4	11.8	44.8	7.3	55.8	33.3	11.3	0.0	18.8	0.0	0.0	1.6	22.8
2002	8.5	13.5	83.6	45.9	22.0	17.9	22.6	9.4	14.2	3.6	11.8	58.7	31.2
2003	34.9	86.1	18.4	63.1	109.8	36.4	26.3	69.9	37.8	16.8	0.0	16.4	51.6
2004	26.9	29.1	55.7	105.1	47.2	12.9	38.1	59.1	0.0	17.7	0.0	19.8	41.2
2005	20.6	19.1	80.4	54.7	27.5	52.6	23.7	33.1	0.0	10.8	12.6	8.9	34.4
2006	69.8	7.3	22.7	42.1	59.7	56.1	8.7	70.7	60.9	13.2	2.6	5.8	42.0
moyenne	36.5	27.8	31.7	41.5	36.4	26.1	35.0	32.9	38.3	18.9	9.3	14.3	348.7

STATION : SETIF
TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES DES MAXI
(en degrés Celcius et 1/10 èmes)

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
1985	26.8	20.1	15.2	10.9	6.5	15.0	10.6	18.0	19.9	31.0	34.7	32.5
1986	26.9	19.5	12.9	8.2	8.3	10.1	12.0	15.9	25.6	28.4	31.7	34.2
1987	30.3	23.8	12.8	12.8	8.4	9.7	12.8	19.3	21.2	29.4	32.8	34.3
1988	26.2	23.7	14.6	8.3	11.2	11.5	13.0	19.3	24.1	27.9	34.9	33.8
1989	27.0	21.2	17.1	14.3	9.6	11.2	16.5	15.5	23.6	25.9	32.2	32.8
1990	30.3	22.9	13.6	70	9.2	17.2	15.6	16.4	21.1	31.1	31.3	30.6
1991	27.8	18.9	14.1	90	9.5	9.0	13.6	13.3	18.5	27.0	33.3	32.6
1992	28.9	21.1	16.2	106	8.6	11.5	12.0	14.9	21.2	25.1	30.1	33.0
1993	26.3	22.1	13.5	11.2	10.5	8.7	12.8	17.4	22.9	31.4	32.2	33.3
1994	27.1	19.8	16.6	11.8	9.6	12.2	16.9	15.2	27.8	29.9	34.6	35.8
1995	25.9	21.5	15.3	12.2	7.6	14.3	12.5	16.5	24.6	28.2	33.6	31.2
1996	24.8	19.9	15.7	12.1	11.1	8.3	13.3	15.9	21.0	25.5	31.5	32.6
1997	25.2	19.9	13.5	10.6	10.4	14.4	15.5	17.5	25.6	31.7	32.9	31.0
1998	27.5	19.0	13.8	9.3	10.4	12.4	14.0	18.1	19.9	29.8	34.1	31.9
1999	28.0	23.0	12.4	9.4	9.7	8.1	14.0	19.1	27.4	31.3	32.6	35.4
2000	27.7	18.6	15.2	12.6	9.1	13.6	16.6	19.5	26.3	28.8	33.9	32.8
2001	26.7	26.2	13.8	10.2	10.3	11.1	18.9	17.8	22.6	30.9	34.6	33.3
2002	26.5	22.9	13.8	11.3	11.2	14.1	16.3	19.1	25.0	31.6	32.7	31.0
2003	26.1	21.0	14.9	9.0	8.0	8.1	14.7	17.7	23.5	30.7	35.5	33.4
2004	27.4	24.5	12.9	9.3	10.2	13.5	15.4	15.7	18.8	28.4	33.5	34.2
2005	26.3	22.5	14.5	8.6	8.2	6.8	15.2	17.6	26.9	30.4	35.1	31.8
2006	26.2	24.8	16.5	10.6	7.6	9.3	15.9	20.9	25.7	30.7	33.4	32.3
moyenne	27.1	21.7	14.5	10.4	9.3	11.4	14.5	17.3	23.3	29.3	33.2	32.9

STATION : SETIF
TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES DES MINI
(en degrés Celcius et 1/10 èmes)

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
1985	15.0	9.9	6.9	2.8	-0.2	5.2	2.2	7.2	9.3	16.9	20.7	18.5
1986	14.8	11.3	5.4	1.7	0.8	1.8	3.6	5.1	12.5	14.7	17.2	19.7
1987	17.7	13.2	5.3	5.0	0.3	1.8	3.6	8.1	9.3	15.4	19.6	20.9
1988	14.3	12.7	6.8	1.2	3.6	1.4	3.5	7.5	11.9	15.2	20.8	20.0
1989	15.7	10.7	7.7	5.6	1.2	2.3	5.4	5.3	10.6	13.6	18.7	20.0
1990	17.9	12.2	6.4	9	2.6	4.6	5.2	6.0	11.5	17.5	17.6	17.6
1991	15.8	10.3	4.6	10	1.1	0.9	5.1	4.8	6.3	14.6	18.6	18.6
1992	15.7	10.1	7.5	28	0.4	1.4	3.4	5.2	9.7	12.0	16.3	19.0
1993	14.7	11.8	5.8	2.7	0.7	1.3	2.6	5.8	10.8	16.5	19.1	19.9
1994	16.5	11.3	6.9	2.5	2.2	2.3	6.1	4.1	13.5	15.1	20.3	21.8
1995	14.2	11.3	5.9	4.6	0.8	4.0	3.4	4.6	11.6	14.9	19.5	18.0
1996	12.8	8.5	5.8	4.0	3.8	1.3	4.3	6.5	9.8	13.1	18.2	19.3
1997	15.2	11.5	6.5	3.6	3.3	4.0	3.5	6.8	13.5	18.4	19.5	19.0
1998	16.4	9.0	5.4	1.9	2.5	3.3	4.3	7.1	10.4	17.0	20.2	19.5
1999	16.7	14.1	5.4	2.2	2.8	0.4	4.3	7.2	15.0	16.4	19.1	22.6
2000	16.4	9.7	6.3	4.2	-0.2	3.1	5.8	8.1	14.3	16.6	20.7	20.3
2001	15.8	14.8	5.8	1.7	2.7	1.9	8.4	7.0	11.4	17.5	21.0	20.4
2002	20.2	16.9	9.9	7.0	5.8	7.9	10.5	13.0	18.1	24.7	25.5	24.1
2003	15.5	12.9	6.7	2.0	2.0	0.7	4.9	8.3	11.7	18.0	21.9	20.8
2004	15.1	13.5	4.8	2.9	1.9	3.7	5.4	6.2	8.4	15.4	19.6	20.6
2005	14.7	12.0	5.7	1.9	-0.7	-0.5	5.6	7.6	13.0	17.0	20.7	18.6
2006	14.8	13.6	7.1	3.6	0.7	0.9	0.5	10.0	14.6	17.8	20.3	18.4
moyenne	15.7	11.9	6.3	3.0	1.7	2.4	4.6	6.9	11.7	16.3	19.8	19.9

ABSTRACT

Study of the thermo mineral springs of the Setif city in their structural context (Eastern Algeria)

Setif city covers an area of 6549.64 km²; it is located about 300 km southeast of Algiers and 100 km to the south of the Mediterranean sea.

The aim of our study is to know the tectonic mechanisms responsible for the emergencies and to highlight their chemical characteristics of water springs in Setif.

Wherein thermalism is characterized by the presence of a number of thermal springs, the latest are usually related to recent large fractures deeply affecting the sedimentary formations and sometimes even crystallin basement. These fractures are often injected by Triassic evaporates; their directions are NNW–SSE, NW–SE, and NE–SW and limiting great structural units.

Four groundwater facies were identified: the high percentage of sources, staking major accidents related to limestone mountains or to the basement, shows a calcium or sodium sulfate facies; and the sources are often hot (meso or hyperthermal). A second group, related to terrigenous saliferous formations, shows a sodium bicarbonate or sodium chloride facies.

The geothermic interpretation allows us to conclude that the reservoir supplies the two aquifer systems of the thermal complex, and is stored in fissured Jurassic limestone, where water storage and circulation is beyond 2600 m deep.

Keywords : Springs, Thermalism, Reservoir, Fractures, Setif, Algeria.

RESUMÉ

Étude des sources thermo minérales de la région de Sétif dans leur contexte structural (Est Algérien)

La région de Sétif s'étend sur une superficie de 6549.64 km². Elle est située à environ 300 km au Sud-Est d'Alger et à 100 km au Sud de la Méditerranée.

L'objectif de notre étude à une tendance de savoir les mécanismes tectoniques responsables de ces émergences et de mettre en évidence leurs caractéristiques chimiques des sources thermo minérales.

Le thermalisme Sétifien est caractérisé par la présence de certain nombre de sources chaudes, généralement liées à de grandes fractures profondes et récentes affectant profondément les formations sédimentaires et parfois même le socle cristallin. ces fractures sont souvent injectées d'évaporites triasiques. Leurs directions respectives sont NNW-SSE, NW-SE et NE-SW et limitant les grands ensembles structuraux.

Quatre différents faciès chimiques reconnus: un pourcentage élevé de sources, jalonnant les grands accidents, lié aux massifs calcaires ou au socle, montre un faciès sulfatés calcique ou sodique et sont souvent chaudes (mésos ou hyperthermales). Un second groupe, lié aux formations terrigènes salifères, montre un faciès bicarbonaté sodique ou chloruré sodique.

L'interprétation géothermique permet de conclure que le réservoir qui alimente les deux systèmes aquifères du complexe thermal est emmagasiné dans les calcaires fissurés du Jurassique, où les eaux ont circulé à des profondeurs plus de 2600 m.

Mots clés : Sources, Thermalisme, Réservoir, Fractures, Sétif, Algérie.