

N° d'ordre

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'Oran
Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et de l'Aménagement du



Territoire
Département des Sciences de la Terre



Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade

Master en Géologie

Option : **Eaux Souterraines et Environnement**

Thème :

Contribution à l'étude hydrogéologique de la région de Sidi Slimane (Daira de Bourdj Bounaama, Wilaya de Tissemsilt, Algérie).

Présenté par :

CHARIF Asmae

Soutenu le : 26-09-2017

Membres du jury :

MANSOUR Hamidi	Président	Univ d'Oran 2	Professeur
BOURSALI Tewfik	Encadreur	Univ d'Oran 2	Maitre-Assistant A
ABLAOUI Halima	Examinatrice	Univ d'Oran 2	Maitre Assistante A

Oran 2017

Remerciement

Avant tout, je remercie DIEU le tout puissant qui m'a donné sagesse et santé afin de réaliser ce modeste travail ;

Au terme de ce travail, il m'est très agréable d'adresser mes vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Tout d'abord, je tiens à exprimer ma gratitude envers Mr. BORSALI Toufik professeur à l'université d'Oran2, mon promoteur qui m'a fait confiance et bien voulu m'encadrer. Je le remercie de m'avoir fait bénéficier de ses connaissances et ses critiques qui m'ont beaucoup aidé à l'amélioration de ce travail.

Je tiens à remercier pleinement, Mr. MANSOUR.H Maître de conférences à l'université d'Oran2, de m'avoir fait l'honneur de présider ce jury. Je remercie également, Mme. ABLAOUI Halima maître assistante à l'université d'Oran2 pour ses encouragements et d'avoir bien voulu examiner ce mémoire.

Mes vifs remerciements vont également à l'ensemble des enseignants du Département des Sciences de la Terre, en particulier ceux de la filière Hydrogéologie pour leurs précieuse aide

Dédicaces

C'est avec plaisir que je dédie ce modeste travail :

A Ceux qui sont ma raison d'être, ma source d'énergie et de savoir ceux qui ont sacrifié par tout ce qu'ils ont pour juste me voir heureuse à MES PARENTS et MES GRANDS-PARENTS.

A Mes frères : Mohamed Amine, Ahmed Abd El malek et

Mes sœurs : Sara et Ayat El Rahman.

Mes deux meilleurs amis : Souhila et Hakim.

Mes très chères amies : Asmaa, Soumia, Amina, Kheira, Sabrina, Fatoh, Choumaissa, Hadjer, Nawal, Maha, Khansaa, Khawla, Amira, Nadjiba, Nacira, Kamel et Ammar.

A toute la famille : Charif.

A tous mes amis de la science de la terre et de l'univers et spécialement ma promotion 2012/2013

Je dédie tous les gens qui ont participé pour la réussite de ce travail du proche ou du loin.

TABLE DES MATIERES

<i>Titre</i>	Page
<i>Table des matières</i>	
<i>Liste des figures</i>	
<i>Liste des tableaux</i>	
<i>Introduction générale</i>	01
Chapitre I : Généralités	
<i>Introduction.....</i>	02
<i>I.1. Situation géographique de la région d'étude.....</i>	02
<i>I.1.1.Position de l'Ouarsenis dans le domaine tellien.....</i>	02
<i>I.1.2.Situation géographique du secteur d'étude.....</i>	03
<i>I.2. Contexte Hydrologique.....</i>	05
<i>I.3.Réseau Hydrographique.....</i>	06
<i>I.4.Context Climatologique.....</i>	08
<i>I.4.1.Introduction.....</i>	09
<i>I.4.2.Etude des précipitations.....</i>	09
<i>I.4.2.1. Réseau pluviométrique.....</i>	09
<i>I.4.2.2.Répartition géographique des précipitations.....</i>	10
<i>I.4.2.3.Répartition statistique des précipitations.....</i>	11
<i>I.4.2.4.Variation saisonnière des précipitations.....</i>	12
<i>I.4.2.5.Variation des précipitations mensuelles.....</i>	12
<i>I.4.3.Températures.....</i>	14
<i>Représentation graphique (Méthode pluviométrique).....</i>	15
<i>I.4.5.Climat de la region.....</i>	16
<i>I.4.5.1.L'indice d'aridité de De-Martonne.....</i>	16
<i>I.4.5.2.Indice de continentalité de Kerner"K".....</i>	17
<i>I.4.6.Evapotranspiration.....</i>	18
<i>I.4.6.1.Evapotranspiration potentielle de la region d'étude.....</i>	18
<i>I.4.6.2.Evapotranspiration réelle.....</i>	19
<i>Conclusion.....</i>	24

Chapitre II :Géologie

<i>Introduction</i>	25
<i>II.1. Aperçu géologique de l'Algérie</i>	27
<i>II.1.1. Le domaine Saharien</i>	27
<i>II.1.2. Le domaine Atlasique</i>	27
<i>II.1.3. Le domaine Tellien</i>	27
<i>II.1.3.1. La zone interne</i>	28
<i>II.1.3.2. La zone des flysch</i>	28
<i>II.1.3.3. La zone Externe ou Tellienne</i>	28
<i>II.2. La géologie de la willaya de Tissemsilt</i>	28
<i>II.3. La géologie et limites de la région étudiée</i>	29
<i>II.3.1. Litho stratigraphie</i>	30
<i>II.3.1.1. Le Paléozoïque</i>	31
<i>II.3.1.2. Le Secondaire</i>	31
<i>II.3.1.3. Le Cénozoïque</i>	32
<i>II.3.2. Structural</i>	33
<i>II.3.2.1. Cadre structural général</i>	33
<i>II.3.2.2. Cadre structurale locale</i>	33
<i>II.3.3. Paléogéographie</i>	34
<i>II.3.4. Tectonique de la zone d'étude</i>	35
<i>II.3.4.1. Les Extrusions</i>	35
<i>II.3.4.2. Les lames de charriages</i>	36
<i>Conclusion</i>	36

Chapitre III : Contexte Hydrogéologique

<i>Introduction</i>	37
<i>III.1. L'émergence de La source thermique de Sidi Slimane</i>	38
<i>III.2. Principaux aquifères et zones susceptibles d'être aquifères</i>	39
<i>III.2.1. Les nappes phréatiques</i>	39
<i>III.2.1.1. Les alluvions des Oueds Lardjem et Oued Fodda</i>	39
<i>III.2.2. Les nappes profondes</i>	39
<i>III.2.1.1. Les calcaires</i>	39
<i>III.3. Les caractéristiques lithologiques des formations géologiques conditionnent en premier leur comportement hydrogéologique</i>	41
<i>III.3.1. Le Trias</i>	41
<i>III.3.2. Le Jurassique</i>	41

III.3.3. L'Albo Cénomaniens.....	41
III.3.4. L'Oligocène.....	42
III.3.5. Miocène inférieur.....	42
III.3.6. Pliocène.....	42
III.3.7. Quaternaire.....	42
III.4. Les sources qui drainent l'affleurement jurassique du Djebel Ouarsenis.....	44
III.5. Etudes géophysiques.....	46
III.5.2. Mise en œuvre.....	46
III.5.3. Travaux réalisés.....	47
III.5.4. Matériel utilisé.....	48
III.5.5. DOUAR AMAR – DOUAR KEDADRA – DOUAR KHENANCHA DOUAR LAABAYNIA DOUAR MOULIA.....	48
III.5.6. Etalonnage des données de géophysique.....	48
Chapitre III : Interprétation des mesures géo- électrique.....	49
Conclusion.....	58

Chapitre IV : Hydrochimie

Introduction.....	59
IV.1. Aperçu général sur les eaux thermales.....	59
IV.2. Le Thermalisme de la Source de Hammam Sidi Slimane.....	60
IV.3. Etude Hydrochimique.....	61
IV.3.1. Propriétés physico-chimiques.....	63
IV.3.1.1. Etude des paramètres physiques.....	63
IV.3.1.1.1. La température.....	63
IV.3.1.1.2. Potentiels d'hydrogène (pH).....	64
IV.3.1.1.3. Conductivité.....	64
IV.3.1.1.4. Le résidu sec.....	64
IV.3.1.1.5. La Radioactivité.....	65
IV.3.1.1.6. Balance ionique.....	65
IV.3.1.2. Propriétés chimiques.....	66
IV.3.1.2.1. Etude des Cations.....	66
IV.3.1.2.2. Etude des Anions.....	66

<i>IV.3.2. Classification des eaux</i>	66
<i>IV.3.2.2. Diagramme de Piper</i>	66
<i>IV.3.2.2. Diagramme Schoeller-Berkaloff</i>	67
<i>III.3.3. Etude des rapports caractéristiques</i>	70
<i>IV.5. Etude des sources drainant les formations jurassiques du Pic de l'Ouarsenis</i>	71
<i>IV.5.1. La source d'Ain Tolba</i>	72
<i>IV.5.2. La source d'Ain Seban</i>	72
<i>IV.5.3. La source d'Ain Belkhairret</i>	72
<i>IV.5.4. La source d'Ain Sour</i>	73
<i>IV.4.5. La source d'Ain Kahala</i>	73
<i>IV.4.6. La source d'Ain Boucaid</i>	73
<i>IV.4.7. La source d'Ain Bou Abdous</i>	73
<i>IV.4.8. La source d'Ain Atba</i>	73
<i>IV.4.9. La source d'Ain Robka</i>	73
<i>IV.4.10. La source d'Ain Mora</i>	73
<i>Conclusion</i>	74
<i>Conclusion générale</i>	75
<i>Bibliographie</i>	

LISTE DES FIGURES

Titre	Page
Fig.01 : <i>Situation géographique de l'Ouarsenis dans le Tell Algérien (In Zeghari, 2013)</i>	03
Fig.02 : <i>Situation géographique du secteur d'étude</i>	04
Fig.03 : <i>Réseau hydrographique de la wilaya de Tissemsilt. (Période 1973-2000, ABH-Cheliff Zahrez le 27 août 2002)</i>	08
Fig.04 : <i>Carte pluviométrique de la Wilaya de Tissemsilt. (Période 1973-2000, ABH-Cheliff Zahrez le 27 août 2002)</i>	11
Fig.05 : <i>précipitations moyennes mensuelles, Période (1973-2000)</i>	13
Fig.06 : <i>Carte de la variabilité des pluies mensuelles, (Période 1973-2000, ABH- Cheliff Zahrez le 27 août 2002)</i>	13
Fig.07 : <i>Températures moyennes mensuelles</i>	15
Fig.08 : <i>Courbe pluviométrique de la station de Tissemsilt (Période 1973-2000)</i>	16
Fig.09 : <i>Carte des évapotranspirations de la Wilaya de Tissemsilt. (Période 1973-2000, ABH- Cheliff Zahrez le 27 août 2002)</i>	18
Fig.10 : <i>Carte structurale générale</i>	26
Fig.11 : <i>Cartes structurale schématique de l'ALGERIE (Hassani, 1987)</i>	27
Fig.12 : <i>Géologie de la wilaya de Tissemsilt. (L. CALAMBERT, 1952)</i>	29
Fig. 13 : <i>Localisation des principaux ensembles morphologiques du Tell algéro-oranais (Benhamou, 1996)</i>	30
Fig. 14 : <i>Coupe géologique à travers le complexe A</i>	30
Fig.15 : <i>Log du jurassique du massif culminant d'Ouarsenis (Kireche, 1993)</i>	32
Fig. 16 : <i>Traits structuraux du secteur d'étude. (D'après Calembert, 1952 ; Benhamou, 1996, modifiée)</i>	34
Fig. 17 : <i>Modèle de circulation des eaux de la source thermal de Hammam Sidi Slimane (Nedjai, 1987)</i>	38
Fig. 18 : <i>Zone susceptible d'être aquifère (extrait de la carte géologique Algérie-Nord (1/500000))</i>	40
Fig. 19 : <i>log hydrogéologique du secteur d'étude</i>	43
Fig. 20 : <i>Localisation géographique des sources drainant l'affleurement jurassique du Djebel Ouarsenis</i>	44

Fig. 21: <i>Carte de situation des sondages électriques (Douars Amar-Kedadra-Khenancha-Moulia et Laabaynia)</i>	50
Fig. 22 : <i>Coupe lithologique à travers Sra Sidi Abd el Kader 15DRE.Tissemsilt / BETA-Consults</i>	50
Fig.23 : <i>Coupes géo-électriques de DOUAR MOULIA</i>	51
Fig.24 : <i>Coupes géo-électriques de DOUAR MOULIA</i>	52
Fig.25 : <i>Coupes géo-électriques de DOUAR MOULIA</i>	53
Fig.26 : <i>Coupes géo-électriques de DOUAR KENANCHA</i>	54
Fig.27 : <i>Coupes géo-électriques de DOUAR KENANCHA</i>	55
Fig.28 : <i>Coupes géo-électriques de DOUAR KENANCHA</i>	56
Fig.29 : <i>Coupes géo-électriques de DOUAR KENANCHA</i>	57
Fig. 30 : <i>Diagramme de piper</i>	67
Fig.31 : <i>Diagramme Schoeller-Berkaloff (compagnes 1984 et 1985)</i>	68
Fig. 32 : <i>Diagramme Schoeller-Berkaloff (compagne2012)</i>	69

LISTE DES TABLEAUX

Titre	Page
Tableau .01 : <i>Caractéristiques des 09 bassins versants</i>	05
Tableau .02 : <i>Réseau pluviométrique (1973-2000)</i>	10
Tableau .03 : <i>Répartition des pluies fréquentielles, Période (1973-2000)</i>	11
Tableau .04 : <i>Distribution saisonnière des précipitations, Période (1973-2000)</i>	12
Tableau .05 : <i>Variabilité des précipitations mensuelles, Période (1973-2000)</i>	12
Tableau .06 : <i>Températures moyennes mensuelles, Période (1973-2000)</i>	15
Tableau .07 : <i>Evapotranspiration réelle annuelle (1973,2000)</i>	19
Tableau .08 : <i>Station de Tissemsilt (1973,2000)</i>	21
Tableau .09: <i>Station de Theniet El Had (1973,2000)</i>	22
Tableau .10 : <i>Station de Khemisti</i>	22
Tableau.11 : <i>Station de Bordj Bounaama</i>	23
Tableau.12 : <i>Nombre de sondages électriques réalisés par site</i>	47
Tableau.13: <i>Echelles des Résistivités des formations d'après les sondages paramétriques</i>	49
Tableau.14 : <i>Forages de reconnaissance hydrogéologique propres</i>	58
Tableau. 15: <i>Analyse des eaux de source de Hammam Sidi Slimane de la compagnie (2012)</i>	62
Tableau. 16 : <i>Analyse des eaux de source de Hammam Sidi Slimane de deux compagnes (1984 et 1985) exprimé en mg/l (ENET, 1985)</i>	62
Tableau. 17 : <i>Classification des sources selon la Température (°C)</i>	63
Tableau.18: <i>Pourcentage d'erreur des analyses d'eaux du secteur d'étude de deux compagnes (1984-1985)</i>	65
Tableau.19: <i>Pourcentage d'erreur des analyses d'eaux du secteur d'étude de quelques sources (2012)</i>	65
Tableau.20 : <i>Résultats des rapports caractéristiques pour les deux compagnes (1984 et 1985)</i>	70
Tableau.21 : <i>Résultats des rapports caractéristiques pour la compagnie (2012)</i>	70
Tableau.22: <i>Analyses des eaux de sources exprimées en mg/l (d'après Calambert, 1952)</i>	72

INTRODUCTION GENERALE

Les recherches scientifiques menées sur les eaux thermales sont d'un grand intérêt. En effet ces recherches basées sur diverses disciplines scientifiques, ont permis d'apprécier le phénomène du thermalisme (qui a été jusqu'à un temps récent considéré comme phénomène surnaturel) comme phénomène naturel et de définir l'origine et l'hydrogéologie des eaux thermales en précisant leurs zones d'alimentation et leurs processus d'acquisition de la température et de la minéralisation.

Il est intéressant de savoir qu'en 1823 sont effectuées les premières études scientifiques sur l'hydrogéologie et le thermalisme en Algérie et que fut mise en place la première réglementation en vigueur portant sur des données médicales précises.

Plusieurs études anciennes ont été effectuée, en particulier pendant la période coloniale française, portant toutes sur le coté médicale des eaux.

Les veilles constructions à architecture locale montrent l'ancienneté de cette source. Depuis bien avant la période française, cette émergence a toujours eu une grande réputation dans la région.

Pour notre cas, notre étude est basée sur l'hydrogéologique de la source thermale de Hammam Sidi Slimane, Bordj Bounaama (Wilaya de Tissemsilt). Ce travail s'articule autour de quatre chapitres :

Premier Chapitre : consiste à situer sur le plan géographique notre secteur d'étude et donner enfin le climatique régnant sur cette région.

Dans le deuxième Chapitre : Une synthèse géologique générale, un aperçu géologique de l'Algérie, la géologie de la willaya de Tissemsilt et la géologie de la région d'étude, sont données afin de mettre en évidence les principales formations susceptibles de contenir de l'eau.

Dans le troisième Chapitre : Mise en évidence des formations aquifères et les conditions d'émergences des sources de la région de la commune Sidi Slimane. Cependant, une étude géophysique a été réalisée dans la région afin de préciser les niveaux aquifères, leur géométrie et leur épaisseur.

Enfin, la dernière partie sera basée sur une étude hydrochimique. Les résultats des analyses physico-chimiques, des points d'eau de la région, nous donneront certainement l'influence de la lithologie sur ces eaux.

Introduction

La wilaya de Tissemsilt, née du découpage territorial de 1984, a été tracée autour de l'imposant massif de l'Ouarsenis qui s'étend sur plus de la moitié Nord de son territoire.

L'ensemble des conditions de vie est tributaire de la géographie, le climat détermine le régime des eaux.

Il faut donc commencer par maîtriser le point sur la situation géographique de la zone étudiée, ses reliefs et son climat afin d'étudier sa géologie, son hydrogéologie, sa géophysique en suite l'hydrochimie de sa source thermal intitulée « Hammam Sidi Slimane ».

I.1. Situation géographique de la région d'étude

I.1.1. Position de l'Ouarsenis dans le domaine tellien

Le domaine tellien est représenté en Algérie par une bande de 1200 km s'étendant d'Ouest vers l'Est. IL montre une continuité occidentale représentée par le Rif au Maroc, et une continuité orientale représentée par la Kroumirie en Tunisie. Le Tell au sens géographique est limité au Nord par la Méditerranée et au Sud par les Hauts- Plateaux.

✓ ***Le domaine tellien comporte trois grands ensembles qui sont du Nord au Sud:***

- Les massifs côtiers.
- Les plaines médianes.
- Les massifs intérieurs.

✓ ***Les massifs intérieurs sont représentés d'Ouest en Est par (Fig.01) :***

- Les monts de Tessalla.
- Les monts de Béni Chougrane.
- Les monts de l'Ouarsenis.



Fig.01 : Situation géographique de l'Ouarsenis dans le Tell Algérien (In Zeghari, 2013).

1.1.2. Situation géographique du secteur d'étude

La commune de **SIDI SLIMANE** est située dans l'Ouarsenis, elle est distante de **64 km** de son chef-lieu de la wilaya et de **8km** de son chef-lieu de daïra.

SIDI SLIMANE est une commune de la wilaya de TISEMSILT et Daïra de BORDJ BOUNAAMA. (Fig. 02).

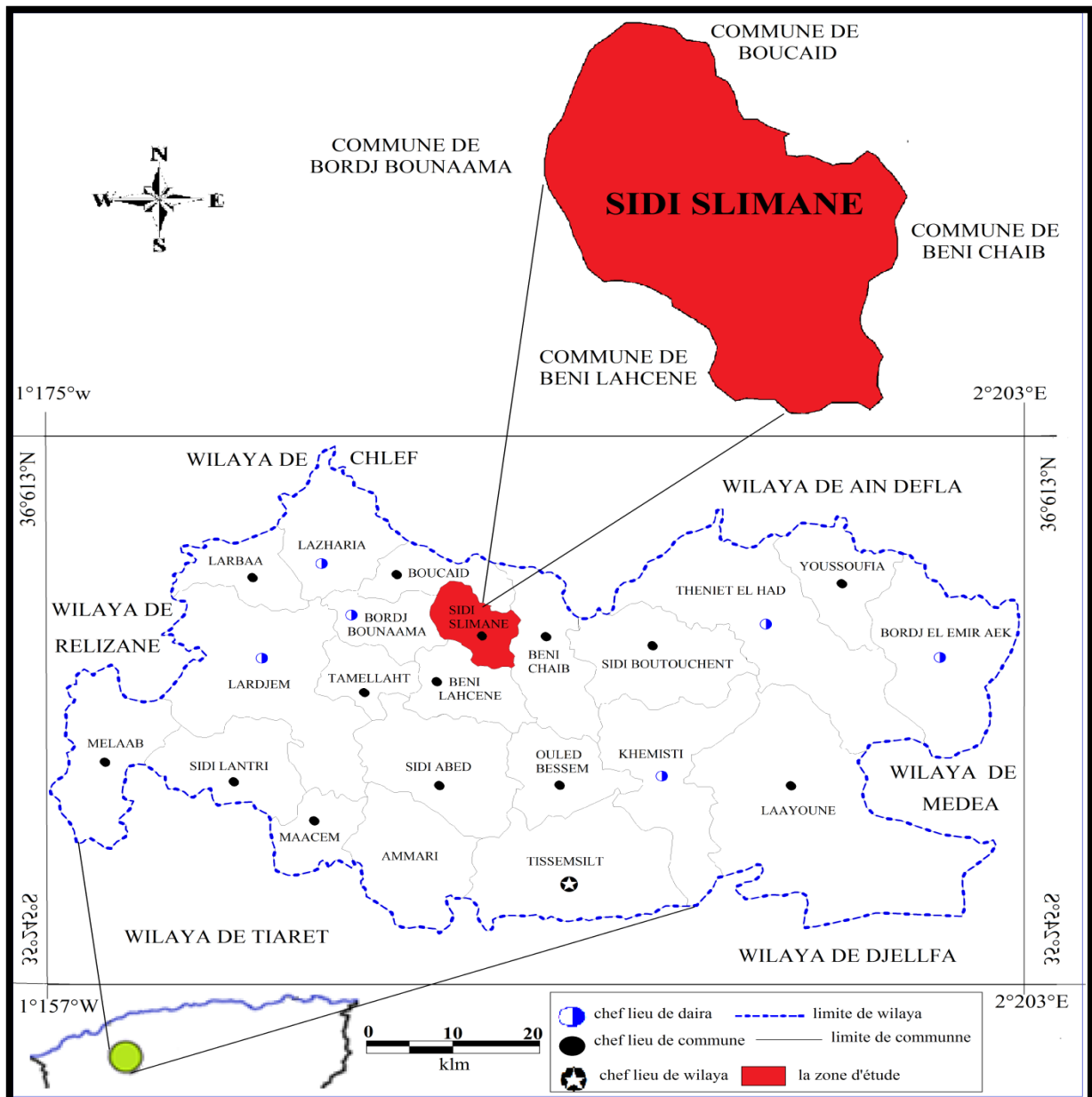


Fig.02: Situation géographique du secteur d'étude. (Extrait de la carte D'Algérie Bordj Bounaama, 1987)

➤ *Elle est limitée :*

- Au Nord : par la commune de **BOUCAID**
- Au Sud : par la commune de **BENI LAHCENE**.
- A L'Est : par la commune de **BENI CHAIB**.
- A L'Ouest : par la commune de **BORDJ-BOUNAAMA**.

➤ *Dans sa consistance territoriale la commune compte :*

- L'agglomération chef-lieu de la commune de **SIDI -SLIMANE**
- L'agglomération secondaire de **KEDADRA**.

- Et La zone éparsée composée de plusieurs douars qu'on site :

HATATZA, D'HAMNIA, M'HAINIA, ROUAINIA, STATOUA, KNANCHA, MOULYA, AYAYDA

SUPERFICIE DE LA COMMUNE

-La Commune de SIDI SLIMANE s'étend sur une superficie de 52km²

1.2. Contexte Hydrologique

Neufs bassins versants sont situés partiellement sur le territoire de la wilaya de Tissemsilt. Il fait partie du grand bassin hydrographique du Chéouli (Fig.03), leurs caractéristiques figurent dans le tableau ci-dessous.

Tableau .01 : Caractéristiques des 09 bassins versants.

Code B.V	Nom Bassin versant	Superficie (Km ²)	périmètre (km)	Indice de compacité
0108	Oued Mechti Zerga	1549	251,373	1,79
0110	Oued Ouassel Moyen	1403	222,206	1,66
0112	Diaa Boughzoul	2617	338,732	1,85
0116	Oued Deurdeur	858	185,59	1,77
0119	Oued Rouina Zeddine	899	173,654	1,62
0121	Oued Fodda	1161	212,705	1,75
0123	Oued Sly	1405	225,147	1,68
0125	Oued Tiguiguest	1514	202,985	1,46
0126	Oued Rihou Tleta	928	185,24	1,70

La forme des bassins versants, traduite ici par l'indice de compacité, a une influence certaine sur l'écoulement ; un bassin versant très allongé ne réagira pas de la même façon qu'un bassin versant de forme circulaire.

L'indice de compacité est donc censé représenter la plus ou moins grande compacité des bassins versants, c'est à dire la plus ou moins grande vitesse de concentration à l'exutoire des eaux de ruissellement, en provenance des diverses parties du bassin versant.

Les résultats des calculs appliqués pour l'ensemble des bassins versants, font ressortir que la totalité des bassins présentent des indices de compacité compris entre 1.46 et 1.85 traduisant ainsi une forme allongée et la prédominance de l'érosion régressive ou l'existence de conditions structurales entraînant une érosion linéaire.

1.3. Réseau Hydrographique

Conséquence d'un relief montagneux et très accidenté, le réseau hydrographique couvre toute la wilaya de Tissemsilt. On y dénombre 9 bassins versants principaux avec cette particularité, qu'aucun d'eux n'est inclus intégralement sur son territoire et chacun s'étend à une des wilayas environnantes. (Fig.04)

Les 9 bassins versants sont drainés par les principaux affluents de l'oued Cheliff. Sept 07 bassins prennent leur cours à partir de la wilaya de Tissemsilt et les deux autres débouchent des wilayas Sud limitrophes. Dans les neuf bassins versants, les principaux oueds et leurs affluents totalisent une longueur de 2252 Km dont 871 Km traversent la wilaya de Tissemsilt.

Donc, une faible part des eaux de ruissellement profite à la wilaya de Tissemsilt.

Les différents bassins versants sont drainés par les principaux affluents de l'oued cheliff ; Fodda, Deurdeur, Zeddine, Ouassel, Rhiou et Sly.

L'Oued lardjem est le plus long (384 Km). Il est composé des trois affluents principaux suivants : Oued Kouassono, Tamelaht et Bouarb.

L'oued Fodda s'intègre dans la zone d'étude comme ressource potentielle à travers son affluent Oued Labiod sur une longueur de 213 Km.

L'oued Nahr Ouassel, avec une longueur de 135 Km, est composé de cinq affluents ; Oued Issa, Nahr el Ouassel, Zerb el Ain, M'ghila et Farchat.

L'oued Rhiou est concerné par son affluent Oued Bougharb de 20 Km de longueur.

L'oued Tiguiguest est un affluent principal de l'oued Rhiou et s'étend sur 90 Km

L'Oued Deurdeur avec une longueur de 18 Km, répartis entre deux principaux affluents l'Oued Kaleb et l'Oued el Guerga.

L'Oued Zeddine est concerné par un de ses affluents : l'Oued Béni Fene qui s'étend sur 11Km.

Pour les sous bassins de Zeddine Mechti Zerga et Diaa Boughzoul, ils présentent des réseaux hydrographiques de faible densité.

Autre particularité de la wilaya de Tissemsilt : elle ne profite que d'une partie des eaux qui ruissellent sur son territoire. Cette situation est due au relief qui conditionne l'écoulement des eaux superficielles et leur orientation en dehors de la zone d'étude, car seul le bassin de

Oued Oussel s'intègre presque totalement dans le territoire de la wilaya.

La détermination des ressources en eau et leurs disponibilités potentielles est étroitement liée au comportement hydrologique du bassin versant, résultat de l'interaction des différents paramètres physico-géographiques déterminant le régime des cours d'eau et celui des nappes aquifères. Une évaluation des ressources en eau et de leur variabilité passe donc par la prise en compte de l'écoulement (superficiel et souterrain) dans ces aspects fondamentaux.

- Débit moyen annuel et bilan hydrologique.
- Régime des nappes souterraines et leurs influences sur les débits des oueds.

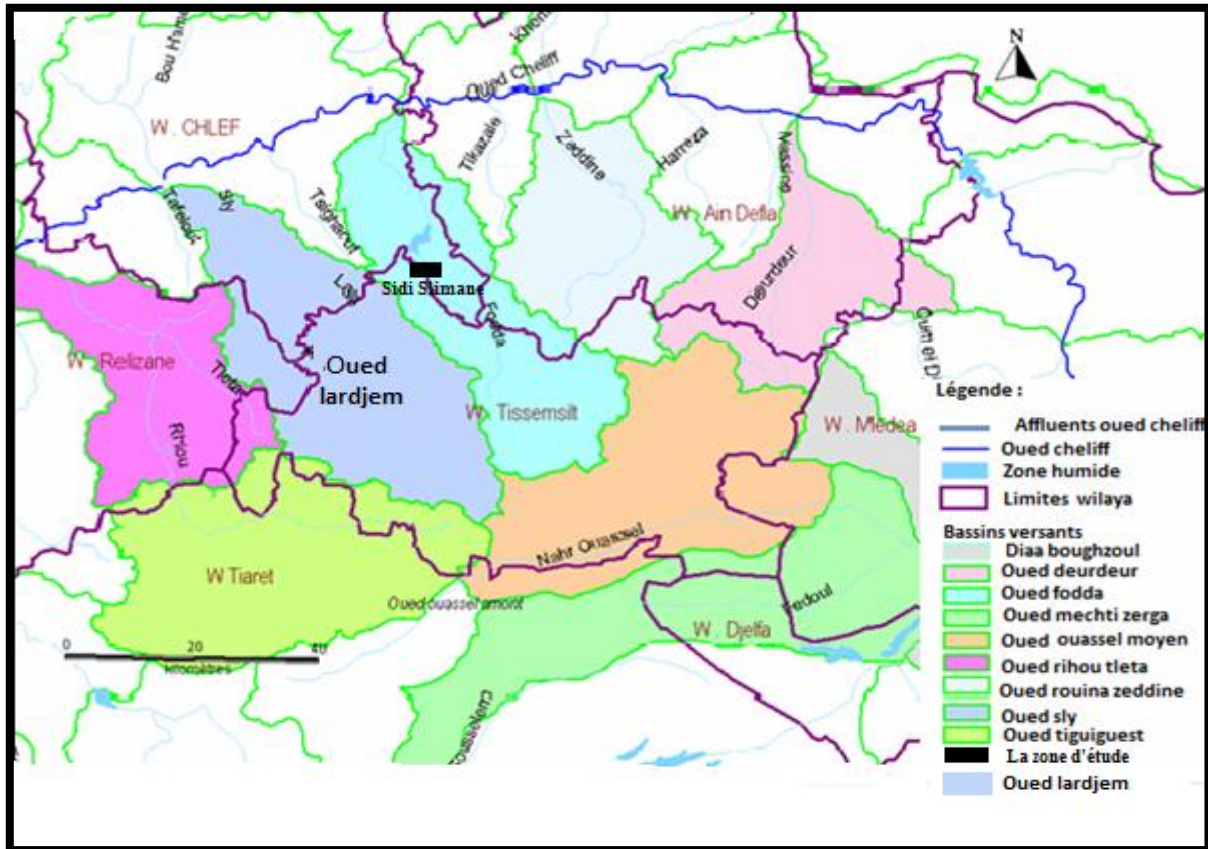


Fig.03 : Réseau hydrographique de la wilaya de Tissemsilt. (Période 1973-2000, ABH- Cheliff Zahrez le 27 août 2002).

1.4. Context Climatologique

En Plus des facteurs morphologiques, orohydrographiques, lithologiques et géographiques, les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Ce sont les précipitations surtout liquides intervenant par leur hauteur totale annuelle qui déterminent l'abondance des oueds, et leur totaux journaliers, surtout les averses génératrices de crues.

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon l'effet combiné des paramètres physiques et climatiques (températures et évapotranspiration surtout), que nous avons présenté en détail ci-dessous.

Les conditions climatiques d'une région jouent un rôle déterminant dans le comportement du régime des écoulements des principaux cours d'eaux superficielles et des eaux souterraines.

On traitera dans cette étude les facteurs climatiques suivants :

- 1- la pluviométrie.
- 2- la température.
- 3- l'évapotranspiration.

1.4.1. Etude des précipitations

1.4.1.1. Réseau pluviométrique

Les précipitations sont mesurées à travers un réseau pluviométrique de 08 postes, (tableau.02), disposant de plus de 20 années de relevés, (ABH Chélif Zahrez le 27 août 2002).

Après homogénéisation des données existantes et comblement des lacunes, ces stations présentent des séries de données d'observations pluviométriques les plus longues et les plus fiables, soit une série de 28 années d'observations, dont les moyens inters annuelles sont inscrites dans le tableau. 02.

Tableau .02 : Réseau pluviométrique (1973-2000).

Code PP	Nom De poste pluviométrique	Coordonnées Lambert		Altitude (m)	Type	Etat
		X(m)	Y(m)			
011004	KHEMISTI	433500	263450	865	PV	
011006	TISSEMSILT	419900	256800	858	PV	
011007	LAYOUNE	436500	266800	900	PV	
011603	BORDJ EL AMIR AEK	461100	285300	1050	PV+PG	
011605	THENIET EL HAD	439800	285650	1160	PV+PG	
012304	SOUK EL HAD	395850	272700	550	PV	
012306	BOURDJBOUNAMA	402600	284100	1100	PV	
012307	AIN LELLOU	397400	293600	900	PV	arrêt en 1990

1.4.1.2. Répartition géographique des précipitations

La carte pluviométrique (ABH –Cheliff Zahrez), établie à partir des séries chronologiques de longue durée pour la période 1973-2000, illustre clairement la répartition spatiale de la pluviométrie qui est fortement conditionnée par le relief de la Wilaya. (Fig.04)

- De fortes précipitations sur les versants Sud de l'Ouarsenis où se situent les bassins versants des Oued Deurdeur, Zeddine et Fodda, avec un moyen inter annuelle de 541 mm observée à la station de Theniet El Had et 472 mm à Bordj Bounama.

- La moitié Sud de la Wilaya est faiblement arrosée, avec des totaux moyens inters annuels compris entre 300 et 400 mm.

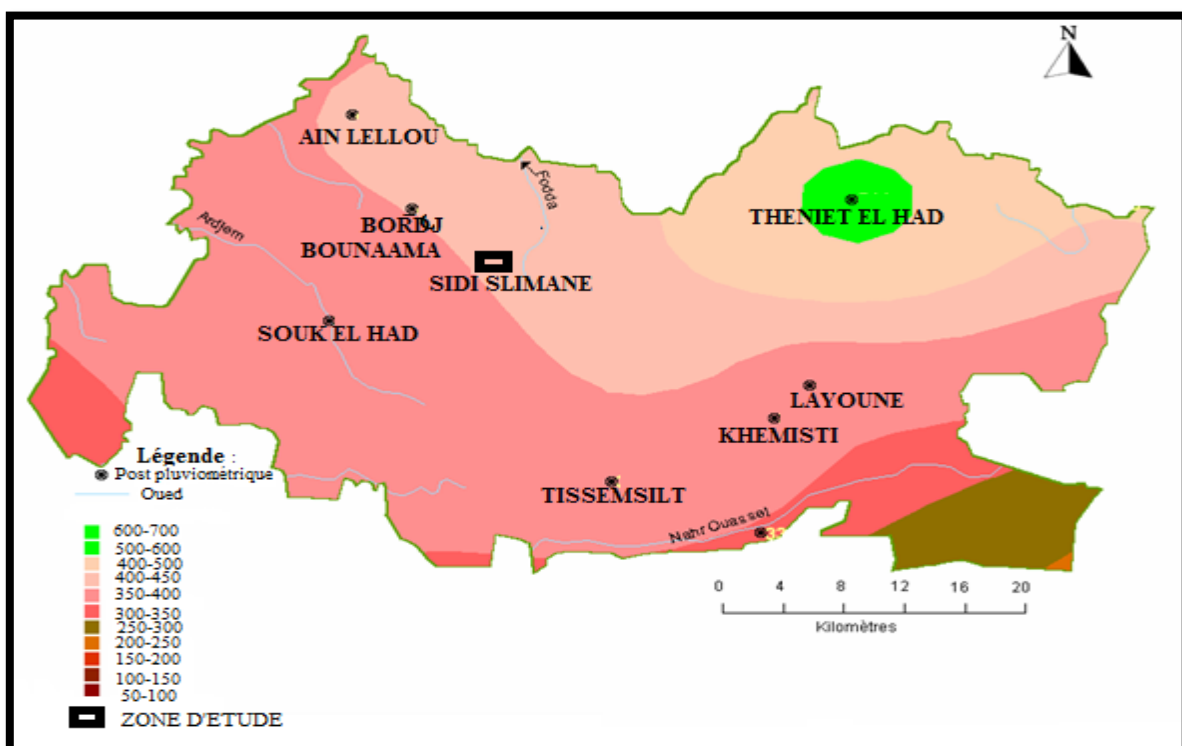


Fig.04 : Carte pluviométrique de la Wilaya de Tissemsilt. (Période 1973-2000, ABH- Cheliff Zahrez le 27 août 2002).

1.4.1.3. Répartition statistique des précipitations

Les valeurs des précipitations décennales sèches et centennales sèches s'écartent de façon significative de la moyenne, surtout dans le Sud de la Wilaya où elles indiquent des précipitations minimales plus sévères (Tableau. 03 ; Fig.05)

Les pluies moyennes annuelles sont comprises, dans l'ensemble, entre 300 et

500 mm ; des pluies moyennes supérieures à 500 mm sont enregistrées dans les postes situés plus au Nord de la Wilaya. (D'après l'Evaluation des ressources en eaux et en sols de la wilaya de Tissemsilt).

Tableau .03 : Répartition des pluies fréquentielles, Période (1973-2000).

Code poste pluviométrique	Année humide		Préci moy (F = 0,5)	Année sèche	
	100 Ans	10 Ans		100 Ans	10 Ans
	(F = 0,99)	(F = 0,9)		(F = 0,1)	(F = 0,01)
010703	381	310	222	134	62
011003	557	456	333	210	110
011607	689	561	405	248	121
012304	556	467	359	250	162
012307	586	508	414	319	241

1.4.1.4. Variation saisonnière des précipitations

La pluviométrie dans la zone d'étude est caractérisée par un déséquilibre saisonnier dont les éléments marquants sont :

- La période d'hiver; Octobre à janvier, où les pluies sont compris entre 43 et 50%, mais ce sont les mois les plus pluvieux de l'année avec un maximum enregistré au mois de janvier.
- La période d'été où les pluies reçues ne dépassent guère les 10% de la pluviométrie, avec un minimum enregistré au mois de juillet.

Tableau .04 : Distribution saisonnière des précipitations, Période (1973-2000).

Nom poste pluviométrique	Hiver	Printemps	Eté
KHEMISTI	44,72%	41,63%	13,65%
TISSEMSILT	43,14%	41,53%	15,35%
LAYOUNE	45,50%	41,71%	12,76%
BORDJ EL AEK	47,58%	39,66%	12,76%
THENIET EL HAD	46,44%	42,51%	11,05%
SOUK EL HAD	49,67%	43,81%	6,55%
BORDJ BOUNAMA	46,01%	46,20%	7,78%
AIN LELLOU	45,80%	46,58%	7,64%

1.4.1.5. Variation des précipitations mensuelles

Les précipitations moyennes mensuelles des 08 stations étudiées sont présentées au tableau.05:

Tableau .05 : Variabilité des précipitations mensuelles, Période (1973-2000).

Nom poste pluviométrique	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
KHEMISTI	22,6	29,3	37,7	46,1	54,9	48,2	44,4	38,2	25,6	12,4	7,0	9,3	375,7
TISSEMSILT	29,5	35,5	37,7	44,3	48,3	45,5	41,7	41	31,4	15,6	5,3	8,6	384,3
LAYOUNE	26,3	28,5	40,6	42,3	48,4	45,5	38,9	35,7	26,4	7,4	4,5	6,6	351,2
BORDJ E, A AEK	31,3	41,6	43,9	56,9	68,3	49,4	52,9	39,3	34	11,7	5,6	7,9	442,8
THENIET EL HAD	30,0	51,1	57,4	69,7	73,2	71,6	69,1	51,8	37,6	12,7	6,3	10,8	541,3
SOUK EL HAD	15,9	37,6	38,7	51,5	50,7	49,9	43,0	43,2	21,1	3,9	1,5	2,2	358,8
BORDJ BOUNAAMA	22,4	42,2	57,1	58,3	59,5	74,1	59,1	52,6	32,2	9,6	1,8	2,9	471,9
AIN LELLOU	20,0	34,6	44,4	53,5	56,9	62,2	53,1	50,7	26,6	6,5	2,1	3,0	413,5

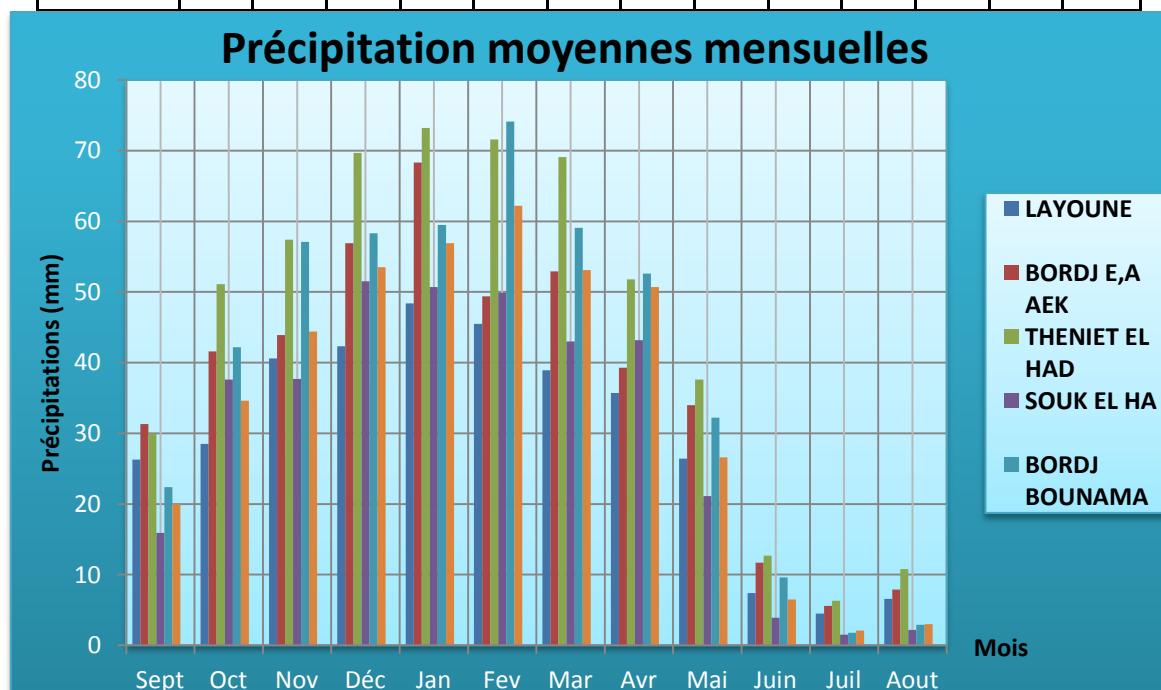


Fig.05 : précipitations moyennes mensuelles, Période (1973-2000).

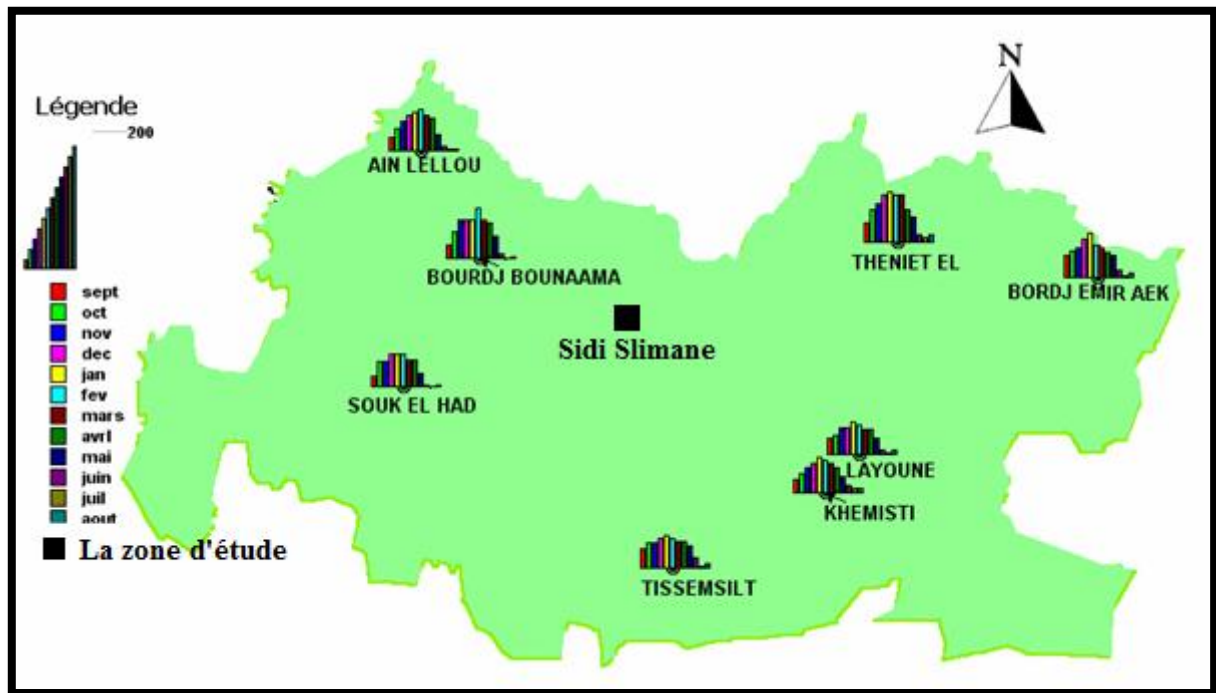


Fig.06 : Carte de la variabilité des pluies mensuelles, (Période 1973-2000, ABH- Cheliff Zahrez le 27 août 2002).

D'après le tableau.05 et les figures 05et 06 :

- ***La station de Theniet El Had :***

Les mois les plus pluvieux sont : décembre (69.7mm), janvier et Février L'influence hivernale plus marquée pour cette station

- ***La station de Bordj Bonaama :***

Trois mois pluvieux sont : Février (74.1 mm), décembre et Janvier. Le mois de Juillet est le mois le moins pluvieux (1.8 mm).

- ***La station de Bordj E,A Aek :***

Les mois les plus pluvieux sont : Janvier (68.3 mm) et décembre (56,9 mm). Le mois de Juillet est le mois le moins pluvieux (5,6 mm).

- ***La station de Ain Lellou :***

Les mois les plus pluvieux sont : Février (62.2mm), Janvier (56.9mm) et Décembre (53.5mm). Le mois de Juillet est le mois le moins pluvieux (2.1 mm).

- ***La station de Tissemsilt:***

Les mois les plus pluvieux sont : Janvier (48.3mm), Février (45.5 mm) et Décembre (44.3mm). Le mois de Juillet est le mois le moins pluvieux (5.3 mm).

- **La station de Khemisti :**

Les mois les plus pluvieux sont : Janvier (54.9 mm), Février (48.2 mm) et Décembre (46.1mm). Le mois de Juillet est le mois le moins pluvieux (7.0 mm).

- **La station de Souk El Had :**

Les mois les plus pluvieux sont : Janvier (50.7 mm), Février (49.9) et Décembre (51.5mm). Le mois de Juillet est le mois le moins pluvieux (1.5 mm).

- **La station de Layoune :**

Les mois les plus pluvieux sont : Janvier (48.4 mm), Février (45.5 mm) et Décembre (42.3mm). Le mois de Juillet est le mois le moins pluvieux (4.5mm).

1.4.2. Températures

La température est un des éléments fondamentaux dans l'établissement du bilan hydrologique et dans la détermination du caractère climatique d'une région et aussi un facteur nécessaire à l'apport de l'énergie pour les plantes. Les données existantes sont celles de (P. SELTZER) et celles qui ont été utilisées dans l'étude (BNEDER, 1984).

Les températures moyennes mensuelles sont, de novembre à avril, inférieures à la moyenne annuelle et sont supérieures à cette moyenne de mai à octobre; divisant ainsi l'année en deux saisons : l'une froide et l'autre chaude.

Au cours de la saison froide, on relève les moyennes les plus basses pendant les trois mois de décembre, janvier et février, avec un minimum en janvier.

Tableau .06 : Températures moyennes mensuelles.

Nom station Climatologique	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Moyenne
THENIET EL HAD	19,65	14,75	8,95	6,00	4,70	5,75	8,5	11,25	15,20	20,25	23,75	24,15	13,58
BOUCAID	22,30	16,75	10,90	7,65	7,25	8,05	9,85	12,55	17,20	21,85	26,55	27,15	15,67
KHEMISTI	22,05	16,15	10,75	6,80	5,85	7,25	9,50	12,30	16,80	22,00	26,65	26,70	15,23
TISSEMSILT	21,00	15,05	9,90	6,00	5,75	6,45	8,70	11,15	15,60	20,45	25,85	25,30	14,27

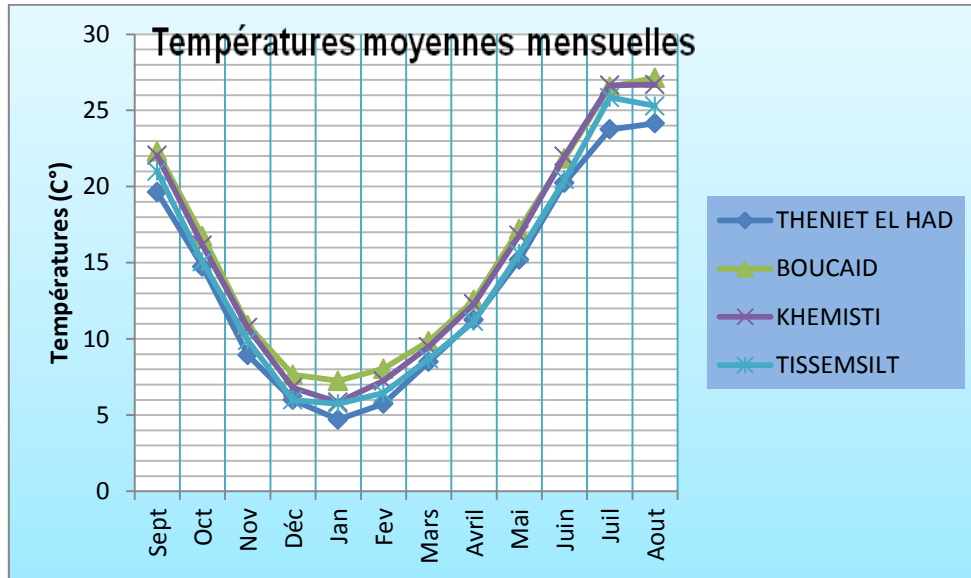


Fig.07: Températures moyennes mensuelles.

I.4.3. Représentation graphique (Méthode pluviométrique)

Cet indice a été proposé par Bagnouls et Gaussen. Pour eux, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations, exprimé en mm, est inférieur ou égal au double de la température exprimée en °C. $P(mm) \leq 2 T(^{\circ}C)$, cette relation permet d'établir un diagramme pluviométrique un lequel les températures sont portées à une échelle double de celles des précipitations. La courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations pendant les mois secs.

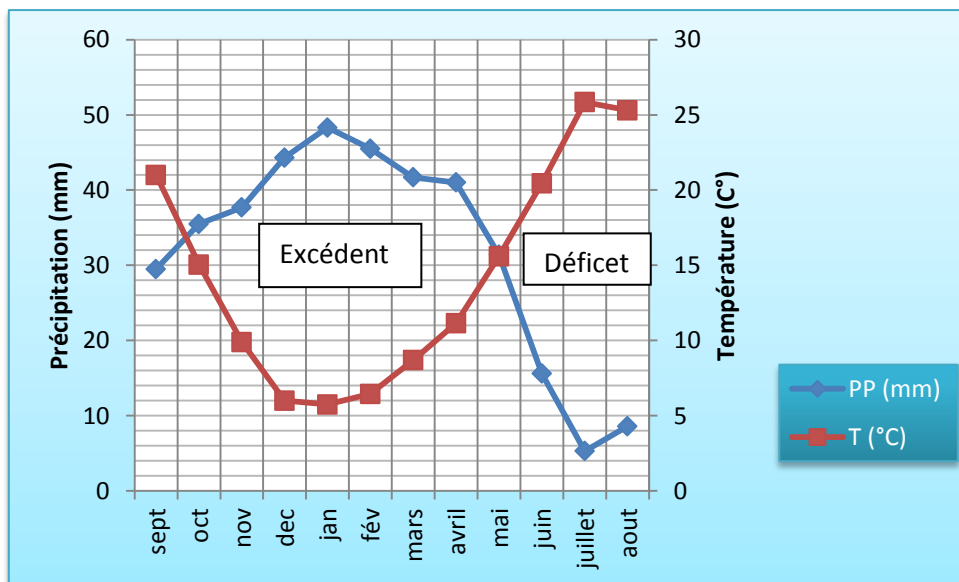


Fig.08 : Courbe pluviométrique de la station de Tissemsilt (Période 1973-2000).

1.4.4. Climat de la région

De nombreux auteurs se sont préoccupés de synthétiser les données climatiques en recherchant une classification des types de climats qui, puisse rendre compte au mieux des éléments du bilan hydrologique.

Les nombreuses classifications proposées se basent le plus souvent sur le calcul d'un indice climatique tenant compte de la pluviométrie et de la température.

Plusieurs formules empiriques permettent d'obtenir les indices climatiques, parmi elles:

- l'indice d'aridité de De-Martonne.
- l'indice de continentalité de Kerner "K".
- L'indice de Stewart.

1.4.4.1. L'indice d'aridité de De-Martonne :

L'indice d'aridité de Martonne tient compte de la température moyenne annuelle (T en °C) et de la pluviométrie annuelle (P en mm). Il est donné par la relation suivante:

$$I = P/T+10$$

Avec : P = précipitations annuelles moyenne (mm)

T = températures annuelles moyennes.

La classification proposée par De Martonne est la suivante:

$I < 5$: climat hyperaride

$5 < I < 7.5$: climat désertique

$7.5 < I < 10$: climat steppique

$10 < I < 20$: climat semi-aride

$20 < I < 30$: climat tempéré

- Application pour la station de Tissemsilt :

$$I = P/(T+10).$$

Avec : P = 384.3 mm ; T° = 14.27 C°

I= 15.83 ; $20 < I < 30$: Climat semi-aride.

1.4.4.2. Indice de continentalité de Kerner "K":

C'est un indice thermo-isodromique. Cet indice traduit la continentalité, c'est à dire l'influence de la mer sur le climat, plus la station est proche de la mer, plus l'indice sera élevé et vice versa.

Cet indice est donné par la relation suivante:

$$K_r = T_0 - T_a/A.100.$$

A : amplitude moyenne entre le mois le plus chaud et le plus froid.

T₀ : température moyenne mensuelle du mois d'octobre.

T_a : température moyenne mensuelle du mois d'avril.

- Application pour la station de Tissemsilt :

- $K_r = T_0 - T_a/A.100.$

Avec : T₀ = 15.05 C° ; T_a = 11.15 ; A = 20.1

$$K_r = 19.40$$

Ce résultat est à comparer à d'autres stations algériennes, ayant un climat différent et une distance à la mer également différente. Cet indice devient moins important quand on s'éloigne de la mer. A titre d'exemple, K_r à Cap Falcon (Oran) est égal à 32,41.

1.4.5. Evapotranspiration

1.4.5.1. Evapotranspiration potentielle de la région d'étude

L'évapotranspiration représente l'action conjuguée de l'évaporation du sol et de la transpiration de la plante; c'est la restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre, quelque soit sa nature (sols, végétaux, eaux libres). C'est un paramètre clef dans la détermination des besoins en eau des cultures et de l'évaluation des ressources en eau.

Une carte de l'évapotranspiration potentielle du Nord d'Algérie a été établie par les services de l'ANRH sur la base des données de 45 stations climatologiques ayant permis d'estimer l'ETP de ces points et de 142 postes thermométriques, une relation entre l'ETP et la température a été établie en fonction de la saison, de l'altitude et de la position.

La carte d'évapotranspiration de la wilaya de Tissemsilt ci-jointe, a été extraite de la carte du Nord d'Algérie, cette carte montre que l'évapotranspiration se positionne en parfaite opposition à celle de la pluviométrie ; elle est comprise entre 1200 et 1400 mm, avec un maximum de 1410 mm à Khemisti, et un minimum de 1259 mm enregistré à Theniet El Had.

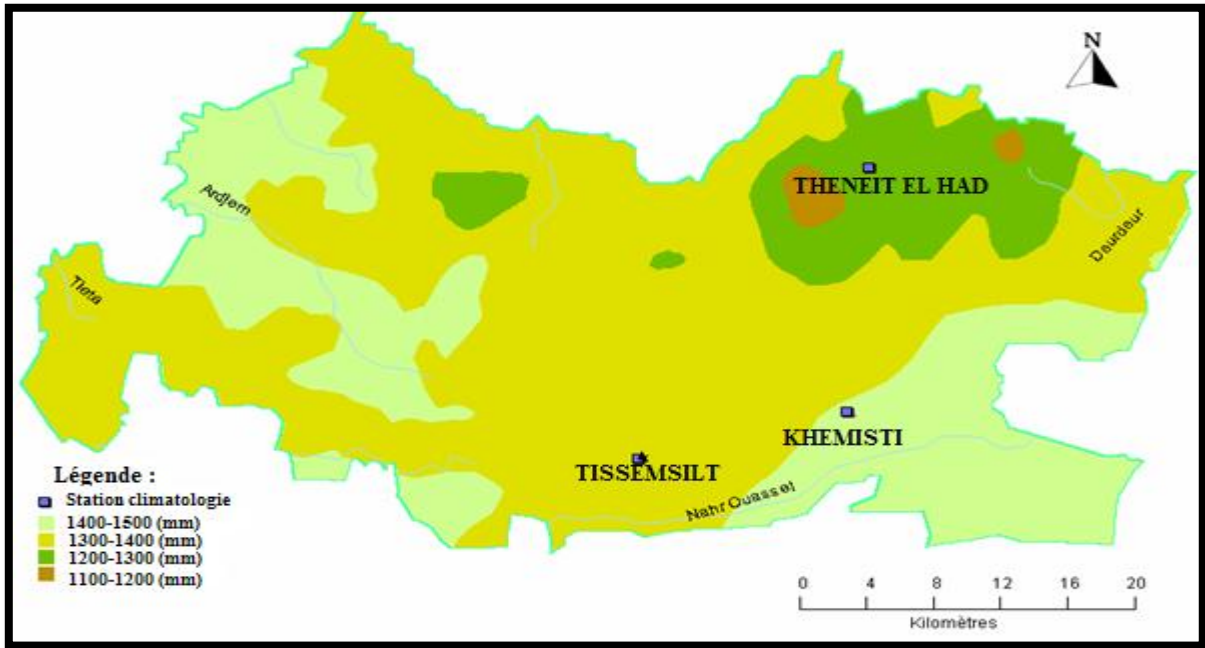


Fig.09 : Carte des évapotranspirations de la Wilaya de Tissemsilt. (Période 1973-2000, ARNH)

L'évapotranspiration réelle représente la quantité d'eau maximale qui est restituée à l'atmosphère, sous forme de vapeur. Pour l'estimation de cette dernière ; deux méthodes ont été utilisées, celle de TURC et de THORNTHWAIT.

a. L'évapotranspiration réelle selon Turc

Turc propose la formule suivante pour le calcul de l'ETR :

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

ETR : évapotranspiration annuelle réelle en (mm)

P : précipitations annuelle en (mm)

L : pouvoir évaporant $L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$

T : moyenne annuelle de Température en °c le tableau ci-dessous montre les résultats de calcul de l'ETR selon Turc.

On remarque une valeur élevée dans les bassins d'oued Deurdeur et oued Rouina Zeddine, en comparaison avec les autres bassins. Ceci s'explique par la disponibilité de la pluviométrie dans ces deux bassins.

Tableau .07 : Evapotranspiration réelle annuelle (1973,2000).

Code BV	Nom B.V	Superficie (km ²)	Lame d'eau précipitée (mm)	T (°c)	ETR-turc (Mm/An)
0108	Oued Mechti Zerga	67,18	263,5	14,27	262,44
0110	Oued Ouassel Moyen	1101,74	381,9	15,23	364,44
0112	Diaa Boughzoul	7,57	382,0	15,23	364,48
0116	Oued Deurdeur	172,58	461,3	13,58	410,26
0119	Oued Rouina Zeddine	91,84	479,5	13,58	421,64
0121	Oued Fodda	592,52	417,8	15,67	394,20
0123	Oued Sly	834,33	374,1	15,67	360,11
0125	Oued Tiguiquest	236,08	347,7	15,67	338,53
336,40	Oued Rhiou Tleta	69,38	345,1	15,67	336,40

b. Bilan hydrique de Thornthwait de la région d'étude

Cette méthode établie en vue d'études climatologiques et agronomiques nous permettra aussi de calculer le déficit d'écoulement dans la région d'étude. Le bilan de Thornthwait et réalisé pour les stations de Tissemsilt, Khemisti, Theniet el Had et Bordj Bounaama qui représentent les différentes régions de la wilaya de Tissemsilt.

Cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU).

La RFU c'est la quantité d'eau restituée dans le sol et qui peut être facilement utilisée par les plantes, ou être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes .La procédure des calculs est la suivante :

Après le calcul du l'ETP d'après la formule suivante :

$$ETP = 16 * (10 * \frac{t}{I})a$$

ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle en (cm)

T : température moyenne mensuelle en °c

I : indice thermique annuelle, soit la somme des indices de chaleurs (i),

$$i = \left(\frac{t}{5}\right) 1.514$$

a = 6,75. 10-3 I3 -7,71.10-5I2+1,7921.10-2I+0,49239

On passe au calcul de l'ETR

- Lorsque $P > ETP$ l'ETR est égale à L'ETP, dans le cas contraire ou le volume des pluies mensuelle est inférieur à celui de l'ETP, l'ETR est alors égale à l'ETP aussi longtemps que les réserves en eau du sol sont capables d'équilibrer la balance hydrique au delà de cet équilibre il y aurait un déficit hydrique.

On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (la RFU). Qui peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes.

La quantité d'eau stockée dans la RFU est comprise entre les bornes zéro RFU vide et RFU max. (Capacité maximale de la RFU qui varie de 0 à 200 mm selon la nature des sols et les sous-sols considérés). Dans le cas de la Wilaya de Tissemsilt nous considérons une RFU de l'ordre de 100 mm une valeur qui a été utilisé dans l'étude de l'aménagement hydro agricole à travers la wilaya de Tissemsilt (BNEDER 1984).

Nous admettons que la satisfaction de l'ETP à priorité sur l'écoulement, c'est à dire qu'avant qu'il y ait écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant ($ETP = ETR$). Par ailleurs nous complétons la RFU en priorité sur l'écoulement.

Nous établissant ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie du mois (P) de l'ETP et de la RFU.

• **Cas 1 $P > ETP$:**

L'ETR est égale à l'ETP. Il reste un excédent ($P - ETP$) qui est affecté en premier lieu à la RFU, si la RFU est complète, l'excédent est affecté à l'écoulement.

• **Cas 2 :**

Quand toute la pluie tombée s'est évaporé, on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR.

Si la RFU = 0, la quantité (déficit = $ETP - ETR$) représente le déficit agricole, c'est-à-dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de sécheresse.

Pour établir ce bilan, il faut se donner la RFU maximale en fonction de la nature du bassin versant. Après avoir établi ce bilan par mois, nous évaluons l'ETR annuelle par la somme des 12 ETR mensuelle. Les résultats d'application du bilan sont reportés dans les tableaux (08, 09, 10 et 11)

Tableau .08 : Station de Tissemsilt (1973,2000).

Mois	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	Sept	OCT	Année
P (mm)	37,7	44,3	48,3	45,5	41,7	41,0	31,4	15,6	5,3	8,6	29,5	35,5	384,3
ETP (mm)	31.5	15.7	16.4	19.4	31.0	42.5	62.5	88.5	113.0	108.1	82.6	48.9	660.3
RFU (mm)	6.2	34.7	66.7	92.3	100.0	98.5	67.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR (mm)	31.6	15.7	16.4	19.5	31.1	42.5	62.5	83.0	5.3	8.6	29.5	35.5	381.1
Excédent (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.9
déficit d'écoulement (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	31.1	72.9	107.7	99.5	53.1	13.4	379.3

Tableau .09 : Station de Theniet El Had (1973,2000)

Mois	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	Sept	Année
P (mm)	51.1	57.4	69.7	73.2	71.6	69.1	51.8	37.6	12.7	6.3	10.8	30,0	541.3
ETP (mm)	50.1	29.9	18.0	14.1	18.8	33.2	46.6	63.3	89.5	100.6	101.8	76,9	642.7
RFU (mm)	1.0	28.5	80.2	100.0	100.0	100.0	100.0	73.3	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR (mm)	50.1	29.9	18.0	14.1	18.8	33.2	46.6	63.3	87.6	6.3	10.8	30,0	408.7
Excédent (mm)	0,0	0,0	0,0	39,3	52,8	35,9	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	133,2
déficit d'écoulement (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.7	76.8	94.3	91.0	46.9	334.6

Tableau .10 : Station de Khemisti

Mois	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	Sept	OCT	Année
P (mm)	37,7	46,1	54,9	48,2	44,4	38,2	25,6	12,4	7,0	9,3	22,6	29,3	375,7
ETP (mm)	33,1	16,9	14,8	20,8	32,5	46,1	67,2	97,2	118,2	117,2	87,5	52,1	703,7
RFU (mm)	4,6	33,8	73,9	100,0	100,0	100,0	50,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
ETR (mm)	33,1	16,9	14,8	20,8	32,5	46,2	67,3	62,9	7,0	9,3	22,6	29,3	362,5
Excédent (mm)	0,0	0,0	1,3	0,0	11,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,2
déficit d'écoulement (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	84,8	111,2	107,9	64,9	22,8	391,6

Tableau.11 : Station de Bordj Bounaama

Mois	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	Sept	OCT	Année
P (mm)	57,1	58,3	59,5	74,1	59,1	52,6	32,2	9,6	1,8	2,9	22,4	42,2	471,8
ETP (mm)	31,7	18,8	19,2	22,7	32,1	44,9	66,6	92,5	114,0	116,8	85,8	52,6	697,8
RFU (mm)	25,4	64,9	100,0	100,0	100,0	100,0	65,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
ETR (mm)	31,7	18,8	19,2	22,7	32,1	44,9	66,6	75,2	1,8	2,9	22,4	42,2	332,4
Excédent (mm)	0,0	0,0	5,2	51,4	27,0	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,3
déficit d'écoulement (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,4	82,9	112,2	113,9	63,4	10,4	417,3

De l'examen de ce bilan, nous retenons les points suivants :

- ✚ Pour les mois de septembre et octobre, les précipitations sont inférieures à l'ETP, la réserve en eau facilement utilisable du sol (RFU) est nulle.
- ✚ En novembre les pluies sont supérieures à l'ETP la différence servira à la reconstitution de la RFU.

- ✚ La RFU est portée à son maximum (100 mm) à partir de janvier jusqu'à, avril, pour les stations de Theniet el Had et Bordj Bounaama et de février à mars pour les Stations de Tissemsilt et Khemisti.
- ✚ A partir de mois mars, les pluies sont inférieures à l'ETP, la ponction de la réserve se fait pour satisfaire l'ETP.
- ✚ Pour les mois d'été, la réserve étant épuisée, L'ETR est égale aux précipitations

Il ressort des résultats des tableaux, ci-dessus, que l'année hydrologique se divise en deux saisons bien distinctes une saison humide courte où les précipitations dépassent l'évapotranspiration, les hauteurs de précipitations atteignent leur apogée en hiver saison à laquelle l'ETP est au minimum, et une saison sèche et longue où les pluies utiles sont négatives.

Dans la partie sud, à Tissemsilt et Khemisti, on enregistre successivement un faible excédent annuel de 17.9 mm/an et 13.2 mm/an, et un important déficit d'écoulement compris entre 379 mm et 391mm. Par contre dans la partie nord (massif de l'Ouarsenis) à Theniet El Had et Bordj Bounâma, l'excédent annuel est respectivement de 133.2 mm/an et 91.3 mm/an et le déficit est de 334 mm à Theniet el Had et 417 à Bordj bounaâma.

Conclusion

Le territoire de la wilaya de Tissemsilt, ne constitue pas une seule unité hydrographique, mais il se trouve à la tête des 9 bassins versants dans la région de l'Ouarsenis.

L'analyse climatologique de la wilaya de Tissemsilt révèle, que du Nord au Sud passe progressivement d'une ambiance climatique à une autre. Ainsi les zones montagneuses du Nord sont assez bien arrosées et fournissent, par conséquent, l'essentiel des réserves hydriques dans les bassins des Oueds Deurdeur, Fodda, Zeddine et Sly.

Dans les hauts plateaux du sud règne une ambiance beaucoup moins humide où les précipitations décroissent sensiblement.

Le climat de cette région est de type semi-aride, nuancé par les influences orographiques.

C'est un climat relativement froid qui s'étend sur le massif de l'Ouarsenis, où les températures moyennes varient de 13° à 16° et où l'amplitude des moyennes mensuelles entre l'été et l'hiver est environ de 20°.

Evaluation des ressources en eaux et en sols de la wilaya de Tissemsilt. pour la période 1973 – 2000) croissent avec l'altitude de 300 mm à 600 mm. Il pleut de 60 à 90 jours par an, surtout d'octobre à mars.

La moitié sud de la wilaya, qui constitue une transition vers les hautes plaines steppiques semi-arides, est faiblement arrosée ; la pluviosité est comprise entre 300 mm et 400 mm.

L'évapotranspiration enregistrée dans les stations gérées par l'ANRH est comprise entre 1200 à 1400 mm/an. Le sirocco souffle de 4 à 8 jours par an.

Introduction

Les calcaires forment une longue semelle inclinée entre l'oued Fodda au NE et l'oued Djidiouia au SO, la longueur de cet affleurement est de l'ordre de 65 Km et sa largeur moyenne est de 4 Km au SO et 2.5 Km au NE.

La formation des calcaires à lithothamnium affleure en rive gauche de l'oued Cheliff. Le pendage vers le Nord de ces assises fait rapidement disparaître les calcaires sous la plaine de Cheliff qui n'affleurent plus en rive droite.

L'Ouarsenis oriental est situé dans la partie méridionale du sillon tellien. Du point de vue structural, la région d'étude est constituée par des unités de nappes de charriage à lithologie très chaotique. Ces unités montrent une stratigraphie très hétérogène et qui présente des séries tantôt à succession normale, tantôt à série renversées. Les observations tectoniques, nous amènent à distinguer de bas en haut:

- le complexe A ;
- la nappe B ;
- la nappe C.

Ainsi, ces différentes unités chevauchent les unes sur les autres par contact anormal en faveur des semelles triasiques argilo-gypso-salines d'où Cette architecture structurale générale est le résultat de plusieurs phases tectoniques dont la dernière est post-miocène inférieure. Les Douars de **Mekhafia**, **Menanaa** et **Ouled Bouziane** appartiennent à la nappe B tandis que les Douars de **Tizgha**, **Moulia**, **Laabaynia**, **Khenancha**, **Kedadra**, **Amar**, **Baalache** et **Kaabria** sont situés au niveau du complexe A.

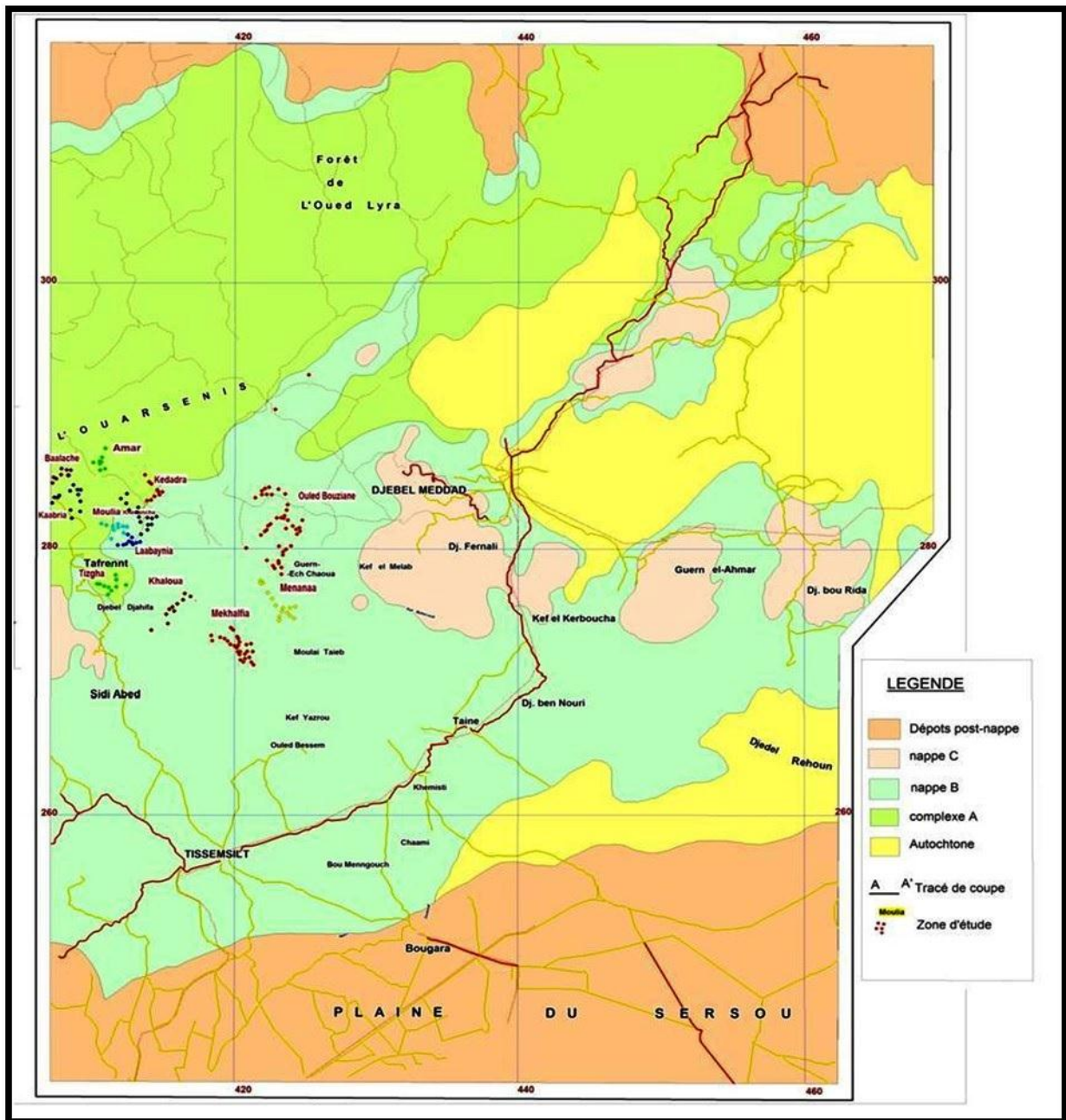


Fig.10 : Carte structurale générale (DRE, Janvier 2014).

II.1. Aperçu géologique de l'Algérie

L'Algérie partie intégrante du Maghreb ou "Afrique du Nord " car elle est située au Nord du craton africain comme elle peut être divisée en trois parties (**Saharien, Atlasique, Tellien**).

Il s'agit des domaines fortement différenciés au cours des phases tectoniques mésozoïques et cénozoïques *Allons du Sud au Nord* (Fig.11).

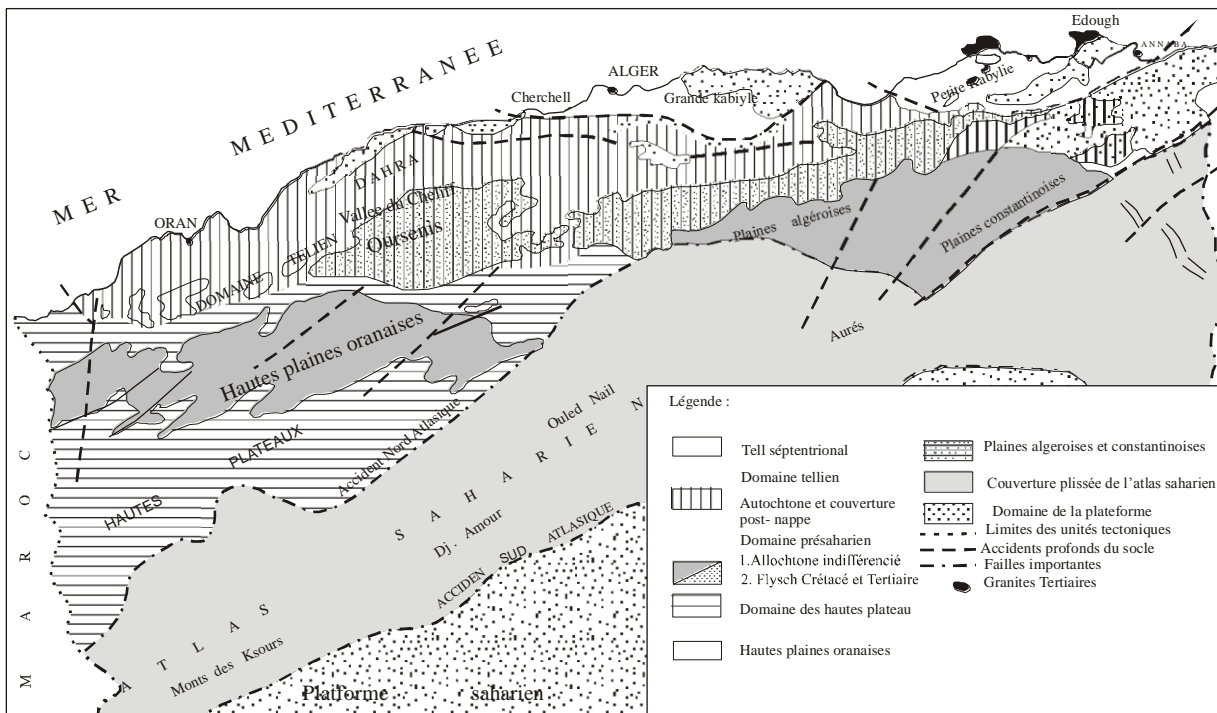


Fig.11 : Cartes structurale schématique de l'ALGERIE (In Hassani, 1987).

II.1.1. Le domaine Saharien

Partie stable appartenant à la " **Plaque Africaine**". Il est limité au Nord par l'accident Nord saharien ou Sud atlasique.

II.1.2. Le domaine Atlasique

Avant pays tellien de la chaîne alpine, il est bordé au Nord par l'ensemble de la Méséta Oranaise et du domaine Tlemcenien.

II.1.3. Le domaine Tellien

Portion de la chaîne alpine qui se raccorde à l'Ouest au niveau de l'arc de Gibraltar aux chaînes bético-Baléares et à l'Est à l'Apennin par l'intermédiaire du système Sicilo-Calabrais.

Il s'agit d'un domaine très tectonisé correspondant en grande partie à la zone des nappes de glissements mises en place durant le Tertiaire.

Trois grands ensembles structuraux caractérisent les traits essentiels dans ce domaine. On distingue du Nord au Sud:

II.1.3.1. La zone interne:

Comprenant le socle Kabyle cristallin et sa couverture sédimentaire: termes paléozoïques liés au socle et puis niveaux surtout carbonatés du Trias à l'Eocène, ceux –ci constituant la dorsale Kabyle.

II.1.3.2. La zone des flysch:

Qui a reçu des sédiments flyshoïdes au Crétacé inférieur et à l'Oligo-Miocène. Au Nord, Les flysch reposent sur la dorsale et le socle Kabyle.

II.1.3.3. La zone Externe ou Tellienne:

Constituée par quelques massifs et par un ensemble d'unités allochtones ou nappes dont la complexité structurale est attestée par le foisonnement des "**unités géologiques**". Cette zone est définie par d'épaisses séries souvent pélitiques et grésos - pélitiques, on distingue:

- a) L'unité ultra- telliennes dont les formations typiques du Crétacé inférieur sont constituées par des marno-calcaires ;
- b) les unités telliennes s. s avec un Crétacé inférieur plus ou moins riche en dépôts terrigènes ;
- c) Les unités péniennes à faciès néritiques prépondérants du Crétacé supérieur à l'Eocène (in Hassani, 1987).

II.2. La géologie de la willaya de Tissemsilt

La géologie de la région de Tissemsilt s'inscrit dans le cadre de l'évolution de la chaîne tellienne et en particulier celle du massif de l'Ouarsenis. (Fig.12)

Cet ensemble à structure complexe est formé de 3 sous-ensembles :

- Au Nord, la zone interne du socle du djebel Doui constitué de formations de l'ère paléozoïque;
- Au centre, la zone externe comprenant des unités diversifiées et fortement charriées dont l'âge de sédimentation va du Trias jusqu'à l'Oligocène ;
- Au Sud, la bordure Sud tellienne représentée par un faciès de remplissage de zones dépressionnaires et subsidences. Il s'agit de formations du Miocène inférieur, du

Pliocène et du Quaternaire.

Les niveaux géologiques massifs se rencontrent pratiquement dans tous les terrains de la région.

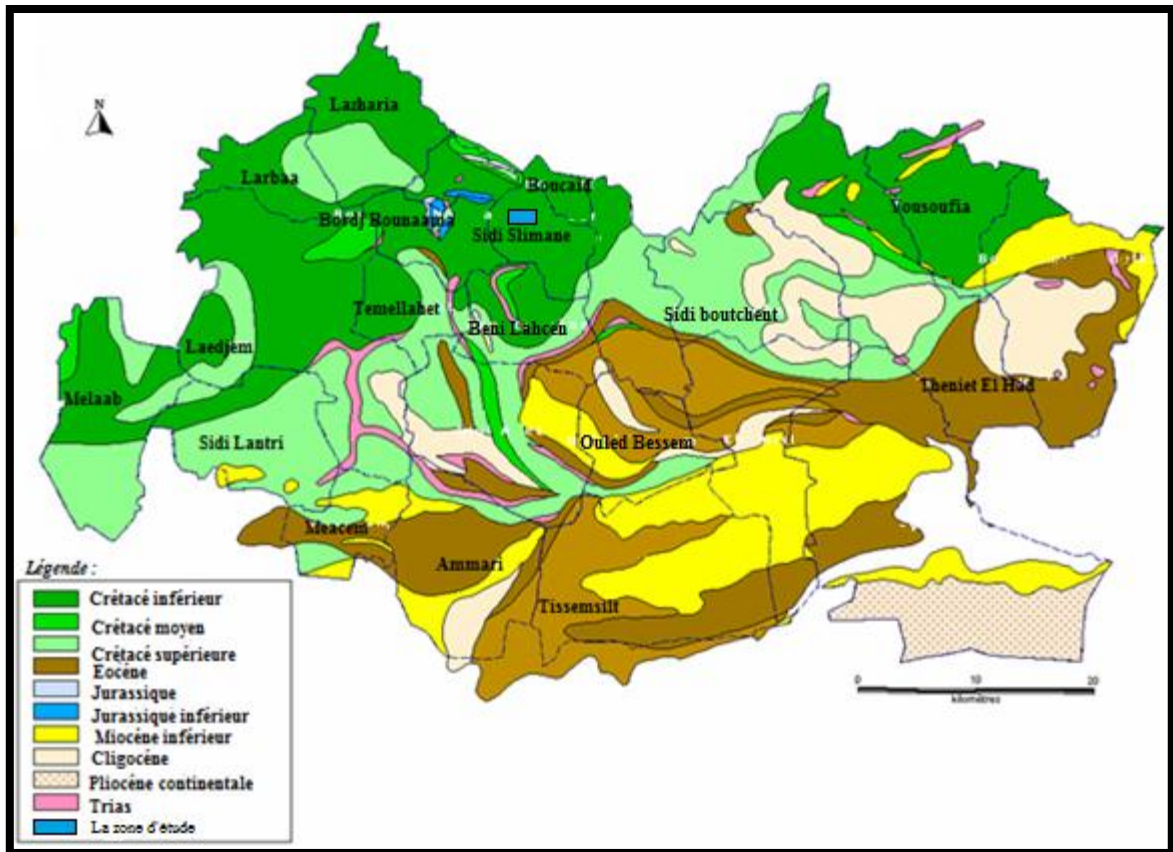


Fig.12: Géologie de la wilaya de Tissemsilt. (L. CALAMBERT, 1952).

II.3. La géologie et limites de la région étudiée

Les eaux émergent au sein d'une formation d'âge barrémo-Aptien constituée essentiellement de schistes très peu quartzeux chargés d'intercalations calcaires et marno-calcaires. La source est à quelques mètres d'une importante barre calcaire d'âge jurassique, très diaclasée, et des niveaux triasiques. Cette barre est en contact anormal avec la formation barrémo-aptienne. Le trias est formé de petits cubes de dolomies, de gypse, d'argiles accompagnées de minéraux tels que l'albite, la blende, la tourmaline...etc. IL apparait dans cette région en position anormale (Mattauer, 1958). Souvent dispersé dans des formations qui sont soit marneuses d'âge cénomanienne et Albien supérieure, soit des grés Quartzeux et Albien et de l'Albien et du Clansayésien.

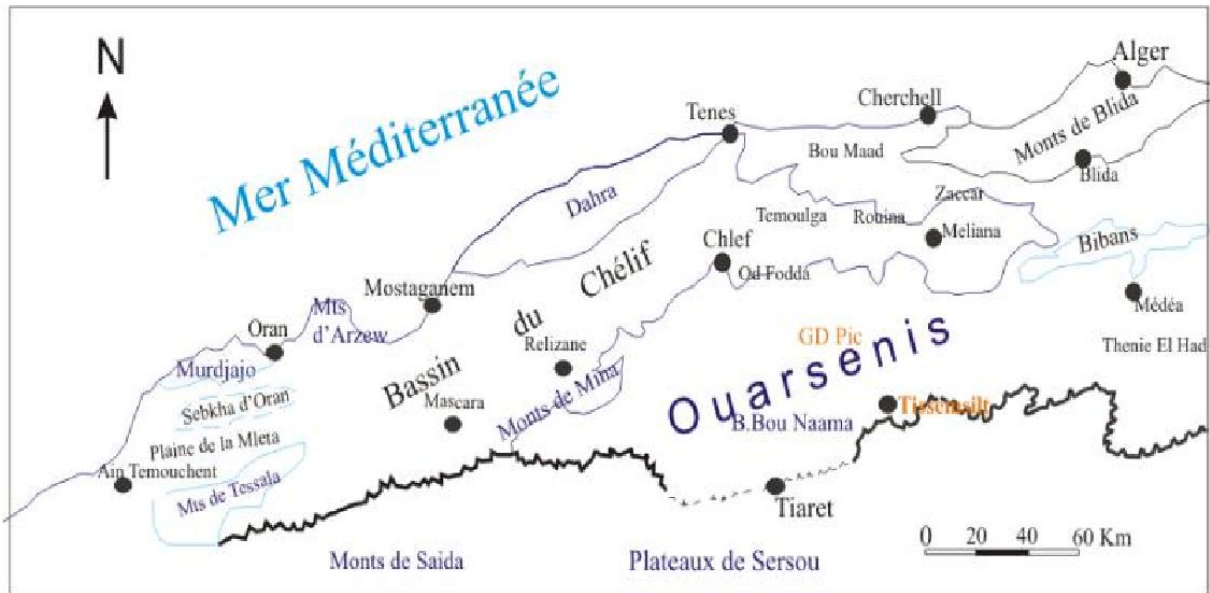


Fig. 13 : Localisation des principaux ensembles morphologiques du Tell algéro-oranais (Benhamou, 1996).

La région étudiée se situe dans la partie méridionale de la zone externe du domaine tellien (Fig.13), au Nord elle est séparée des nappes des massifs de Dahra et ceux de Bou Maâd par la dépression de l'Oued Chélif qui appartient à un linéament Est-Ouest dans laquelle émergent des massifs montagneux jurassique autochtone du Temoulga (Attafs), de Rouina, du Doui et de Zaccar. Cette vaste dépression néogène subsidents (Polvéche, 1960) s'étend d'Ain T'émouchent à Khemis Miliana (Algérie) sur plus de 500 Km Au Sud, cet ensemble est limité par le plateau du Sersou.

II.3.1. Litho stratigraphie

Dans le présent rapport, nous allons présenter particulièrement une description stratigraphique des formations par nappes (le complexe A et la nappe B) et par sites d'étude. Le complexe A englobe essentiellement les assises du Jurassique inférieur et supérieur (Lias, Dogger, Malm), du Crétacé inférieur et moyen (Barrémo-Aptien, Albien, Cénomaniens) jalonné par une multitude de contacts anormaux où le Trias argilo-gypso-salin est présent (Fig. 14).

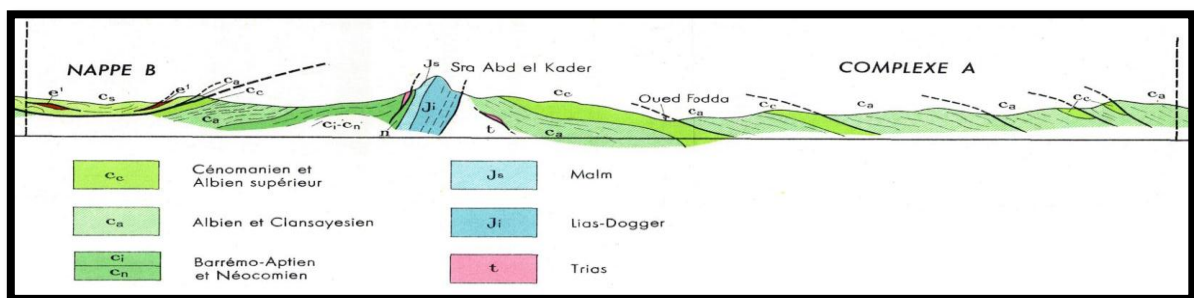


Fig. 14: Coupe géologique à travers le complexe A (DRE, Janvier 2014).

Le substratum permo-triasique dans le massif de l'Ouarsenis est surmonté par des terrains transgressifs de la succession jurassique. La série stratigraphique de l'Ouarsenis est la suivante:

II.3.1.1. Le Paléozoïque

Le Permo-carbonifère est représenté par un socle cristallophyllien suivi par un matériel métamorphique schiste-calcaire, schisto-quartzitique, schisto-gréseux et détritiques conglomératique (Mattauer, 1958).

II.3.1.2. Le Secondaire (Fig.15)

a) Le Trias

- IL comporte des dépôts carbonatés.
- IL apparaît le plus souvent en position anormale.
- IL ne livre aucuns fossiles (Mattauer, 1958)

b) Le Jurassique

IL est bien visible dans les régions suivantes:

- La zone de Chélif (autochtone);
- La zone de Koudiat Larouah (autochtone) ;
- massif culminant de l'Ouarsenis (para-autochtone).

Le Jurassique est caractérisé par des dépôts carbonatés et détritiques de plate-forme peu profond de à profonde.

c) Le Crétacé

IL est caractérisé par des dépôts généralement marneux par fois à intercalations avec des bancs de calcaires et des dépôts détritiques moins importants (Ben Yousef, 2006).

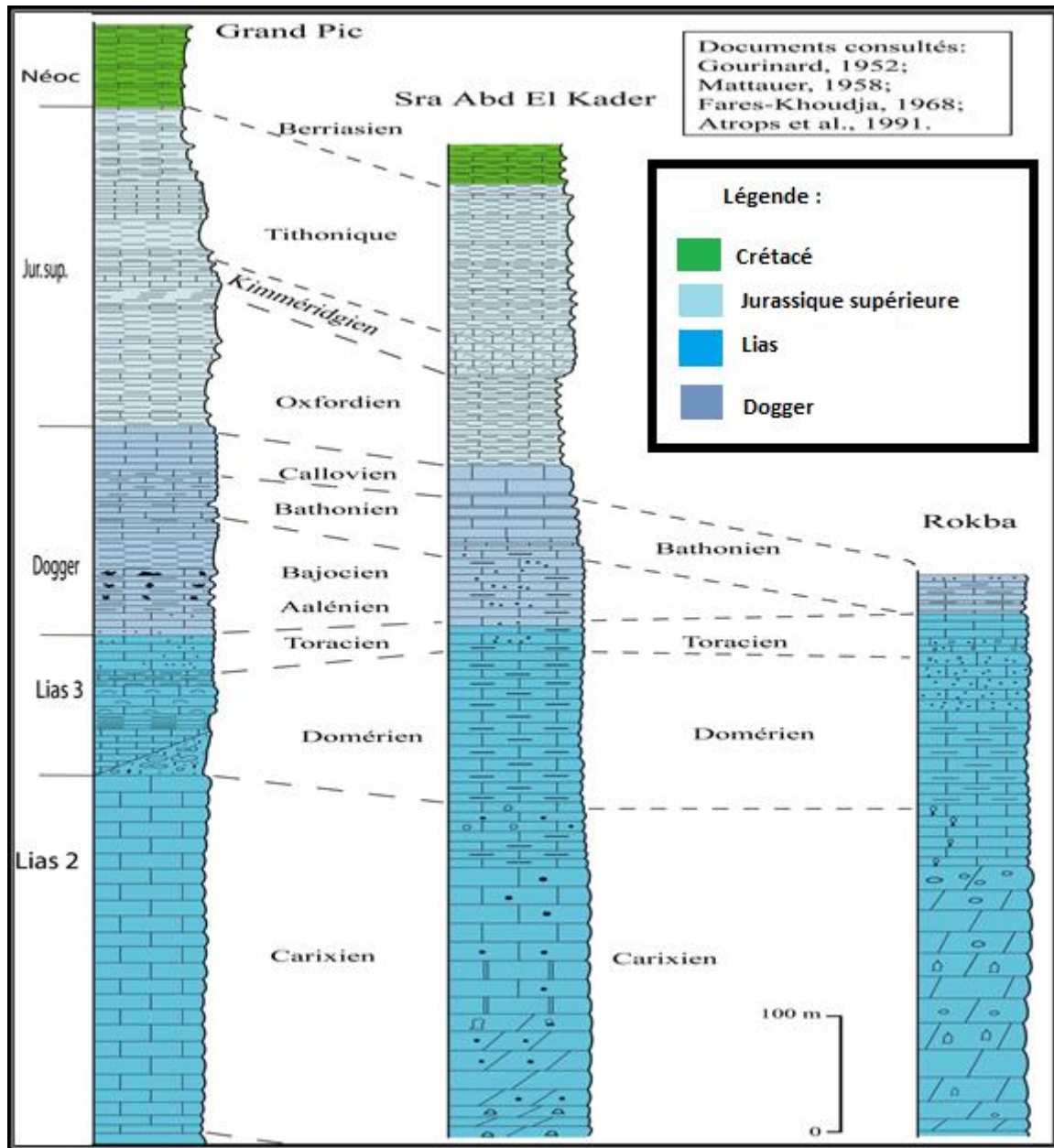


Fig.15 : Log du jurassique du massif culminant d'Ouarsenis (Kireche, 1993)

II.3.1.3. Le Cénozoïque

Les dépôts de la région de l'Ouarsenis sont le plus souvent marneux sauf la période entre le Paléocène et l'Eocène inférieur qui est marquée par des marno-calcaires et grès glauconieux.

Le Miocène supérieur il est représenté par des dépôts de marnes analogues aux premiers et des dépôts gréseux évoluant latéralement vers l'Ouest en formations rougeâtres souvent conglomératiques (Mattauer, 1958), tandis que les placages de cailloutis marquent le Pliocène.

II.3.2. Structural

II.3.2.1. Cadre structural général

Les monts de l'Ouarsenis font partie des zones externes. Les premières phases orogéniques (calédonienne et hercynienne) sont mal représentées, mais l'effet de la troisième phase (alpine) est bien marquée et plus importante avec une structure très complexe. Suivant les travaux de Mattauer (1958), on distingue:

a. L'autochtone :

Ces massifs présentent une structure relativement simple, il s'agit d'un anticlinale d'orientation générale Est- Ouest où ils sont dissymétriques car le flanc nord-est affecté par de nombreuses failles. Tandis que le flanc ouest est caractérisé par une faille nord sud et à l'est par une faille subméridienne

b. Le complexe A :

Se situe entre l'autochtone et la nappe B car il est caractérisé par une tectonique plus complexe. Il est représenté par des injections triasiques reposant d'une façon anormale sur des terrains plus récents.

c. L'allochtone (Nappe B) :

De point de vue stratigraphique, cette nappe est représentée par un Crétacé supérieur généralement marneux, un Oligocène et un Eocène remarquables par la diversité de leurs faciès différents de ceux de l'autochtone.

d. Nappe C :

Dite « nappe numidienne », couronne l'édifice allochtone de l'Ouarsenis oriental. Elle est caractérisée par une surface de contact anormale de base souvent jalonnée de lambeaux jurassiques généralement peu déformés. Stratigraphiquement, cette nappe est caractérisée par un Crétacé à faciès flyschoides des régions littorales, un Oligocène à faciès « Numidien » et un Miocène à galets.

II.3.2.2. Cadre structurale locale

La série jurassique de l'Ouarsenis (para-autochtone) est renversée complètement et affectée par une tectonique très complexe.

Le bloc étudié est délimité par la faille de Roubia (« zone failleuse de Roubia ; *sensu* Calémbert, 1952) qui le sépare du Grand Pic et par des failles normales donnant les trois blocs (Belkhiret, Fartas et Batha) (Fig. 16)

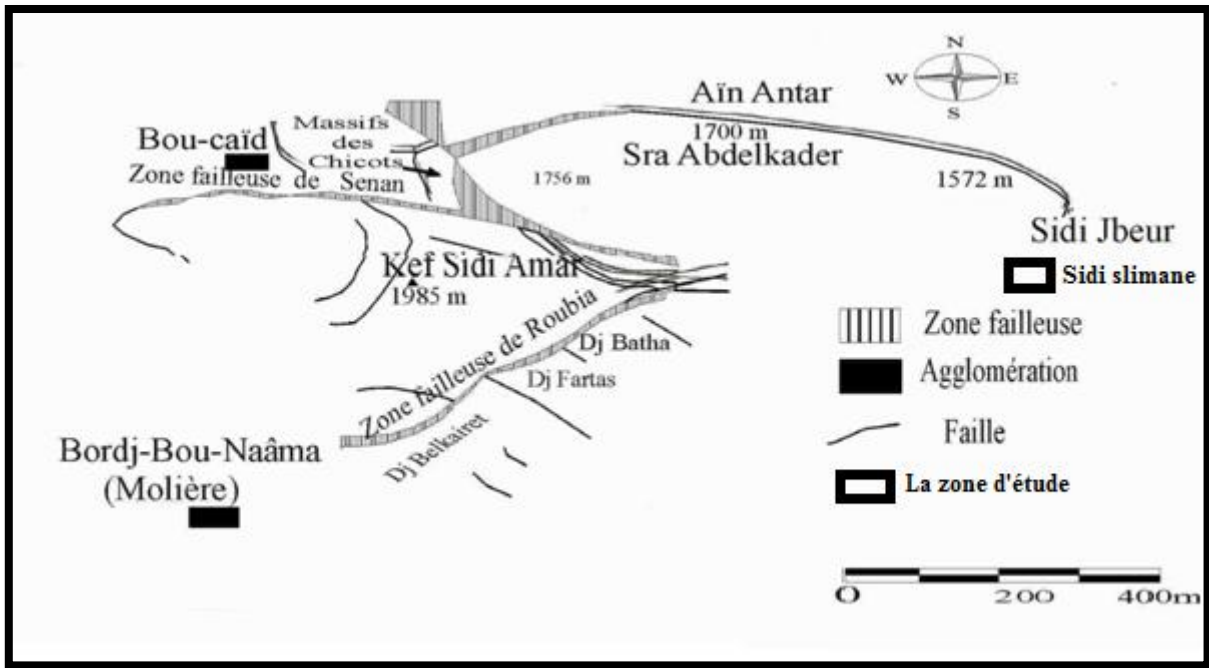


Fig. 16 : Traits structuraux du secteur d'étude. (D'après Calembert, 1952 ; Benhamou, 1996, modifiée).

II.3.3. Paléogéographie

Le Trias du massif culminant de l'Ouarsenis est caractérisé par un régime lagunaire et continental. Le Jurassique inférieur est caractérisé par un dépôt de dolomie dans le domaine du Tell occidental et oriental. Ce dépôt dolomitique, au lias inférieur plus exactement, indique une mer peu profonde et les calcaires conglomératiques témoignent de l'existence de courants marins violents.

A Rokba el Atba et au **Sra Abdelkader**, le Lias moyen est témoin des mouvements de surrection qui commencent à se faire sentir.

Au Toarcien-Aalénien, il se dépose des sédiments marneux au Sud (Grand pic) et au Nord (Oued Fodda). Cette sédimentation marneuse continue au niveau de l'Oued Fodda à L'Aalénien- Bajocien ; par contre au niveau du Grand pic, la sédimentation est comblée par des sédiments détritiques venus du Sud.

Au début du Dogger une paléogéographie très variée avec une sédimentation gréseuse au grand pic, marneuse au Oued Fodda et lacune de sédimentation à Rokba el Atba et **Sra Abdelkader**. Un dépôt de calcaires à filament marque l'envahissement de la mer à la fin du Dogger. Entre temps Rokba est émergée et ne sera ré-envahie par la mer qu'à l'Aptien.

A partir de l'Argovien, la paléogéographie se complique. Au Sud, c'est le faciès pélagique qui règnera jusqu'au Crétacé inférieur. Au Nord, c'est le faciès néritique. Il y a donc une zone qui délimite

au Sud le massif culminant de l'Ouarsenis, Oued Fodda, et au Nord le massif de la plaine de Cheliff et Djebel Farnou. Ce dernier sera recouvert à nouveau par la mer au Sénonien.

II.3.4. Tectonique de la zone d'étude

La tectonique de la région est très complexe et plusieurs études ont été effectuées (Mattaer..) pour une meilleure compréhension des différents phénomènes tectoniques.

La source est située au cœur d'un vaste anticlinal constitué essentiellement de séries crétacées. Ces dernières reposent au Nord en contact anormal sur des formations carbonatées d'âge jurassique et néocomien. Les bancs de calcaires sont très redressés au niveau du grand Pic de Sra de Sid Abdelkader. Au sud, ce même anticlinal est une seconde fois limité par un contact anormal.

L'analyse de la carte des linéaments montre l'intersection, à proximité de la source, de deux importants linéaments matérialisant probablement deux importantes fractures ayant des directions respectives NNE-SSW et NNW-SSE.

Sur les lieux nous avons pu constater le passage d'un important accident orienté NNE-SSE jalonné par les différents griffons de la source. A l'Est de cet accident, des niveaux calcaires bleutés très diaclases apparaissent. Cette fracture est empruntée par une petite rivière s'écoulant vers le Nord en direction d'Oued El Fodda.

Le massif culminant de l'Ouarsenis présente la partie profonde du complexe A, qui est caractérisé par l'apparition au sein du flysch crétacé d'importants lambeaux de calcaires jurassiques. Ces derniers d'après L. Calambert (1952) apparaissent dans deux positions structurales différentes : extrusions et lames de charriages.

II.3.4.1. Les Extrusions

Présentent généralement des caractères constants, il s'agit de lames jurassiques très redressées d'où elles sont limitées par des contacts anormaux dans le flanc Sud et Sud-est avec des surfaces de contact qui peuvent être sub-verticales ou inclinées. Ce type est rattaché principalement aux massifs suivants : *Rokba, Sra Abdelkader, Belkhiret et Kef N'hal*.

Ces extrusions forment trois anticlinaux :

- a. Anticlinal de direction NE-SW, à ennoyage prononcé au NE. Son flanc sud est représenté par les massifs de Bou-Maalah, Ain Seban, Roubia et le massif d'Ain Sour.
- b. Anticlinal orienté NE-SW et dont l'ennoyage est vers le NE. Son flanc Sud est représenté par Djebel Belkhiret, Fartas et Betha.
- c. Anticlinal aigu de Rokba au cœur duquel se trouve l'extrusion.

II.3.4.2. Les lames de charriages

Elles sont représentées au niveau de Djebel Ain el Hadjela et le Grand pic. Le grand pic, selon Calambert (1952) est formé par une série jurassique complètement renversée qui repose par l'intermédiaire d'une surface de contact sub-horizontale sur une série crétacée en position normale.

Et selon M. Mattauer (1958), le Grand pic serait une sorte de horst en éventail affectant une série complètement renversée.

Conclusion

La wilaya de Tissemsilt est caractérisée par un relief accidenté couvert par des formations argileuses ou marno-schisteuses, ce qui lui confie une pauvreté en ressource en eau souterraine.

Dans l'Ouarsenis oriental, la gravité joue un rôle primordial dès le Miocène inférieur dans la mise en place des nappes dans le tell méridionale (Mattauer, 1958).

La région de Bordj Bounaama à des formations géologiques par lesquelles émerge la source thermale de Sidi Slimane « complexe Barrémo-Aptien-Néocomien » constituée essentiellement :

- a. De schistes très peu quartziteux chargés d'intercalations.
- b. Des calcaires et marno-calcaires. Calcaire d'âge jurassique, très diaclasée, et des niveaux triasiques.
- c. Le trias est formé de petits cubes de dolomies, de gypse, d'argiles accompagnées de minéraux tels que l'albite, la blende, la tourmaline.

Introduction

L'hydrogéologie du secteur d'étude a fait l'objet de plusieurs études à caractère général ou ponctuel. Ce chapitre a pour but d'orienter la façon la plus rationnelle et économique à l'exploitation des ressources en eau de secteur.

Pour mieux comprendre le comportement hydrodynamique des formations géologiques par lesquelles émerge la source thermale de Sidi Slimane « complexe Barrémo-Aptien-Néocomien » et afin de définir l'origine « endogène ou juvénile » de la source thermale, il a été réalisé un inventaire systématique des points d'eau au voisinage de celle-ci, tout en mesurant la température, le débit, la conductivité et le PH pour chaque point d'eau inventorié.

Etant donné la grande complexité géologique et hydrogéologique de la région d'étude, nous avons été contraints d'entreprendre une approche structurale sur le terrain pour une meilleure compréhension du système de fonctionnement du thermalisme dans la région.

Nous avons aussi exploité les données géophysiques trouvées pour aboutir à l'identification des aquifères, leurs épaisseurs et la variation du substratum.

Enfin, l'étude piézométrique du secteur et les pompages d'essai (manque de données), devraient servir à bien schématiser la fonction conduite du réservoir, et la détermination des caractéristiques du complexe aquifère/ouvrage de captage ; ainsi que les paramètres hydrodynamiques des aquifères.

L'étude géologique nous permet, d'après l'analyse lithostratigraphique et structurale du bassin, de distinguer les terrains susceptibles de constituer des aquifères (Fig.19) :

- ❖ Les formations des grès, sables et conglomérats du Quaternaire
- ❖ Les formations gréseuses (dunaires et à hélix) du Pliocène supérieur
- ❖ Les formations des grès de base du Pliocène inférieur
- ❖ Les calcaires grumeleux à lithothaminées du Miocène supérieur
- ❖ Les formations conglomératiques basales du Miocène inférieur et du Miocène supérieur.
- ❖ Les massifs calcaires du Chélif d'âge Jurassique, intensément fissurés et karstifiés.

Grâce à leurs structures, les plaines centrales synclinales, constituent les aires les plus propices à l'accumulation des eaux souterraines, donc les plus favorables et les plus économiquement exploitables.

III.1. L'émergence de La source thermique de Sidi Slimane (Fig.20)

La source de Sidi Slimane est située au Sud-est du Djebel Ouarsenis, elle est sur la rive droite de l'Oued El Hammam. Son altitude est de 1100 m. Les importants affleurements calcaires du jurassique sont les favorables à une éventuelle exploitation hydrique. L'alimentation des différentes émergences se fait probablement grâce à cette formation.

Les calcaires du Néocomien constituant le seconde niveau favorable et possèdent un potentiel hydrique non négligeable pouvant également alimenter la source du Hammam Sidi Slimane.

La source émerge en une multitude de points localisés au fond du lit et sur les parois des falaises qui bordent l'Oued El Hammam, sur une superficie de 20 m sur 700 m environ, ces émergences sont, soit ponctuelles pouvant atteindre 1l/s, soit des suintements sur plusieurs m (ENET, 1985).

La source draine les circulations profondes au sein de la série carbonatée du Jurassique-Néocomien (Nedjai, 1987). Cette série est fort redressée au niveau du SraAbd El Kader et repose en contact anormal sur les formations du Crétacées du Barrémo -Aptien (Fig.17).

Les eaux émergent au sein d'une formation d'âge barrémo-aptien, constituée essentiellement de schistes très peu quartzeux chargés d'intercalation calcaires et marno-calcaires. La source est à quelques mètres d'une importante barre calcaire d'âge jurassique, très diaclasé, et des niveaux triasiques. Le Trias est formé de petits cubes de dolomies, de gypse, d'argiles accompagnées de minéraux tels que l'albite, la blende, la tourmaline.

Il apparaît dans cette région en position anormale, souvent dispersée dans des formations qui sont soit marneuses, d'âge cénomanien et albien supérieur, soit des grès quartzeux de l'Albien (Nedjai, 1987).

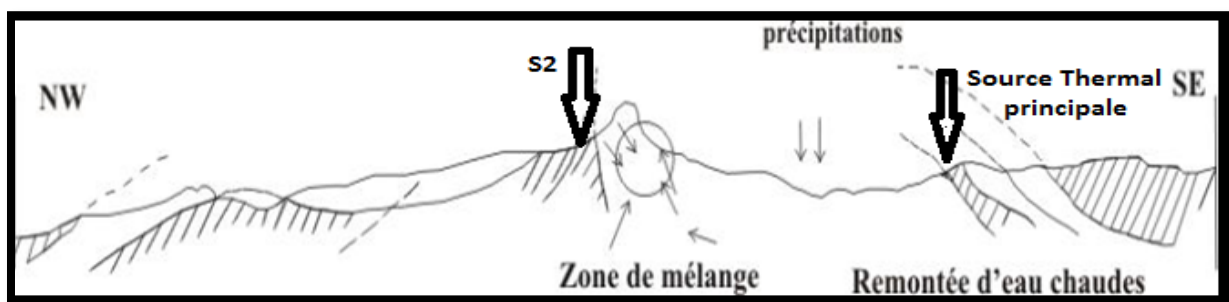


Fig. 17 : Modèle de circulation des eaux de la source thermal de Hammam Sidi Slimane (Nedjai, 1987).

III.2. Principaux aquifères et zones susceptibles d'être aquifères

La lithologie de la région est très variée et complexe. Elle est composée des calcaires, des grès, des roches détritiques consolidées. Pour ce qui suit nous citons les formations potentiellement susceptibles d'être aquifères (**Fig.18**).

D'après les données existantes on distingue deux types de nappes (superficielles et profondes) :

➤ *Les nappes phréatiques (superficielles) :*

-le remplissage Plio-Quaternaire des dépressions de Layoune, Khemisti, Tissemsilt et Ouled Bessam ainsi que les vallées alluviales des Oueds Lardjem et Nahr Ouassel qui sont relativement exploitées ; forment de bons aquifères superficiels.

➤ *Les nappes profondes :*

Les nappes profondes représentées principalement par des réservoirs calcaires et gréseux, qui sont structurellement complexes et très mal connues.

Les affleurements des grès numidiens et albiens en profondeur, au djebel Meddad, djebel Laghouat, djebel Guerne Lahmar, djebel Nador, peuvent constituer de bons aquifères.

III.2.1 .Les nappes phréatiques

III.2.1.1. Les alluvions des Oueds Lardjem et Oued Fodda

Les alluvions superficielles des deux oueds constituent de bons aquifères exploitables notamment pour la petite et moyenne hydraulique et subsidiairement pour l'alimentation en eau potable.

III.2.2. Les nappes profondes

III.2.1.1. Les calcaires

Les calcaires sont représentés par le jurassique et le barremo- aptien du crétacé, qui dominent la zone septentrionale de la wilaya.

a) Les calcaires jurassiques

Le Jurassique affleure au djebel Ouarsenis (Bordj Bounaama) qui est composé d'une roche dure et compacte. De nombreuses sources au pied de ce massif témoignent de l'existence des Karsts.

b) Les calcaires du crétacé

Les principaux affleurements sont au djebel Rhilès au Nord Est de la wilaya

c) Les Grès Numidiens :

Deux grandes masses de grès numidiens affleurent au djebel Meddad et le djebel Laghouat.

d) les Grès numidiens du djebel Meddad, djebel Laghouat et djebel Guern lahmer

Ce sont des roches siliceuses, d'origine détritique, très fissurées par la tectonique et favorables à l'infiltration. Elles peuvent constituer des réservoirs souterrains importants.

e) Les Grès et les Formations du Miocène

Les assises gréseuses reposent sur des marnes imperméables ; elles peuvent constituer de bons aquifères. Ces formations affleurent en plusieurs endroits.

f) Les Grès du Djebel Nador et Khemisti

Cet affleurement se localise au Nord de la wilaya ; il est bien alimenté en pluie. Les pentes sont faibles, favorisant ainsi l'infiltration.

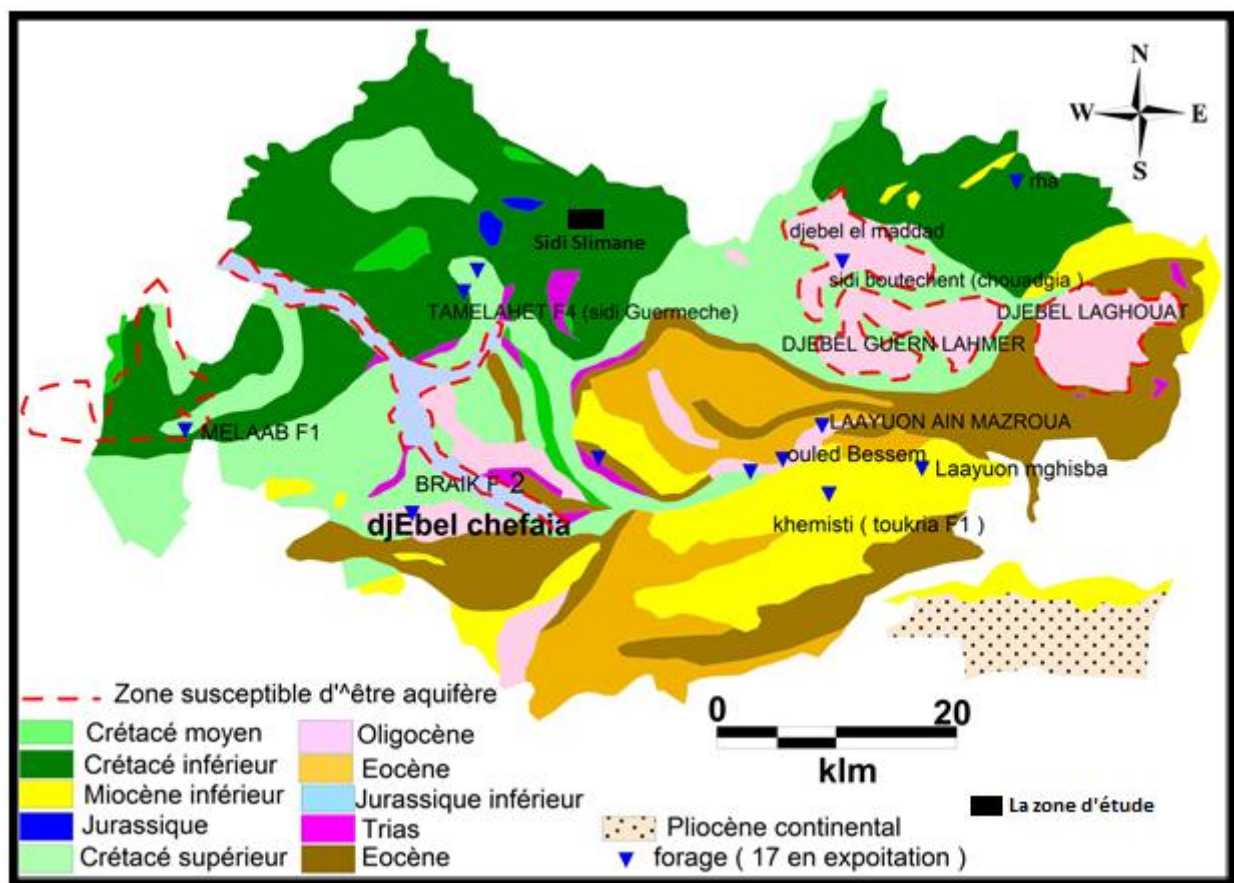


Fig. 18: Zone susceptible d'être aquifère (extrait de la carte géologique Algérie-Nord (1/500000))

III.3. Les caractéristiques lithologiques des formations géologiques conditionnent en premier leur comportement hydrogéologique. (Fig. 19)

III.3.1. Le Trias

Son comportement hydrogéologique est très variable car il joue un rôle hydrochimique important du fait de sa contribution à la salure des eaux superficielles à l'exemple des oueds Tamellaht et Mellah-Lardjem, et des eaux souterraines de la région.

III.3.2. Le Jurassique

L'unique affleurement du Jurassique est constitué par le grand massif d'Ouarsenis. Ce massif constitue un système hydraulique localisé, et compartimenté en rapport avec les unités tectoniques. Il est constitué par la série carbonatée qui se présente comme un ensemble fortement diaclasé, et a subi une longue période d'action climatique ayant conduit à la dissolution du calcaire. Sa morphologie est de type karstique. C'est une véritable roche réservoir, dont l'alimentation en eau est favorisée par les pluies et la fonte des neiges. De nombreuses sources jalonnant le pied de ce massif.

Bien que la pluviométrie soit relativement élevée, 600 à 800 mm de précipitations annuelles, et que les roches à perméabilité de fissures et de chenaux de dissolution déterminent une surface de l'ordre de 15 à 20 km², les sources n'ont pas de gros débits et sont rarement pérennes.

Sauf drainage naturel des nappes par des failles, les exutoires sont des sources de déversement déterminées par le relief et l'allure des roches, souvent fort redressées.

Nous avons pu disposer des descriptions hydrogéologiques provenant de l'étude de Calembert (1952) et qui a concerné les sources d'Ain Tolba, Ain Sour, Ain Kahala, Ain Seban, Ain Belkairat, Ain Bou Caid, Ain Bou Abdous, Ain Atba, Ain Rokba et Ain Mora.

Seul les trois premières sources : Ain Tolba, Ain Sour et Ain Kahala disposent et peuvent être correctement localisées par leurs coordonnées de Lambert (Fig. 20).

III.3.3. L'Albo Cénomanién

Les formations de cet âge correspondent à une épaisse série de calcaires en gros bancs souvent mal consolidés et se débitant parfois en plaquettes grossières. Ces calcaires alternent avec des marnes calcaires bleutées, à altération grisâtre.

Ces bancs ont une direction 95° à 110°N avec un pendage allant de 30 à 60° vers le SSW. L'épaisseur totale de cet ensemble doit dépasser 500 m. Cette formation est captée par la majorité des forages de la région. Les failles, les fissures et diaclases affectant ces calcaires,

associées aux effets de la dissolution chimique favorisant l'infiltration des eaux météoriques. Il en résulte la formation d'un milieu karstique.

III.3.4. L'Oligocène

Les affleurements de cette formation ne sont pas importants et son rôle hydrogéologique est peu important. Il se localise plus largement dans le versant oriental de l'Oued Mellah-Lardjem, en contact anormal avec le Trias. Ce dernier contribue à la salure des eaux de l'Oued Mellah-Lardjem.

Cette formation d'aquifère possède une porosité d'interstice parfois de fissuration.

III.3.5. Miocène inférieur

C'est une sédimentation récente de la fin de Tertiaire qui est plus ou moins tectonisée. La perméabilité est essentiellement de fissure. Les assises gréseuses reposent sur des marnes imperméables. Grâce à cette structure, ces roches constituent un aquifère relativement important.

Là où les affleurements de cette formation sont importants correspondent à la région de Maacem (Djebel Chefaia), et celle de Sidi Abed (amont de l'Oued El Baiad).

Le Miocène constitue un aquifère à nappe réduite et discontinue dans le secteur d'étude.

III.3.6. Pliocène

Le pliocène ne dépasse pas quelques dizaines de mètres au maximum. Son rôle hydrogéologique est peu important à cause de sa faible épaisseur.

III.3.7. Quaternaire

Les formations quaternaires représentent par leur faciès une lithologie variable suivant le type de dépôts. Seules les alluvions d'âge récent offrent des capacités en eau intéressantes. Elles se localisent essentiellement au fond de l'Oued Lardjem, elles sont étagées en terrasses, les terrasses inférieures constituant une nappe phréatique d'inféro-flux. Cette nappe est captée par de nombreux puits traditionnels exploités par les puits agricoles de la région.

Les éboulis qui tapissent les pieds des versants structuraux, ne constituent pas de véritables aquifères car ils sont minces et de faible extension

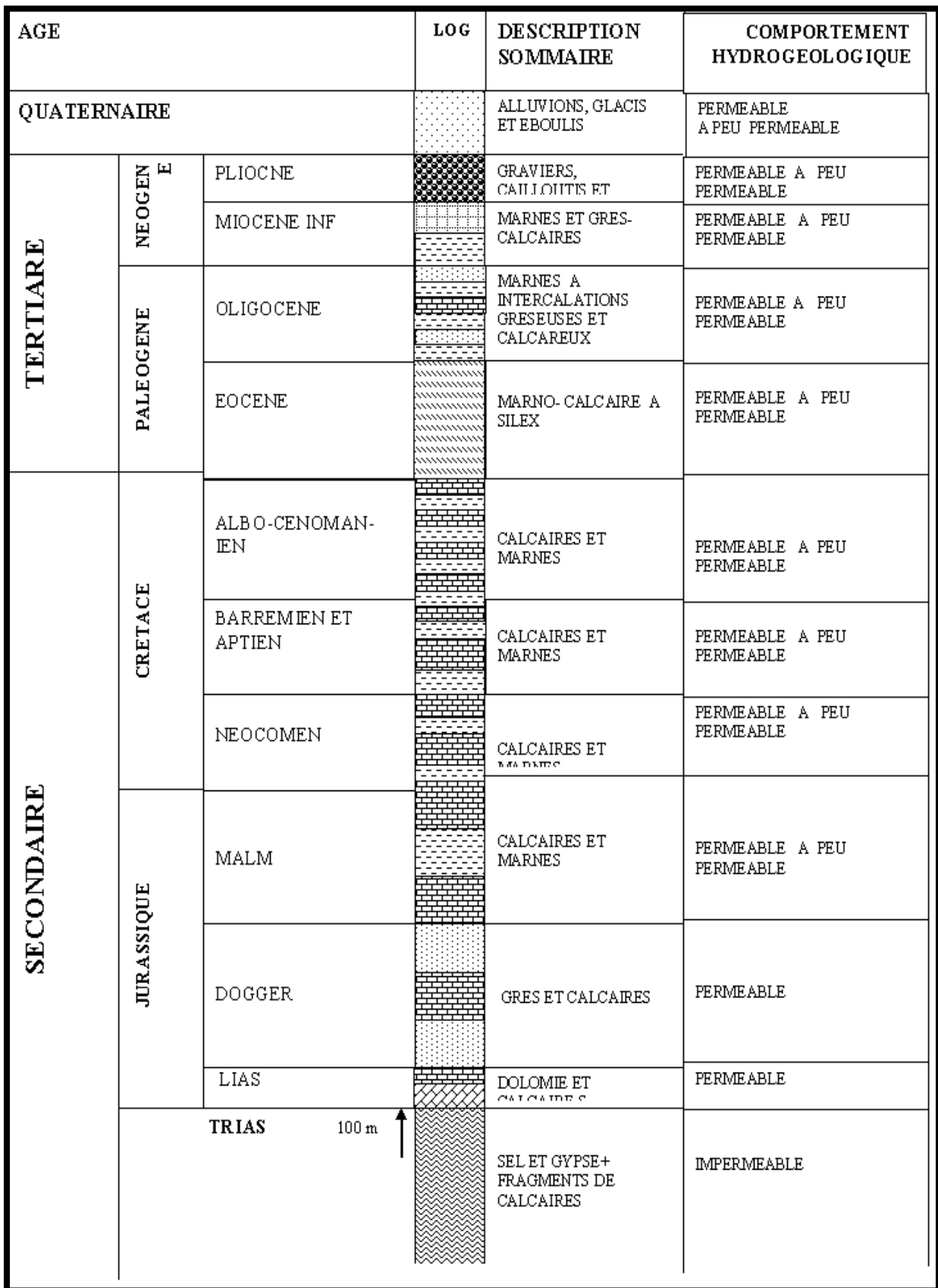


Fig. 19 : log hydrogéologique du secteur d'étude.

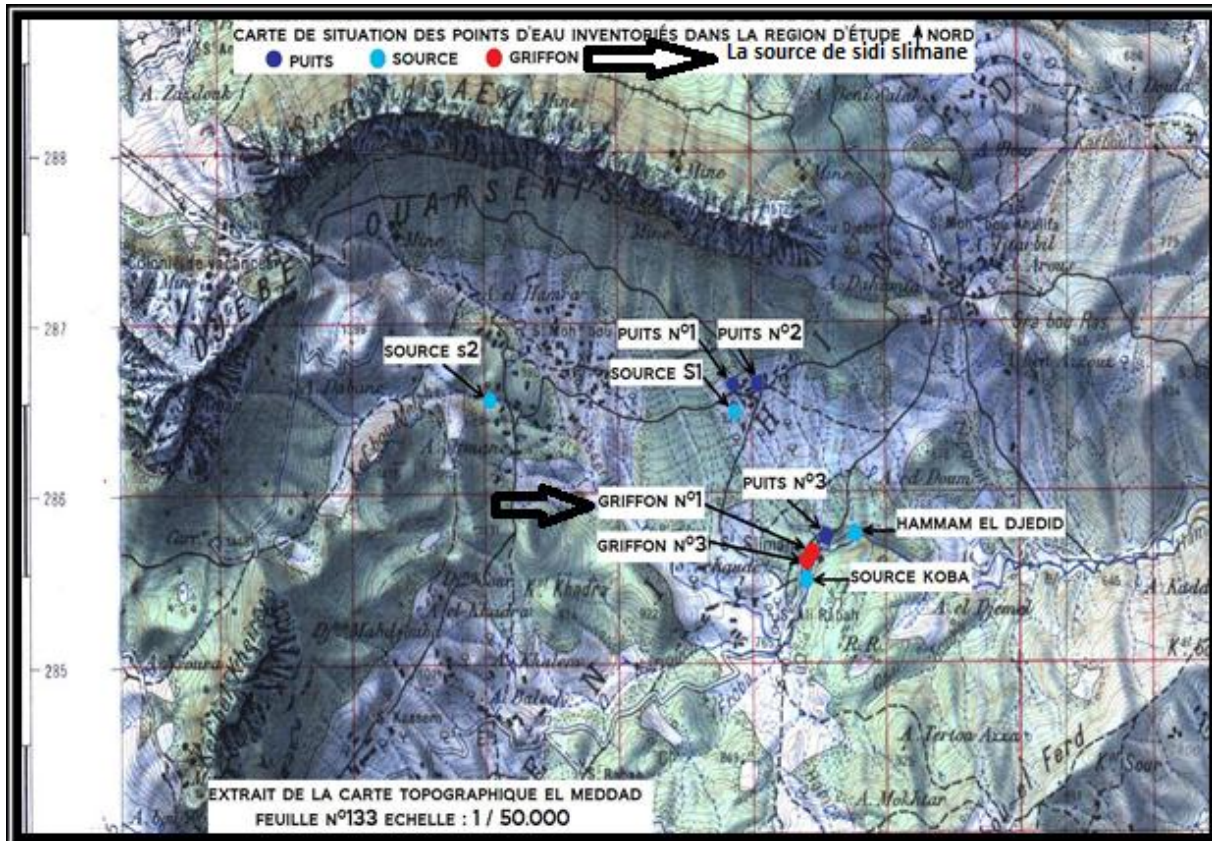


Fig. 20 : Localisation géographique des sources drainant l’affleurement jurassique du Djebel Ouarsenis.

III.4. Les sources que drainant l’affleurement jurassique du Djebel Ouarsenis

a. La source d’Ain Tolba ($X = 403.000$, $Y = 286.500$, $Z = 1600$ m)

Elle émerge sur le flanc ouest du Grand pic, à l’altitude approximative de 1600m, au toit d’une assise de calcaires et argiles du Dogger, qui forme un substratum imperméable sous les couches calcaires retournées du Lias supérieur. Il s’agit de l’exutoire d’une nappe perchée due à la disposition tabulaire, en bassin, des assises liasiques.

La circulation de l’eau à travers le Lias s’effectue par des fissures et des diaclases élargies. Sa rapidité relative et les surfaces restreintes du contact des eaux et des roches, généralement compactes, ont réduit à fort peu de chose les effets de la dissolution.

b. La source d’Ain Sour ($X = 403.500$, $Y = 285.000$, $Z = 1010$ m)

La source d’Ain Sour, se trouve sur le flanc occidental du Djebel du même nom. L’eau sort des éboulis et provient du grand réservoir constitué par le massif morcelé d’Ain Sour. Son contexte hydrogéologique indique le Lias comme roche mère et exclut l’idée d’un trajet considérable dans la zone faillée de Roubia (Calembert, 1952).

c. La source d'Ain Kahala (X = 406.750, Y = 288.000, Z = 1669 m)

Captée à proximité du contact Lias -Dogger, l'eau d'Ain Kahala alimente les fontaines du parc national, sur le versant nord de Sra Abd El Kader, dans la forêt de cèdres. La circulation des eaux se fait à travers des accidents et failles envahies par les formations évaporitiques du Trias.

d. La source d'Ain Seban

Cette source à débit relativement important, alimente une grande partie de la plaine de Mitidja. Elle se trouve à une altitude de 150 mètres.

La source dépend d'une nappe semi captive, enfuie dans les calcaires et les dolomies liasiques.

e. La source d'Ain Belkairat

Elle apparaît dans les éboulis, à proximité du contact par faille des formations liasiques du Mont de Belkairat avec les flysch du socle, au bord Sud.

f. La source d'Ain Boucaid

Elle jaillit dans le calcaire rognonneux de l'Argovien du lambeau de Bou Caid, à près de 1 Kilomètres à vol d'oiseau du contrefort septentrional du Grand pic. Il y a disproportion manifeste entre le débit de cette source pérenne et le district d'alimentation qui constituerait ce lambeau exigü.

g. La source d'Ain Bou Abdous

Situé au Nord de la Mitidja, ce point d'eau ne peut être qu'en relation avec la chaîne d'Abd El Kader, bien que jaillissant dans le flysch Albo-Aptien.

h. La source d'Ain Atba :

A la rencontre par faille subverticales du Lias inférieure et du flysch, en relation avec une série calcaro-dolomitique très redressée et profondément enfoncée dans le socle. L'exutoire serait la manifestation d'une nappe profonde.

i. La source d'Ain Robka :

La situation géologique se révèle sur la partie occidentale de la faille extrusive de Rokba El Atba. L'accident ici est nettement transversal et les travaux souterrains ont révélé une zone très disloquée et des failles remplies de calcaires et de schistes broyés.

j. La source d'Ain Mora :

Mora sourd au bord de la zone failleuse d'Abd El Kader qui tronque la sierra à son extrémité occidentale et est remplis de roches triasiques injectées.

Bien qu'elle soit proche du bassin d'alimentation liasique, l'eau est très modifiée par la circulation à travers le dérangement envahi par le Trias (Calembert, 1958).

III.5. Etudes géophysiques

Introduction

La tectonique allochtone du secteur d'étude est extrêmement complexe : les contacts anormaux y sont très nombreux et jalonnés de Trias ; les superpositions anormales sont courantes ; les faciès sont fréquemment entremêlés dans un ordre quelconque. Toute étude géophysique par prospection électrique exposée à un tel contraste, rend toute interprétation difficile.

Cependant, nous avons tenu compte d'un maximum de données bibliographiques existantes afin de cerner au mieux la lithologie et la structure de la zone, et ce, dans le but de déterminer des niveaux aquifères ainsi que, dans la mesure du possible, leur géométrie et leur épaisseur respective. Ces niveaux concernent, d'une manière générale, les formations détritiques de la nappe B et les formations chaotiques du complexe A (**Chap.2, P.25,30**). La présente étude géophysique, devrait permettre une profondeur d'investigation théoriquement comprise entre 200 et 250 mètres à l'aide de sondages électriques en ligne AB=1000m. En effet et en raison de la présence de niveaux triasiques sous forme de semelles, le courant injecté peut être absorbé par ces dernières, ce qui réduit parfois considérablement la profondeur d'investigation. Les formations essentiellement concernées par cette prospection électrique sont le Jurassique, le Crétacé, l'Eocène, le Miocène inférieur allochtone et l'Oligocène de la nappe B.

III.5.2. Mise en œuvre

La technique utilisée sur le terrain était celle des sondages électriques verticaux. Elle consiste à injecter dans le sol un courant électrique continu par l'intermédiaire de deux électrodes d'acier et de mesurer la différence de potentiel créée aux bornes de deux autres électrodes en cuivre. L'ensemble des électrodes constitue ce que l'on appelle un quadripôle. Les mesures du courant électrique et de la différence de potentiel au moyen d'un résistivimètre, permettent de déterminer la résistivité apparente du milieu à l'aide de la formule suivante :

$$Ra = K \frac{dV}{IAB}$$

Où :

Ra : résistivité apparente du milieu

K : facteur géométrique qui ne dépend que de la position relative des électrodes et s'exprime par :

$$K = 3,1415 \cdot AM \cdot AN \cdot MN$$

dV : différence de potentiel aux bornes des électrodes MN.

I AB : intensité du courant électrique circulant dans le circuit AB.

Une fois la résistivité déterminée, la longueur AB est allongée de manière à obtenir une autre valeur de résistivité, correspondant à une plus grande profondeur, jusqu'à ce que la longueur maximum du dispositif (1000 m) soit atteinte. Lors de cette étude, le dispositif utilisé était celui de Schlumberger et comprenait 22 mesures par sondage électrique (annexe II).

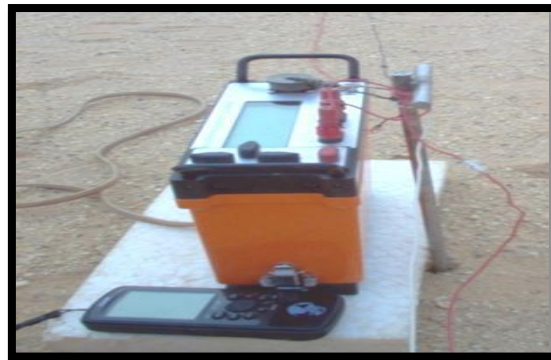
III.5.3. Travaux réalisés

Ce rapport est relatif à l'étude de 8 sites totalisant 87 sondages électriques.

Tableau.12 : Nombre de sondages électriques réalisés par site.

Communes	Sites prospectées	Nombre de SEV
Sidi Slimane	Douar Amar	8
	Douar Kedadra	10
	Douar Khenancha	15
Beni Lahcen	Douar Laabaynia	10
	Douar Moulia	10
	Douar Tizgha	11
Bordj Bou Naama	Douar Baalache	10
	Douar Kaabria	13

III.5.4. Matériel utilisé



III.5.5. DOUAR AMAR – DOUAR KEDADRA – DOUAR KHENANCHA - DOUAR LAABAYNIA DOUAR MOULIA

III.5.6. Etalonnage des données de géophysique

Pour l'établissement d'une échelle des résistivités fiable qui sera utilisée lors de l'interprétation des sondages électriques, nous utiliserons les sondages paramétriques réalisés directement sur les formations prospectées.

Tableau. 13 : Echelles des Résistivités des formations d'après les sondages paramétriques.

FORMATIONS	AGE	RESISTIVITE ADOPTEE (OHM. M)
MARNES MARNO-CALCAIRES SCHISTES QUARTZITEUSES ET CALCAIRES	BARREMO-APTIEN-NEOCOMIEN (Ci, Cn)	1.5 A 27 36 A 79 100 A 738
ARGILES ARGILES SCHISTEUSES SCHISTES A GRES ET QUARTZITES	Albien (Ca)	5 A 30 28 A 81 94 A 687
MARNES MARNO-CALCAIRES CALCAIRES	Sénonien (Cs)	3 A 25 28 A 79 83 A 1866
MARNES MARNO-CALCAIRES CALCAIRES	Cénomannien Turonien (Cc)	2 A 27 31 A 62 102 A 215
MARNES MARNO-CALCAIRES CALCAIRES	Eocène (e1)	2 A 10 18 A 73 102 A 215

III.5.7. Interprétation des mesures géo-électrique

(DOUAR AMAR - DOUAR KEDADRA - DOUAR KHENANCHA)

Ces sondages sont exécutés sur un ensemble de formations du Crétacé du Complexe **A** et La nappe **B**, constituées essentiellement de marnes, marno-calcaires, grés et schistes à intercalations de bancs calcaires (**Chap.2.P25.30**).

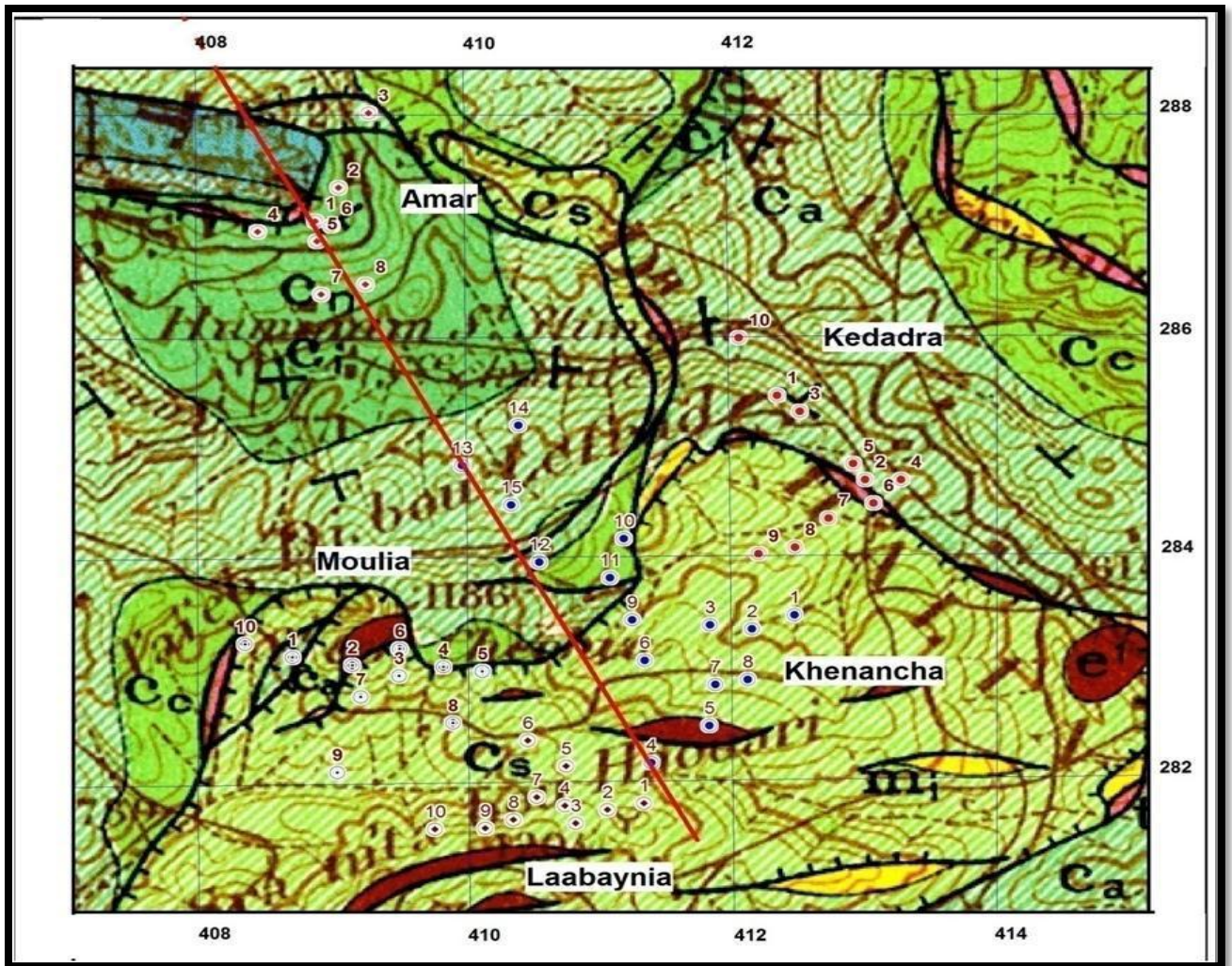


Fig. 21: Carte de situation des sondages électriques (Douars Amar-Kedadra-Khenancha-Moulia et Laabaynia).

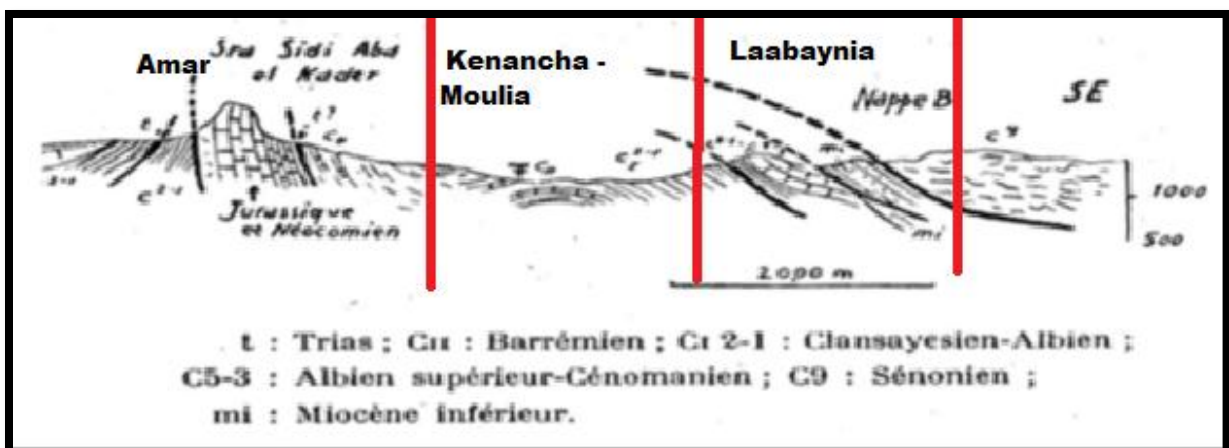


Fig. 22 : Coupe lithologique à travers Sra Sidi Abd el Kader 15DRE. Tissemsilt / BETA-Consults.

La tectonique chaotique affectant le secteur d'étude et la répartition spatiale des différents sondages électriques réalisés pour l'ensemble des sites ne favorisent pas l'établissement des coupes géo électriques classiques, selon une direction préférentielle d'un profil donné. Après analyse minutieuse, le principe de superposition des terrains n'est pas utilisable, ce qui nous a contraintes à entreprendre une interprétation basée sur des niveaux de résistivités des formations rencontrées. Ainsi, nous avons attribué à chaque sondage électrique, une coupe lithologique interprétative selon l'échelle des résistivités adoptée.

➤ *Douar Moulia :*

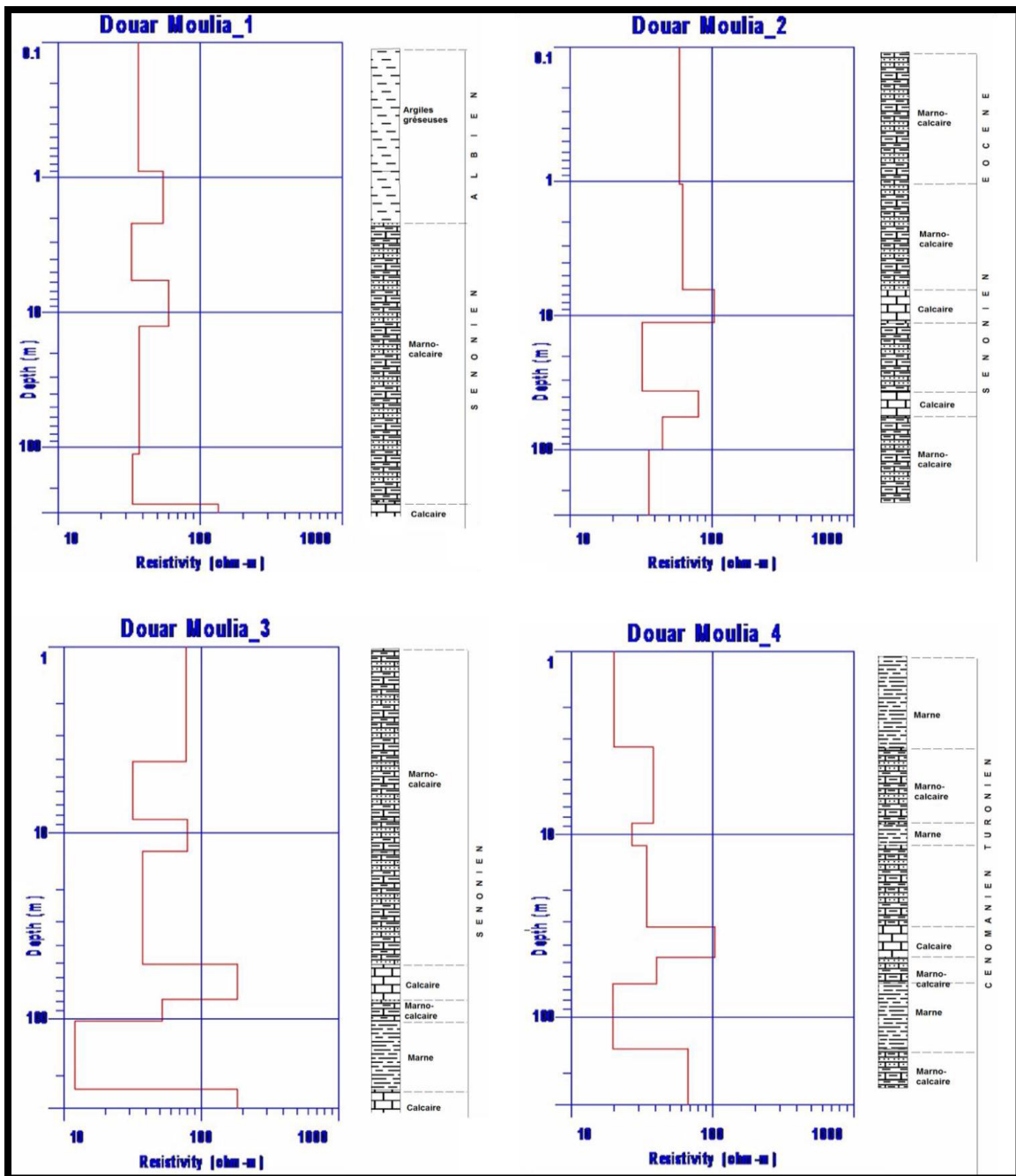


Fig.23 : Coupes géo-électriques de DOUAR MOULIA.

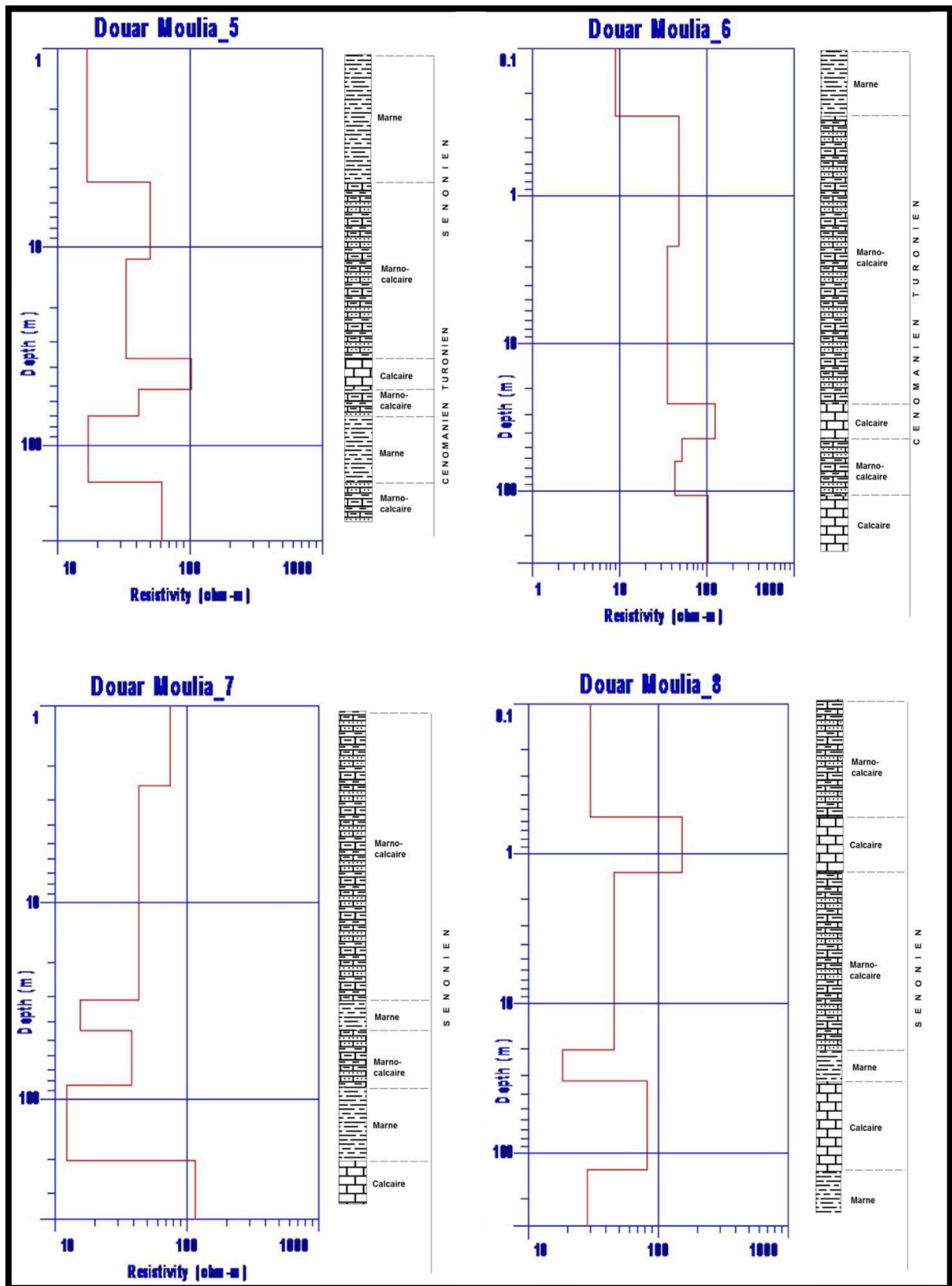


Fig.24 : Coupes géo-électriques de DOUAR MOULIA.

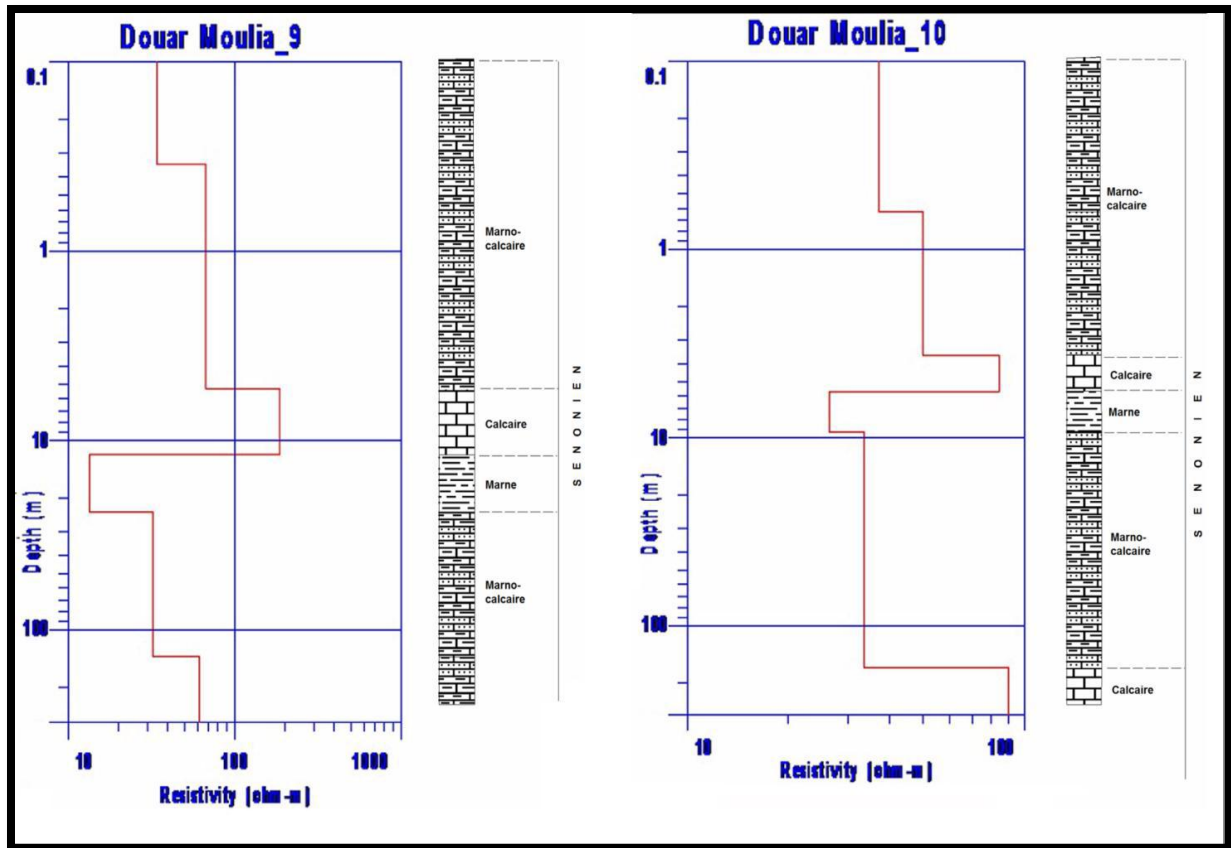


Fig.25 : Coupes géo-électriques de DOUAR MOULIA.

➤ DOUAR KHENANCHA :

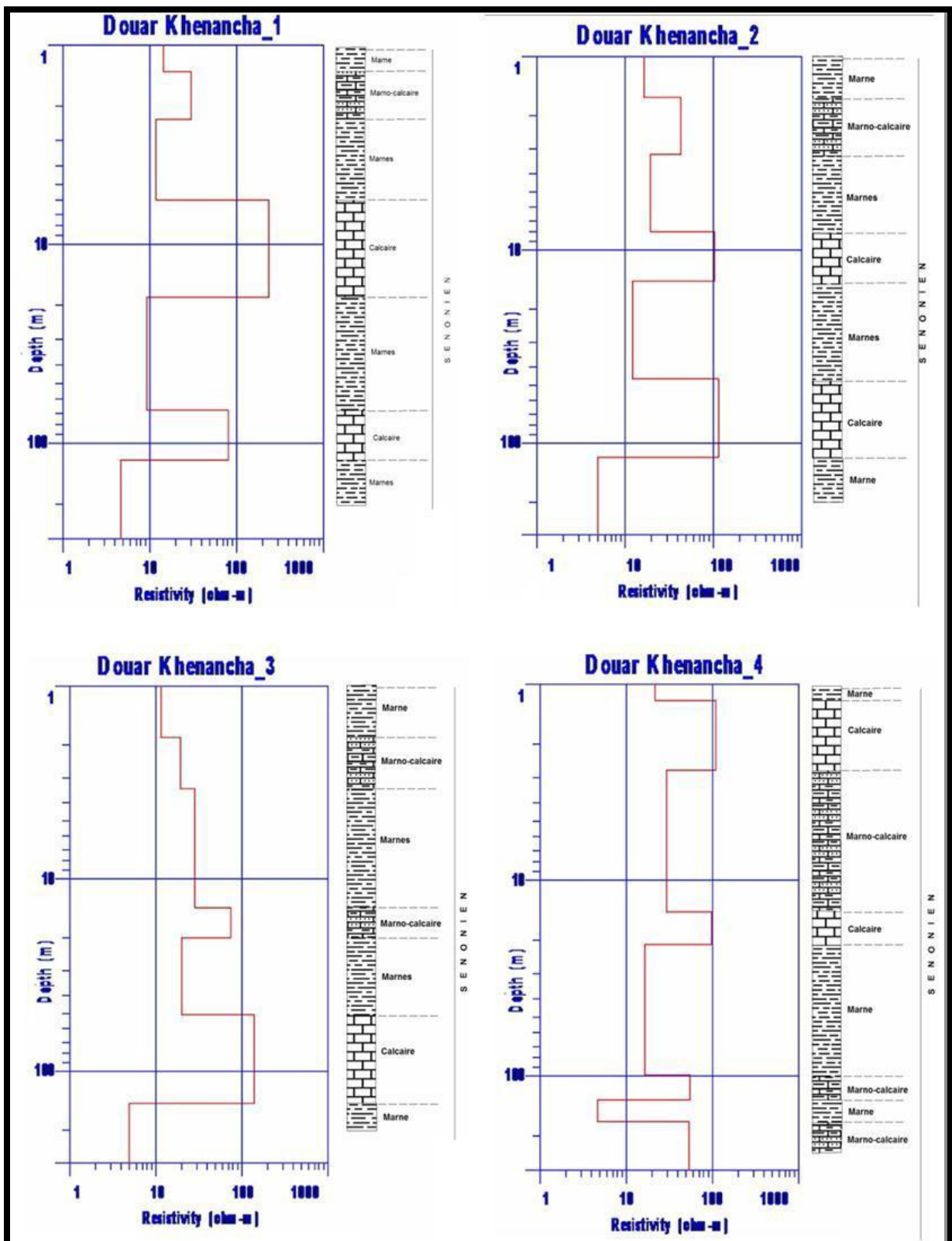


Fig.26 : Coupes géo-électriques de DOUAR KHENANCHA.

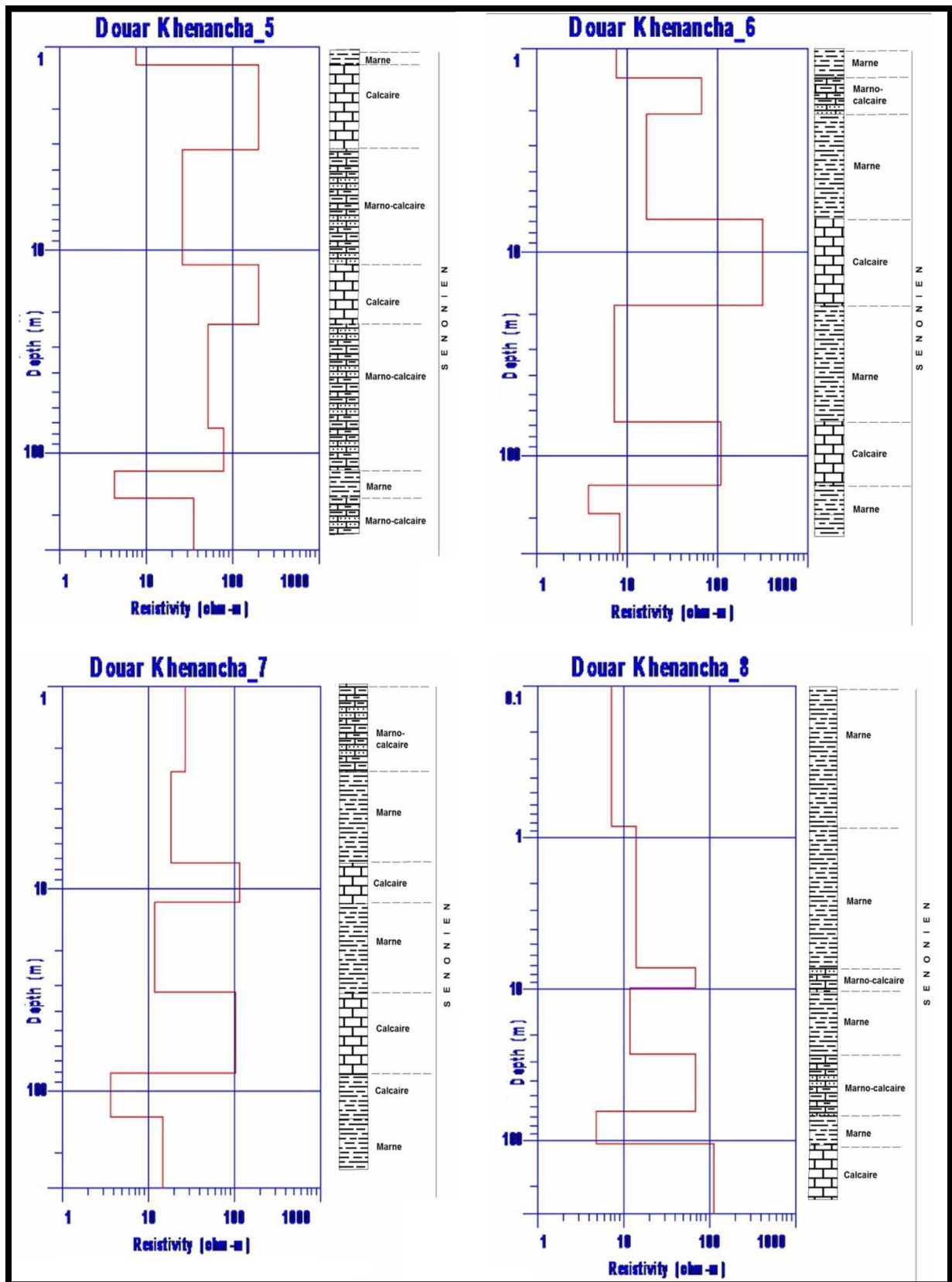


Fig.27 : Coupes géo-électriques de DOUAR KENANCHA.

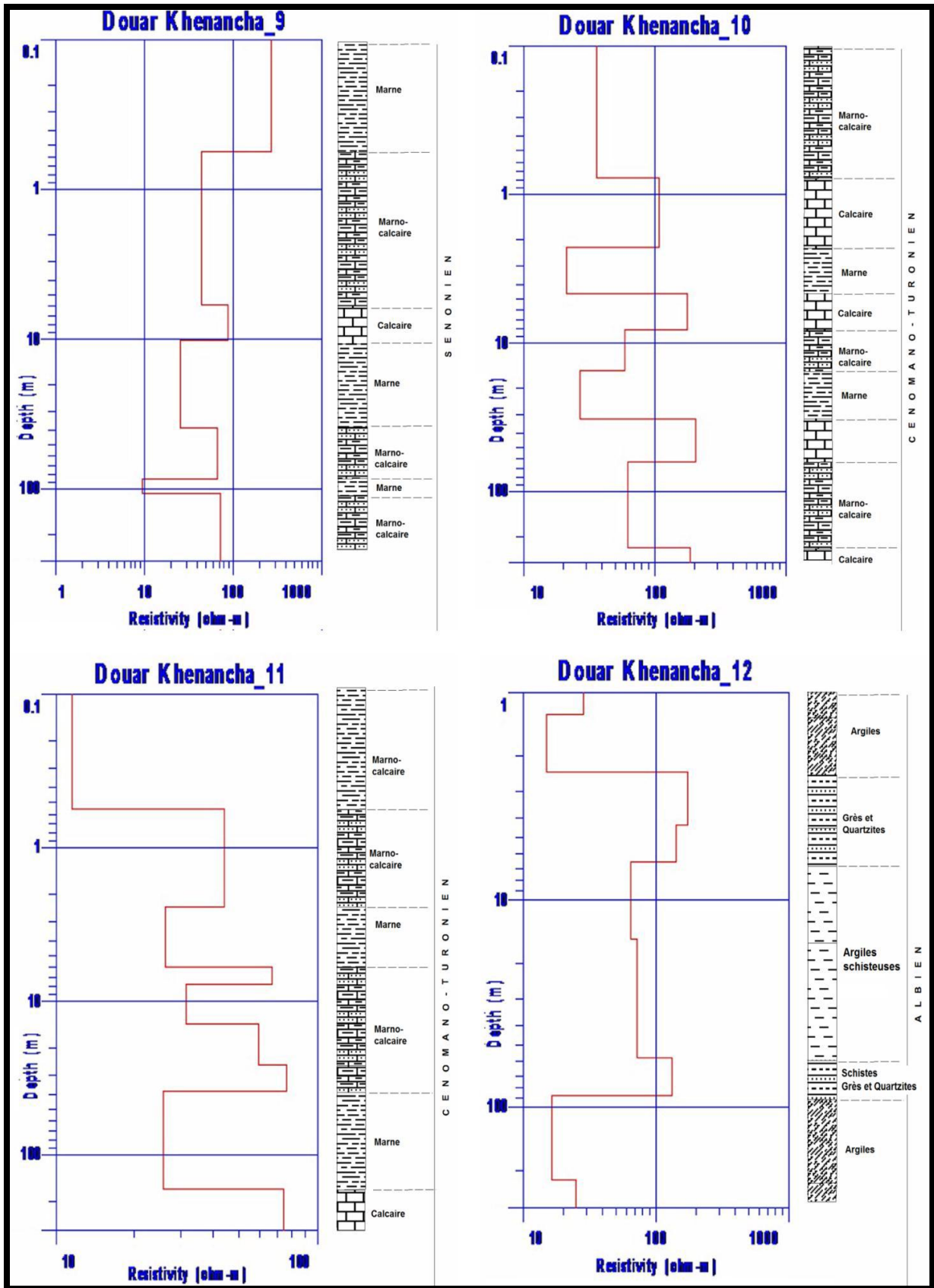


Fig.28 : Coupes géo-électriques de DOUAR KENANCHA.

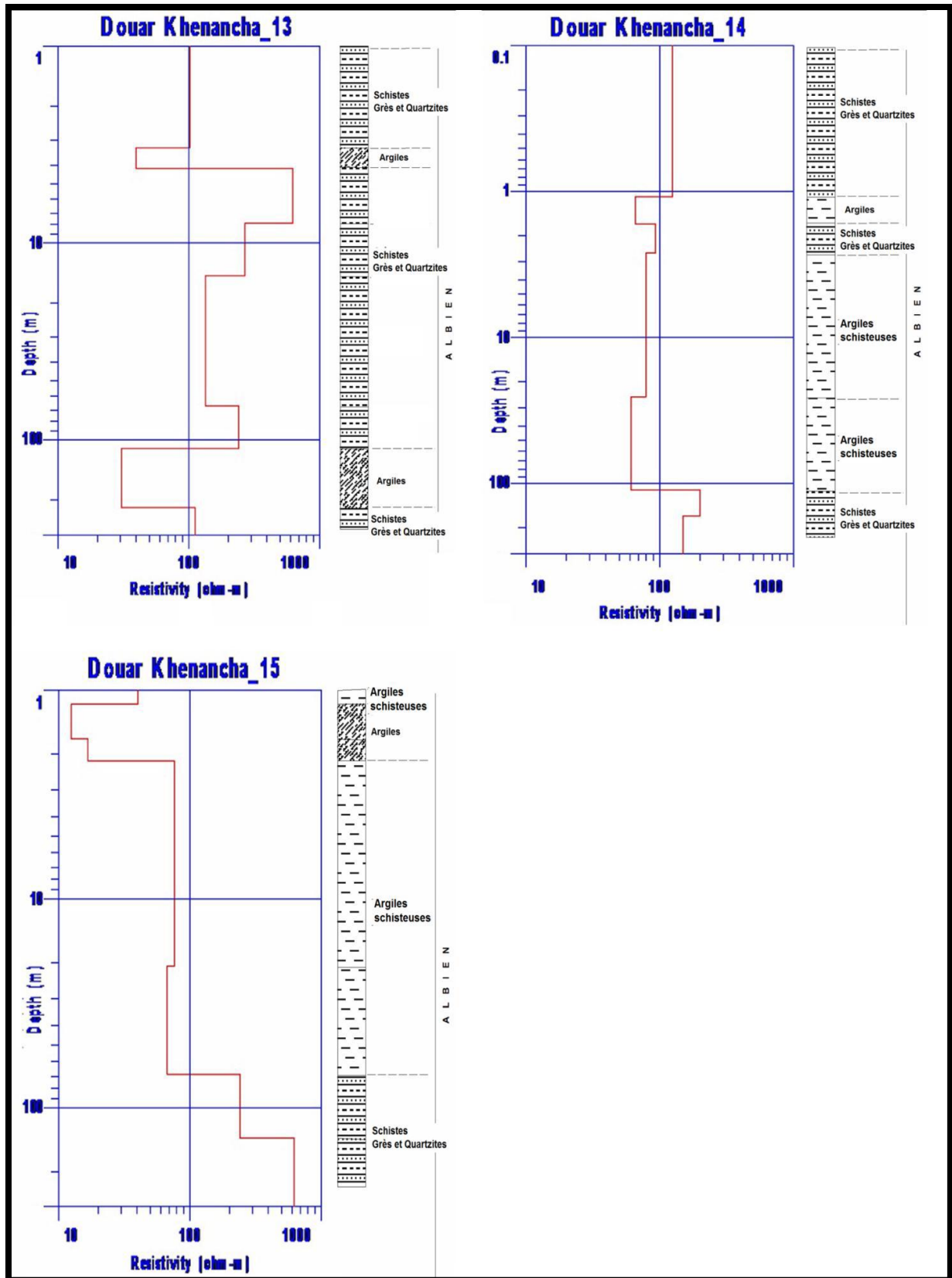


Fig.29 : Coupes géo-électriques de DOUAR KENANCHA.

Conclusion

Si on observe correctement la région autour du Hammam, « **Dj. SraAbd El Kader** », on constate que ce Djebel est formé par des calcaires massifs dont la direction est ESE-WNW et que le pendage des couches est orienté vers le SWS.

Les failles sub-méridionales qui ont affecté ce massif montagneux drainent l'eau de surface qui provient du sommet de la montagne « **Zone d'alimentation** ».

L'eau s'infiltré à la faveur de ce réseau de failles et circule vers la profondeur où elle atteint les couches les plus chaudes. Elle se charge en élément dissous par interaction avec les roches encaissantes et se charge parfois en gaz.

Les températures accélèrent la cinétique de l'interaction eau roche (effet de la température sur la cinétique). Quand elle arrive à la grande faille située au sud de **SraAbd El Kader**, elle suit cette faille vers le SE jusqu'à l'intersection de celle-ci avec la faille orientée NE-SW.

L'eau devenue chaude et donc moins dense remonte automatiquement vers la surface en empruntant la deuxième faille d'orientation (NE-SW).

Les prospections électriques réalisées au niveau des différents sites d'étude, confirment nettement la complexité géologique et tectonique qui caractérise 'Ouarsenis oriental.

Les différentes coupes lithologiques interprétatives montrent que les faciès imperméables sont les plus dominants, les niveaux qui peuvent constituer des aquifères sont discontinues, et parfois en position structurale défavorable.

Du point de vue géo électrique, les points les plus favorables à la réalisation d'ouvrages d'exploration hydrogéologique sont résumés dans le tableau ci –dessous.

Pour une meilleure utilisation de l'étude géophysique, il serait nécessaire lors de la réalisation des forages proposés de procéder à un étalonnage des données pour une meilleure précision de la géométrie des horizons aquifères ainsi que de leur minéralisation.

Tableau. 14 : Forages de reconnaissance hydrogéologique propres.

DOUAR	FORAGE PROPOSE ET LE SEV CORRESPONDANT	COORDONNEES X UTM Y UTM (KM) (KM)		PROFONDEUR (M)	AGE DE LA FORMATION AQUIFERE
Moulia	Fp1 (SEV 6)	382,507	3966,765	250	Sénonien-Cénomanién
Khenancha	Fp2 (SEV 2)	385,157	3966,918	130	Sénonien

Introduction

L'étude hydrochimique permet d'avoir une idée sur la qualité de l'eau, de connaître la répartition des faciès chimiques, de les comparer entre eux, de suivre leur évolution dans le temps et dans l'espace et de déterminer parfois les zones d'alimentation.

En raison des données disponibles, nous tenterons d'examiner dans ce chapitre en détail la nature des eaux de la nappe des calcaires à Néocomien.

Les analyses effectuées sur 08 échantillons pour trois périodes ont donné les résultats figurant dans les tableaux ci-dessus.

A partir des données analytiques on a pu élaborer des diagrammes hydro- chimiques de type Stabler, Schoeller-Berkaloff et Piper.

IV.1. Aperçu générale sur les eaux thermales

Le développement harmonieux du potentiel thermal de l'Algérie reste obligatoirement lié à une bonne connaissance de la matière première : eau et son origine, gage d'une bonne protection-développement de la ressource. L'objectif principal doit consister à pérenniser un patrimoine vital et un produit stratégique de développement.

Si les eaux thermo minérales ont été considérées jusqu'à une époque récente comme des phénomènes surnaturels auxquels les cultures et les civilisations ont attribué un caractère sacré, l'évolution des connaissances et l'utilisation de diverses disciplines scientifiques ont permis d'appréhender ces phénomènes et de comprendre leurs fonctionnements hydrogéologiques. Actuellement, diverses méthodes d'investigation (géologie, géophysique, géochimique...) permettent de préciser les mécanismes de fonctionnement de ces eaux. Si bien qu'il nous est permis aujourd'hui de remplacer la notion de griffon et de captage par celle de **système hydrothermal et de forage d'eau thermal**, gage d'une bonne protection « Développement de la ressource » (A. Issaadi, 1992).

Selon la commission des eaux minérales et thermales de l'Association Internationale des hydrogéologues (In Issaadi, 1992) :

Une eau est dite thermale si sa température à l'émergence est plus élevée que celle de la limite supérieure de la zone d'homothermie ou à défaut à la température interannuelle du lieu considéré, plus 4°C.

Grâce à l'utilisation récente des isotopes de la molécule d'eau et de la phase dissoute, particulièrement l'oxygène 18 et le deutérium, le tritium et le carbone 13 et 14, on n'admet que les eaux thermo minérales proviennent pour l'essentiel d'eau d'infiltration. Les circulations

s'effectuent de la surface vers la profondeur, puis de la profondeur vers la surface déterminant un **circuit hydrothermal**, où l'eau assure un brassage géochimique continu dans cette tranche de l'écorce terrestre.

Lors de la remontée vers la surface, les eaux traversent des terrains de plus en plus froids et des milieux à perméabilité de plus en plus élevée conduisant le tronc thermal souvent à se ramifier et à déterminer plusieurs griffons dont un principal et d'autres secondaires. Des mélanges avec des eaux plus froides, intermédiaires ou superficielles peuvent se produire. (In Issaadi, 1992).

C'est la théorie même du thermosiphon. La zone d'alimentation est située en altitude ; A ce niveau une partie de l'eau de surface s'infiltré à la faveur d'un réseau de failles. L'eau froide et dense circule vers la profondeur où elle gagne des couches de plus en plus chaudes grâce au gradient géothermique régional. Elle se charge en éléments dissous par interaction avec les roches encaissantes, et se charge parfois en gaz. Les hautes températures accélèrent la cinétique de l'interaction eau roche (effet de la température sur la cinétique). L'eau chaude moins dense remonte vers la surface en empruntant une faille majeure récente, tout comme la présence du gaz qui diminue la densité apparente à partir du point de bulle facilite la circulation de l'eau.

IV.2. Le Thermalisme de la Source de Hammam Sidi Slimane

La zone de hammam **SIDI SLIMANE**, se trouve dans la partie centrale du pittoresque massif de l'Ouarsenis, elle est caractérisée par son unité physique remarquable enclavée entre un ensemble de montagnes et des chaînons présentant les traits d'une haute étroite et la plus encaissée de la vallée de l'oued el **HAMMAM SIDI SLIMAN**, enserré entre deux falaises quasi-verticales.

Administrativement, le site de la station thermale est contenu dans le périmètre du chef-lieu de la commune de **SIDI SLIMANE** sur le CW 5.

La zone de Hammam **SIDI SLIMANE**, dispose d'un grand nombre de sources situées au fond du lit de l'oued ou sur les parois des falaises qui le bordent à une altitude moyenne de 750 m. Signalons que huit sources seulement sont captées dont sept avec un débit de 6 L/S sont utilisées par l'établissement communal des bains et une source par l'établissement privé des bains. Les analyses physicochimiques et de minéralisation faites sur les eaux thermales des sources utilisées, ont permis de classer ces eaux dans la catégorie des eaux chlorures saoudiques excessive, (Les eaux de ce Hammam se composent de 470 mg/L de sulfate, de 994 mg/L de chlore, de 667 mg/L de calcium et de 286 mg/L de bicarbonate) cependant, en première analyse cette catégorie s'avère indiquée essentiellement pour le traitement des maladies de rhumatisme chronique, rhumatif dégénératif, gastrites intestinales.

Elle permet d'envisager la création d'un centre sanitaire thermale ou les cures prescrites par les médecins exigent certains procédés de médecine physique telle que la Kinésithérapie. La station thermale de **SIDI SLIMANE** est réputée à l'échelle nationale, le seul motif d'attraction basée sur la tradition, l'habitude ou le plaisir de prendre un bain. Malheureusement, cette station à l'heure actuelle, ne représente pratiquement aucun intérêt financier pour la collectivité locale et la population. Cette importante station thermale capable de créer des courants de revenus qui profitent à l'ensemble de la population.

Pourtant toutes les conditions (qualité, abondance de l'eau, climat, site) sont réunies. En plus de sa fonction thermale, le site de hammam **SIDI SLIMANE** jouit d'un cadre naturel exceptionnel dans la région. Ce cadre constitue une attraction naturelle importante du fait de la grande beauté du paysage, un somptueux décor.

Du fait de ces ressources paysagistiques d'une grandeur sauvage, la zone offre des possibilités touristiques certaines. Cette station thermale de **SIDI SLIMANE** est exploitée depuis 1910, ses eaux riches en composants minéraux et d'une température de 42° degré. L'achèvement du camp de jeune et du complexe thermal de **SIDI SLIMANE** dotés de toutes les commodités.

IV.3. Etude Hydrochimique

Dans le cadre de l'étude hydrochimique de la source thermale de Sidi Slimane, ont été effectués le 04 et le 05 mai 2012 six (06) prélèvements d'échantillons d'eau pour des analyses physico-chimiques et métaux lourds. Pour comparer les résultats obtenus, l'étude a été complétée par deux autres campagnes 1984 et 1985 (tabl. 15 et 16).

Les analyses pour la partie physico-chimique ont porté essentiellement sur les teneurs des principaux ions qui sont :



-  Cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} et K^{+}
-  Anions: Cl^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-} , NO_3^{-}

Tableau. 15: Analyse des eaux de source de Hammam Sidi Slimane de la compagnie (2012).

Source/Puits Prélèvement du 04 et 05/05/2012	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	HCO ₃ mg/l	NO ₃ mg/l	Conductivité à 25°C µs/cm	PH	Température en °C mesurée in- situ	Résidu Sec mg/l
<i>Griffon N°1 (Source Sidi Slimane)</i>	230	46	410	3	740	468	214	0	4400	7.5	40.4	2904
<i>Griffon N°3</i>	221	51	500	3	838	405	259	0.5	4120	7.3	35.3	2719
<i>Source Koba</i>	179	41	315	2	525	326	305	5.5	3130	7.2	30.3	2061
<i>Source S1</i>	126	24	46	2	15	39	488	10.9	900	7.5	18	553
<i>Source S2</i>	51	9	4	2	0	30	153	6.7	302	7.6	14.6	199
<i>Puits N°3</i>	72	71	140	2	226	179	336	15.5	1608	7.7	23.2	1191

Tableau. 16 : Analyse des eaux de source de Hammam Sidi Slimane de deux compagnes (1984 et 1985) exprimé en mg/l (ENET, 1985).

Les éléments	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	HCO ₃ mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l	PH	T °C	Résidu sec mg/l
<i>Campagne1 (20/10/1984)</i>	158	88	625	13	1025	220	550	03	7.65	42	2689
<i>Campagne2 (22/04/1985)</i>	180	58.32	667	0	994	286.7	470.4	00	7.65	42	2374

L'objectif essentiel de cette étude est de déterminer le faciès chimique de cette eau thermique et d'apprécier sa qualité chimique ainsi que ses effets thérapeutiques.

Nous tenterons aussi de déterminer s'il y a eu une évolution du chimisme de cette eau dans le temps, en confrontant les présentes analyses avec des résultats physicochimiques des années 1984/1985 (Tableaux. 15 et 16).

IV.3.1. Propriétés physico-chimiques

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux de cette source ont été analysées à l'occasion d'une étude réalisée par l'ENET, Entreprise Nationale des études Touristiques (1985).

IV.3.1.1. Etude des paramètres physiques :

IV.3.1.1.1. La température

Il est reconnu que les variations des températures de l'air s'estompent au-delà de 3 m de profondeur et que la température des eaux souterraines est invariable au cours de l'année. La température des eaux souterraines moins profondes subit des variations saisonnières au cours de l'année et régit la quantité d'oxygène dissous dans l'eau. Plus l'eau est chaude, moins l'oxygène est capable de se maintenir en solution et le manque d'oxygène est l'un des facteurs de la pollution thermique.

Dans le cas des eaux thermo-minérales, la température plus au moins élevée est importante au point de vue thérapeutique mais aussi parce qu'elle autorise une notable concentration en sels dissous. La température des eaux de Hammam Sidi Slimane est relativement élevée. Une très faible variation a pu être enregistrée au cours du temps. Pour les eaux de Hammam Sidi Slimane, la température est relativement élevée égale à 42°C classant ces eaux dans le groupe méso thermal (Tableau. 17).

Elle est utilisée comme un critère de classification des eaux thermo- minérales.

Tableau. 17 : Classification des sources selon la Température (°C).

Qualité de la source		Température (°C)
Source froide		<20°C
Source thermale	Source hypo thermale	20-35°C
	Source chaude ou méso thermale	35-50 °C
	Source très chaude ou hyper thermale	>50°C

IV.3.1.1.2. Potentiels d'hydrogène (pH)

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'un milieu (en général l'eau) ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques dans les diagrammes Eh-pH. Il est calculé à l'aide d'un pH mètre au laboratoire. $pH < 7$ milieu acide, $pH = 7$ milieu neutre, $pH > 7$ milieu basique. Les électrodes basées sur le principe de la réaction des ions H^+ avec un métal mesurent directement l'activité des ions H (et non pas la concentration).

- la valeur moyenne de PH mesure varie autour de 7.65 donnant des eaux basiques.

IV.3.1.1.3. Conductivité

La conductivité électrique est un paramètre important en hydrogéologie ; la conductivité d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface espacées l'une de l'autre de 1 cm. Elle traduit globalement la teneur en sels dissous. La conductivité d'une eau permet d'apprécier sa minéralisation, elle est d'autant plus élevée que la quantité des matières minérales dissoutes est importante. Sa variation est liée à la température constante et aux modifications de la minéralisation des eaux souterraines. Les mesures se font sur les terrains pour avoir une idée sur place de la minéralisation des eaux. Pour mesurer la conductivité on utilise le Conductivimètre. Leur unité est exprimée en μ siemens/cm ou μ mhos/cm augmente avec sa teneur en sels dissous. Elle permet donc l'estimation de la minéralisation :

- ✓ Conductivité $< 100 \mu$ mhos/cm : minéralisation très faible.
- ✓ 100μ mhos/cm $<$ Conductivité $< 200 \mu$ mhos/cm : minéralisation faible.
- ✓ 200μ mhos/cm $<$ Conductivité $< 333 \mu$ mhos/cm : minéralisation moyenne accentuée.
- ✓ 333μ mhos/cm $<$ Conductivité $< 666 \mu$ mhos/cm : minéralisation moyenne.
- ✓ 666μ mhos/cm $<$ Conductivité $< 1000 \mu$ mhos/cm : minéralisation importante.
- ✓ Conductivité $> 1000 \mu$ mhos/cm: minéralisation excessive.
- La conductivité mesurée à 25°C est égale à $4400 \mu\text{s/cm}$ traduisent une minéralisation excessive.

IV.3.1.1.4. Le résidu sec

Le résidu sec représente la minéralisation totale de l'eau, c'est-à-dire la totalité des dissous et les matières organiques contenues dans l'eau. Ces valeurs peuvent être estimées à partir de la mesure de la conductivité.

- Le résidu sec des eaux IL est relativement faible, il varie entre 2689 mg/l (20-10-1984) et 2374 mg/l (22/04/1984). Et Pour la source de sidi slimane (GriffonN°1) il est 2904 mg/l .

IV.3.1.1.5. La Radioactivité

La radio activité est due essentiellement à l'émanation de radium (Radon) et dans une proportion très faible à l'émanation de Thorium. Le radium des eaux de la source a été également analysé par (Nedjai, 1987).

La quantité de radon de notre source est égale 0.2 milli microcurie /l. Cette teneur traduit la présence de minéraux radiogéniques à faible profondeur ou une remontée des eaux très rapide.

IV.3.1.1.6. Balance ionique

Le contrôle de la qualité des analyses chimiques est assuré par la balance ionique qui permet une comparaison de la somme des cations et celle des anions.

Le pourcentage d'erreur du à une inexactitude de l'analyse ou à une non-détermination de certaines ions est donné par la relation :

$$e\% = \frac{\Sigma r \text{ cations} - \Sigma r \text{ anions}}{\Sigma r \text{ cations} + \Sigma r \text{ anions}} \times 100$$

On peut considérer une analyse comme :

- très bonne si $e\% < 2$
- acceptable si $2 < e\% < 5$
- mauvaise si $e\% > 5$

Les valeurs du pourcentage d'erreur pour chaque échantillon d'eau prélevé sont portées sur les deux tableaux (18 et 19).

Tableau.18: Pourcentage d'erreur des analyses d'eaux du secteur d'étude de deux compagnes (1984-1985).

Les compagnes	r anions	r cations	e %	L'analyse
1984	44.02	42.44	1.8	Très bonne
1985	42.5	42.3	0.2	Très bonne

Tableau.19: Pourcentage d'erreur des analyses d'eaux du secteur d'étude de quelques sources (2012).

Source/Puits Prélèvement du 04 et 05/05/2012	r anions	r cations	e %	L'analyse
Griffon N°1	33.95	33.67	1.9	Très bonne
Griffon N°3	36.33	32.52	5.5	Mauvaise
Source Koba	26.56	25.75	1.5	Très bonne
Source S1	9.53	10.16	3.2	Acceptable
Source S2	3.27	3.44	0.02	Très bonne
Puits N°3	15.53	15.48	0.1	Très bonne

IV.3.1.2. Propriétés chimique

IV.3.1.2.1. Etude des Cations

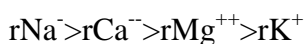
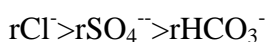
Les teneurs en alcalino-terreux sont plus faibles que celles des alcalins. Le sodium est, comme le chlore très fortement prédominant sur les différents autres éléments. Ces derniers enregistrent une très faible augmentation à l'exception du calcium qui est relativement stable

IV.3.1.2.2. Etude des Anions

Les chlorures sont fortement prédominants sur les sulfates et les bicarbonates. Les écarts des teneurs sont considérables. Les trois éléments affichent une très faible variation dans le temps, se traduisant par une augmentation des teneurs en chlorures et une diminution de celles des sulfates et des bicarbonates.

Suivant, le diagramme de Schoeller-Berkaloff et de Piper (Fig. 30, 31 et 32) les eaux de la source de Sidi Slimane sont chlorurées sodique et sulfatée calcique (Nadjai, 1987).

La formule caractéristique :



IV.3.2. Classification des eaux

Au cours de leur trajet à travers les terrains encaissants à la nature lithologique variable, les eaux prennent des faciès très différents représentés par leur composition chimique.

Pour mieux visualiser les principaux faciès hydrochimiques, il convient d'interpréter les résultats par des représentations graphiques qui nous permettent de comparer facilement plusieurs eaux entre elles.

IV.3.2.2. Diagramme de Piper

Cette méthode consiste à représenter sur deux triangles les pourcentages des quantités en réactions (r%) de chaque cation et anion (Tableau n°18 et n°19). Les deux points sont reportés sur un losange en un seul point qui représente la famille chimique de l'eau. La plupart des eaux de les sources de sidi slimane regroupés en deux principaux faciès selon le diagramme de Piper : Chloruré sodique et Sulfatées calcique. Ce diagramme présente des analyses de trois compagnes. (Fig. 30).

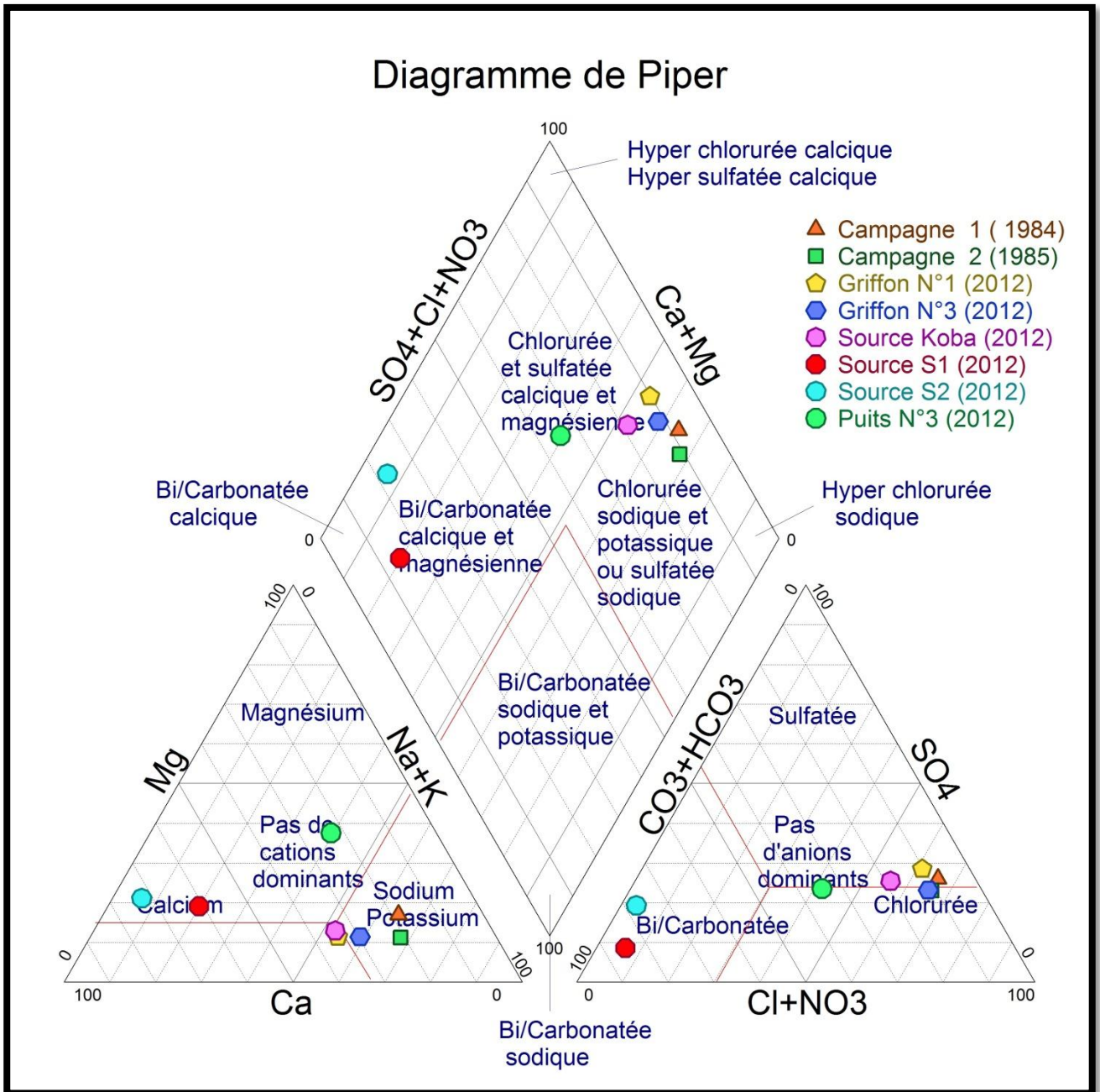


Fig. 30 : Diagramme de piper.

IV.3.2.2. Diagramme Schoeller-Berkaloff

La représentation graphique des analyses des eaux selon ce diagramme semi-logarithmique de Schoeller-Berkaloff permet de distinguer les concentrations des ions dominants et donc de réduire rapidement les différentes familles des eaux (Fig. 31 et 32).

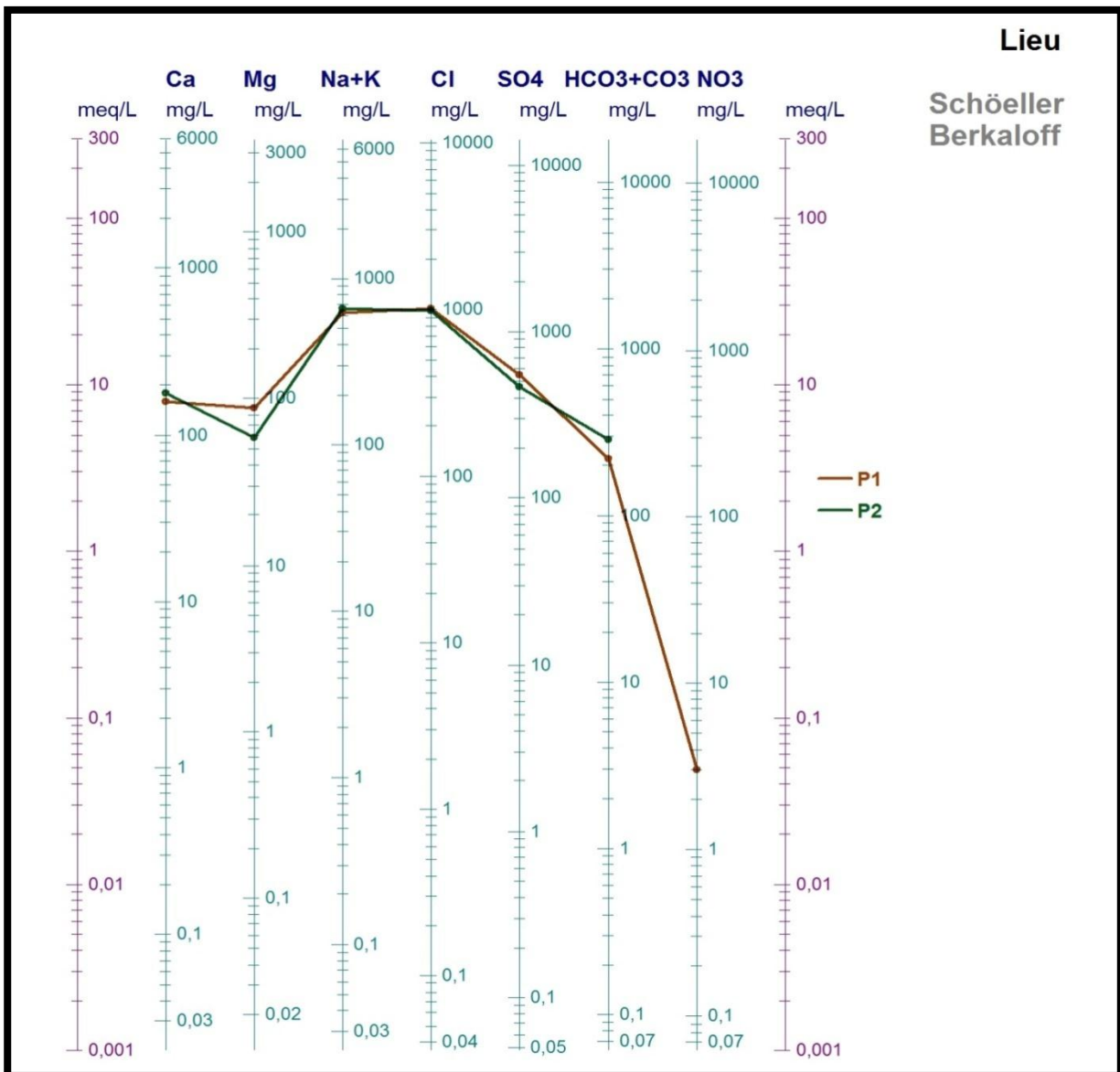


Fig.31 : Diagramme Schoeller-Berkaloff (compagnes 1984 et 1985).

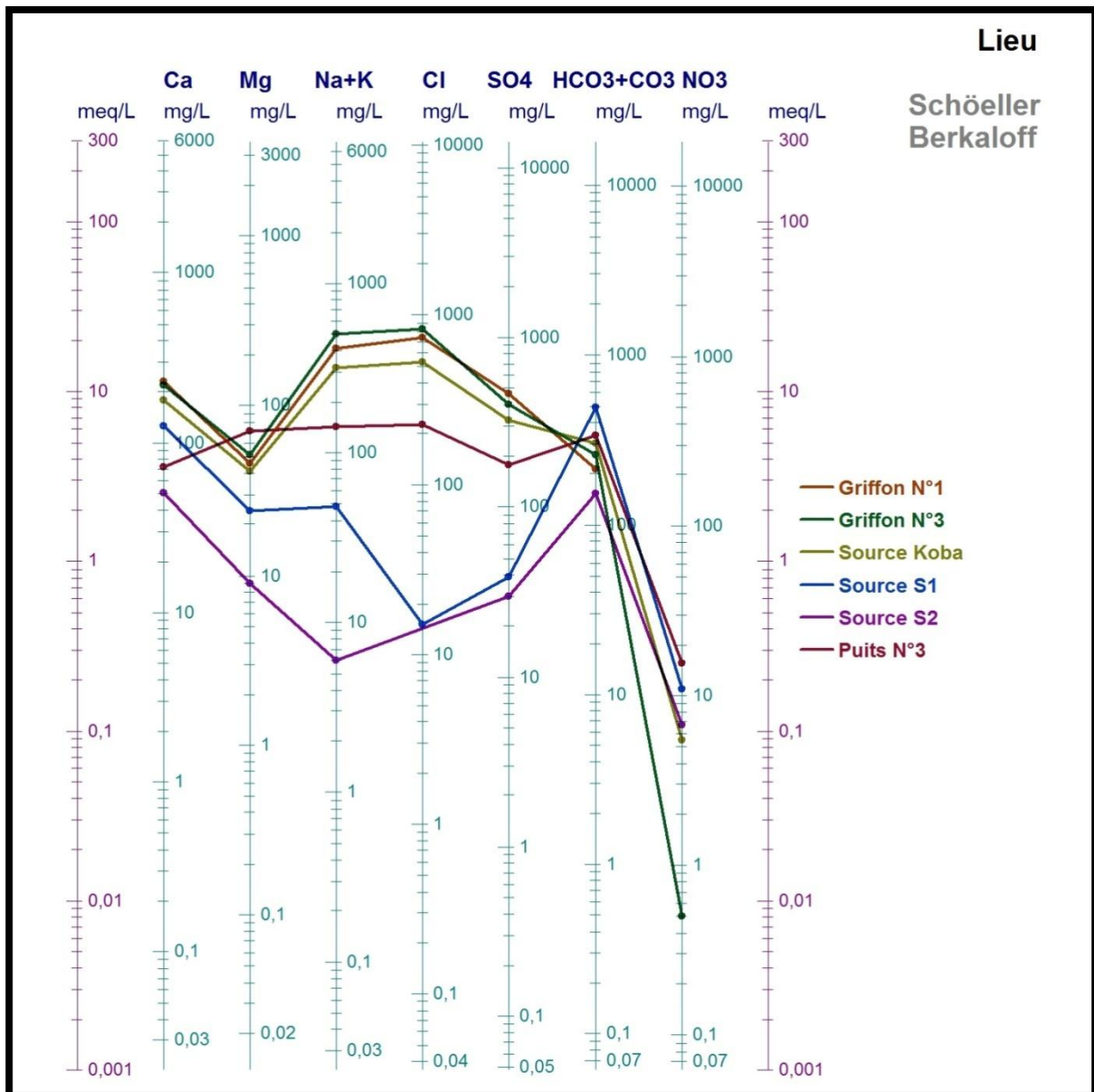


Fig. 32 : Diagramme Schoeller-Berkaloff (compagne2012).

Etude des rapports caractéristiques :

Nous avons étudié les rapports caractéristiques entre les différents éléments en solution « $r\text{SO}_4^{2-}/r\text{Cl}^-$, $r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$, $r\text{Mg}^{2+}/r\text{Ca}^{2+}$ ». Les résultats des différents rapports sont reportés sur les tableaux N° 20, 21.

Tableau .20 : Résultats des rapports caractéristiques pour les deux campagnes (1984 et 1985).

Les campagnes	$\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$	$\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$	Na^+/Cl^-
1984	0.39	0.94	0.94
1985	0.35	0.53	1.03

Tableau. 21 : Résultats des rapports caractéristiques pour la campagne (2012).

Source/Puits Prélèvement du 04 et 05/05/2012	$\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$	$\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$	Na^+/Cl^-
<i>Griffon N°1</i>	0.46	0.32	0.85
<i>Griffon N°3</i>	0.35	0.006	0.91
<i>Source Koba</i>	0.45	0.38	0.92
<i>Source S1</i>	1.92	0.32	4.76
<i>Source S2</i>	0.62	0.29	0.17
<i>Puits N°3</i>	0.58	1.66	0.95

✚ Rapport caractéristique $r\text{Mg}/r\text{Ca}$:

Ce rapport est généralement inférieur à 1 sauf pour le puits 3, ce qui implique la prédominance de l'élément Ca qui provient de la dissolution des formations carbonatées à forte teneur en calcium.

✚ Rapport caractéristique $r\text{SO}_4/\text{Cl}$:

Les rapports sont généralement inférieurs à l'unité pour presque la totalité des points d'eau de notre région d'étude. Ce qui montre une concentration élevée des Chlorures, probablement dû à la dissolution des sels par le lessivage des terrains salifères.

✚ Rapport caractéristique Na^+/Cl^- :

80% de ces rapports sont inférieurs à l'unité, cela traduit une provenance des chlorures liées certainement aux terrains salifères. Les autres sont supérieurs à 1, ce qui détermine la prédominance du sodium sur le chlorure (présence d'évaporite).

IV.5. Etude des sources drainant les formations jurassiques du Pic de l'Ouarsenis

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés aux principales sources qui drainent les aquifères du grand massif du Pic de l'Ouarsenis.

Ces sources sont essentiellement des sources de déversement ou de trop plein qui drainent les écoulements souterrains des niveaux perchés (source d'AinTolba, Ain Seban, Ain Belkairat, Ain Sour, Ain Kahala, Ain Bou Caid, Ain Bou Abdous, Ain Atba, Ain Rokba, Ain Mora et Ain Naimin) (voir Chapitre hydrogéologie).

Pas loin des affleurements des calcaires jurassiques, la source de Hammam Sidi Slimane semble faire exception (voir Chapitre hydrogéologie).

En effet, cette source draine un mélange d'eau provenant d'écoulements plus profonds dans les niveaux du Jurassique et d'écoulements ayant transité dans les niveaux du Crétacé inférieur et supérieur (Nedjai, 1987).

Pour la première catégorie de sources, nous avons pu disposer de données hydrochimiques provenant de l'étude de Calembert (1952) qui a concerné cette série de sources.

On constate que leur résidu sec varie de 150 et 600 mg/l. Cette faible charge démontre qu'elles proviennent quasi directement des grandes masses calcaro- dolomitique de la région.

Malgré la superficie restreinte du massif culminant de l'Ouarsenis, une augmentation relative de charge peut indiquer des différences dans le contexte hydrologique : longs parcours souterraines, lessivage de roches évaporitiques, etc.

La chloruration et les teneurs en sodium sont trop faibles par rapport au résidu sec total (Tableau. 22).

Tableau. 22: Analyses des eaux de sources exprimées en mg/l (d'après Calambert, 1952).

Nom des sources	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	Cl mg/l	Co ₃ mg/l	SO ₄ mg/l	Th mg/l	Ta	Résidu sec mg/l
Ain Tolba	39.6	4.7	9.66	13.5	66.3	9.6	11.85	11.05	150.4
Ain Seban	43.6	8.4	5.06	12.0	79.2	6.4	14.40	13.20	168.4
Ain Belkairat	44.0	5.0	1.61	12.7	62.1	12.8	13.05	14.95	175.0
Ain Sour	50.8	5.6	7.59	14.2	82.5	8.2	14.95	16.80	177.0
Ain Kahala	58.0	5.6	3.68	12.7	77.1	28.8	16.80	18.90	200.0
Ain Bou Caid	61.2	8.7	4.14	14.2	102.6	7.1	18.90	18.90	229.4
Ain Bou Abdous	86.8	6.5	10.35	14.2	139.2	14.0	24.40	24.40	288.0
Ain Atba	90.4	14.8	2.99	14.2	135.9	45.6	28.75	28.75	347.4
Ain Rokba	82.8	22.6	10.81	19.1	143.4	57.1	30.10	30.10	368.4
Ain Mora	125.2	14.8	7.36	21.3	177.6	102.1	41.60	41.60	519.0

On remarquera que les eaux des sources étudiées sont de faciès Chlorures saudiqes.

IV.5.1. La source d'Ain Tolba

L'eau d'Ain Tolba, bicarbonatée calcique, peu chlorurée, peu sulfatée, offre le type d'eau à très faible minéralisation aquifère du Pic de l'Ouarsenis. La circulation de l'eau à travers le Lias s'est effectuée par les fissures et des diaclases élargies, sa rapidité relative et les surfaces restreints du contact des eaux et des roches, généralement compactes, ont réduit à fort peu de chose les effets de la dissolution (Calambert, 1952).

IV.5.2. La source d'Ain Seban

Son eau est bicarbonatée calcique, peu chlorurée, peu sulfatée. La grande similitude de sa composition avec celle d'Ain Tolba comme sa faible sulfatation (quantité en réaction %SO₄ = 2.1) proscrit tout contact prolongé avec les roches évaporitiques injectées dans la zone failleuse.

IV.5.3. La source d'Ain Belkairat

La charge est faible et l'eau bicarbonatée calcique, peu chlorurée.

IV.5.4. La source d'Ain Sour

Eau bicarbonatée calcique, peu chlorurée, peu sulfatée. Sa composition indique le Lias comme roche mère.

IV.4.5. La source d'Ain Kahala

L'eau bicarbonatée calcique, peu sulfatée, peu chlorurée. La sulfatation bien que faible (quantité en réaction %SO₄ = 8.5) est évidemment supérieure à celle de l'Ain Tolba (quantité en réaction %SO₄ = 3.8). La circulation des eaux à travers les accidents envahie par les évaporites en serait la cause.

IV.4.6. La source d'Ain Bou Caid

L'eau bicarbonatée calcique, peu chlorurée, peu sulfatée s'apparente aux précédentes, et ne marque guère qu'une augmentation du résidu sec et de la dureté.

IV.4.7. La source d'Ain Bou Abdous

L'eau est bicarbonatée calcique, peu chlorurée, peu sulfatée, faible résidu sec.

IV.4.8. La source d'Ain Atba

L'eau de cette source est carbonatée, calco-magnésienne, un peu plus sulfatée, peu chlorurée. Le degré hydrotimétrique total est élevé, c'est la présence d'une eau dure qui se distingue nettement des autres sources.

La charge plus élevée et la sulfatation est assez faible, correspond à 8.1 (quantité en réaction % SO₄); elles peuvent être dues, soit à un contact plus long avec les roches schisto-marneuses, soit à la présence du Trias en profondeur, dans la gaine de l'extrusion

IV.4.9. La source d'Ain Robka

L'eau carbonatée calco-magnésienne, assez sulfatée, peu chlorurée, appartient également à la zone des eaux dures.

IV.4.10. La source d'Ain Mora

L'eau carbonatée calco-magnésienne, assez sulfatée, peu chlorurée, possède une grande dureté et le titre alcalimétrique est très inférieur au titre hydrotimétrique total. La quantité en réaction % SO₄ atteint 12.25. La minéralisation est importante.

De l'étude de l'ensemble des sources drainant le massif carbonaté du Pic de l'Ouarsenis, il ressort que les facteurs favorables à l'existence d'eau faiblement minéralisée sont liés à l'existence d'une aire d'alimentation peu inhabitée est peu boisée, la prédominance de roches calcaire avec seulement des traces de sulfates et de chlorures solubles, la structure d'aquifères, isolées de telle manière que le mode d'accumulation et de circulation permet un rapide drainage des réservoirs souterrains.

Pour les zones non altérées par les eaux gypsifères, Calembert (1952) constate que les valeurs de carbonates croissent en même temps que la somme des acides. D'autre part, les teneurs en carbonates les plus faibles sont celles des exutoires les plus rapprochés des masses calcaires (Ain Belkhair, Ain Tolba et Ain Sour).

La carbonatation augmente avec la longueur du parcours souterrain et avec la résistance offerte à la circulation des eaux par les marno-calcaires, les marnes et les schistes de l'auréole des massifs jurassiques.

La majorité des sources de massif de l'Ouarsenis, appartiennent à la classe des eaux dures peu sulfatées. Pour Calembert (1952) les eaux d'Ain Kahala, Ain Atba, Ain Robka et Ain Mora, représentent la transition entre les eaux séléniteuses et celles des eaux dures.

Conclusion

La remontée des eaux de hammam Sidi Slimane est facilitée par l'important contact anormal orienté NS séparant les formations néocomiennes calcaires très redressées des autres formations crétacées.

Les eaux de Hammam Sidi Slimane, après leurs infiltrations, circulent dans les formations calcaires jurassique, au cours de leur trajet souterrain, elles transitent par des formations très chargées évaporites acquérant le chimisme final c'est-à-dire chloruré sodique avec des faciès parfois bicarbonatées calciques, bicarbonatées sodiques et sulfatées sodiques.

L'estimation de la température a donné une profondeur de circulation des eaux supérieures 3000 m pour un gradient géothermique moyen de 36 m nécessaire au réchauffement des eaux semble provenir l'importante activité sismique caractérisant la région, ainsi que de réactions exothermiques.

Les variations de teneurs des différents éléments, ainsi que des paramètres physico chimiques sont liées aux différents mélanges qui peuvent avoir lieu au cours de la remontée des eaux (Nedjai, 1987).

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail, La wilaya de Tissemsilt, qui est caractérisée par un relief accidenté, couvert par des formations argileuses ou marno-schisteuses, ce qui lui confie une pauvreté en ressource en eau souterraine.

L'étude climatique fait apparaître que le climat de la région est semi-aride nuancé par les influences orographiques. C'est un climat relativement froid qui s'étend sur le massif de l'Ouarsenis, où les températures moyennes varient de 13° à 16° et où l'amplitude des moyennes mensuelles entre l'été et l'hiver est environ de 20°.

Les Formations obtenus par l'étude de la géologie de la région d'étude sont :

- De schistes très peu quartziteux chargés d'intercalations.
- Des calcaires et marno-calcaires. Calcaire d'âge jurassique, très diaclasée, et des niveaux triasiques.
- Le trias est formé de petits cubes de dolomies, de gypse, d'argiles accompagnées de minéraux tels que l'albite, la blende, la tourmaline.

Le territoire de la wilaya de Tissemsilt n'est couvert en études hydrogéologiques que dans le cadre régional, en effet les ressources en eau souterraines sont mal connues. Des prospections géophysiques pour chaque unité hydrogéologique (grès numidiens, les formations calcaires...), sont nécessaires pour identifier les zones susceptibles d'être aquifères exploitables.

La source thermale est située à près de 60km au nord de chef-lieu de wilaya, dans la commune de Sidi Slimane et à proximité de la commune de Borj Bounaama.

Les eaux de cette source coulent en cascade à des températures moyennes de 40.4°C après avoir traversé les tréfonds des monts de l'Ouarsenis. La source thermale de Sidi Slimane est exploitée depuis 1910.

Elle est réputée pour ses eaux riches en éléments minéraux aussi nombreux que divers et qui possèdent des vertus thérapeutiques de multiples pathologies dont les rhumatismes chroniques et autres maladies liées aux articulations, l'appareil digestif (gastrite, maladies intestinales).

CONCLUSION GENERALE

Nous pensant que les eaux de Hammam Sidi Slimane, après leur infiltration, circulent dans les formations calcaires ($Ca/Mg=1.32$) jurassique et néocomiennes. Au cours de leur trajet souterrain, elles transitent par des formations très chargées en sel et en gypse probablement triasique ($Sr/Rb=410$) acquérant le chimisme finale c'est-à-dire chlorure sodique.

Cependant nous pensons que l'énergie nécessaire au réchauffement des eaux provient également de l'importante activité séismique caractérisent la région, ainsi que de réactions exothermiques.

Pour conclure nous avons proposé un modèle de circulation des eaux dans la (Fig.17, Chap3, P38).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIE

A :

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

ZEGHARIA. (2009) : Etude sédimentologie et structurale du bloc Belkairt (Sud du grand pic de l'Ouarsenis), Oran, 56 p.

B :

BERTRAND. M. (1891) - Sur la coupe de l'Ouarsenis. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3, XIX – LXVII.

BNEDR. (1998) : Etude d'aménagement hydro-agricole de la wilaya de Tissemsilt réalisée qui entame l'évaluation des ressources en eaux superficielles mobilisables pour l'irrigation
Rapport de l'étude géophysique de la (W. Tissemsilt) établie par GEOMICA.

BENHAMOU.M. (1996) : Evolution tectono-eustatique d'un bassin de la Téthys Maghrébine : l'Ouarsenis(Algérie) pendant le Jurassique inférieur et moyen. *Thèse Doct. d'Etat, Uni. Oran*, 434p.

BENHAMOU M. & S. ELMIS. (1992) : Découverte de la faune *Tropidoceras* dans le Lias moyen de l'Oued Fodda (Algérie occidentale). Précisions sur la succession du Jurassique inférieur et moyen *9^{ème} Séminaire Nationale Tlemcen*, Octobre (1992).

C :

CALEMBERT L. (1937a) : Sur la stratigraphie du massif de l'Ouarsenis. *Ann. Soc. Géol. Bel* ; t. LX, pp.B, 208-221.

CALEMBERT L. (1937 b) : Tectonique du massif culminant de l'Ouarsenis. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. *IXI*, *Mém. n°1*, pp.B4-38.

CALEMBERT L. (1952 b) : Massif de l'Ouarsenis. *XIXe Congr. Géol. Inter., Alger*.

CALEMBERT L. (1952) : Etude géologique du "Massif culminant de l'Ouarsenis". *Bull. Serv. Carte géol. de l'Algérie, 2^e Sér. N° 23*, 184 p.

CALMBERT L(1960) : Etude géologique de la massif cluminant de l'ouarsenis » Bulletin du service de la carte géologique de l'Algérie 2 eme serie 184 p.

D :

DRE : Direction des Ressources en Eau de la Willaya de Tissemsilt

H :

HASSANI. (1987) : *Cartes structurale schématique de l'ALGERIE (Modifiée)*.

I :

ISSAADI A. (1996) : Mécanismes de fonctionnement des systèmes hydrothermaux. Application aux eaux thermominérales algériennes et aux eaux de Hammam Bou Hadjar. Bulletin du Service Géologique de l'Algérie. Vol. 7. N°1, pp. 71-85.

ISSAADI A. (1992) : Le thermalisme dans son cadre géostructurel. Apports à la connaissance de la structure profonde de l'Algérie et ses ressources géothermiques. Thèse de Doctorat d'Etat IST/USTHB. Alger.

M :

MATTAUER M. (1958): Etude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie). *Publ. serv. Carte.géol.*, Algérie, (Nlle sér, *Bull* n° 17, 534 p.

MECIF F & METENE A (2008) : Etude hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Lardjem (W, Tissemsilt).

N :

NEDJAI R. (1987) : Etude hydrogéologique et hydrochimique des sources thermominérales de l'Algérie centrale Nord, 154 p.

P :

POVLECHE J. (1958) : Contribution à l'étude géologique de l'Ouarsenis oranais.

PNE. (1998) : Ressources en eau souterraine du bassin Cheliff Zahrez.

S :

SELTZER P. (1976) : Le climat de l'Algérie .typo.litho.Alger.

WEBOGRAPHIE :

http://fr.wikipedia.org/wiki/Osmose_inverse