

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**CENTRE UNIVERSITAIRE ABBES LAGHROUR - KHENCHELA
INSTITUT DE SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT**



**MEMOIRE DE MAGISTER EN ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT
OPTION : GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAUX ET
DEVELOPPEMENT DURABLE**

THEME :

***ORIGINE DE LA SALINITE ET MODELISATION
THERMODYNAMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES
DE L'AQUIFERE DE KHENCHELA***

PRESENTE PAR :

BOUMAIZA IMENE

INGENIEUR D'ETAT EN BIOLOGIE

Devant le membre jury composé de :

PRESIDENT : PR. DARBOUCHE ABDELHAK

Rapporteur : DR. HOUHA BELGACEM

EXAMINATEUR : PR. HOUMADI MOUSSA

EXAMINATEUR : DR. BENOUNIS MESSAOUD

2011/2012

AVANT-PROPOS

Cette tentative de recherche est le fruit de plusieurs années d'investigation de travail, et je suis attaché à relater l'essentiel de ce dernier, de l'œuvre accompli et synthétiser les suggestions et les réflexions d'amélioration pour l'avenir. Au terme de cette recherche, il m'est très agréable d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie vivement mon Directeur de thèse, **Mr. Houha Belgacem**, Docteur à l'Université Abbas Laghrour -Khenchela- pour m'avoir encadré et suivi tout au long de ce passionnant travail, et ce, malgré son emploi du temps très chargé.

Mes sincères remerciements s'adressent aux membres du jury d'avoir accepté d'en faire partie et pour l'intérêt de lire et juger ce mémoire.

Je suis consciente de la reconnaissance que je dois à **Mr. C.Boumaza** qui a toujours répondu favorablement pour toute sollicitation pour mener à bien ce travail. Je garderais toujours un bon souvenir très vif de son dynamisme et ses grandes qualités humaines.

J'exprime ma profonde reconnaissance à époux **Mr. Bougandoura Zakaria** qui a supporté mes préoccupations et mon stress et veiller de me fournir tout les moyens, le soutien et l'encouragement nécessaire constant et sans faille.

Je tiens à exprimer ma gratitude à **Mr. Chenakar** et **Mr. Réchachi** de m'avoir fourni des documents très utiles à la synthèse hydrochimique.

Je tiens à remercier également Mr. Chikhi.A Ex. Directeur de la direction d'environnement de la wilaya de Khenchela et toutes mes collègues et amies de la direction pour leur inquiétudes et leur soutien moral.

DEDICACES

Merci Dieu le tout puissant pour m'avoir donné, la volonté et la patience, m'éclairé le chemin de la réussite et le savoir

A celui qu'il me fait un immense plaisir d'être, a toi PAPA, il suffit seulement que je m'en regarde en soit et penser à ton affection, sacrifices et tes inappréciables prières, que Dieu te garde.

A celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, à toi chère MAMAN toutes mes joies, mon amour et ma reconnaissance.

Toutes les lettres ne seraient trouver les mots qu'il faut, tous les mots ne seraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance chère Zaki

A la princesse qui m'a donné sens à ma vie, pour la fleur qui m'a fleuri le cœur, l'ange qu'il me appui à supporter à toi ma petite chère fille Maram

Ma belle mère Habiba, en gratitude spécialement de tout ; par son grand soutien inestimable.

J'ai gardé à la fin ceux qui me sont les plus chère : mes sœurs Sara, Manel et Missou, mon beau frère Talal et ma tante Saida qui ont été proches de moi avec leur fort précieux soutiens

Enfin je le dédie à tous mes amis à tous ceux qui me connaissent

JMENE

SOMMAIR

| | |
|---|----|
| RESUME EN FRANÇAIS | 01 |
| ABSTRACT | 02 |
| RESUME EN ARABE | 03 |
| Introduction | 04 |
| Chapitre I: Etude géologique, structurel et géomorphologique | 06 |
| I-Situation géographique | 07 |
| II- Analyse du milieu physique | 08 |
| II.1- Le relief | 08 |
| II.1.1- L'altitude | 13 |
| II.1.2- La pente | 15 |
| III- Géologie et lithologie | 15 |
| III.1- Aperçu géologique | 17 |
| III.2- Description stratigraphique | 18 |
| III.2-a/ Tectonique | 20 |
| III.3- Aperçu lithologique | 22 |
| III.4- Aperçu pédologique sur les principaux sols de la wilaya | 24 |
| IV- Cadre géomorphologique | 24 |
| V- Cadre structural | 25 |
| Conclusion | |
| Chapitre II: Cadre hydrologique et hydrogéologique | 28 |
| Introduction | 29 |
| I- Hydrogéologie | 31 |
| I.1. Lithologie des aquifères | 31 |
| I.1.1. Substratum : structure profonde | 31 |
| I.1.2. Terrains Néogène | 32 |
| I.1.3. Le Plio-Quaternaire | 33 |
| I.2. Les principaux aquifères | 33 |
| I.3. Présentation et nature des nappes aquifères | 33 |
| I.3.1. La coupe hydrogéologique I | 34 |
| I.3.2. La coupe hydrogéologique II | 35 |
| I.3.3. Nappe phréatique | 35 |
| I.3.4 Nappes profondes | 36 |
| VI- Etablissement des cartes piézométriques | 36 |
| VI.1. Piézométrie du Quaternaire | 37 |
| VI.2. Piézométrie du Crétacé | 37 |
| Conclusion | |
| Chapitre III: Esquisse climatique. | 38 |
| Introduction | 39 |
| I. Paramètres climatiques | 39 |
| I.1- Précipitations | 39 |
| I.2- Les températures | 41 |
| I.3- Evaporation | 43 |
| II. Caractérisation climatologique | 44 |
| II.1-Diagramme ombro-thermique de Gaussin et Bagnouls | 44 |
| II.2-Les indices climatiques | 45 |

| | |
|--|----|
| II.2.1- Indice d'aridité d'E.Maratonne | 45 |
| II.3- Etablissement du bilan hydrique | 46 |
| II.3.1. Evapotranspiration réelle | 46 |
| II.3.2. Evaluation de l'ETR dans le bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite | 47 |
| II.3.3. Estimation de l'RFU | 47 |
| Conclusion | 48 |
| Chapitre IV: Etude Hydrochimique et modélisation thermodynamique | 49 |
| Introduction | 50 |
| I. Présentation du secteur d'étude | 51 |
| II. Etude des paramètres physiques-chimiques | 52 |
| II.1- Température | 52 |
| II.2 - Potentiel d'hydrogène (pH) | 53 |
| II.3 - Conductivité électrique (CE) | 54 |
| II.4 - Le résidu sec (RS) | 55 |
| III. Etudes et cartographie des paramètres chimiques | 57 |
| III.1. Le calcium (Ca²⁺) | 57 |
| III.2. Le magnésium (Mg²⁺) | 58 |
| III.3. Le sodium (Na⁺) | 60 |
| III.4. Le Potassium (K⁺) | 61 |
| III.5. Les chlorures (Cl⁻) | 63 |
| III.6. Les sulfates (So₄⁻) | 64 |
| III.7- Les nitrates (NO₃⁻) | 65 |
| III.8- Les Bicarbonates (HCO₃⁻) | 67 |
| IV- Origine des éléments chimiques | 68 |
| IV.1- Détermination de l'origine du calcium | 68 |
| IV.2- Détermination de l'origine du sodium | 69 |
| IV.3- Détermination de l'origine du SO₄⁻ et Cl | 69 |
| IV.4- Echanges de base | 70 |
| V- Détermination Des Principaux Facies Hydrochimique | 71 |
| V.1- L'évolution des faciès chimiques | 72 |
| VI- Minéralisation et origine de la Salinité des eaux souterraines | 74 |
| VII. Modélisation thermodynamique | 76 |
| VII.1- Notion de Diagramme de concentration | 76 |
| a) Estimation du facteur de concentration | 76 |
| VII.2- Notion d'alcalinité résiduelle | 77 |
| VII.3- Diagrammes de concentration | 79 |
| VI.3.a/Interprétation des diagrammes | 79 |
| VII.4- Diagrammes d'équilibre solutions/minéraux | 79 |
| VII.4.1- Equilibre avec la calcite | 79 |
| VII.4.2- Equilibre avec le gypse | 80 |
| Conclusion | 80 |
| CONCLUSION GENERAL | 84 |

I. Situation géographique

La région de Khenchela est située à l'Est du pays, au contrefort des monts des Aurès, dans l'aire géographique comprise entre 6° 32' et 7° 34' de longitude Est et entre 35° 7' et 35° 38' de longitude Nord, la wilaya de Khenchla est limitée :

- au Nord, par la wilaya d'Oum El Bouaghi ;
- au Nord-ouest par la wilaya de Batna ;
- au Sud-ouest, par la wilaya de Biskra ;
- au Sud, par la wilaya d'El Oued ;
- à l'Est, par la wilaya de Tébessa.

Son étendue territoriale, selon les sources, couvre :

- une superficie totale de 9 715 Km² (source : DPAT) ;
- une superficie totale de 9 595,6 Km² (source : ONS) ;

Sur le plan géographique, la wilaya de Khenchla appartient à l'ensemble naturel des Hauts Plateaux, un ensemble occupant la partie médiane du territoire national et bien individualisé géographiquement par les deux chaînes montagneuses de l'Atlas : l'Atlas tellien au Nord et l'Atlas saharien au Sud. De par ses spécificités physiques, liées à ses caractéristiques géographiques, cette wilaya présente une particularité, qui fait d'elle, avec la wilaya de Batna, l'une des wilayas uniques dans son genre. En effet, la surrection des Aurès au quaternaire donne à cette partie de l'Atlas saharien une physionomie très proche des espaces montagneux du nord, et de ce fait la wilaya de Khenchla se distingue par ses milieux physiques et naturels très diversifiés et à facettes multiples, alliant entre :

- Paysages telliens (zones de haute montagne, bien arrosées et bien boisées à paysages verdoyants) : Monts des Aurès occupant la partie ouest de la wilaya ;
- Paysages de hautes plaines (hautes plaines céréalières semi-arides) pour la partie nord de la wilaya ;
- Paysages steppiques et sahariens composés : de monts totalement dénudés et érodés (monts des Némenchas à l'est), d'oasis (Siar, Khirane et El Ouldja) et de basses plaines (El Meita).

II. Analyse du milieu physique

II.1 Le relief

Le relief est la résultante de la combinaison entre deux facteurs : l'altitude et la pente ; cette dernière, par ses effets handicapants, constitue l'un des facteurs les plus contraignants pour l'aménagement du territoire en général et la mise en valeur agricole en particulier.

En situation de haute altitude et de pente très accentuée (notamment quand elle dépasse 25 %), le relief constitue un facteur limitant pour les pratiques agricoles. Ce type de situation limite les possibilités de mécanisation des travaux du sol et favorise l'érosion, tandis que la gamme de cultures possibles se réduit au fur et à mesure que l'altitude augmente, sachant que cette dernière a une influence sur le climat.

Le relief de la wilaya de Khenchla présente, d'une manière générale, trois compartiments distincts :

- une zone de hautes plaines, au nord, qui se singularise par une altitude d'ensemble oscillant entre 850 et 900 mètres et une pente généralement faible (inférieure à 3%).
- Une zone de montagnes au centre de la wilaya, formée par le massif des Aurès et Némenchas, dont le point culminant atteint 2169 m sur le Djebel Chélia, ce qui fait de lui l'un des sommets les plus élevés de l'Atlas Algérien. Cette zone, dont l'altitude oscille entre 1000 et 2169 mètres, est entrecoupée par des vallées étroites, de direction générale nord-est.
- Une zone de plaines steppiques et présahariennes au sud, dont une partie se situe au dessous du niveau de la mer (Oglat El Djerabaa : moins 26 m). De topographie relativement plane, elle appartient à la grande cuvette du bassin de chott Melghir où se situe le grand Erg oriental (*rapport PAW Khenchela, 2009*)

II.1.1. L'altitude

La wilaya se caractérise par une très forte dénivellation. En effet l'altitude oscille entre moins 26 m au dessous du niveau de la mer (Chott Melghir au sud-est de la wilaya) et 2169 m au dessus du niveau de la mer (Djebel Chélia) sur les monts des Aurès au nord-ouest de la wilaya.

Globalement, on relève cinq domaines à altitudes différenciées :

- Le domaine montagneux des Aurès, au nord-ouest, qui se distingue par ses altitudes très élevées, où l'on dénombre de nombreux sommets dépassant les 1500 m : Djebel Chélia (2169 m) ; successions de monts atteignant 1623 à 2113 m sur la chaîne montagneuse du Djebel Tafrent ; Djebel Fourhal (1698 m) ; etc..

- Le domaine montagneux des Nemenchas, à l'est, dont l'altitude oscille entre 600 et 1400 m, avec toutefois quelques sommets avoisinant les 1600 m (versant nord d'El Outa Guert). Les monts des Nemenchas se distinguent par leur dénivellation qui s'abaisse brutalement du nord au sud.
- Le domaine des hautes plaines au nord, dont l'altitude oscille généralement entre 800 et 1000m ;
- Le domaine des piémonts des Némémchas, dont l'altitude oscille entre 200 et 600 m ;
Le domaine des basses plaines sahariennes, dont l'altitude se situe entre moins 26 mètres (bordure de Chott Melghir) et 200 mètres (piémonts des Nemenchas).

Cette grille, préconise 04 classes d'altitudes, définies comme suit :

- Les zones de piémonts et contiguës : classe comprise entre 0 et 400 mètres ;
- Les zones de moyenne montagne, étage inférieur : classe comprise entre 400 et 800 mètres ;
- Les zones de moyenne montagne, étage supérieur : classe comprise entre 800 et 1200 mètres ;
- Les zones de haute montagne : classe supérieure à 1200 mètres.

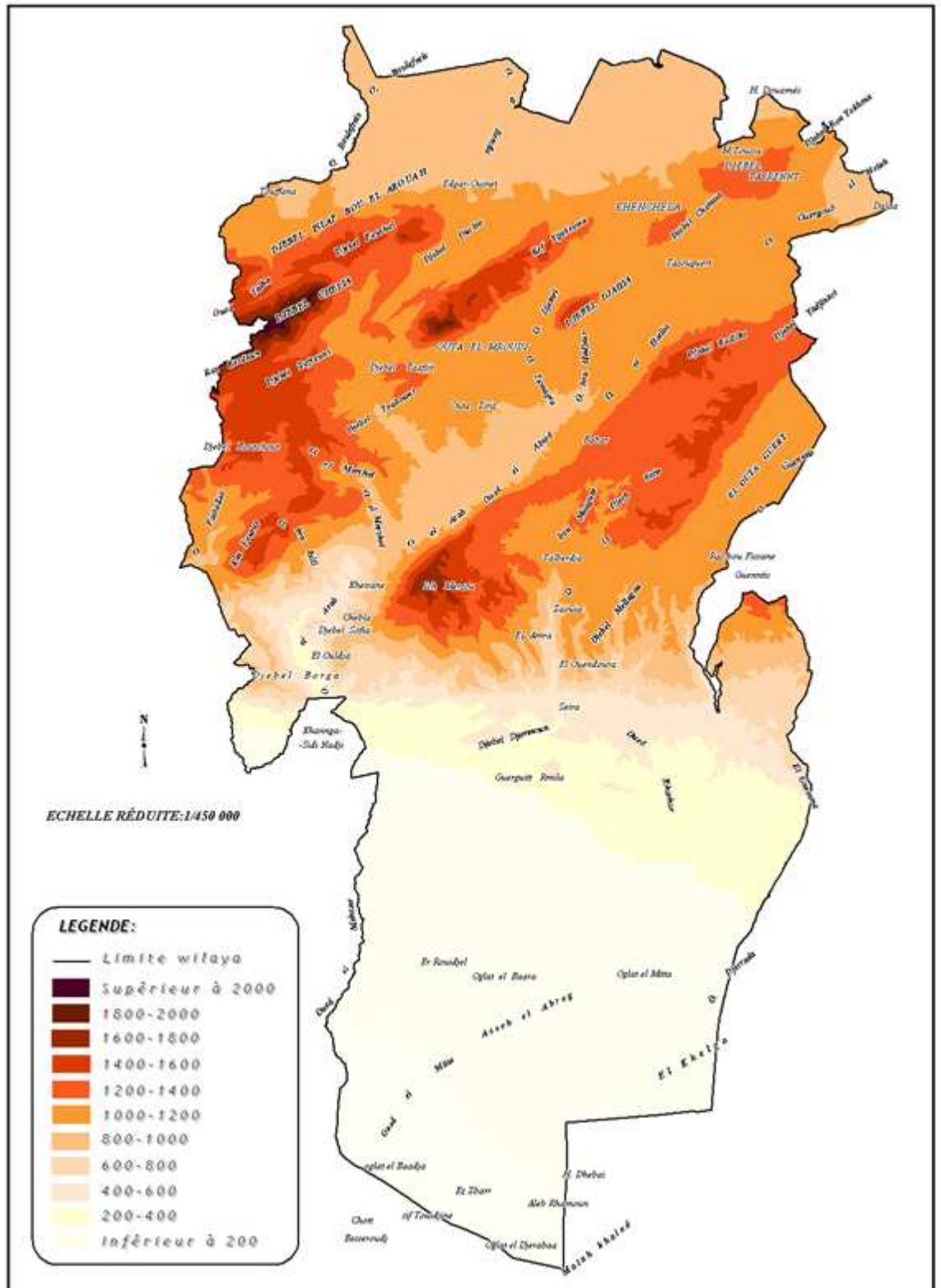


Figure 02: Carte des Altitudes de la wilaya de Khenchela d’après DPAT de Khenchela

II. 1.2. La pente

Comme pour les classes d'altitude, une carte des classes de pente caractérisant le territoire de la wilaya a été dressée, sur la base de la grille retenue par le MATET pour le classement des zones de montagnes. Cette grille, qui tient compte de l'utilisation souhaitable des terres, préconise 04 classes :

➤ **Classe 1 : pente comprise entre 0 et 3,5%.**

C'est une classe à topographie relativement très favorable à l'intensification agricole (mécanisation et irrigation) et à la réalisation d'infrastructures techniques, sociales et économiques à moindre coût, car facilement accessible et ne nécessitant pas d'aménagements particuliers.

➤ **Classe 2 : pente comprise entre 3 et 12,5%.**

Cette classe présente une pente modérée. Moyennant des techniques et mesures antiérosives, elle est favorable au développement d'une agriculture intensive à semi intensive (selon l'intensité de la pente). Sur les sols à structure géologique plus ou moins stable, c'est aussi une classe favorable à la réalisation d'infrastructures techniques, sociales et économiques, mais avec coûts légèrement plus onéreux qu'en classe 1.

➤ **Classe 3 : pente comprise entre 12,5 et 25%.**

Cette classe présente une pente relativement importante. Au plan agricole, l'utilisation souhaitable des terres relevant de cette classe doit privilégier l'arboriculture fruitière et autres cultures pérennes fixatrices du sol au détriment des cultures annuelles et notamment les grandes cultures, dont les travaux du sol favorisent l'érosion et accélèrent son processus. Les mesures et techniques antiérosives au niveau de cette classe sont non seulement recommandées mais impératives. Concernant les infrastructures sociales, économiques, et les installations techniques, leur réalisation devra prendre en considération les spécificités locales, ce qui suppose des aménagements appropriés et des surcoûts souvent considérables.

➤ **Classe 4 : pente supérieure à 25%**

C'est une classe qui présente une pente excessivement marquée, constituant de ce fait une contrainte majeure pour la pratique des activités agricoles et un handicap pour la réalisation des infrastructures socioéconomiques..

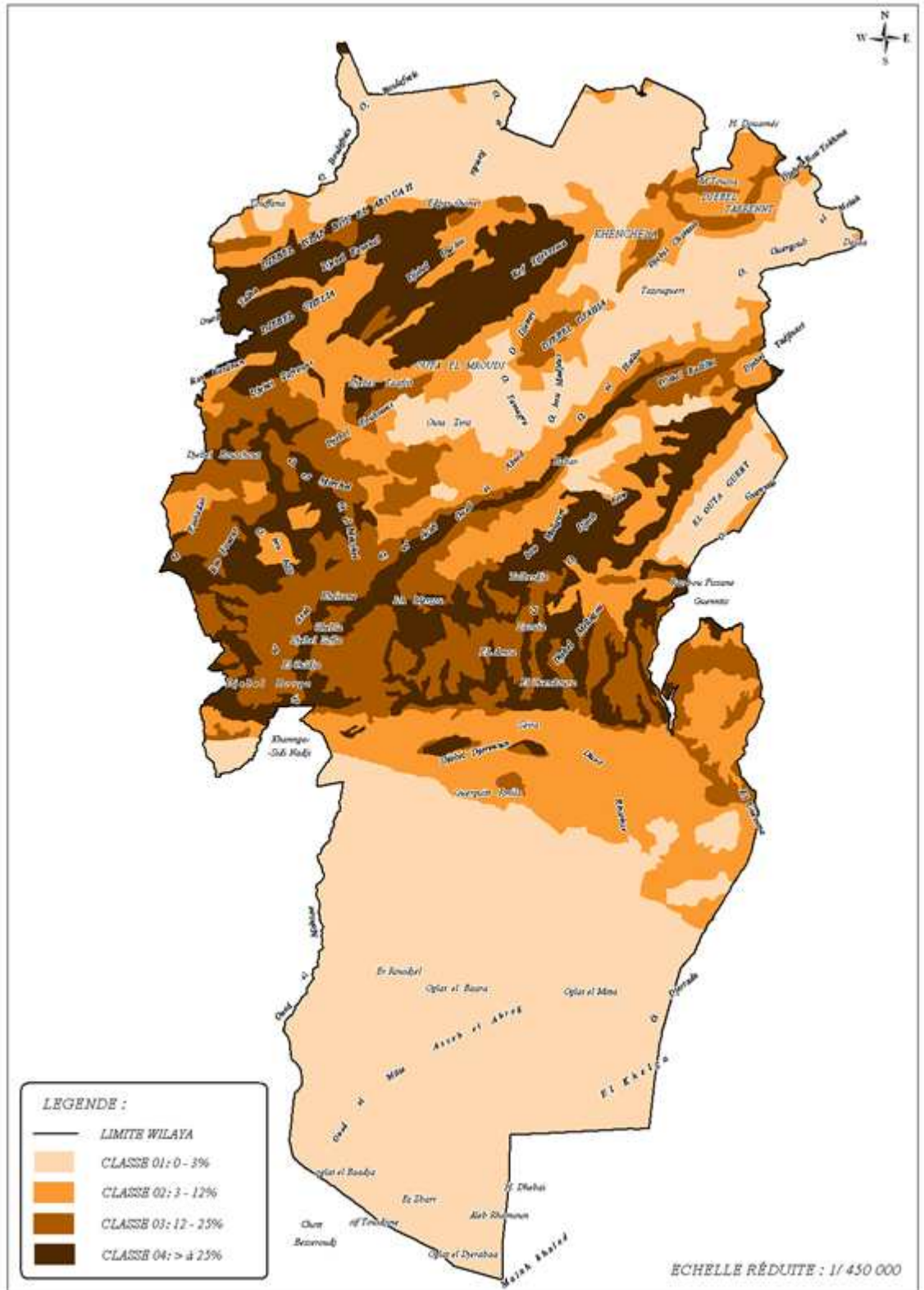


Figure 03: Carte des Pentes de la Wilaya de Khenchela d'après DPAT de Khenchela

- ✓ **La classe 1**, pente comprise entre 0 et 3 %, correspond aux hautes plaines du Nord, les vallées et les replats, ainsi que la basse cuvette du Sahara. Elle occupe une superficie totale de **422 500 ha**, ce qui représente **44,14 %** du territoire de la wilaya :
- ✓ **La classe 2**, pente comprise entre 3 et 12,5 %, correspond généralement aux terres de bas piémonts, où l'agriculture reste possible et où l'écoulement des eaux (ruissellement) est important. Elle occupe une superficie totale de 216 977 ha, ce qui représente 22,67 % du territoire de la wilaya.
- ✓ **La classe 3**, pente comprise entre 12,5 et 25 %, correspond aux piémonts à utilisation agro-sylvo-pastorale. L'écoulement des eaux est très important, et cause souvent des dégâts considérables aux sols cultivés (érosion). Elle occupe une superficie totale de 151 712 ha, ce qui représente **15,85 %** du territoire de la wilaya.
- ✓ **La classe 4**, pente supérieure à 25 %, correspond en général aux territoires de haute montagne. Elle occupe une superficie totale de **166 061ha**, ce qui représente **17,35 %** du territoire de la wilaya.

III. Geologies- lithologie

III.1. Aperçu géologique

Les traits généraux de la structure géologique de la wilaya sont caractérisés à partir des feuilles Constantine Nord et Constantine Sud, représentant l'esquisse géologique et structurale au 1/1.000.000^{ème} avec la précision du 1/500.000^{ème}.

Sur cette carte, on distingue clairement les différents éléments géologiques et structuraux pris dans le cadre régional. En effet, cette carte met en évidence la démarcation entre les deux régions Nord et Sud, que l'on appelle Atlas et Sahara (Accidents géologiques profonds) : l'Atlas, offrant des reliefs variés, complexes et des lignes tectoniques multiples ; le Sahara, au contraire est caractérisée par l'extrême simplicité de son orographie.

Dans l'Atlas, les différents termes de l'échelle stratigraphique sont distribués dissymétriquement, de part et d'autre d'une ligne diagonale orientée du Sud-ouest au Nord-est. En réalité, cette dissymétrie apparaît tout au long de la chaîne montagneuse de l'Atlas Saharien, qui s'étale sur toute la largeur de l'Afrique du nord. Une série de plis fascicules caractérise cette chaîne du Maroc à la Tunisie. L'importance croissante d'Ouest en Est des résidus de sédiments nummulitiques marque l'ennoyage graduel dans cette direction du socle général du pays. Il existe dans la partie nord de la wilaya de Khenchela, (l'Aurès et les

Nemenchas), une série d'anticlinaux d'orientation Sud-ouest - Nord-est, plissées à l'Eocène supérieur et à l'Oligocène et simplement soulevés au Néogène.

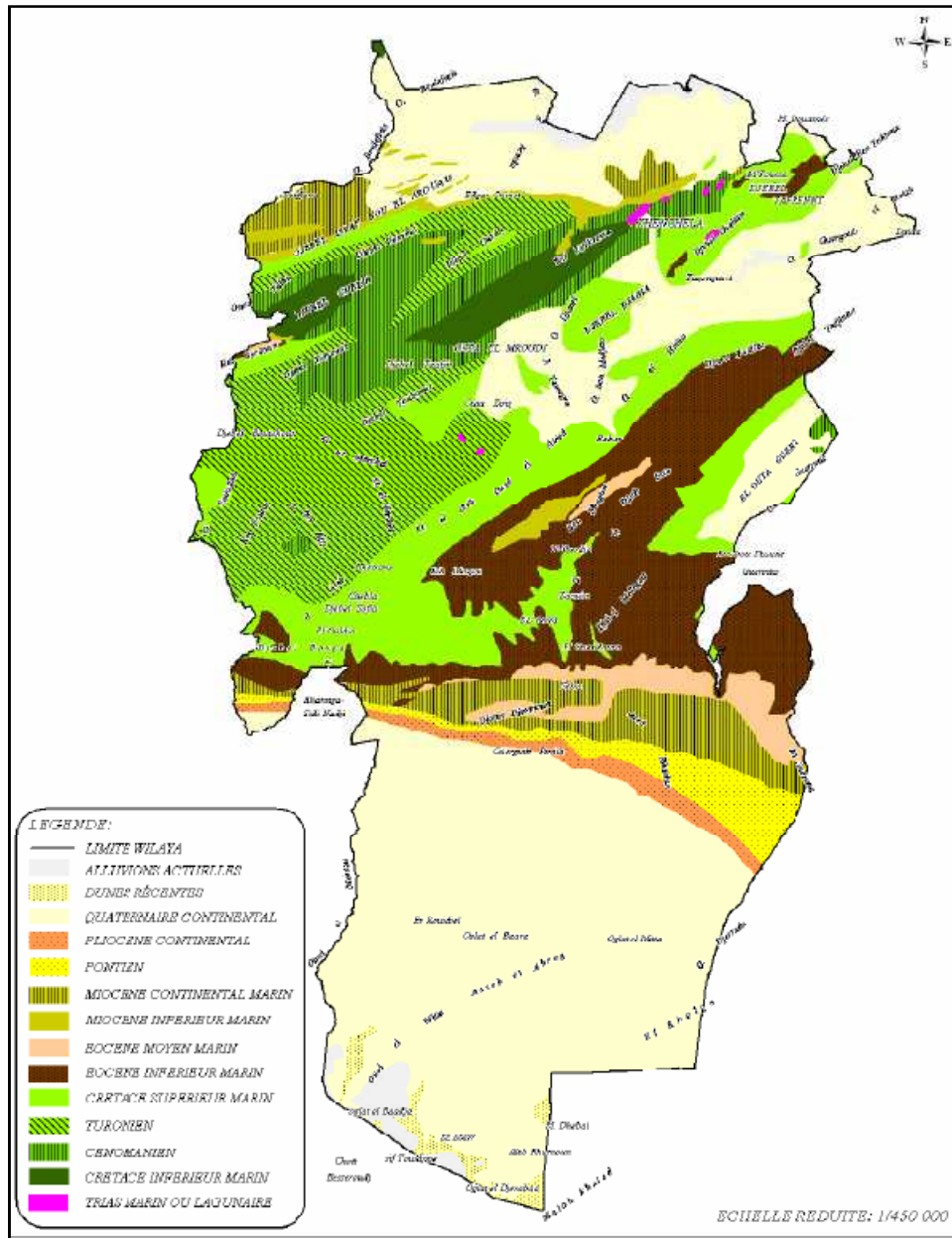


Figure 04 : Carte géologique de la Wilaya de Khenchela d'après DHW de Khenchela

III-2- Description stratigraphique

➤ Le quaternaire

L'examen de la feuille géologique au 1/50.000^{ème} de Khenchela, montre que le quaternaire peut être observé au niveau de plusieurs endroits de la wilaya :

- **Les éboulis à blocs :** Ils sont présents sur les massifs montagneux de l'anticlinal de Khenchela, du synclinal du Djebel Aourès et du Djebel Chettaïa, où ils occupent les pieds des corniches calcaires ou gréseuses. (Houha.B, 2002)
- **Les alluvions récentes ou actuelles :** Elles sont rencontrées principalement aux environs de Beghâi et sur les lits de quelques oueds. Elles sont constituées de sables, de graviers, ainsi que de limons gris avec de gros galets émoussés : calcaires ou gréseux. (Houha.B, 2002)
- **Les Alluvions anciennes et le quaternaire indéterminé :** Ces formations sont localisées dans les zones basses de la bordure septentrionale. (Houha.B, 2002)

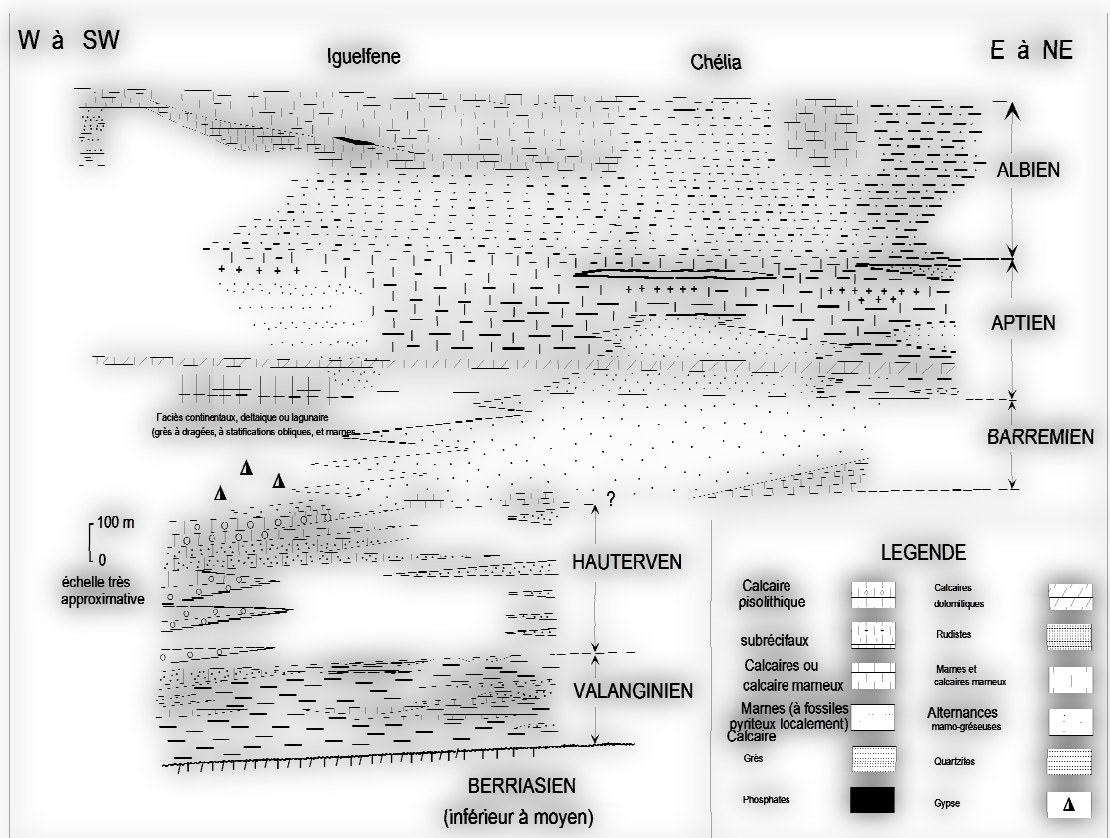


Figure 05: Schéma illustrant les variations de faciès dans le Crétacé inférieur de

L'Aurès d'après Houha. B, 2002

Elles correspondent à des alluvions anciennes que l'on retrouve dans les vallées et les plaines à pente nulle ou très faible et sur lesquelles des sols bruns se sont développés.

➤ **Le tertiaire post-miocène** : *Cette formation est présente :*

au nord de la wilaya, sur les hautes plaines entourant « Garaat et Tarf » où elle s'étend jusqu'au nord de la ville de Khenchela ;

à l'est et au sud-est de la ville, et se prolonge jusqu'à Kheirane ;

au sud sur les piémonts de l'Atlas saharien.

Elle est constituée en général d'argiles silteuses beiges et rouges, avec une perméabilité faible à moyenne.

➤ **Le tertiaire ante miocène**: Principalement éocène, le tertiaire affleure au niveau de la partie centre-est et la partie sud de la wilaya. IL est constitué essentiellement de grès, dont la perméabilité est moyenne.

➤ **Le crétacé supérieur** : (Cénomaniens- Danien). Il occupe la partie ouest de la wilaya (piémonts de l'Aurès), ainsi que la partie sud-est de ces mêmes monts. IL est constitué de calcaire et de calcaire marneux.

➤ **Le crétacé inférieur** : (Albien- Barrémien). Cette formation n'affleure qu'en de rares endroits. On la retrouve au niveau des crêtes du djebel Chélia, ainsi qu'au nord des communes d'Ensigna et d'El-Hamma

➤ **Le trias** : Cette formation, composée principalement de terrains gypso-salins, est surtout présente au nord et nord-ouest de la ville de Khenchela. Elle se présente sous forme d'affleurements en noyaux diapyres ou en intrusions à la faveur de cassures.

III-2-a/ Tectonique

La tectonique de la feuille de Touffana d'apparence simple est en fait assez complexe par ses vastes et lourdes structures plissées, (*Houha, 2007*). Du nord au sud on distingue les structures suivantes

a) l'anticlinal du djebel Amrane ;

b) le synclinal de Touffana: c'est une lourde structure peu affectée par la fracturation;

c) L'anticlinal du djebel chélia.

Cette phase de plissements maximum correspond au Lutétien. Les mouvements post- burdigalien ont modifié Notablement les formations miocènes marine et continentale,

(Durand- Delga ,1955). Ainsi les grés du Burdigalien en bordure sud de la plaine sont relevés à 60-80° entre Timgad et Kais

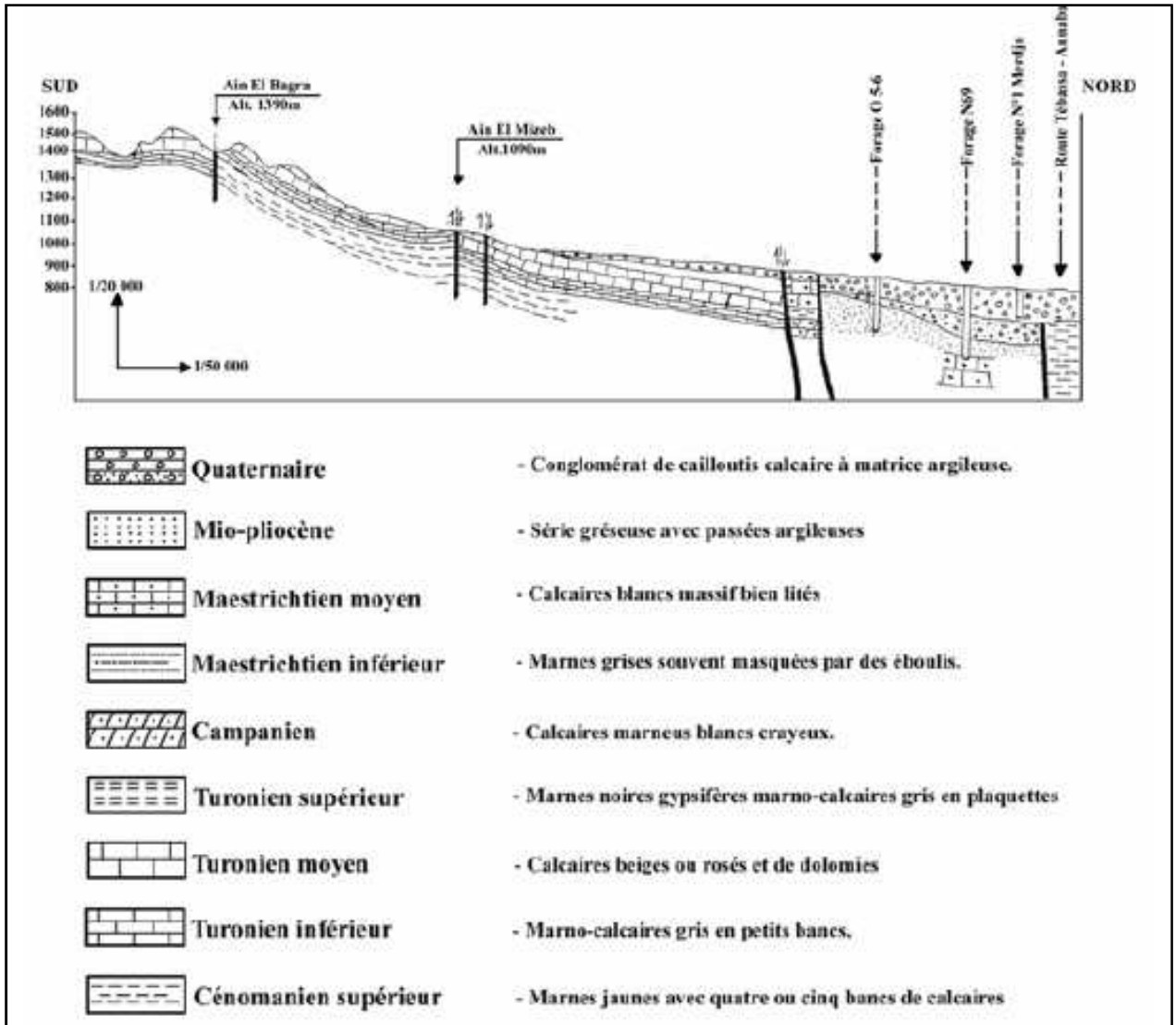


Figure 06: Coupe tectonique géologique de la feuille de touffana du Nord au Sud d'après (Houha, 2007)

III.3- Aperçu lithologique

Selon **Houha, 2007** ; La lithologie (nature géologique des roches de surface) donne une indication sur la résistance des sols à l'érosion. Croisée avec d'autres facteurs des milieux physique et naturel (pente, intensité des pluies et occupation du sol), elle permet d'apporter une appréciation sur la sensibilité des sols à l'érosion et par conséquent elle constitue un critère déterminant quant à la définition de (ou des) l'option à prendre au titre d'une utilisation (affectation) rationnelle et durable du sol.

Sur le plan lithologique, la wilaya de Khenchela présente une multitude de faciès, dont les plus représentés sont énumérés ci-après :

- **Les alluvions et sables.** Ces faciès, moyennement stables, sont rencontrés principalement sur les hautes plaines du nord, sur les terrasses alluviales d'El Meroudj et Oued Guergoub, ainsi qu'au niveau du glacis situé sur les piémonts des Aurès-Némenchas et les basses plaines du sud. Ils correspondent à des terres à fort potentiel agricole, mais dont l'intensification reste tributaire de la ressource en eau pour l'irrigation.
- **Les marnes.** Formations très sensibles à l'érosion et souvent sujettes aux glissements de terrains, les marnes sont présentes tout le long de la vallée de l'Oued El Arab et sur la partie est de la wilaya, correspondant aux monts des Némenchas, Au niveau de ces derniers, qui sont dépourvus de végétation forestière, ces formations sont soumises à une érosion intense et se présentent souvent sous forme de « badlands ».
- **Les calcaires et dolomies dures.** Formations à bonne résistance à l'érosion, les calcaires et dolomies dures sont présent sur la presque totalité du massif des Aurès et sur les reliefs du nord-est de la wilaya. En général, ces formations de montagne sont relativement bien arrosées et couverte d'une végétation forestière assez dense qui les protège de l'érosion.
- **Les calcaires friables.** Peu répandus dans la wilaya, ces faciès sensibles à l'érosion sont localisés principalement sur la bande médiane séparant le nord du sud de la wilaya, et localement au nord, dans la zone des Garaet. Ces roches donnent naissance à des sols calcaires, de profondeur variable suivant leur position topographique, et riches en humus quand ils sont couverts de végétation forestière ;
- **Le trias (gypse).** Formation saline, le trias est essentiellement répandu sur les basses plaines sahariennes au sud de la wilaya. Par ailleurs, on le trouve localement au nord

de Khenchla, à l'est de Babar et au sud de Ouled Rechache. La végétation au niveau de ces espaces est de type halophile.

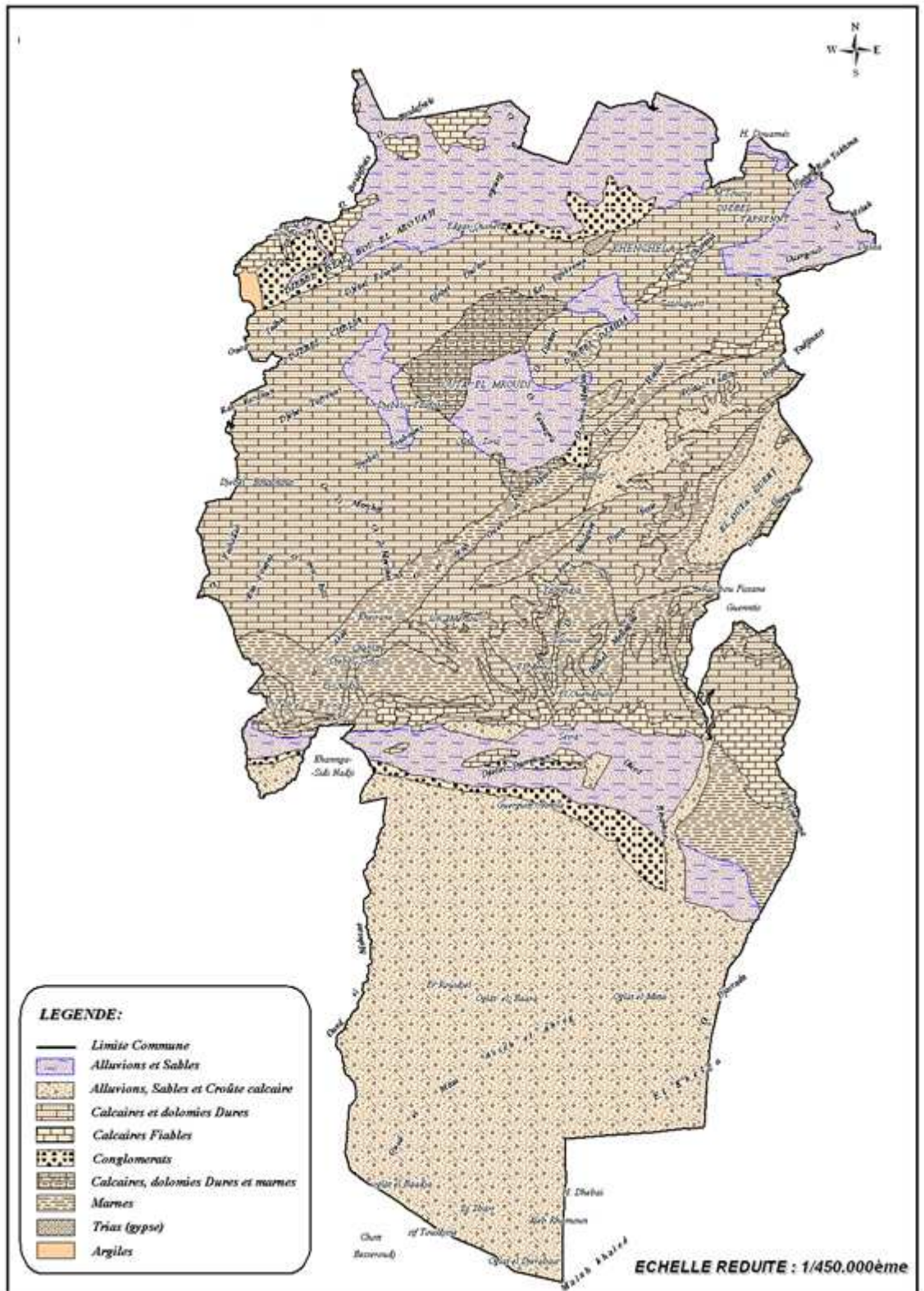


Figure 07 : Carte Lithologique de la wilaya de Khenchela d'après DHW de Khenchela

III.4- Aperçu pédologique sur les principaux sols de la wilaya

Compte tenu de la diversité des caractéristiques morphologiques, lithologiques, et climatiques du territoire de la wilaya, il en résulte un large éventail de sols, dont la formation est conditionnée par la couverture végétale. La carte pédologique de l'Algérie, établie par JH DURAND, confortées par des études ponctuelles plus récentes, permet de cerner d'une manière assez générale les principaux sols rencontrés au niveau de la wilaya. La carte des sols, dressée à l'échelle du 1/500 000 par JH DURAND, a dénombré six classes de sols, auxquelles il convient d'ajouter la classe des sols minéraux brut (affleurement de la roche mère) et la classe des sols halomorphes (sols salés) :

- **Les sols calcaires humifères** : Ils sont rencontrés sur les monts et les piémonts de l'Aurès, à une altitude comprise entre 1 000 et 1500 mètres.
- **Les sols insaturés humifères** : Ces sols sont rencontrés sur les reliefs les plus élevés (plus de 1500 mètres d'altitude) de l'Aurès. Ils sont occupés par des forêts.
- **Les sols calciques** : Ces sols sont rencontrés sur les bas piémonts, et sur les hautes plaines longeant la route qui mène de Khenchela à Faïs en passant par Kaïs et Remila. Ils s'étendent à l'Est jusqu'à Ain Touila et au Sud jusqu'à Babar en partant de Khenchela.
- **Les sols éoliens d'ablation** : Ces sols sont rencontrés au Sud de la wilaya, sur les piémonts des monts Nementchas, dont l'altitude est située entre 200 et 500 mètres.
- **Les sols éoliens d'accumulation** : Ils sont localisés uniquement dans la zone sud de la wilaya, près du chott Melghir (Sols sablonneux).
- **Les sols alluviaux basiques** : Ces sols sont localisés sur des zones de changement de pente, c'est à dire les zones où la pente devient plus douce. on les rencontre principalement dans les plaines entourant les dépressions (dépression de Gâaret et Tarf, cuvette du bas Sahara, et la dépression de Tazougart), mais aussi au niveau des vallées encaissées de Babar, de Bouhmama et de la plaine de Guentis.
- **Les sols salins ou solontchak** : Ces sols caractérisant les dépressions sont rencontrés au niveau des zones d'accumulation. Ils sont le résultat d'une hydrologie à écoulement endoreïque ou de la présence de roches triasique (gypse : roche saline).
- **Les roches mères** : Ces roches, résultat d'une érosion intense due a une conjugaison de facteurs négatifs (relief montagneux, intensité des pluies, substratum tendre et à une absence de couvert végétal pérenne) affleurent notamment les monts des Nementchas.

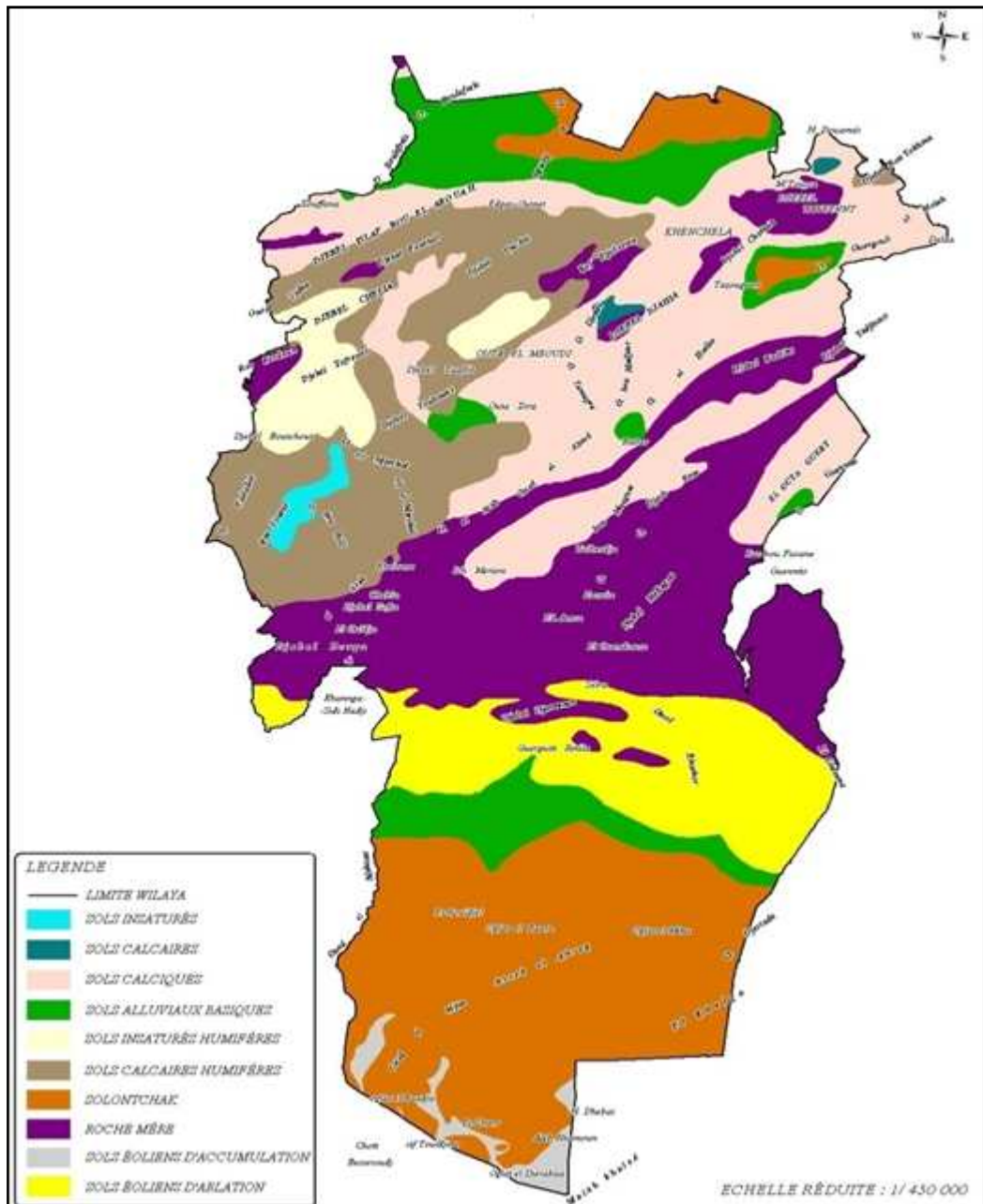


Figure 08: Carte des classes des Sols de la wilaya de Khenchela (DURAND J.H 1954)

IV- Cadre géomorphologique

Le territoire de la région de Khenchela est situé dans une zone de transition entre le domaine atlasique, assez plissé au Nord et la plate forme saharienne au Sud.

Le contact entre ces deux domaines est très brutal ; est marqué par un grand accident tectonique, appelé « flexure Sud-atlasique ».

Selon le PAW de Khenchela réalisé en 2009, la wilaya dispose, de deux grands ensembles sédimentaires :

- Un ensemble souple affecté par des plis ayant généralement une direction Sud-ouest/Nord- Est ;
- Un ensemble rigide affecté par des failles.

Le relief de la wilaya de Khenchela présente, d'une manière générale, trois compartiments distincts :

- Une zone de hautes plaines, au nord, qui se singularise par une altitude d'ensemble oscillant entre **825** et **900** mètres et une pente généralement faible (inférieure à **3%**). Ces hautes plaines, sorte de belvédère, constituent un prolongement Nord aux affleurements calcaires du site naturel du Hammam et occupée par la plaine de Rémila.
- Une zone de montagnes au centre de la wilaya, formée par le massif des Aurès de Némenchas, dont le point culminant atteint **2169 m** sur le Djebel Chélia, ce qui fait de lui l'un des sommets les plus élevés de l'Atlas Algérien. Cette zone, dont l'altitude oscille entre **1000** et **2169** mètres, est entrecoupée par des vallées étroites, de direction générale nord-est et dans l'une desquelles se trouve engouffré Hammam El Salihine ceinturé par des reliefs de moyenne altitude.
- Une zone de plaines steppiques et présahariennes au sud, dont une partie se situe au dessous du niveau de la mer (Oglat El Djerabaa : moins **26 m**). De topographie relativement plane, elle appartient à la grande cuvette du bassin de chott Melghir où se situe le grand Erg oriental.

V- Cadre structural

La région de Khenchela se caractérise par un anticlinal naissant sous forme de replis à **70 Km** à l'ouest de Khenchela, dans des terrains nummulitiques du synclinal des Rassira, mais il est à peine sensible, il se continue vers le Nord-Ouest au milieu des terrains de crétacé supérieur en s'accroissant légèrement.

A partir du djebel Tanout à **45 Km** à l'ouest de Khenchela, l'anticlinal subit un abaissement d'axe et un faible décrochement correspondant à l'accident du djebel Chélia. Plus

lion, à partir d'Ain Giuiguel, un relèvement d'axe rapide fait apparaître le crétaé inférieur, où le synclinal du djebel Aidel fait apparaître la base du barrémien ou le sommet de l'interviens.

Sur le plan sud du djebel Aidel, au sien des quartzites particulièrement durs du barrémien, on voit un repli synclinal très aigu, contrastant avec l'allure tranquille de l'ensemble de l'anticlinal, se repli est particulièrement visible lorsque, de Chentagoum au sud-ouest de Khenchela (**2119 m**), on regarde le versant sud-est du djebel Aidel. Ce dispositif semble un cas particulier.

Vers le nord-ouest, l'anticlinal subit un abaissement d'axe et les terrains crétaés inférieurs disparaissent aux environs de Khenchela.

Dans cette région, l'anticlinal est accidenté de failles qui précipitent la disparition du crétaé inférieur sur son plan nord.

La présence de ces fouilles est marquée par la présence de thermes (Aqua-Flavianus), situés à **7 Km** à l'ouest de Khenchela, dont l'eau riche en chlorure de sodium et sulfate de calcium, sort à la source à une température de **70 °C**. L'origine de cette eau doit être recherchée dans le trais qui forme en effet, le proingement de cet accident à **4 Km** vers le nord-est.

Conclusion

Sur le plan physique et naturel, la wilaya de Khenchla présente globalement cinq (05) paysages aux spécificités et aux problématiques différentes.

- **La zone des hautes plaines du Nord.**

Cette zone, qui constitue le prolongement, vers le Sud, des Hautes plaines Constantinoises, occupe la partie Nord de la wilaya. Elle se caractérise par :

- une altitude d'ensemble oscillant entre 850 et 900 mètres ;
- une topographie relativement plane où prédomine la classe de pente inférieure à 3% ;
- un climat de type semi-aride, marqué par la faiblesse des précipitations (comprises entre les isohyètes 200 à 500 mm) et leurs fortes variations annuelles et saisonnières, ce qui se traduit par un caractère aléatoire des productions agricoles pluviales.
- des sols à potentiel agricole appréciable.

- **La zone du massif forestier sub humide des Aurès.**

Cette zone, à cheval sur les wilayas de Khenchela et Batna, occupe la partie médiane Ouest de la wilaya. Elle se singularise par :

- des reliefs très élevés, au sein desquels on dénombre une succession de monts, dont les sommets s'élèvent à plus de 1600 m d'altitude : Djebel Chélia (2169 m), Djebel Tafrent (2113 m), Djebel Fourhal (1698 m) ; etc. ;
- une orographie de forte intensité, où les classes de pente dominantes (12,5-25% et supérieure à 25%) sont celles qui constituent un handicap pour les opérations d'aménagement du territoire (surcoût dans la réalisation des infrastructures et équipement socioéconomiques) et un facteur limitant pour le développement et l'intensification des pratiques agricoles ;
- Un climat, type subhumide à humide. Dans cette zone, la mieux arrosée de la wilaya, les précipitations augmentent avec l'élévation du relief, elles oscillent entre 600 à 1200 mm/an, en fonction de l'altitude.
- un couvert végétal forestier appréciable (forêts naturelles et reboisement), dont deux magnifiques cédraies.
- une activité agricole de type agriculture de montagne où se côtoient : arboriculture, jardinage, élevage et apiculture.

- **La zone des monts semi-arides des Néménchas**

Cette zone occupe la partie médiane Est de la wilaya. Par rapport au massif forestier des Aurès, les monts se distinguent par :

- une altitude moins marquée, mais tout de même assez importante, dont la dénivelée oscille entre 700 et 1400 m en moyenne, bien que certains sommets avoisinent les 1600 m (versant nord d'El Outa Guert) ; les monts des Néménchas sont prolongés vers le Sud par une zone de piémonts dont la dénivellation s'abaisse brutalement jusqu'à 300 m ;
- une orographie souvent importante, où les classes de pente comprises entre 12,5-25% et supérieure à 25% sont les plus représentées,
- un climat de type semi aride, dont les précipitations s'insèrent dans la tranche pluviométrique comprise entre les isohyètes 200 et 500 mm ;

- un couvert végétal de type steppique, constitué essentiellement de nappes alfatières souvent très dégradée
- des sols fortement soumis à l'érosion.

- **La zone de la basse plaine du Sud**

Située au Sud de la wilaya, principalement dans le territoire de la commune de Babar, la basse plaine d'El Meïta relève du domaine présaharien. Par rapport au reste du territoire de la wilaya, elle se distingue par :

- une topographie générale d'apparence plane, qui en réalité présente une faible dénivelée de direction Nord-Sud, dont le point le plus bas atteint un niveau inférieur à celui de la mer en bordure du chott Melghir ;
- un climat de type aride, caractérisés par un niveau de précipitation inférieur à 200 mm par an ;
- un réseau hydrographique dense, qui prend naissance au niveau des monts des Némencha et qui se déverse dans le chott Melghir ;
- un couvert végétal (parcours sahariens) très dégradé, qui sert en hiver de zone de parcours aux troupeaux en provenance du Nord ;
- la présence, dans la partie extrême Sud, de zones d'ensablement. .

Introduction

La wilaya de Khenchla s'inscrit dans les limites géographiques de trois bassins versants :

- Le bassin versant des Hautes Plaines constantinoises, qui correspond à la partie nord de la wilaya (piémonts nord des Aurès et zone des dépressions) ;
- Le bassin versant de la Médjerdah, pour la partie nord-est correspondant aux versants sud des djebels: Chettaia, Tafrennt et Bou Tokhma, et, aux versants nord des Djebels : Tadilist et Tadjinnart ;
- Le bassin versant du Chott Melghir, pour les parties médiane et sud de la wilaya, correspondant au massif des Aurès, aux monts des Nemenchas, aux vallées des oueds El Arab et Mellagou, ainsi qu'aux plaines steppiques et présaharienne du sud. Contrairement aux deux premiers bassins précités, qui ne touchent qu'une petite partie de la wilaya, ce bassin couvre plus des trois quarts du territoire.

(étude PAW Khenchela, 2009)

Concernant le réseau hydrographique, la wilaya est drainée par quelques oueds d'une importance relative et à caractère endoréique, alimentés par un chevelu très dense. Les cours les plus importants dont notre étude infléchit sont présentés **Le bassin versant des Hautes Plaines constantinoises**. Ce bassin est drainé principalement par les oueds Boulefreis, Remila et Gueis. Ces oueds, alimentés par un chevelu très dense de petits cours d'eau, se jettent tous au niveau des dépressions (petites sebkhas) situées au nord de la wilaya. Et vu des apports pluviométriques limités dans cette zone ainsi la présence de formations triasiques, on peut déduire que le volume des écoulements est faible et que la qualité des eaux est saline. *(DHW, 2011)*

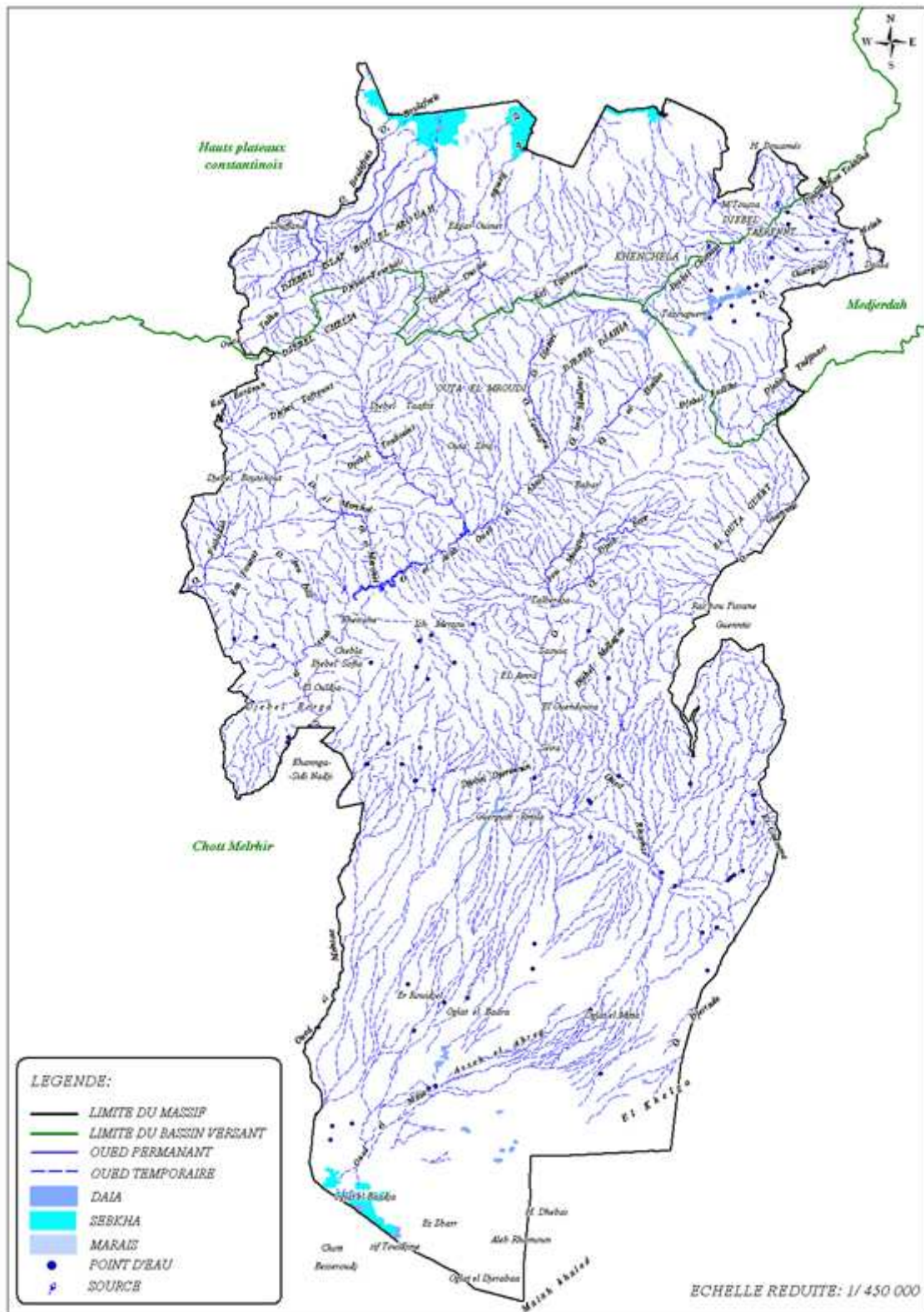


Figure 09 : Carte des ressources hydriques de la wilaya de Khenchela d'après DHW de Khenchela

Les oueds sont essentiellement de type endoréique et se déversent ainsi dans les dépressions de la région : au nord, dans la dépression d'El Tarf.

Compte tenu du climat et du relief de secteur d'étude, les écoulements les plus importants sont enregistrés au niveau d'oued Boulfreiss, et Oued Aimer.

Tableau 01 : Principaux oueds de la région d'étude et leurs exutoires

| Dénomination | Principaux affluents | Exutoire |
|-------------------------|--|------------|
| Oued Boulefreis | O.Martoum, O.El Melah, O.Taouzennt, O. Meroui | Garet Tarf |
| Oued Gueis | O. Issouel | |
| Oued El Hamma | O El Kissan | |
| Oued Baghai, Oued Aimer | / | |

DHW de Khenchela

I. Hydrogéologie

L'étude hydrogéologique repose sur l'identification du système aquifère, sa géométrie, ses limites et son alimentation. L'ensemble du système d'écoulement souterrain est défini par la piézométrie des différentes structures et unités géologiques constituent le système aquifère dont sa lithologie se développe dans des terrains où la nature et la texture sont variables. Il s'agit des formations gréseuses du Néogène et des marnocalcaires du Turonien. Chacune des formations a un caractère hydrogéologique propre ce qui nous amène à les décrire séparément

I.1. Lithologie des aquifères

I.1.1. Substratum : structure profonde

Les grandes lignes structurales du substratum anti-quaternaires sont marquées par un passage d'Ouest en Est des calcaires turoniens et cénomaniens aux marnes cénomaniennes. Ce sont ces marnes qui constituent le substratum sous la Garat et Tarf. Le substratum calcaire se trouve limité à la zone Ouest, au voisinage de Djebel Amrane, et à la partie Sud, dans les zones de Boulfreis à Kais

Au pied du Djebel Fedjoudj, le plongement Sud des calcaires aptiens a pu être suivi jusqu'à des profondeurs d'ordre de 500-600m (*Bouaicha,2009*)

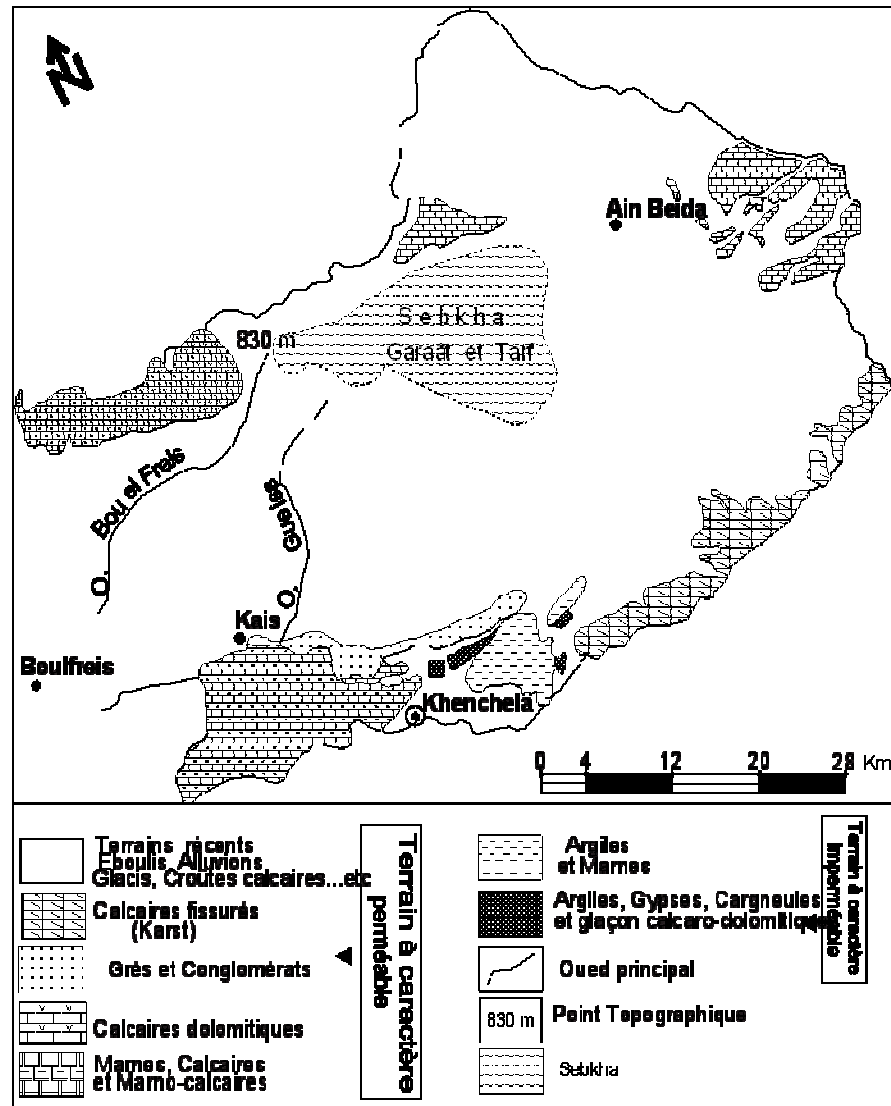


Figure 10: Unités hydrogéologiques dans le bassin de Garâat Tarf

(Houha, 2007)

I.1.2. Terrains Néogène

Les formations miocènes s'allongent le long de la bordure sud du bassin avec une allure synclinale délimitée sous le recouvrement quaternaire.

Il s'agit de grès marin noyés dans une importante épaisseur de marnes gréseuses verdâtre ou gris-bleu et constituent en réalité une roche assez dure et peu perméable.

Cette formation n'est pas suffisante pour qu'une nappe continue puisse s'y développer.

I.1.3. Le Plio-Quaternaire

Les terrains quaternaires sont le lieu de bonnes circulations d'eau, l'épaisseur saturée de cette formation est suffisante. Il est formé de plusieurs niveaux grossiers, sables, graviers, conglomérats bien développés, dans la partie Ouest et centre de la zone d'étude. Ces niveaux grossiers se présentent sous la forme de vastes lentilles parfois sans liaison entre elles, en prolongement du djebel Amrane et du massif miocène de Boulfreis. Il est moins important et moins profond dans la partie Sud-Est du secteur. Il constitue donc la couverture perméable qui permet l'infiltration des eaux météoriques, cet ensemble joue un rôle hydrogéologique important du fait de sa perméabilité en général excellente. C'est dans cette formation du remplissage plio quaternaire que la nappe de Begaga est contenue. (Chaffai, H, 2009)

I.2. Les principaux aquifères

Suite à la grande complexité structurale et la diversité lithologique de la zone étudiée, on dénombre, en fonction de leur importance, deux types d'aquifères :

- **Les aquifères alluviaux** : deux types d'alluvions peuvent être distingués : les alluvions anciennes et les alluvions récentes qui reposent sur les premières.
- * Les alluvions anciennes sont constituées de galets, graviers et sables bien roulés ou très émoussés localement captif ou semi captif sous les limons.
- * Les alluvions récentes présentent d'importantes variations de faciès mais sont toujours composées de dépôts fins. (Houha, 2002)

Ces aquifères représentent la plus importante ressource régionale en eau souterraine occupant le bassin étudié et tout autour du massif des Aurès

- **L'aquifère miocène**: s'allongent le long de la bordure sud du bassin avec une allure synclinale délimitée sous le recouvrement quaternaire, constitue en réalité une roche assez dure et peu perméable. Cette formation n'est pas suffisante pour qu'une nappe continue puisse s'y développer du fait de son extension limitée au Nord et se termine en biseau. (Houha, 2002)

I.3. Présentation et nature des nappes aquifères

I.3.1. La coupe hydrogéologique I (Figure 11) : La coupe hydrogéologique montre l'aquifère superficielle du Mio-Quaternaire conçu par des Glacis polygénique du Quaternaire et des grès blancs grossiers du Tortonien Supérieur. Ceci est interprété par l'existence d'un aquifère à nappe libre dont le niveau piézométrique est subhorizontal et s'incline vers le Sud-Est (30m au Nord West et 5m au Sud Est).

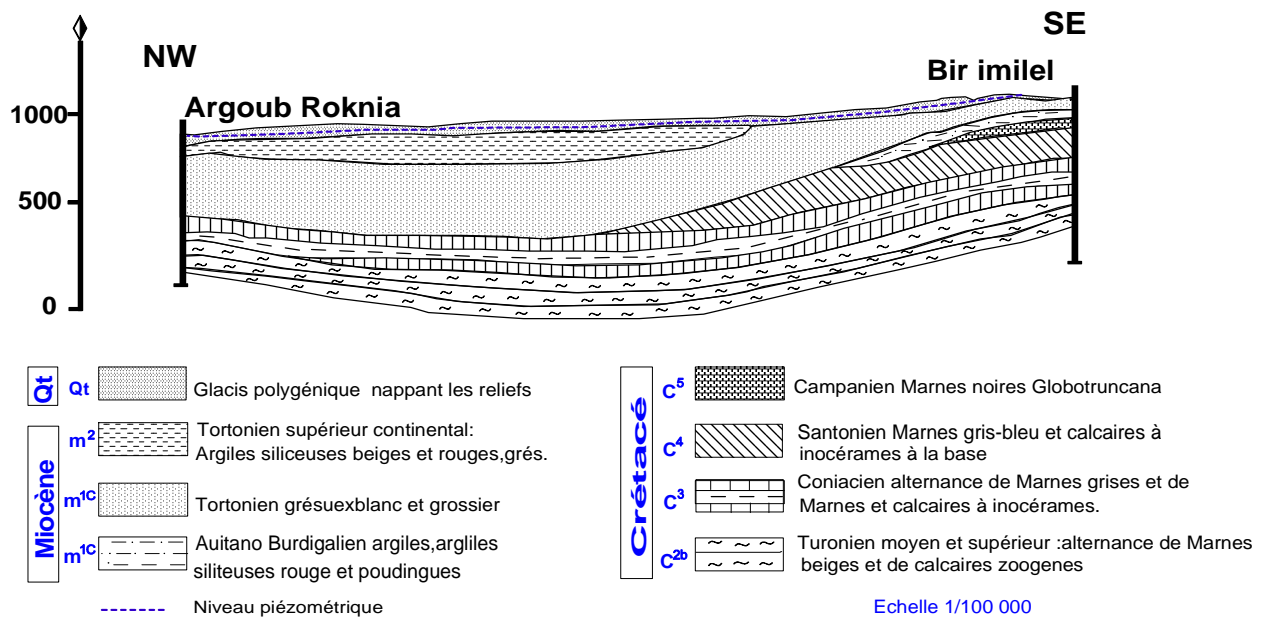


Figure 11: Coupe hydrogéologique I (D'après Houha2007).

I.3.2. La coupe hydrogéologique II (Figure 12) : La coupe montre deux formations assez importantes, l'une est superficielle à porosité d'interstice et l'autre profonde, à porosité de fissures.

La première est représentée par des sables, des sables marneux, des graviers, des grés et des conglomérats. Cette formation est perméable formant une nappe libre. Au Sud-Ouest, cette formation a une épaisseur relativement faible, elle est d'ordre d'une dizaine de mètres. Au Nord-Est l'épaisseur est beaucoup plus importante. Arrivant à la deuxième formation cette dernière est constituée par des marnes, des calcaires et des marno-calcaires. Son épaisseur au Sud-Ouest est relativement plus importante qu'au Nord-Est.

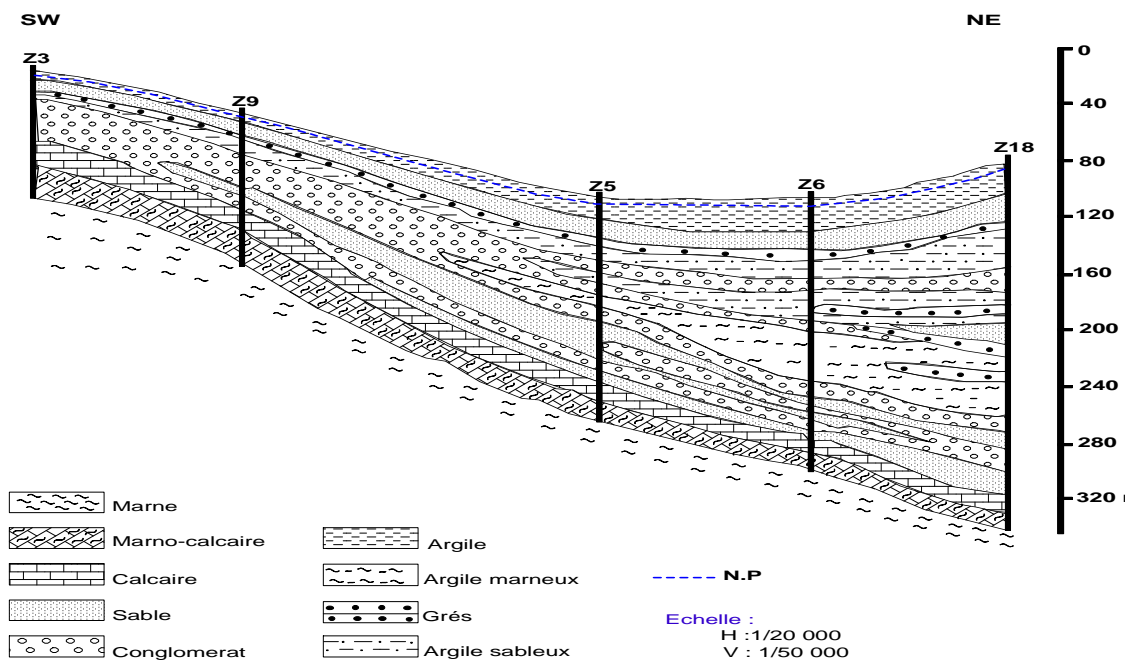


Figure 12: Coupe hydrogéologique II (D'après la DHW de Khenchela)

I.3.3. Nappe phréatique

La nappe aquifère est contenue dans le remplissage quaternaire dans des intercalations argilo-sableuse et dans des sable et graviers. C'est un aquifère multicouches séparés par des argiles et des marnes

Les zones d'alimentation se situent, principalement au Sud, à partir du versant Nord du Massif de l'Aurès et à l'Ouest, à partir du Djebel Amrane.

I.3.4 Nappes profondes

Les nappes profondes sont reconnues par quelques forages qui ont permis de tester les formations Quaternaires récentes. Aucune autre formation antérieure (grès miocène ou calcaires crétacés) n'a été testée dans les limites de la plaine, Les forages captent tous des niveaux grossiers ou des conglomérats dans le remplissage Quaternaire.

VI.2. Piézométrie du Crétacé (Figure 14):

La réalisation de la carte piézométrique du Crétacé montre un écoulement de direction Nord Ouest - Sud Est dans la partie Ouest et Nord Est - Sud Ouest dans la partie Est avec des courbes espacées indiquant un gradient hydraulique faible, sauf dans la partie Sud-Est marquée par des courbes serrées indiquant un gradient hydraulique fort.

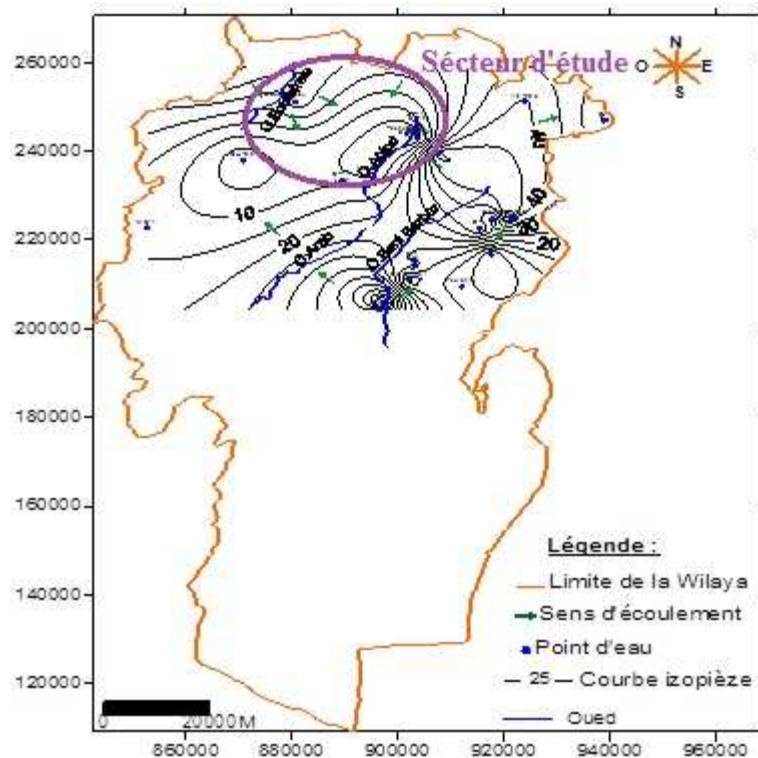


Figure 14 : Carte piézométrique du Crétacé
(Chaffai.H, 2009)

Conclusion

La région d'étude formée de trois formations aquifères, c'est le système aquifère en zone semi-aride avouer par le Quaternaire, le Crétacé et le Miocène.

L'aquifère est composés d'affleurement carbonaté de l'Albo-aptien composé de calcaires dolomitiques fissurés et de sable, conglomérat et graviers du quaternaire récent.

Dans cette configuration, il existe quatre nappes aquifères reconnues, une superficielle dont la profondeur moyenne varie de 5 à 30m, l'autre est profonde atteinne les 600m :

L'analyse des cartes piézométrique montre une morphologie non uniforme avec un écoulement différent d'un système aquifère à un autre.

Introduction

Le climat d'une région à une époque donnée d'évolution de la planète peut se définir par les valeurs des variables qui caractérisent le temps. Ces variables sont essentiellement la température, les précipitations (pluie, neige) et les vents auxquels on peut ajouter la pression atmosphérique, l'humidité de l'air et la radiation solaire.

Les écosystèmes steppiques sont marqués par une grande variabilité interannuelle des précipitations, caractérisés par une irrégularité spatio-temporelle très importante, présente l'inconvénient d'agir sur un milieu fragile susceptible de se dégrader à n'importe quel moment si les conditions sont défavorables. En effet, on constate par exemple l'effet du vent qui favorise l'érosion éolienne et les ruissellements qui favorisent l'érosion hydrique

Les données de température et de précipitation correspondent à la zone d'étude, coïncident à des hauteurs mensuelles des pluies et de température ont recueillies au près de la station de l'office national de météorologie (OMN) d'El Hamma situées à **890 m** d'altitude suivant une période de mesures de **1994 à 2010**.

I. Paramètres climatiques

I.1 - Précipitations

La pluviosité est définie comme étant le facteur primordial qui permet de déterminer le type du climat ; Elle conditionne le maintien et la répartition du tapis végétal, et la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosions d'une part, elle a un rôle social et économique d'autre part. Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat.

La pluviosité désigne toutes les eaux qui se condensent dans l'atmosphère et se déposent ensuite à la surface de la Terre : pluie, neige, grêle, brouillard, rosée, etc. elles fournissent l'eau douce indispensable à la vie. Or, leur répartition à la surface du globe est très inégale du fait qu'elle est déterminée par la situation géographique, par la topographie et notamment la direction des axes montagneux par rapport à la mer et l'altitude cela conduit à une certaine irrégularité

Le régime pluviométrique joue un rôle prépondérant dans l'hydrochimie par le lessivage des terrains. Plus la pluviométrie est forte, plus la dilution des sels restants passant en solution est grande.

Les régimes des précipitations mensuelles sont à l'origine de l'écoulement saisonnier, des régimes de cours d'eau, de l'adaptation de la végétation et de l'agriculture, les hauteurs des précipitations mensuelles calculées pour le site étudié sont portées dans le **Tableau 02**.

Cette étude est basée sur des données d'une période de suivi pluviométrique de 15 ans (1994-2010) de la station météorologique d'EL Hamma.

Tableau 02: Précipitation moyenne mensuelle et annuelle de la station d'El Hamma d'une période de 15 ans (1994-2010)

| P | jan | fév | mars | avril | mai | juin | juill | aout | sept | oct | nov | déc | P moy annu |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| 1994 | 38 | 23 | 29 | 12 | 7 | 10 | 30 | 3 | 41 | 77 | 31 | 26 | 27.25 |
| 1995 | 98 | 1 | 24 | 42 | 3 | 95 | 16 | 58 | 129 | 38 | 21 | 18 | 45.25 |
| 1996 | 141 | 102 | 79 | 59 | 16 | 22 | * | 36 | 19 | * | 6 | 11 | 49.10 |
| 1997 | 27 | 9 | 17 | 29 | 54 | 9 | 22 | 38 | 73 | 50 | 75 | 55 | 38.17 |
| 1998 | 6 | 31 | 61 | 59 | 57 | 28 | * | 30 | 44 | 34 | 42 | 21 | 37.55 |
| 1999 | 48 | 14 | 23 | 21 | 64 | 30 | 17 | 86 | 26 | 42 | 89 | 56 | 43.00 |
| 2000 | 10 | 4.4 | 14.6 | 10.3 | 81 | 60 | 1.2 | 9.7 | 47.2 | 34.7 | 17 | 20.8 | 25.91 |
| 2001 | 17.8 | 15.4 | 4.3 | 32.4 | 97.4 | 1.4 | 6.5 | 16.5 | 81 | 26.6 | 38.7 | 19.4 | 29.78 |
| 2002 | 9.9 | 14.9 | 12.1 | 26.9 | 22.2 | 13.1 | 27.4 | 128.6 | 28 | 20 | 84.5 | 29.5 | 34.76 |
| 2003 | 110 | 66 | 26.2 | 88.8 | 17.6 | 41.7 | 11 | 5.9 | 37.9 | 81.8 | 19 | 44.3 | 45.85 |
| 2004 | 29 | 3.9 | 41.8 | 53.6 | 141.7 | 66.2 | 5.2 | 14.5 | 24.6 | 15 | 112.5 | 110.6 | 51.55 |
| 2005 | 5 | 43 | 35.9 | 36.4 | 14.9 | 46.1 | 10.8 | 19.9 | 42.2 | 43.2 | 24.8 | 46.4 | 30.72 |
| 2006 | 88.7 | 43.1 | 10.5 | 46.7 | 148.7 | 11 | 41.1 | 47 | 22.2 | 36.6 | 11.9 | 76.2 | 48.64 |
| 2007 | 8.1 | 17.4 | 103.1 | 76.7 | 30.4 | 38.1 | 12 | 20.7 | 122.4 | 16.8 | 13.4 | 49.1 | 42.35 |
| 2008 | 23.1 | 7.7 | 24.8 | 14.5 | 102.7 | 5.6 | 26.8 | 57.8 | 93.7 | 96.2 | 15.2 | 48.5 | 43.05 |
| 2009 | 145.3 | 17.8 | 74.9 | 144.6 | 53.4 | 6.7 | 20.7 | 29.7 | 72.7 | 17.9 | 3.6 | 23 | 50.86 |
| 2010 | 30.1 | 15 | 15.5 | 84 | 87.4 | 25.3 | 17 | 42.7 | 70.6 | 36.7 | 73.2 | 31.6 | 44.09 |
| P moy mensu | 49.12 | 25.21 | 35.10 | 49.23 | 58.73 | 29.95 | 17.65 | 37.88 | 57.32 | 41.66 | 39.87 | 40.38 | |

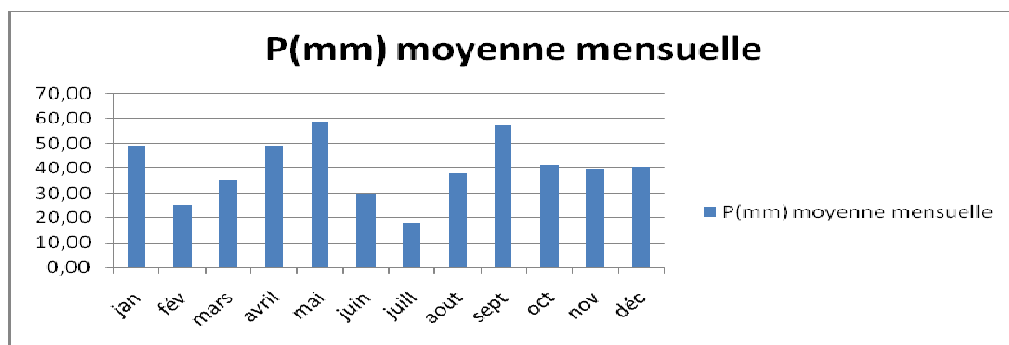


Figure 15: Précipitation mensuelle moyenne pour une période de 15 ans (1994-2010).

Les précipitations sont irrégulières et plus au moins faible ; on peut envisager une saison hivernal plus au moins pluvieuse s'étant du mois de Septembre avec un taux de précipitations de **53,86 mm** jusqu'au mois de Janvier avec un taux de précipitation de **46,14 mm** par opposition le mois de Mai est le plus arrosé avec une moyenne dépasse **50mm**, or c'est au mois de juillet les précipitations atteignent son niveau le plus faible avec une moyenne de **18 mm**.

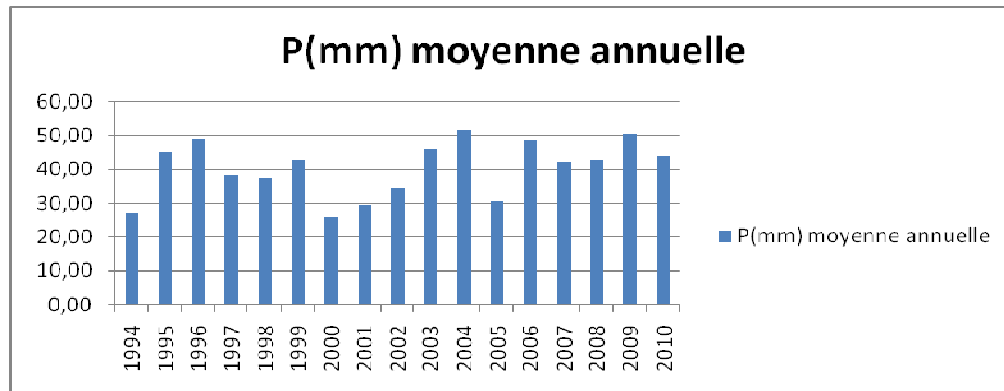


Figure 16: Précipitation annuelle moyenne pour une période de 15ans (1994-2010)

L'année la plus pluvieuse étant **2009** avec une moyenne annuelle de **50 mm**. L'année **2000** étant la plus sèche avec une moyenne annuelle de **25 mm** alors le moyen interannuel sur cette période (**1994-2010**) est de **35 mm**.

I.2- Les températures

La température représente un facteur limitant de toute première importance car, elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (*Tabet S, 2008*).

En dépit des fortes températures qui règnent à l'intérieur du globe, la température en surface ne dépend que de l'apport solaire car la conductibilité des roches est faible. En tous lieux, vers 11m de profondeur, les variations thermiques saisonnières sont effacées et la température observée correspond à la moyenne annuelle en surface, ce qui montre bien la faiblesse du flux calorifique interne au flux solaire. La chaleur d'origine cosmique étant absorbée de façon différente selon la topographie des lieux, il y a donc deux types de facteurs intrinsèques les uns liés à la position en latitude, les autres à la topographie locale.

Tableau 03: température moyenne mensuelle et annuelle de la station d'El Hamma d'une période de 15 ans (1994-2010)

| T° | jan | fév | mars | avril | mai | juin | juil | aout | sept | oct | nov | déc | T° moy annu |
|--------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------------|
| 1994 | 6.7 | 7.8 | 9.7 | 10.3 | 20.4 | 23.1 | 26 | 28.2 | 22.4 | 16.2 | 12.5 | 7.9 | 15.93 |
| 1995 | 8.4 | 9.8 | 8.5 | 11.2 | 18.3 | 22.3 | 25.9 | 24.3 | 20.8 | 15.9 | 11.6 | 9.1 | 15.51 |
| 1996 | 8.5 | 5.9 | 9.3 | 11.9 | 16.6 | 19.6 | 24.9 | 26.5 | 20.5 | 14.9 | 11.9 | 9.7 | 15.02 |
| 1997 | 8.1 | 9.8 | 9.4 | 12.4 | 20.3 | 26.2 | 26.9 | 24.9 | 20.4 | 16.5 | 11.2 | 8.2 | 16.19 |
| 1998 | 6.7 | 7.9 | 9.2 | 13.9 | 16.4 | 23.5 | 27 | 26.8 | 23.2 | 15.1 | 10.3 | 6.2 | 15.52 |
| 1999 | 7.1 | 5.3 | 10.1 | 14.5 | 21.7 | 25.8 | 26.5 | 29.5 | 23.3 | 19.4 | 10.2 | 6.6 | 16.67 |
| 2000 | 4.3 | 8 | 11.4 | 15.8 | 20 | 22.2 | 27.1 | 26.3 | 22.1 | 15.6 | 12.4 | 9.2 | 16.20 |
| 2001 | 7.8 | 7.6 | 15.7 | 13.5 | 18.1 | 23.9 | 28.2 | 26.4 | 21.9 | 20.7 | 11 | 6.3 | 16.76 |
| 2002 | 6.3 | 9.1 | 11.8 | 14.3 | 18.7 | 24.2 | 26.2 | 25 | 20.8 | 17.7 | 11.6 | 8.8 | 16.21 |
| 2003 | 6.4 | 5.7 | 9.6 | 13.7 | 18.2 | 24 | 28.6 | 26.9 | 21.2 | 18.8 | 11.3 | 6.6 | 15.92 |
| 2004 | 6.7 | 9.3 | 11.3 | 12.4 | 14.9 | 21.1 | 25.5 | 27.3 | 20.8 | 20 | 9.1 | 6.8 | 15.43 |
| 2005 | 4.2 | 4.4 | 10.8 | 13.3 | 19.8 | 23.2 | 27.5 | 22.7 | 18.3 | 17.2 | 11.3 | 6.1 | 14.90 |
| 2006 | 4.3 | 6.4 | 11.2 | 15.9 | 20.05 | 24.1 | 25.5 | 24.5 | 20.4 | 9.5 | 12 | 7.1 | 15.08 |
| 2007 | 8.3 | 8.8 | 8.4 | 12.8 | 17.8 | 25 | 26.3 | 26.3 | 21.4 | 16.8 | 10.1 | 6.6 | 15.72 |
| 2008 | 7.2 | 8.1 | 10.2 | 14.7 | 18.7 | 22.3 | 28 | 26.5 | 21.7 | 16.2 | 9.1 | 5.8 | 15.71 |
| 2009 | 6.2 | 5.8 | 9.1 | 10.2 | 16.8 | 22.7 | 28.1 | 26 | 20 | 15.4 | 12.5 | 10.3 | 15.26 |
| 2010 | 7.4 | 9.7 | 11.9 | 14.9 | 16.2 | 22.7 | 26.3 | 26.4 | 21.2 | 16.4 | 11.1 | 8.8 | 16.08 |
| T° moy mensu | 6.74 | 7.61 | 10.45 | 13.28 | 18.41 | 23.29 | 26.74 | 26.15 | 21.20 | 16.61 | 11.13 | 7.65 | / |

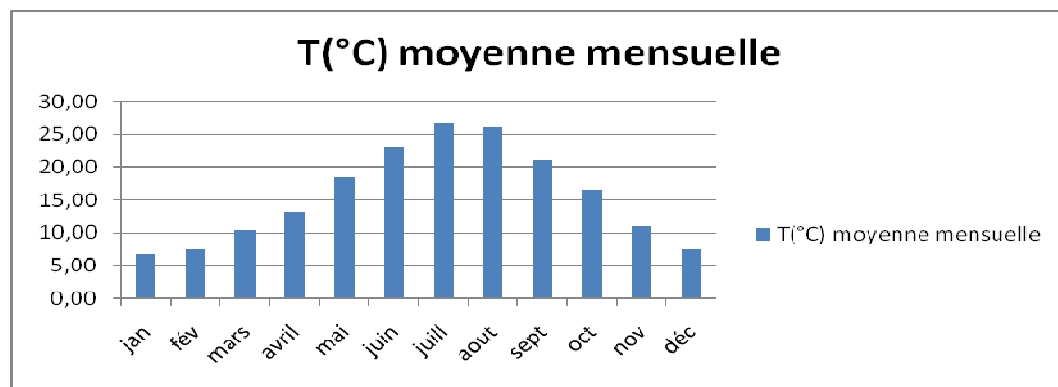


Figure 17 : Température mensuelle moyenne pour une période de 15 ans (1994-2010).

Les températures moyennes mensuelles présentent de très grandes variations saisonnières, l'été est la saison la plus chaude dont le mois de Juillet dépasse en moyenne les 25°C ; l'hiver est relativement doux où Janvier étant le mois le plus froid, la température abaisse jusqu'à 6°C. Des variations des températures mensuelles moyennes, s'observe entre les mois de janvier et juillet (6,8°C pour Janvier et 26,73°C pour Juillet) L'amplitude maximale donc 20°C ce qui confirme l'absence de saisonnalité.

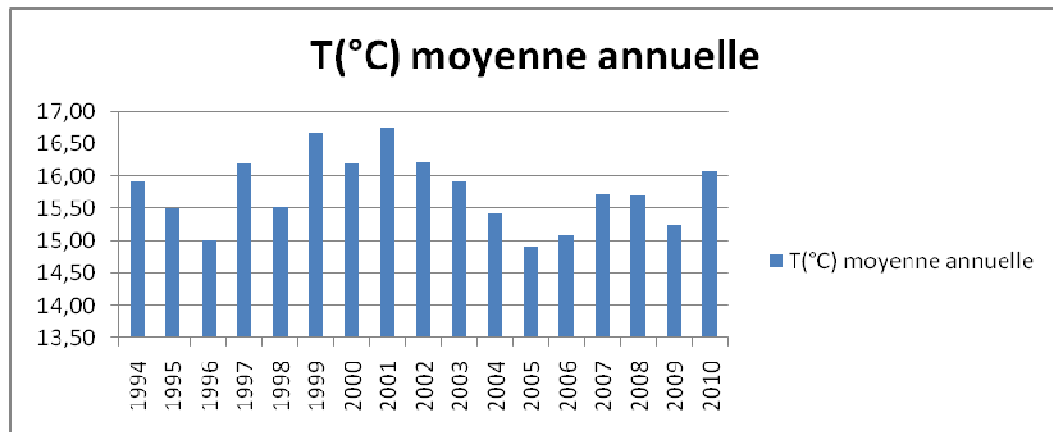


Figure 18: Température mensuelle moyenne pour une période de 15ans (1994-2010).

Une régularité des variations des moyennes annuelles des températures apparaît destinée ainsi des périodes de sécheresse prolongées

A partir de l'année **1999** l'aboutissement de sécheresse est très délicat jusqu'à l'année **2003**, ensuite on consigne un déclin jusqu'à l'année **2009** ce qui est positif pour la recharge des nappes phréatiques.

I.3- Evaporation

Tableau 04 : Moyenne d'évaporation mensuelle (1994-2010).

| | Evaporation moyenne (%) |
|-----------|-------------------------|
| janvier | 64,56 |
| Février | 76,03 |
| Mars | 110,46 |
| Avril | 136,79 |
| Mai | 188 |
| Juin | 230,83 |
| Juillet | 290,31 |
| Aout | 256,85 |
| Septembre | 165,41 |
| Octobre | 130,71 |
| Novembre | 92,51 |
| Décembre | 70,43 |

Source : Station météorologique Khenchela.

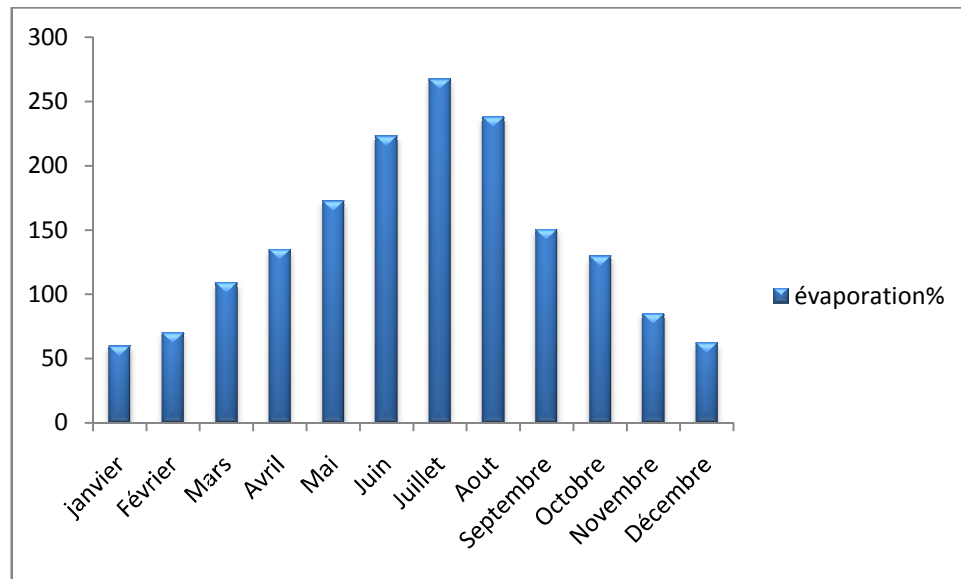


Figure 19: Courbe d'évaporation mensuelle (1994-2010)

L'évapotranspiration se pose en seconde importance après les précipitations, représente en milieu semi aride la composante majoritaire en cycle hydrologique (Houha, 2002), l'évaporation du sol nu a souvent un poids supérieur à la transpiration des plantes du fait de la large portion de sol nu et d'une couverture végétale souvent discontinue et peu abondante.

Ce paramètre climatique est représenté en deux formes évapotranspiration potentielle et évapotranspiration réelle.

II. Caractérisation climatologique

II.1-Diagramme ombro-thermique de Gaussin et Bagnouls

Le diagramme ombro-thermique permet d'estimer les éléments du climat d'une région donnée de point de vue précipitations et températures pendant une période donnée et permet également de déterminer les périodes sèches et humides

La sécheresse s'établit lorsque la pluviosité mensuelle exprimée en (mm) est égale ou inférieure au double de la température moyenne exprimée en degré Celsius (°C) c'est-à-dire $P \text{ (mm)} = 2 T^{\circ}\text{C}$.

La combinaison des deux facteurs température et précipitation permis de mettre en évidence les mois secs et visualiser une seule saison sèche établit sur trois mois du Juin à Aout ; alors pour la période humide est extrêmement longue s'étale du début Septembre jusqu'au début de juin par le fait que le bassin est soumise à une pluviosité élevée, où les précipitations sont plus fréquentes sur le relief au printemps entre les mois de Mars, Avril,

jusqu'au mai comme en automne entre septembre octobre et Novembre , ce qui confirme l'influence d'altitude et ne pas négliger le facteur température.

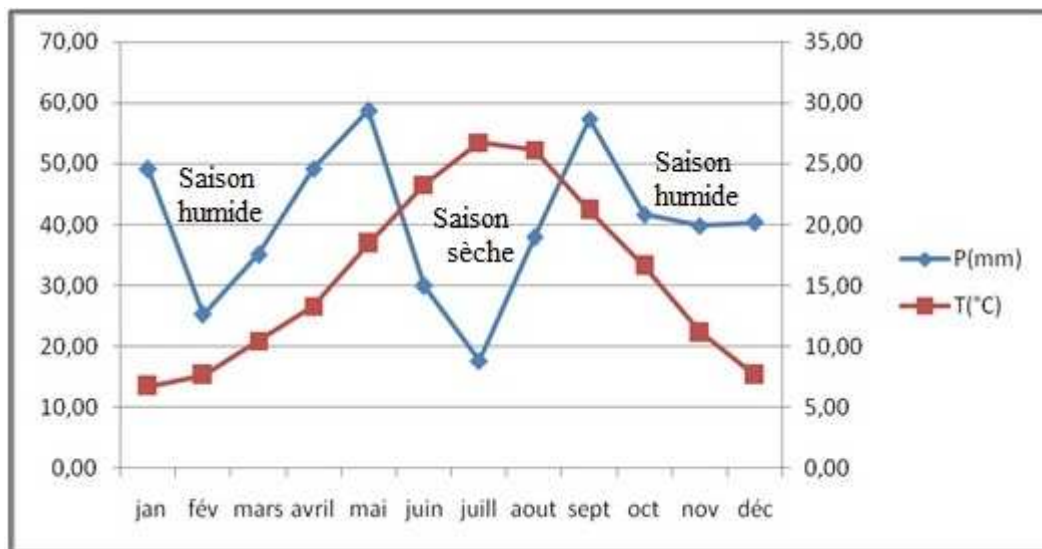


Figure 20: Courbe Ombrothermique de la région d'Etude

II.2-Les indices climatiques

II.2.1- Indice d'aridité d'E.Maratonne

Maratonne a proposé la classification des climats d'une région en fonction des régimes des précipitations et des températures ; les valeurs de l'indice d'aridité illustrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 05: Valeurs de l'Indice d'aridité

| Valeurs de l'indice | Type de climat |
|---------------------|----------------|
| $0 < I < 5$ | Steppique |
| $5 < I < 10$ | Aride |
| $10 < I < 20$ | Semi-aride |
| $20 < I < 30$ | Tempéré |
| $30 < I < 55$ | Humide |

Cet indice permet de préciser le degré de sécheresse de la région, il est calculé en fonction de la température et les précipitations. Il est donc proposé comme suit :

$$I = P / T + 10$$

Avec :

I : Indice de Maratonne

P : Précipitations moyenne annuelle en mm

T : Températures moyenne annuelle en °C

Application :

Pour le secteur d'étude

$$I = 478.95 / 15.65 + 10 \quad \boxed{I = 18.67}$$

L'indice (I) est compris entre 10 – 20 ce qui indique la disposition de la région d'étude dans le climat semi-aride.

II.3- Etablissement du bilan hydrique

Le Bilan hydrologique désigne la répartition des différents volumes d'eau compris dans chacune des parties du cycle de l'eau, pour une période et un bassin donné. Un bilan hydrique. (Pour un intervalle de temps donné, généralement une année) = $P = Q + E + DR$, avec P la hauteur d'eau précipitée sur le bassin versant, Q la lame d'eau écoulee par le réseau hydrographique, E la tranche d'eau retournée à l'atmosphère par évapotranspiration et DR les variations des nappes souterraines pendant le même temps.

Un bilan hydrique est le résultat chiffré de la comparaison du total des précipitations tombées dans une région et l'évapotranspiration potentielle (Etp.)

L'évapotranspiration se pose en seconde importance après les précipitations, représente en milieu semi aride la composante majoritaire en cycle hydrologique (*Houha, 2002*) l'évaporation du sol nu a souvent un poids supérieur à la transpiration des plantes du fait de la large portion de sol nu et d'une couverture végétale souvent discontinue et peu abondante.

Ce paramètre climatique est représenté en deux formes évapotranspiration potentielle et évapotranspiration réelle.

II.3.1. Evapotranspiration réelle: représente la somme des quantités d'eaux évaporée par le sol et par la transpiration des plantes quand le sol à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique déterminé.

II.3.2. Evaluation de l'ETR dans le bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite

Le bilan d'eau s'applique principalement pour établir la relation entre les apports et les pertes et les fonctions de plusieurs paramètres précipitations, ruissellement, infiltration, les réserves facilement utilisable (RFU) ...etc.

Les **RFU** représentent les 2/3 de la réserve total comme elles représentent la quantité d'eau stockée dans le sol et qui peut être reprise par l'intermédiaire des plantes.

- Si $ETP=P$, il y a existence d'une évapotranspiration réelle ETR, la réserve RFU ne se modifié pas et aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe.
- Si P est inférieur à ETP on a $ETR=P$, $RFU=0$; un déficit apparait, une partie de la RFU sera sollicité jusqu'à la compensation de l'ETP, l'évapotranspiration agit donc sur le sol. aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe.
- Si P est supérieur à ETP on a $ETR=ETP$ la RFU pourra atteindre son maximum au-delà et se représente ainsi comme suit : $RFU=P-ETP$ duquel y aura infiltration vers la nappe.

II.3.3. Estimation de l'RFU

Les racines des plantes puisent l'eau dans la réserve utile du sol et la disperse dans l'atmosphère par évapotranspiration.

Si l'eau disponible diminue tandis que la tension de succion du sol augmente, les racines ont de plus en plus de difficulté d'extraire l'eau, l'évapotranspiration diminue; elle devient inférieure à l'ETP: c'est l'ET Réelle. Au dessous de d'une tension de succion de 1 atmosphère (1000 hPa), l'absorption de l'eau par les racines est fortement diminuée; elle devient nulle lorsque le point de flétrissement est atteint (16 atmosphères).

Le volume occupé par les racines d'une plante dans le sol a une grande importance pour l'absorption de l'eau. L'espace racinaire varie selon les plantes et la nature du sol. Les racines du blé s'enfoncent à 50 cm dans un sable, mais atteignent 1 m dans un limon. Dans une forêt tempérée, l'espace racinaire effectif des arbres ne dépassent pas 1 m pour l'approvisionnement en eau.

La réserve en eau facilement utilisable (RFU) est exprimée en mm. En général l'RFU maximum généralement admise correspond à une hauteur de 100 mm d'eau dans les zones arides et semi arides cette valeur maximum peut être ramenée à 50mm du fait que le sol n'est pas toujours saturé.

| | Sept | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil | Août | Total |
|-------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|--------|
| P (mm) | 57,32 | 40,32 | 39,87 | 40,38 | 49,12 | 25,21 | 35,10 | 49,23 | 58,73 | 29,95 | 15,63 | 37,88 | 478,75 |
| T (°C) | 21,20 | 16,61 | 11,13 | 7,65 | 6,74 | 7,61 | 10,45 | 13,28 | 18,41 | 23,29 | 26,74 | 26,15 | / |
| K | 1,03 | 0,97 | 0,86 | 0,84 | 0,87 | 0,85 | 1,03 | 1,09 | 1,21 | 1,21 | 1,23 | 1,16 | / |
| ETP (mm) | 97,22 | 60,78 | 27,54 | 14,35 | 12,02 | 14,39 | 29,66 | 46,93 | 90,13 | 133,71 | 171,33 | 155,66 | 853,74 |
| P-ETP | -39,90 | -20,46 | 12,33 | 26,02 | 37,10 | 10,82 | 5,44 | 2,30 | -31,40 | -103,76 | -155,70 | -117,78 | / |
| RFU28 (mm) | 0,00 | 0,00 | 12,33 | 28,00 | 28,00 | 28,00 | 28,00 | 28,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | / |
| ETR (mm) | 57,32 | 40,32 | 27,54 | 14,35 | 12,02 | 14,39 | 29,66 | 46,93 | 86,73 | 29,95 | 15,63 | 37,88 | 412,74 |
| EX (mm) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10,35 | 37,10 | 10,82 | 5,44 | 2,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 66,01 |
| DA (mm) | 39,90 | 20,46 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,40 | 103,76 | 155,70 | 117,78 | 441,00 |

$$\sum \text{ETP} + \sum \text{EX} = 919,75$$

$$\sum \text{P} + \sum \text{DA} = 919,75 \quad /a=1,68$$

Tableau 06: Bilan hydrique du bassin entre oued Baghai et oued Boulfreiss

Conclusion

Le climat de la région est de type semi aride avec une composante d'altitude influencée par les courants d'air froid et humide en provenance des massifs des Aurès, avec un maximum de précipitation en hiver et printemps, une saison sèche en été et effet de barrage des reliefs favorisant les précipitations sur le versant sud

Les précipitation sont généralement insuffisantes, irrégulières et présente deux grandes saisons bien distinctes, l'une sèche et chaude s'étant du mois du juin jusqu'au mois de Septembre et l'autre relativement humide s'étale du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai; généralement la pluviométrie est inégalement réparties dans l'espace et dans le temps, dont l'effet de saisonnalité n'est pas respecté.

Les températures moyennes mensuelles varient entre 6°C et 26°C avec une moyenne annuelle de 16°C, le mois le plus chaud étant le mois de juillet avec des températures atteignent en moyennes les 26°C ainsi le mois le plus froid est le mois de Janvier avec 6°C

L'évaporation est minimale pendant le mois de Janvier alors que la maximale intervient pendant les mois d'été du Juin jusqu'à Septembre

Le déficit agricole est de **441mm**, donc le bilan hydrique de la zone d'étude est déficitaire qui tient cause au déficit hydrique aggravé du climat semi aride et la vulnérabilité de la région en périodes de sécheresses prolongées.

Références Bibliographiques

AL-DROUBI A. (1976) - *Géochimie des sels et des solutions concentrées par évaporation. Modèle thermodynamique de simulation, application aux sols salés du Tchad. Th. Doc. Ing., Univ. Strasbourg, 177 p.*

BOUAICHA. F (2009) - *Etude géophysique et hydrogéologique dans la région de khenchela, cas de Kheirane et Taouzient, Impact socio-économique Th .Magistère. Univ. Mantouri- Constantine , 114-126 p.*

BOUDOUKHA A. (1988) : *Etude hydrogéologique et modélisation du système aquifère fermé d'El Eulma-Ain Lahdjar. Thèse Es.Science U.F.R Besançon.*

Chadi, M. (2004): *Cadre géologique et structural des séries néritiques crétaées du constantinois. (Algérie Orientale). (Thèse d'Etat, Univ. Mentouri, Constantine, 2004). 211p.*

Chaffai. H et ALL (2009) : *Hydrogéologie d'un système aquifère en zone semi-aride. Exemple de la wilaya de Khenchela. Laboratoire de Géologie, F S T, Univ, Annaba,*

CHEDDAD S., (2008) : *Apport de l'étude hydrogéologique dans l'étude et le traitement des glissements de terrains Cas du site de Bougaa. Algérie Nord orientale. Mémoire de Magister d'Université Mentouri de Constantine. 130 pages.*

DALI N. (2004) : *Gestion des eaux et pollution dans la plaine de Remila-Khenchla. Mémoire d'ingénieur, F.S.T, Constantine, Algérie.*

DURAND-DELGA M (1980) : *La méditerranée occidentale : étape de sa genèse et problèmes structuraux liés à celle-ci. Mém.h.s.Soc.Géol.Fr, pp203-224,*

Durand-Delga M. (1955): *Etude géologique de l'ouest de la chaîne numidique (Algérie). (Thèse Sciences Paris et Bull. Serv, 1995). 533p.*

JH DURAND, (1954) : *Carte pédagogique d'Algérie*

Fehdi .C, Boudoukha. A, Rouabhia. A et Salameh. E (2009) - *Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud-Est algérien) pub. Afrique SCIENCE -Algérie- pp.217 - 231.*

GAAGAI .A (2009): *Etude hydrologique et hydrochimiques du bassin versant du barrage de babar sur oued el arab région est de l'Algérie. Th Magistère Univ.Batna*

GASMI F. (1991) : *Etude hydrogéologique de la plaine de M'toussa. Mémoire d'ingénieur. Oran*

GHEBOULI. M.S ET ALL (2008) : *Origine de la salinité des eaux souterraines cas des hautes plaines sétifiennes (nord est algérien). pub. Sciences & Technologie , pp. 37-46*

GOUAIDIA. L (2008): *Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est Algérien.*Th Doctorat, F.S.T Annaba, Algérie 52-78p

HOUHA B. (1996) : *Quantité et qualité des eaux souterraines de la région de Khenchela (Garât Tarf).* Mémoire de Magister, F.S.T Annaba, Algérie, 114p.

HOUHA. B, (2007) : *Etude de fonctionnement hydrogéochimique et isotopique des eaux de khenchela, thèse doctorat d'état, université d'Avignon (France)*

HOUHA B. et ALL (2007): *Hydrochemical differentiation of salinisation process of the water in endoreic semi-arid bassin- case of Remila bassin, Algéria- pub Medwell Journals, 2007*

LESSARD L (1955) : *Faciès bréchiqne dans le Crétacé supérieur et age des premières manifestations diapiriques du Trias près de Khenchela. Pub Serv Cart géol. Algérie.*

NOEMI D'OZOUVILLE, (2002) : *Contribution a l'étude hydro-geochimique du bassin versant de kaluvelly, sud-est de l'inde. Hydrologie, Hydrogeologie, Geostatistique et Geochimie, Universite pierre et marie curie, Universite paris-sud, Ecole des mines de paris & Ecole nationale du Génie rural des eaux et des forets, 52 p.*

RODIER J. (1971) : *L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Ed. Dunod. Paris.*

SCHOELLER H (1962) : *les eaux souterraines.*

SHOUT H. ET ALL (2007) : *Etude géologique et géophysique de la région de Khenchela*

SHOUT H. ET ALL (2010) : *Étude Géophysique des Aquifères Profonds Dans le Sud-Est Constantinois (Cas de la Region de Khenchela- Aures)pub. Journal International Environmental Conflict Management.*

SENOUCI M. ET ALL (2000) : *Etude hydrogéologique de la vallée de Oued El Abiod (Aurès, W.Batna). Sonatrach, division d'opération, Hassi Messaoud, Algérie*

V. VALLES et ALL (1993): *Contrôle géochimique des eaux par la formation de calcite en milieu méditerranéen et en milieu tropical. Arguments d'équilibre et argument de bilan pub 209-215p.*

V. VALLES et ALL , (1997): *Géochimie des sols salins dans deux zones arides du bassin méditerranéen étude de cas- géochimie de chott Melghir-Merouane 71-84p.*

V.VALLES, (1980): *Modélisation des transferts d'eau et de sel dans une sol argileux. Application aux calcules des doses d'irrigation; Mém des Sci. Géol., 79-148.*

PAW (2009): *plan d'aménagement et de développement durable de la wilaya de Khenchela ; phase n°1, rapport n°2 Evaluation territoriale réalisé par le BET.CENEAP- Alger, 16-35p*

SOMMAIR

| | |
|---|----|
| RESUME EN FRANÇAIS | 01 |
| ABSTRACT | 02 |
| RESUME EN ARABE | 03 |
| Introduction | 04 |
| Chapitre I: Etude géologique, structurel et géomorphologique | 06 |
| I-Situation géographique | 07 |
| II- Analyse du milieu physique | 08 |
| II.1- Le relief | 08 |
| II.1.1- L'altitude | 13 |
| II.1.2- La pente | 15 |
| III- Géologie et lithologie | 15 |
| III.1- Aperçu géologique | 17 |
| III.2- Description stratigraphique | 18 |
| III.2-a/ Tectonique | 20 |
| III.3- Aperçu lithologique | 22 |
| III.4- Aperçu pédologique sur les principaux sols de la wilaya | 24 |
| IV- Cadre géomorphologique | 24 |
| V- Cadre structural | 25 |
| Conclusion | |
| Chapitre II: Cadre hydrologique et hydrogéologique | 28 |
| Introduction | 29 |
| I- Hydrogéologie | 31 |
| I.1. Lithologie des aquifères | 31 |
| I.1.1. Substratum : structure profonde | 31 |
| I.1.2. Terrains Néogène | 32 |
| I.1.3. Le Plio-Quaternaire | 33 |
| I.2. Les principaux aquifères | 33 |
| I.3. Présentation et nature des nappes aquifères | 33 |
| I.3.1. La coupe hydrogéologique I | 34 |
| I.3.2. La coupe hydrogéologique II | 35 |
| I.3.3. Nappe phréatique | 35 |
| I.3.4 Nappes profondes | 36 |
| VI- Etablissement des cartes piézométriques | 36 |
| VI.1. Piézométrie du Quaternaire | 37 |
| VI.2. Piézométrie du Crétacé | 37 |
| Conclusion | |
| Chapitre III: Esquisse climatique. | 38 |
| Introduction | 39 |
| I. Paramètres climatiques | 39 |
| I.1- Précipitations | 39 |
| I.2- Les températures | 41 |
| I.3- Evaporation | 43 |
| II. Caractérisation climatologique | 44 |
| II.1-Diagramme ombro-thermique de Gaussin et Bagnouls | 44 |
| II.2-Les indices climatiques | 45 |

| | |
|--|----|
| II.2.1- Indice d'aridité d'E.Maratonne | 45 |
| II.3- Etablissement du bilan hydrique | 46 |
| II.3.1. Evapotranspiration réelle | 46 |
| II.3.2. Evaluation de l'ETR dans le bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite | 47 |
| II.3.3. Estimation de l'RFU | 47 |
| Conclusion | 48 |
| Chapitre IV: Etude Hydrochimique et modélisation thermodynamique | 49 |
| Introduction | 50 |
| I. Présentation du secteur d'étude | 51 |
| II. Etude des paramètres physiques-chimiques | 52 |
| II.1- Température | 52 |
| II.2 - Potentiel d'hydrogène (pH) | 53 |
| II.3 - Conductivité électrique (CE) | 54 |
| II.4 - Le résidu sec (RS) | 55 |
| III. Etudes et cartographie des paramètres chimiques | 57 |
| III.1. Le calcium (Ca²⁺) | 57 |
| III.2. Le magnésium (Mg²⁺) | 58 |
| III.3. Le sodium (Na⁺) | 60 |
| III.4. Le Potassium (K⁺) | 61 |
| III.5. Les chlorures (Cl⁻) | 63 |
| III.6. Les sulfates (So₄⁻) | 64 |
| III.7- Les nitrates (NO₃⁻) | 65 |
| III.8- Les Bicarbonates (HCO₃⁻) | 67 |
| IV- Origine des éléments chimiques | 68 |
| IV.1- Détermination de l'origine du calcium | 68 |
| IV.2- Détermination de l'origine du sodium | 69 |
| IV.3- Détermination de l'origine du SO₄⁻ et Cl | 69 |
| IV.4- Echanges de base | 70 |
| V- Détermination Des Principaux Facies Hydrochimique | 71 |
| V.1- L'évolution des faciès chimiques | 72 |
| VI- Minéralisation et origine de la Salinité des eaux souterraines | 74 |
| VII. Modélisation thermodynamique | 76 |
| VII.1- Notion de Diagramme de concentration | 76 |
| a) Estimation du facteur de concentration | 76 |
| VII.2- Notion d'alcalinité résiduelle | 77 |
| VII.3- Diagrammes de concentration | 79 |
| VI.3.a/Interprétation des diagrammes | 79 |
| VII.4- Diagrammes d'équilibre solutions/minéraux | 79 |
| VII.4.1- Equilibre avec la calcite | 79 |
| VII.4.2- Equilibre avec le gypse | 80 |
| Conclusion | 80 |
| CONCLUSION GENERAL | 84 |

LISTES DES FIGURES

| | |
|--|-----------|
| Figure 01 : Carte Hypsométrique de la wilaya de Khenchela..... | 10 |
| Figure 02: Carte des Altitudes de la wilaya de Khenchela..... | 12 |
| Figure 03: Carte des Pentés de la Wilaya de Khenchela..... | 14 |
| Figure 04 : Carte géologique de la Wilaya de Khenchela..... | 16 |
| Figure 05: Schéma illustrant les variations de faciès dans le Crétacé inférieur de L'Aurès..... | 17 |
| Figure 06: Coupe tectonique géologique de la feuille de touffana du Nord au Sud..... | 19 |
| Figure 07 : Carte Lithologique de la wilaya de Khenchela..... | 21 |
| Figure 08: Carte des classes des Sols de la wilaya de Khenchela..... | 23 |
| Figure 09 : Carte des ressources hydriques de la wilaya de Khenchela..... | 30 |
| Figure 10: Unités hydrogéologiques dans le bassin de Garâat Tarf..... | 32 |
| Figure 11: Coupe hydrogéologique I (D'après Houha2007)..... | 34 |
| Figure 12: Coupe hydrogéologique II (D'après la DHW de Khenchela)..... | 35 |
| Figure 13: Carte piézométrique du Quaternaire..... | 36 |
| Figure 14 : Carte piézométrique du Crétacé..... | 37 |
| Figure 15: Précipitation mensuelle moyenne pour une période de15ans (1994-2010). | 40 |
| Figure 16: Précipitation annuelle moyenne pour une période de15ans (1994-2010)..... | 41 |
| Figure 17 : Température mensuelle moyenne pour une période de15ans (1994-2010)..... | 42 |
| Figure 18: Température mensuelle moyenne pour une période de15ans (1994-2010)..... | 43 |
| Figure 19: Courbe d'évaporation mensuelle (1994-2010)..... | 44 |
| Figure 20: Courbe Ombrothermique de la région d'Etude..... | 45 |
| Figure 21: Carte du Bassin endoréique de Remila..... | 51 |
| Figure 22: Carte d'inventaire des points d'eau..... | 52 |

| | |
|--|-----------|
| Figure 23: Carte du pH..... | 53 |
| Figure 24: Carte de conductivité des eaux..... | 55 |
| Figure 25: Carte de Résidu sec (RS)..... | 56 |
| Figure 26: Carte de la distribution spatiale des teneurs en calcium dans les eaux souterraines..... | 58 |
| Figure 27: Carte de la distribution spatiale des teneurs en magnésium dans les eaux souterraines..... | 59 |
| Figure 28 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en sodium dans les eaux souterraines..... | 61 |
| Figure 29 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en potassium dans les eaux souterraines..... | 62 |
| Figure 30: Carte de la distribution spatiale des teneurs en chlorures dans les eaux souterraines..... | 64 |
| Figure 31 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en sulfates dans les eaux souterraines..... | 65 |
| Figure 32 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines..... | 66 |
| Figure 33 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en bicarbonates dans les eaux souterraines..... | 67 |
| Figure 34 : L'origine du calcium..... | 68 |
| Figure 35 : L'origine du sodium..... | 69 |
| Figure 36 : Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité..... | 70 |
| Figure 37: phénomène des échanges de bases..... | 71 |
| Figure 38 : Carte d'évolution des faciès chimiques dans la zone d'étude..... | 72 |
| Figure 39: Diagramme de Piper des eaux souterraines de la zone d'étude..... | 73 |
| Figure 40: Relation entre Ca^{2+}, So_4^{2-}, HCO_3, Na^+, Mg^{2+}, K^+ et Cl^- dans les eaux souterraines de la région d'étude..... | 75 |
| Figure 41: diagrammes de concentration des eaux souterraines entre O. Baghai et O. Boulfreiss..... | 78 |
| Figure 42: Diagrammes d'équilibre solution/minéraux..... | 80 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|-----------|
| Tableau 01: Principaux oueds de la région d'étude et leurs exutoires..... | 31 |
| Tableau 02 : Précipitation moyenne mensuelle et annuelle | |
| de la station d'El Hamma d'une période de 15 ans (1994-2010)..... | 40 |
| Tableau 03: température moyenne mensuelle et annuelle | |
| de la station d'El Hamma d'une période de 15 ans (1994-2010)..... | 42 |
| Tableau 04 : Moyenne d'évaporation mensuelle (1994-2010)..... | 43 |
| Tableau 05: Valeurs de l'Indice d'aridité..... | 45 |
| Tableau 06: Bilan hydrique du bassin versant | |
| entre oued Baghai et oued Boulfreiss..... | 48 |
| Tableau 07 : Variation du pH..... | 54 |
| Tableau 08: Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité..... | 54 |
| Tableau 09 : Variation des concentrations du résidu sec..... | 56 |
| Tableau 10 : Variation des concentrations du calcium..... | 57 |
| Tableau 11 : Variation des concentrations du magnésium..... | 59 |
| Tableau 12 : Variation des concentrations du sodium..... | 60 |
| Tableau 13: Variation des concentrations du potassium..... | 62 |
| Tableau 14 : Variation des concentrations de chlorures..... | 63 |
| Tableau 15: Variation des concentrations du sulfate..... | 65 |
| Tableau 16: Variation des concentrations en nitrates..... | 66 |
| Tableau 17 : Variation des concentrations du bicarbonate..... | 67 |
| Tableau 18 : Faciès chimiques des eaux souterraines..... | 71 |

