

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

Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Ecologie et Environnement



MEMOIRE

De fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master

FILIERE : Ecologie et l'environnement

OPTION : Ecologie Fondamentale et Appliqué

Thème

**L'EFFET DES ACTIVITES AGRICOLES SUR LA QUALITE DES EAUX
SOUTERRAINES DE LA PLAINE DE MELLAGOU.
(BOUHMAMA-KHENCHELE- NE ALGERIEN)**

Présenté par

CHERGUIA Rania

ARGOUB Iman

CHERRABEN Anfel

Soutenu le :20 juin 2023

Sous la direction de : Dr.BELKOUM Noureddine

MCB,Univ. Khenchela

Jury

Président : Dr.TAKOUACHET Radhwane

MCA,Univ. Khenchela

Examineur : Dr.BERKANI Cherifa

MCB,Univ. Khenchela

Année universitaire : 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Remerciement

Tous d'abord nous tenons à remercier le bon Dieu tout puissant et miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous exprimons nos profondes gratitudee à notre encadrant Dr Belkoum Nouredine pour son encadrement, conseils afin de donner le meilleur et pour son suivi durant la période de préparation de notre mémoire d'afin d'étude.

Nous exprimons toutes nos reconnaissances et nos sincère remerciements à le Doctorant Bouchemaa Nadir pour sa disponibilité, son encouragement ainsi que sa gentillesse qui nos permis de mener à bien ce travail. Et aussi les Dectorants Belkacem Tellil et Bouali Horiya qui nos aidés notre recherche.

Nos remerciements vont aux membres du jury Dr Takouachet Radhwane et Dr Berkani Cherifa qui m'ont fait l'honneur d'accepter de jurer notre travail.

Un spécial merci à madame SOUAD BOURAKBA pour sa précieuse aide lors de notre passage au laboratoire.

Nous tenons à remercier fidèlement tous ceux qui nous ont aidés et contribuer de loin ou de pré quand à l'élaboration de ce mémoire de fin d'études.

Cherguia .R

Argoub .I

Cherraben .A



Dédicace



*En témoignage d'amour et d'affection, je dédie ce modeste travail avec
une grande fierté à tous ceux qui me sont chers :*

**Ma très chère mère , qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour,
son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour
toute son assistance et sa présence dans ma vie.*

** Mon très cher père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de
longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer
dans la vie.*

***Que Dieu vous protège et que la réussite soit toujours à ma portée
pour que je suis puisse vous combler de bonheur.*

**Mes chères frères Fouad, Med Mahdi et Abd ELrrehman et ma jolie
sœurs Chaima puisse Dieu vous donne santé, bonheur et réussite.*

** Mes chèrese binôme
Cherraben Anfel et Argoub iman*

Dédicace



*De tout ce que Dieu tout puissant m'a donné, de plus beau et de plus chère, ma
famille*

*A mon père qui m'a fait voir tout ce que j'ai fait, à son esprit pur qui contient les détails de ma
vie, je ne suis pas satisfait de toi avec ces deux phrases uniquement pour accomplir la vérité de
ce que tu m'as fait, les mots que Dieu a créés et classés de toutes formes et tailles sont les seuls
qui te traversent en moi.*

*A ma mère, "Ta présence m'éclaire de l'intérieur" et c'est ce qui m'a fait atteindre ce moment
décisif de mon voyage, à ton âme innocente qui me fait revoir tes rires pour que la douleur en
moi s'effondre alors que je traverse comme des points de suture à travers ces années jusqu'à la
fin de cette année exceptionnelle.*

*A mon oncle qui avait un autre rôle dans ce que je suis maintenant, à votre belle âme qui a
été implantée dans mon cœur.*

*A mon grand-père qui nous a quittés avant de regarder cette occasion, à votre jeune âme qui
enlevait le concept de questionnement dans mes pensées, je vous dédie une partie de mon
succès pour rester avec vous.*

*A ma tante qui était avec moi dans les moments les plus importants de ma vie, à votre
merveilleux esprit qui incarnait devant moi le sens de ne pas m'effondrer alors que je suis
dans les pires jours de ma vie.. Merci pour ce que vous avez fait pour moi*

A ma très chère soeur: Halima

A ceux qui je porte beaucoup de respect et d'estime, mes frère: Rochdi, Haroun et Amir

A ma grand-Père et grand-Mère.

I. A tous les membres de ma chères famille petit et grands

A notre promoteur Dr.Belkoum Noureddine.

A tous les membre de jury

A mes belles amies :

loubna,Amel ,Ghidouche,khawla,Nada,Bariza ,Djihane ,Asia ,Aya ,Souha ,

Amina, Marwa, ,Romaïssa

A mes binôme et mes sœur : Rania, Anfel

A tous ceux qui m'aiment .

A tous ceux qui j'aime.

A tous qui m'ont aide de près ou de loin.



Argoub Iman

Résumé :

La plaine alluviale de Mellagou (ouest de Khenchela) menacée par de nombreux foyers de pollution (agriculture, élevages, décharges sauvages, etc.) qui se sont multipliés dans la région en dehors de toute mesure de protection de l'environnement et en particulier des ressources en eau. Celles-ci sont exposées à des risques potentiels d'altération continue et seront menacées davantage dans l'avenir par l'insuffisance des volumes de recharge (climat semi-aride et leur surexploitation).

Les analyses chimiques ont été réalisées sur 12 points situés au centre de la plaine.

Les résultats obtenus montrent une pollution par les chlorures et les sulfates résultant de l'utilisation des engrais chimiques véhiculés par les eaux d'irrigation et de ruissellement.

Ceci pourrait mettre en péril l'avenir des ressources en eaux et les activités socio-économique dans la région.

Mots clés : Mellagou, pollution, sulfate, chlorure, eaux souterraines.

Abstract:

The alluvial plain of Mellagou (west of Khenchela) threatened by numerous sources of pollution (agriculture, livestock, wild dumps, etc.) which have multiplied in the region without any measure of environmental protection and in particular water resources. These are exposed to potential risks of continuous alteration and will be further threatened in the future by insufficient recharge volumes (semi-arid climate and their overexploitation).

The chemical analyzes were carried out on 12 points located in the center of the plain.

The results obtained show pollution by chlorides and sulphates resulting from the use of chemical fertilizers conveyed by irrigation and runoff water.

This could jeopardize the future of water resources and socio-economic activities in the region.

Keyword : Mellagou, pollution, sulphate, chloride, groundwater.

المخلص :

سهل ملاقو الغربي (غرب خنشلة) مهدد بمصادر عديدة للتلوث (الزراعة، التربية، المكبات البرية، إلخ) والتي تكاثرت في المنطقة دون أي تدابير لحماية البيئة وخاصة الموارد المائية. هذه تتعرض لمخاطر محتملة من التغيير المستمر وستتعرض لمزيد من التهديد في المستقبل بسبب أحجام التغذية غير الكافية (المناخ شبه الجاف والاستغلال المفرط لها) أجريت التحاليل الكيميائية على 12 نقطة تقع في وسط السهل.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها التلوث بالكوريدات والكبريتات الناتج عن استخدام الأسمدة الكيماوية المنقولة عن طريق الري ومياه الجريان السطحي.

وهذا من شأنه أن يعرض مستقبل الموارد المائية والأنشطة الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة للخطر.

الكلمات المفتاحية : ملاقو، التلوث، كبريت، كلوريد، المياه الجوفية.

Table des matières

Remerciment
Résumés
Liste des figures
Liste des tableaux
Liste des cartes
Liste des abréviations
Introduction générale

Partie bibliographique

Chapitre I Présentation de la zone d'étude

I. Présentation générale de la wilaya de Khenchela : 2
 I.1. Situation géographique : 2
 I.2. Situation administrative : 2
 I.3. Situation démographique : 3
 I.4. Le milieu physique : 3
 I.5. Caractéristiques pédologiques : 6
II. Présentation générale de région de Bouhmama : 7
 II.1 Situation géographique : 8
 II.2 Localisation de la zone d'étude : 8
 II.3. La population : 10
 II.3.1 Densité et répartition spatiale de la population : 10
 II.3.2 Évolution de la population : 12
III. L'hydrogéologie de la Wilaya de Khenchela : 13

Chapitre II Géologie

Introduction : 15
I. Géologie générale : 15
 I.1.Lithostratigraphie : 15
 I.1.1.Le Mésozoïque : 15
 I.1.2. Le Cénozoïque : 19
 II. 2. Géologie local : 23
 II.2.1Unité topographie : 23
 II.2.2 Les pentes : 24
 II.3. Le Réseau hydrographiques : 26

II.4. La géologie de la région d'étude :.....	27
II.4.1 La Stratigraphie :	28
Conclusion :.....	32

Chapitre III Climatique

INTRODUCTION :	33
I. Les données climatiques disponibles :.....	33
I.1. Le réseau de mesure et origine des données :	33
II. Les facteurs climatiques :	33
II.1. La température :	33
II.2. La précipitation :	34
II.2.2. Répartition annuelle des précipitations :.....	36
III. Diagramme Ombrothémique de GAUSSEN :.....	37
IV. Détermination de l'étage bioclimatique :	39
V. Le bilan hydrique :.....	40
V.1. L'évapotranspiration :	41
V.1.1 L'évaporation potentielle (ETP) :.....	41
V.2. L'évapotranspiration réelle (ETR) :.....	41
V.2.1. Ruissellement :.....	41
V.3. L'infiltration (I) :.....	42
Avec :	42
VI. Calcul du bilan hydrique :	42
VI.1 Interprétation du bilan hydrologique :	44
VII. Le vent :	44
VIII. L'humidité:	46

Partie pratique

Chapitre IV Hydrogéochimique

Introduction :	47
*Les anions : Sulfate (SO_4^{2-}) Chlorure (Cl^-)	47
I. Méthodes et stratégie de travail :.....	47
I.1. Échantillonnage :.....	47
I.2. Analyses physico-chimique :	47
I.2.1. Mesures in situ :	47
I.2.2. Analyse des éléments chimiques (au laboratoire) :.....	48
II. Variation spatiale des paramètres physico- chimiques :	49

II.1. Paramètres physiques :.....	49
II.1.1. La Température :.....	49
II.1.2. Le potentiel hydrogène (Ph) :.....	50
II.1.3. Conductivité électrique :.....	51
II.2. Evaluation spatiale des éléments chimiques majeurs :	52
II.2.1. Le calcium (Ca ⁺⁺) :	52
II.2.2. Le Magnésium (Mg ⁺⁺) :.....	53
II.2.3. Le Sodium Na ⁺ et le potassium K ⁺ :	54
II.2.4. Bicarbonates (HCO ₃ ⁻) :	55
II.2.5. Les chlorures (Cl ⁻) :	56
II.2.6. Les sulfates (SO ₄ ⁻²) :.....	57
II.3. Le faciès chimique des eaux échantillonnées :	58
II.3.1. Diagramme de Piper :	58
II.3.2. Diagramme de Schoëller et Berkalov :	59
Conclusion	61
Références bibliographiques	91
LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIES	92

Liste des figures

Figure n ° 01 : Les zones naturelles de la wilaya de kenchela.	4
Figure n ° 02 : Répartition de la population de la commune de Bouhmama.	12
Figure n° 03: l'évolution de la population à travers les différents Recensement Générale de la Population et de l'Habitat.	13
Figure n° 04 : Histogramme de variation des températures moyennes (1997-2017).....	34
Figure n° 05 : Histogramme de variation des Précipitation moyennes mensuelles (1997-2017). 36	
Figure n° 06 : Histogramme de variation des précipitations moyennes annuelles (1997-2017). . 37	
Figure n° 07 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen.	38
Figure n° 08 : Climagramme d'Emberger.....	40
Figure n° 09 : Représentation graphique du bilan d'eau de Thornthwaite de la station d'El Hama (1997/2017).....	44
Figure n° 10 : La répartition moyenne de la vitesse du vent (1997- 2017).	46
Figure n°11 : L'Humidité enregistrée à la station la période (1997-2017).	47
Figure n°12 : Diagramme de Piper des eaux souterraines de Mellagou.....	59
Figure n°13 : Diagramme Schoeller–Berkaloff des eaux souterraines de Mellagou.	60

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition de la population par dispersion.	11
Tableau 2 : Répartition de la population par dispersion en Avril 2008.	12
Tableau 3 : Tableau de l'évolution de la population à travers les différents RGPH.	12
Tableau 4 : Caractéristique de la station hydrométrique d'El Hamma.	33
Tableau 5 : Température moyenne mensuelle enregistrée à la station d'El Hamma.	34
Tableau 6 : précipitation mensuelle enregistrée à la station d'El Hamma (1997-2017).....	35
Tableau 7 : Précipitation moyenne annuelle d'El Hamma (1997-2017).	36
Tableau 8 : La précipitation et la température moyenne mensuelle (1997-2017).....	38
Tableau 9 : Les valeurs de Q2.	39
Tableau 10 : Bilan hydrique pour la station d'El Hamma.	43
Tableau 11 : La vitesse moyenne du vent (m/s) enregistrée à la station d'El Hamma (1997-2017).....	45
Tableau 12 : L'Humidité enregistrée à la station la période (1997-2017).....	47

Liste des cartes

Carte n° 01 : Situation géographique de la Wilaya de Khenchela.	3
Carte n°02 : Les reliefs de la Wilaya de Khenchela.	5
Carte n°03 : Carte des principales zones aquifères.	6
Carte n°04 : Localisation administrative de la commune de Bouhmama et la zone d'étude.	9
Carte n°05 : carte des grands bassins versant du nord Algérien.	10
Carte n°06 : Carte géologique de la Wilaya de Khenchela.	22
Carte n°07 : Schéma structural simplifié(D'après J.M.VILA).	23
Carte n°08 : les pentes de bassin versant d'Oued Mellagou.	25
Carte n°09 : la répartition des unités de sols à travers la zone d'étude.	26
Carte n°10 : le réseau hydrographique de bassin versant d'oued Mellagou.	27
Carte n°11 : géologique de la commune de Bouhmama.	31
Carte n°12 : Carte d'inventaire des des eaux de la zone d'étude.	49
Carte n°13 : Carte de répartition des températures (°C) des eaux de la zone d'étude.	50
Carte n°14 : Carte de répartition des Ph des eaux de la zone d'étude.	51
Carte n°15 : Carte de répartition des conductivités (c25°C).	52
Carte n°16 : Carte de répartition des concentrations de Ca (mg/l).	53
Carte n°17 : Carte de répartition des concentrations de Mg (mg/l).	54
Carte n°18 : Carte de répartition des concentrations de Na (mg/l).	55
Carte n°19 : Carte de répartition des concentrations de Hco3 (mg/l).	56
Carte n°20 : Carte de répartition des concentrations de Cl (mg/l).	57
Carte n°21 : Carte de répartition des concentrations de So4 (mg/l).	58

Liste des abréviations

A.N.R.H	Agence Nationale des Ressources Hydriques
ACL	Agglomération chef-lieu
ANAT	Agence National d'Aménagement de Territoire
ANDI	Agence National de développement et de l'investissement
APC	Assemblée Populaire Communale
CC	chemin communal
CW	chemin de Wilaya
DEF	Déficit Agricole
DHWK	Direction hydraulique Wilaya de Khenchela
Dj	Djebel
DPAT	Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire.
DPSI	Direction de planification statistique
DRE	Direction des Ressources en Eau.
ETP	Evapotranspiration potentiel
ETR	Evapotranspiration réelle
EXC	Excès
Ha	Hectare.
PAW	Plan d'Aménagement de La Wilaya.
RFU	Réserve Facilement Utilisable.
RGPH	Recensement Générale de la Population et de l'Habitat.
SAT	Surface Agricole Totale.
SAU	Superficie Agricole Utile.

Introduction



INTRODUCTION GENERALE

L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale, indispensable à toute forme de vie, l'eau est une richesse nécessaire à toutes activités humaines, c'est un facteur de production déterminant dans le développement durable, elle devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques, il est donc nécessaire d'avoir une meilleure connaissance sur les ressources en eaux existantes ainsi que sur leur qualité (Hassad 2017).

La plaine de Mellagou, est située dans la commune de Bouhmama, Wilaya deKhenchela, d'une superficie de 577 Km², se présente comme une large vallée, orientée duNord au Sud, et parsemée sur les bords s par une succession de relief formée de Kef ElAhmeur-Kef Meda, Djebel Tarzout, Djebel Taàfist, orientés Nord-Est et Sud-Ouest.

La forme de la vallée d'Oued Mellagou est caractérisée par deux grands domaines : l'un à caractère montagneux, formée de chainons représentés par des formations carbonatées d'âge Crétacé et l'autre vallonné, développé sur les terrains particulièrement, quaternaires.

La plaine de Mellagou, principalement affectée par l'activité humaine, notamment l'agriculture.

L'objectif de notre étude est de mettre au clair l'influence de l'activité anthropique, la lithologie et les paramètres climatologiques sur la qualité physicochimique des eaux et leur origine.

Pour ce faire, nous avons choisi le plan de travail suivant :

- Déterminer les caractéristiques géomorphologiques, géologiques, et les principales caractéristiques climatologiques.
- Ensuite nous avons enchainé par la partie pratique, dans laquelle nous avons cartographie et interprété les éléments chimiques et les paramètres physiques des eaux souterraines dans la plaine de Mellagou.
- Enfin une conclusion vient clore notre travail (Hassad 2017) .

Chapitre I
Présentation de la zone
d'étude

I. Présentation générale de la wilaya de Khenchela

I.1. Situation géographique

La wilaya de Khenchela est située à l'Est de l'Algérie, au Sud-Est du bassin versant des hauts plateaux Constantinois ; et au contrefort du mont des Aurès entre 34°06'36" et 35°4'21" latitudes Nord ; et entre 06°34'12" et 07°35'56" de longitudes Est, la Wilaya de Khenchela s'étend sur une superficie de 9.715 Km²(Bouali 2015).

I.2. Situation administrative

La Wilaya de Khenchela est issue de la refonte territoriale de 1984. Elle était rattachée entre 1977 et 1984 à trois Wilayas différentes :

Au Nord : par la Wilaya d'Oum El Bouaghi.

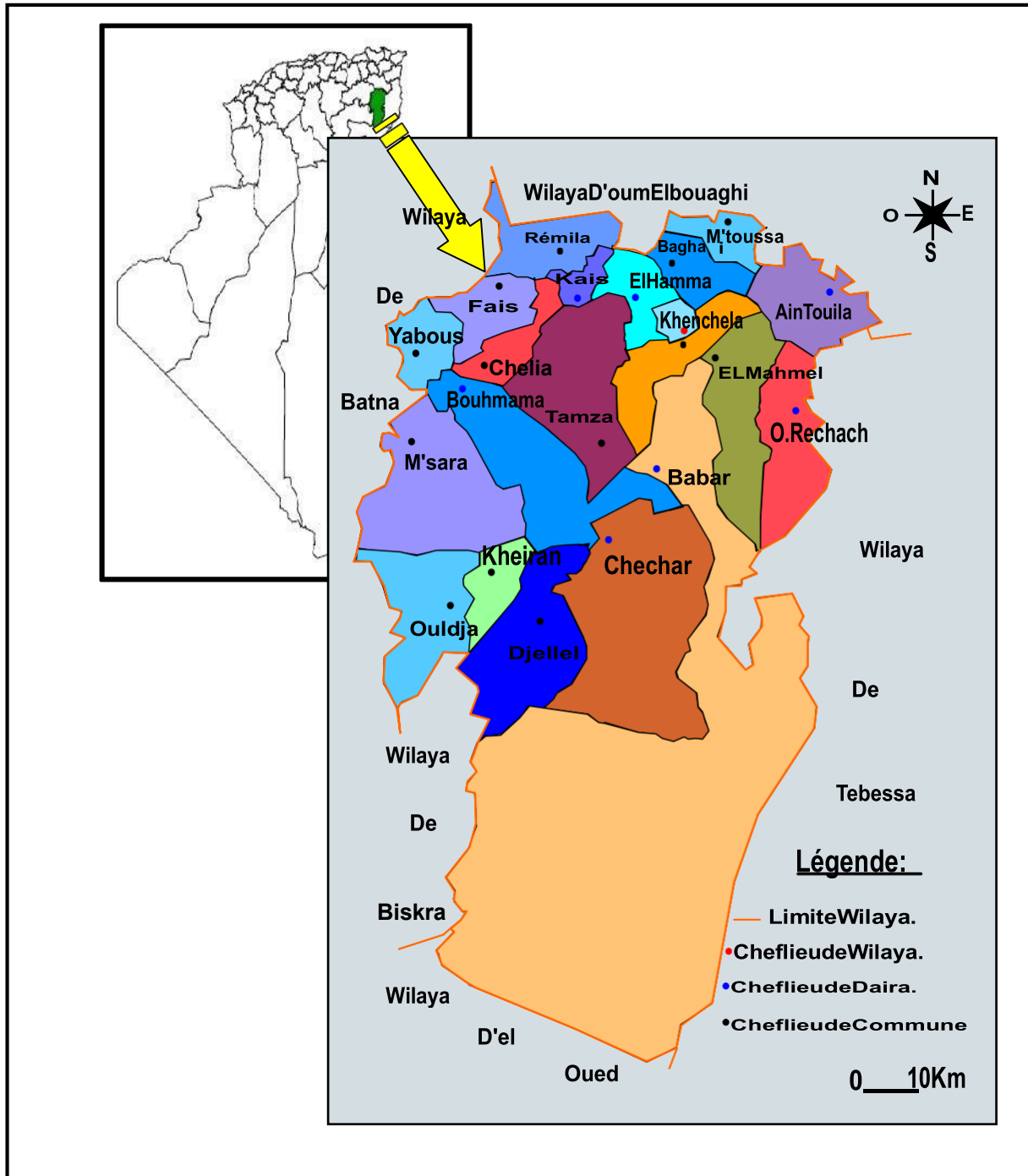
Au Sud : par la wilaya d'El Oued.

De l'Est : par la wilaya de Tébessa.

De l'Ouest : par la wilaya de Batna.

Sur le plan administratif et structural la Wilaya de Khenchela est composée de 21 communes (**Fig.1**) regroupées en huit (08) Daïras (dont 05 Daïras créés en 1990) : Khenchela, El-Hamma, N'sigha, Tamza, Baghai, Ain-Touila, M'touss, Bouhmama, Chélia, M'sara, Yabous, Babar, Chechar, Djelal, Khirein, Ouldja, O. Rachache, Mahmel, Kais, Taouziant, Remila. (DHWK, 2012).

La population totale de la wilaya est estimée à 414.550 habitants au 31/12/2011(ANDI, 2013).



Source : Khenchela ANDIA 2013

Carte n° 01 : Situation géographique de la Wilaya de Khenchela.

I.3. Situation démographique

I.3.1. La Population

La population totale de la Wilaya est estimée à 414.550 habitants au 31/12/2011 (ANDI, 2013).

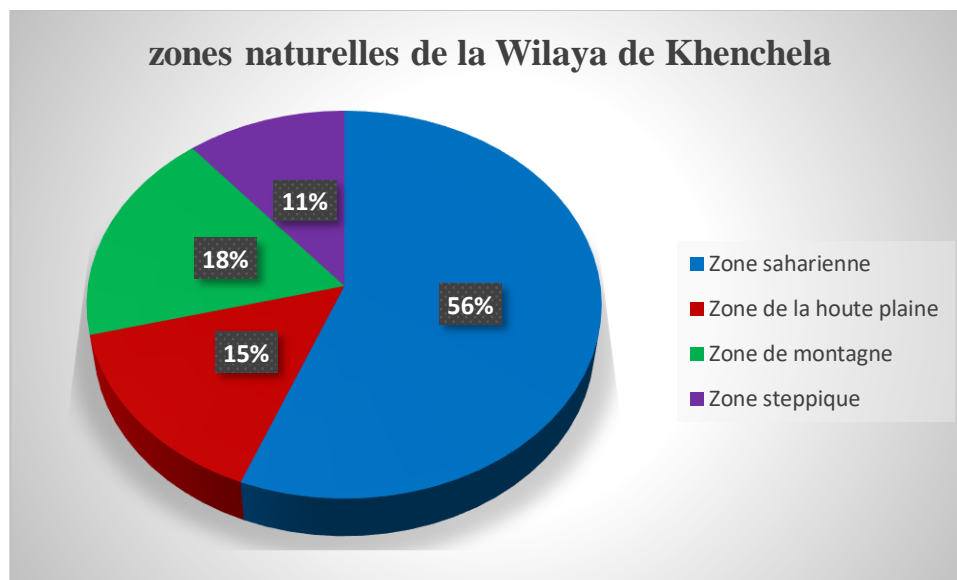
I.4. Le milieu physique

I.4.1. Le relief

- Le relief est la résultante de la combinaison entre deux facteurs : l'altitude et la pente. Le relief de la Wilaya de Khenchela est composé de quatre (04) grands ensembles géographiques (DPAT, 2012).

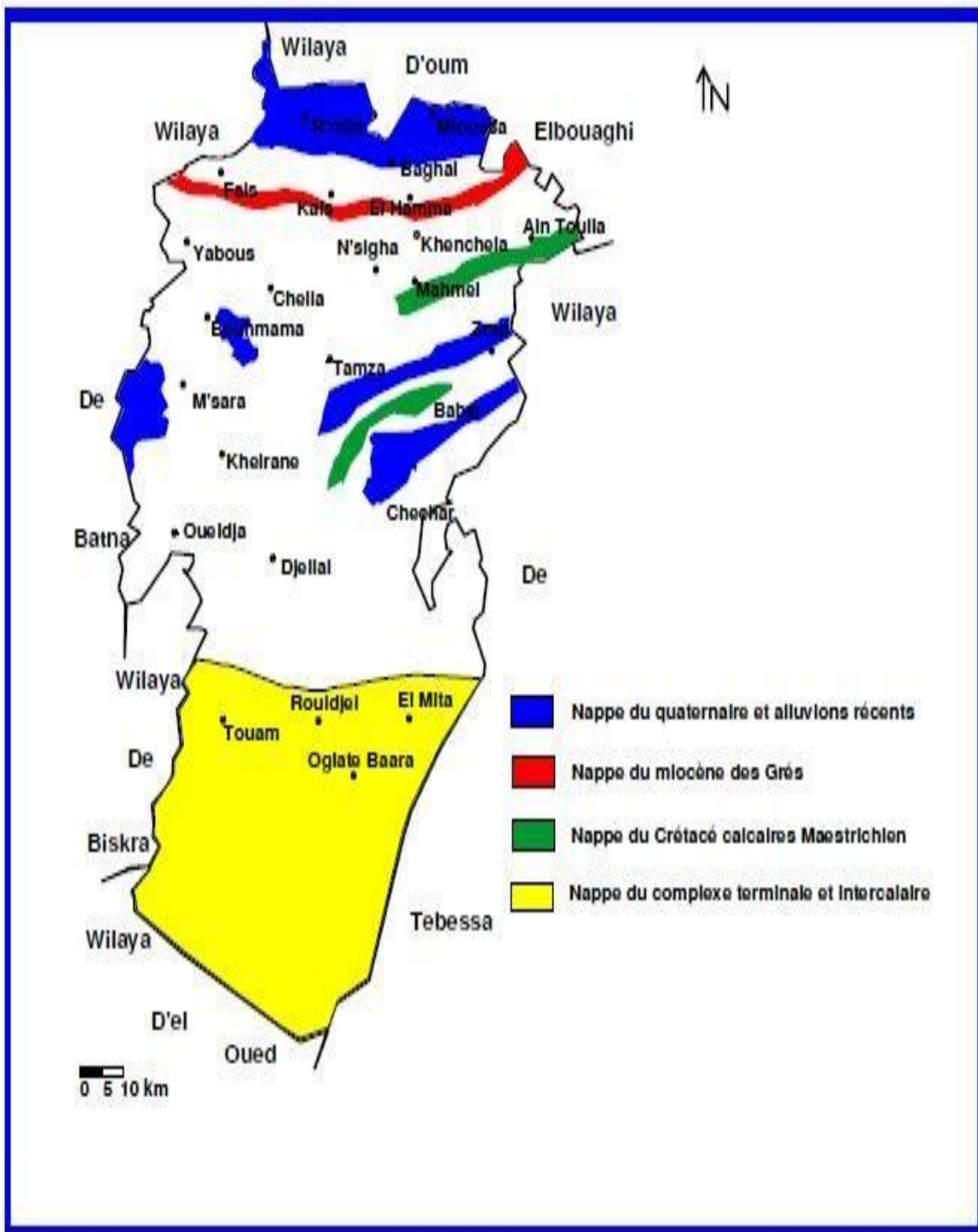
Les montagnes : Ces reliefs on les retrouve au Nord-Ouest sur le massif des Aurès

- représentés par : Djebel -Aidel (2092 m), Djebel -Chentgomma (2115 m), Djebel -Bezez (2141 m) et à l'Est dans les massifs de Nememcha représentés par Djebel -Bouzendag (1390 m), Djebel -Sguiguine (1453 m), Djebel -Tedliste (1507 m). On retrouve les massifs de Djebel -Djahfa (1707 m) (Gaagai, 2009).
- **Les plateaux :** Ils sont situés au Nord-Est (plateaux d'Ouled Rechache) et s'étendent sur les communes de Mahmel et d'Ouled Rachache.
- **Les plaines :** Situées au Nord et Nord-Ouest de la Wilaya, elles comprennent Remila, Bouhmama et M'toussa. Il a est noté que ces deux derniers ensembles sont parfois appelés les hautes plaines.
- **Les parcours steppiques et les dépressions :** Ils sont situés dans la partie méridionale de la Wilaya. Ils se caractérisent par des terres sablonneuses et par la présence de chotts. Ces derniers constituent ainsi le point de convergence exutoire des Oueds drainant le Sud de la Wilaya.



Source : DPAT W. Khenchela

Figure n ° 01 : Les zones naturelles de la wilaya de khenchela.



Carte n°03 : Carte des principales zones aquifères.

I.5. Caractéristiques pédologiques

L'étude des ressources en sols consiste à mettre en évidence les formes du relief (la morphologie), la lithologie et à travers le territoire communal dans l'objectif de déterminer les potentialités, les contraintes et présenter les orientations d'aménagement adéquates.

L'examen de la carte des sols (fig. n°09) met en évidence quatre grandes catégories de sols

qui caractérisent l'espace communal de Bouhmama et qui sont

Les sols calcaires humifères

- * Les sols calciques.
- * Les sols insaturés humifères.
- * Les sols alluviaux basiques.

Les sols calcaires humifères : occupent une proportion appréciable du territoire communal et se localisent en grande partie sur les piémonts des reliefs situés à la vallée d'Oued Mellagou.

- **Les sols calciques** : qui occupent exclusivement la vallée d'Oued Mellagou et qui coiffent principalement toutes les terrasses bordant le cours du Mellagou.
- **Les sols insaturés humifères** : ils représentent des sols minces de montagnes développés sous forêts et sur des pentes fortes que l'on retrouve dans le Chélia, le Djebel Taourirt, Djebel M'Daouer.
- **Les sols alluviaux basiques** : on retrouve de manière très restreinte, spatialement, des sols alluviaux du Mellagou sur lesquels se développe l'arboriculture fruitière en irrigué (pommier, pécher).

II. Présentation générale de région de Bouhmama

La commune de Bouhmama est située dans la partie Nord-Ouest de la Wilaya de Khenchela et (dans la partie Est des Aurès) selon les coordonnées suivants : 39°06'25", 39°30'25" (latitude Nord) et 4°86'10", 5°1'75" (longitude Est), presque complètement entourée de montagnes (**Fig.2**) :

Au Nord-Ouest : Massif de Chélia.

Au Nord : Contreforts du massif de Chélia. De l'Est : Massif de Beni-Melloul.

Du Sud-Est : Gorges de Mellagou.

La commune de Bouhmama s'étale sur une superficie totale de 409 km², soit 4,20 % du territoire de la Wilaya de Khenchela. Au plan spatial, Bouhmama, présente une configuration territoire allongé du Nord-Ouest vers le Sud-Est et limitée :

-Au Nord-Ouest par les communes d'Inoughissène (Batna) et Yabous au Nord-Est, par la commune de Chélia.

II.1 Situation géographique

Le sous bassin versant d'Oued Mellagou, situé au Nord Est du territoire algérien (**Fig.2**), s'étend sur la totalité de la commune de Bouhmama.

Selon la nouvelle structuration des unités Hydrologiques en Algérie, le sous bassin versant d'Oued Mellagou appartient à l'ensemble de Haute plateaux constantinoise – Chott Melghir.

II.2 Localisation de la zone d'étude

Le sous bassin versant Oued Mellagou est situé dans le massif des Aurès (partie orientale de l'Atlas saharien), il fait partie du grand bassin hydrologique de Chott Melghir (Bassin versant numéro 06).

Et draine les versants Sud - Est du massif des Aurès. Ce sous bassin versant est situé à :

- 30 km au Sud-Ouest du chef-lieu de la Willaya de Khenchela.
- 15 km au Sud-Ouest de Kais.
- Enivrent de 50 km de Sud – Est de la Willaya de Batna.

a) Les coordonnées géographiques

La limitation de sous bassin versant sur les cartes topographiques donne les coordonnées géographiques suivantes :

- La longitude : 6°61mn et 6°93mn.
- La latitude : 35°10 mn et 35°42mn

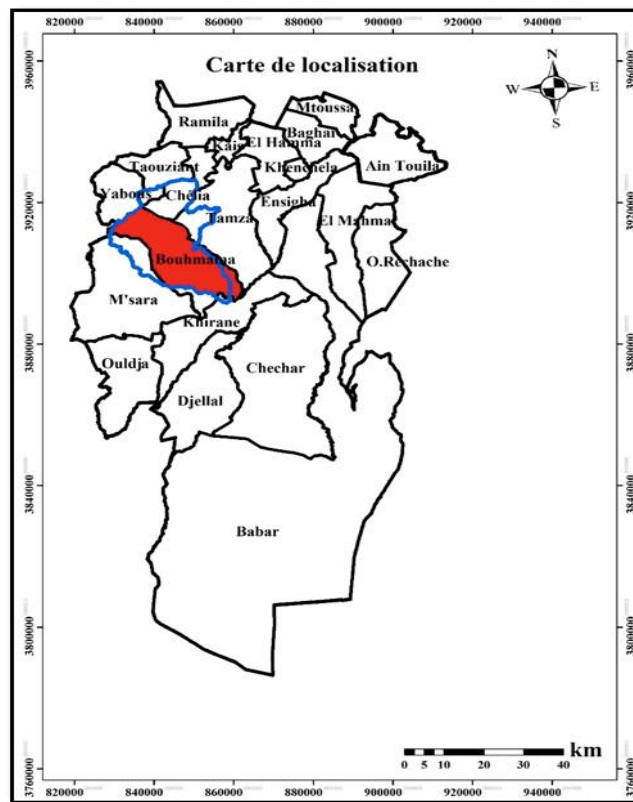
b) Les coordonnées Lambert suivantes

- La longitude : 885.609 Km et 855.040 Km.
- La latitude : 242.881 Km et 208.636 Km.

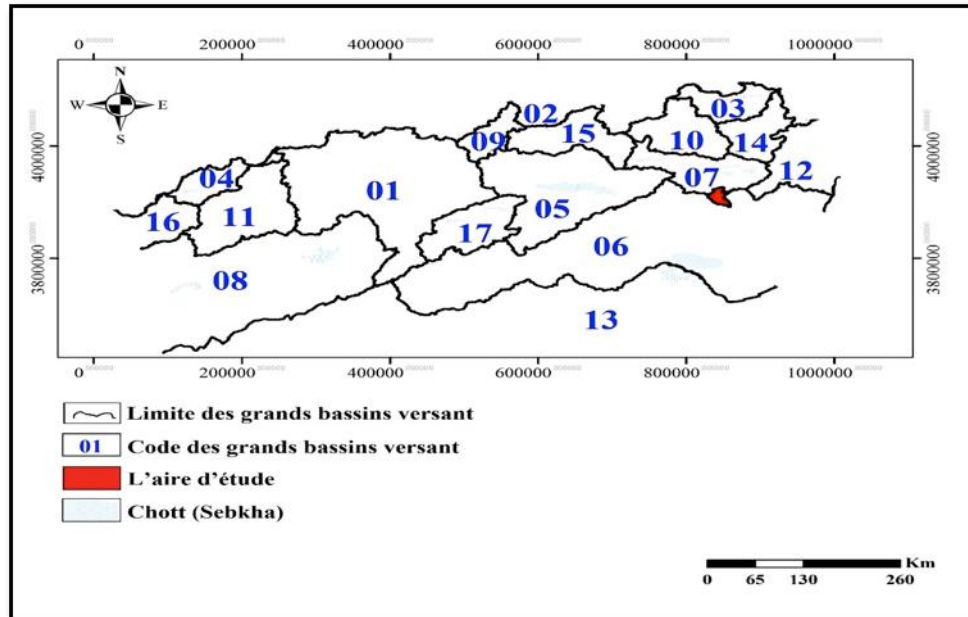
Il est limité : Au Sud par la commune de Babar.

- Au Nord par la commune de Touffana.
- A l'Est par la commune de Tamza.
- A l'Ouest par la commune de Lemsara.

Notre sous bassin versant fait partie du grand bassin versant de Chott Melghir (Bassin versant numéro 06). Il s'insère dans le centre de la région montagneuse de l'Aurès, dominée au Nord-Ouest par le massif de Beni Imloul – Chelia qui culmine le plus haut sommet de l'Algérie de Nord « Ras Kelthoum ». Avec une altitude de 2326 m, et le massif de Ouled Yagoub – Beni Oudjana au Nord – Est de sous bassin versant qui culmine à 2143 m au Djebel Bazez.



Carte n°04 : Localisation administrative de la commune de Bouhmama et la zone d'étude.



Carte n°05 : carte des grands bassins versant du nord Algérien.

II.3. La population

II.3.1 Densité et répartition spatiale de la population

Au 31/12/2010 et selon l'annuaire statistique de la DPSI de Khenchela, la population totale de la commune de Bouhmama a été estimée à 11220 habitants.

Rapportée à la superficie communale qui est de 409 Km², la densité moyenne serait de l'ordre de 27,43 personnes au Km², ce qui est inférieur à la densité moyenne de la Wilaya qui est d'environ 42 personnes au Km² en 2010 (DPSI ,2010).

Par ailleurs, l'analyse des données concernant la répartition de la population par dispersion montre un grand déséquilibre à travers l'ensemble du territoire communal.

En effet, une forte concentration de la population est localisée au niveau du chef-lieu qui abrite, à lui seul, plus de 71 % de la population totale (soit 8010 habitants) aux dépens de la zone éparse qui ne représente qu'environ 29 % de la population totale, soit 3210 personnes (DPSI 2010).

Tableau 1 : Répartition de la population par dispersion.

Population totale	ACL		Zone parse	
	Nombre	%	Nombre	%
11220	8010	71,39	3210	28,61

(Source : DPSI 2010)

La population éparsse se trouve, donc, éparpillée à travers la zone éparsse et essentiellement le long des axes routiers (CC 7, CC 21, CC 13, CC 38, CC 39). Elle constitue de petits groupements de tailles variables selon la densité et tous reliés au chef-lieu de commune par des chemins communaux.

La zone éparsse est constituée de six hameaux importants en plus de l'habitat éparpillé à travers le reste du territoire.

Parmi les hameaux de taille importante dépassant les cinq cents (500) habitants, nous citons :

1. Le hameau d'Ouled Ali Benflous qui se représente sous forme d'extensions désordonnées limitant l'agglomération chef-lieu de Bouhmama à l'Ouest et au Nord, ce hameau est structuré par le CC 38. Il comptait 536 habitants au .

2. Hameau d'Ouled Si Moussa situé à l'Ouest de l'agglomération chef-lieu de Bouhmama structuré par le chemin communal CC38. Ce hameau comptait 507 habitants au.

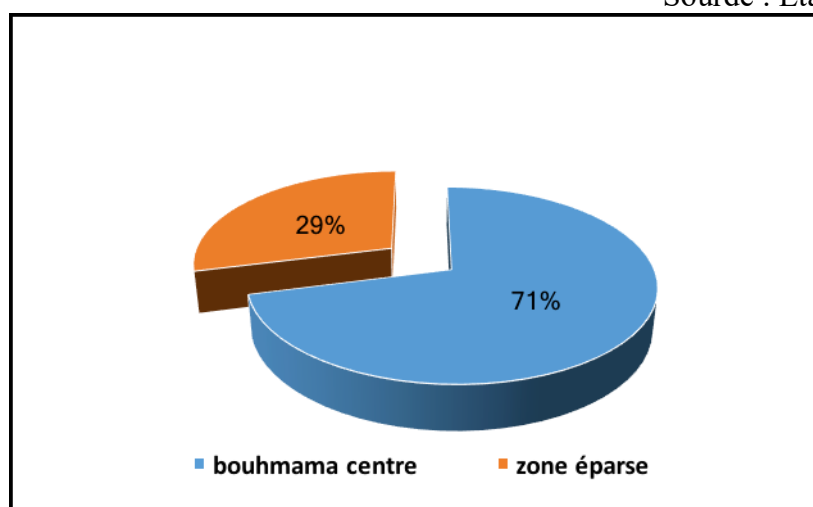
3. Hameau de Bouzouamel situé au Sud-Est de l'agglomération chef-lieu de Bouhmama relié et structuré par le chemin communal CC21. Ce hameau comptait 528 habitants au (RGPH, 2008).

Les hameaux les moins importants sont ceux reliés au chef-lieu de la commune de Bouhmama par le chemin communal CC07. Il s'agit de Bouhmama El Kadima (224 habitants au RGPH 2008), Ouled Meriem (395 habitants au RGPH 2008) et Chir Ouled Billal dont la population est confondue avec le reste de la zone étude.

Tableau 2 : Répartition de la population par dispersion en Avril 2008.

Dispersion	Population		Total	Nombre de logements
	Masculin	Féminin		
Bouhmama centre	5086	5527	7582	1661
Zone éparsé			3031	894
Total commun	5086	5527	10613	2555

Source : État civil TRC 2008



Source : RGPH 2008

Figure n ° 02 : Répartition de la population de la commune de Bouhmama.

II.3.2 Évolution de la population

La population de la commune da Bouhmama a connu, de manière générale, une faible évolution par rapport au croisement général de la population de la Wilaya (Anonyme, 2012). Les taux d'accroissement démographiques constatés pendant les trois intercensitaires (1977/1978, 1987/1998, et 1998/2008) ont connu une nette régression et passé de 2,95 % par an pour la période 1977/1987 à 2,52 % par an pour de 1987 à 1998 pour chuter à 0,94 % par an durant la période intercensitaire 1998/2008(Anonyme, 2012).

Tableau 3 : Tableau de l'évolution de la population à travers les différents RGPH.

Année	1977	1987	1998	2008	2010
Population total commun	5500	7354	9669	10613	11220

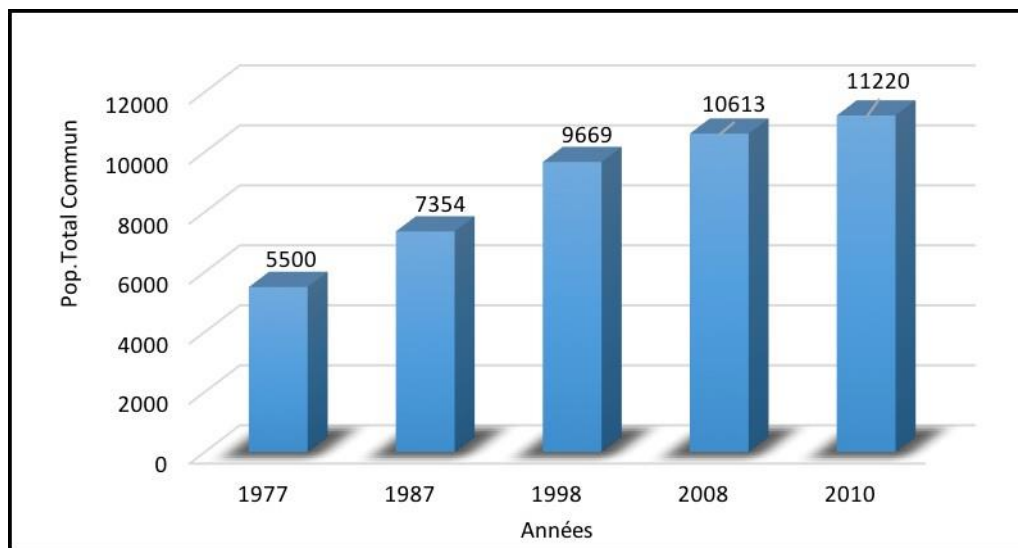


Figure n° 03: l'évolution de la population à travers les différents Recensement Générale de la Population et de l'Habitat.

L'analyse de l'évolution de la population par dispersion montre clairement l'importance de la population agglomérée par rapport au total commun est passée de 52,42 % en 1987 à 71,39 % en 2010.

Cette situation s'explique par le niveau d'attractivité exercé par l'ACL sur les populations éparses de la même commune aux dépens d'une zone éparsée fortement répulsive qui a perdu environ 17 % de la part de la population communale.

III. L'hydrogéologie de la Wilaya de Khenchela

Les estimations en eaux souterraines de la Wilaya ont été établies par l'ANAT sur la base des caractéristiques de nombreux forages. Trois (03) nappes ont été différenciées, et ce grâce à leurs profondeurs moyennes

- La nappe phréatique (en moyenne inférieure à 100 m de profondeur) est captée par plusieurs forages répartis à travers la Wilaya (Nord, Est et Sud). Cette nappe alimente plusieurs sources d'intérêt local (Ain El Fedj, Ain Karma, Ain Frenal), le point d'exurgence de ces sources est généralement une faille ou une fracture.
- Une nappe moyenne (des grès miocènes) : sa profondeur varie de 100 à 300 m est captée par des nombreux forages à traves la Wilaya.

Chapitre II
Géologie

Introduction

L'analyse de l'environnement géologique est fondamentale à toute étude hydrogéologique ou hydrogéochimique. Elle permet d'identifier les matériaux et les structures des formations géologiques susceptibles d'être aquifères et qui conditionnent l'écoulement des eaux souterraines et superficielles.

Nos connaissances géologiques sur la région d'étude sont largement inspirées des travaux et des études régionales et des synthèses sur le massif des Aurès sur les hautes plaines steppiques et sur les zones humides. La plupart de ces études ont été axées sur les caractères stratigraphiques, géomorphologiques, sédiment-logiques et structuraux (Houha, 1996 et 2007 ; Laffitte, 1939 ; Guiraud, 1973 ; Vila, 1977 ; Benkoumchi, et al.1996).

I. Géologie générale

Nos connaissances géologiques sur la région d'étude sont largement inspirées des travaux et des études régionaux et des synthèses sur le massif des Aurès sur les hautes plaines steppiques et sur les zones humides. La plupart de ces études ont été axées sur les caractères stratigraphiques, géomorphologiques, sédimentologiques et structurales (R. Laffitte 1939, R. Guiraud 1973, J. M. Vila 1977).

I.1.Lithostratigraphie

D'après l'inventaire stratigraphie dressé par plusieurs géologues et en particulier par R. Laffitte, les terrains les plus anciens sont attribués au Tria et les plus récents au quaternaire.

I.1.1.Le Mésozoïque**a) Trias**

Le Trias affleure toujours en position anormale, il est formé de pointements diapiriques nombreux jalonnant les accidents tectoniques (para-autochtone), les affleurements triasiques sont assez nombreux et très localisés à proximité de Khenchela, où il isole le Miocène du Crétacés, suivant une bande de 4 à 5 Km de long et 300 à 400 m de large et sur Djebels el Krouma et Knif en contact anormal avec l'Albien, le Cénomaniens et le Cénonien. Le gypse est le plus fréquent, en amas saccharoïdes blanc grisâtre, durs, ou sous forme de grands cristaux (Laffitte, 1939 et Vila, 1977).

L'abondance du sel caractérise cet affleurement, visible dans les diapirs de Khenchela et Krouma, mais cela tient, non pas à un caractère original particulier au trias de cette région, mais au fait que ce pointement étant récent (post-miocène), le sel n'a pas eu le temps d'être dissous, tandis que dans les autres pointements, qui sont Anté-miocènes, il a disparu depuis longtemps (R. Laffitte 1939).

Les argiles et marnes bariolées, de couleur verdâtre, rougeâtre à violacée, constituent les roches les plus abondantes à l'affleurement.

Des passées calcaro-dolomitiques, de couleur gris à noirâtre, généralement bien stratifiés et présentant parfois quelques passées marneuses, sont fréquemment emballées dans les complexes triasiques.

b) Jurassique

La lithologie des formations Jurassiques dans l'Aurès se distingue par un large développement des faciès carbonatés (Calcaire dolomie) parfois argileux (Schistes argileux, et calcaire argileux, siliceux et béchiques). Elles renferment par fois des intercalations de marnes jaunes et rouges dont l'épaisseur peut atteindre 400 mètres.

L'épaisseur totale de ces dépôts dans la région peut être évaluée à 4000 voir 6000 mètres.

b.1- Lias

Peu présent dans la région, il est localement représenté par des schistes tendres contenant parfois des ammonites pyriteuses.

b.2- Dogger

Le Jurassique moyen (Aalénien) est constitué par une série d'alternance ; de dolomies, de calcaire et de marne avec des gypses.

b.3- Malm

Il est constitué par 15 mètres d'épaisseur d'une alternance de calcaires noduleux et des marnes.

c) Crétacé

Le Crétacé a été subdivisé par R. Laffitte (1939) en crétacé inférieur ou série gréseuse (Berriasien à l'Albien) et en Crétacé supérieur ou série marnocalcaires (Cénomaniens à Maestrichtien).

c.1- Crétacé inférieur

Il couvre une grande partie des Anticlinaux du Djebel Chelia, anticlinal de Khenchela, il affleure aussi au Kef Tifekressa, Ras Serdoun, Djebel Chenntgouma, Djebel Faraoun et Djebel Aidel. R. Laffitte (1939) a soigneusement décrit la plupart des faciès et c'est à partir de ses descriptions, modifiés ou complétés en quelques points, que R. Guiraud (1973) a établi la.

Le Crétacé inférieur peut être subdivisé en quatre ensembles lithologiques :

- Un ensemble inférieur (1000m) à dominance argileuse correspondant au Berriasien supérieur-Valanginien. On note que le valanginien n'est seulement connu qu'au Djebel Azreg à Batna, presque au centre du massif montagneux.
- Un ensemble basal (1300m) à dominance carbonate avec des calcaires micritiques et bioclastiques en bancs métriques (Tithonien supérieur-Berriasien moyen).
- Un ensemble médian (1400m) à dominante grés-dolomitique appartenant à l'Hauterivien-Barrémien.
- Un ensemble supérieur (700 à 750m), comprenant à la base des dolomies et une alternance de grés, de calcaire à Orbitolines, puis des grés à stratifications obliques, des marnes gréseuses, des calcaires marneux et des calcaires au sommet, est attribué à l'Aptien-albien.

c.2- Crétacé supérieur

Il occupe une grande superficie à l'affleurement dans l'Aurès et forme l'essentiel des affleurements mésozoïques des confins de l'Aurès. Dans notre région d'étude il affleure au Djebel Aurès, Djebel Djahfa, El Krouma, Khenchela, El Khallel, Djebel Chettaia etc...

c.2.1- cénomaniens

Il est présent dans tous les grands anticlinaux de l'Aurès. Il est essentiellement calcaire-marneux, la partie inférieure est surtout marneuse. La partie supérieure est constituée de bancs calcaires massifs mais peu épais. L'épaisseur de cette formation est très variable, elle peut atteindre 500 à 600 mètres au cœur de l'Aurès.

Le cénomanien comporte une série de marnes grises dans lesquelles s'intercalent des calcaires fines argileux, une partie médiane formée de marnes grise, verts ou ocres, contenant parfois du gypse diffus ainsi que des passées argileuses. Une série terminale constituée de marne et de calcaires formant une corniche.

c.2.2- Turonien

Le turonien occupe à l'affleurement les plus grandes surfaces de l'Aurès (pendage faible). Le turonien comporte, en effet, au dessus des marno-calcaires de base, un ensemble de marnes beiges et calcaires.

Dans le Djebel de Amrane, le Turonien est schisteux à la base, calcaire dans la partie moyenne, et marno-calcaire au sommet. L'épaisseur du Turonien peut atteindre 800 mètres dans les faciès marno-calcaires du cœur de l'Aurès, mais varie de 1000 à 3000 mètres dans les calcaires.

c.2.3-Sénonien

Le Sénonien est représenté dans tous les synclinaux de l'Aurès. Il est très épais 2000 mètres en moyenne. Dans notre région il affleure au sud de la plaine de Rémila, sur le flanc Nord de l'Anticlinal du Djebel Chelia avec un faciès principalement marneux. Son épaisseur peut être très important et atteindre 1000 à 2000 mètres.

c.2.4- Coniacien

Il présente un horizon de marne et de marno-calcaires. Le Coniacien est présent au niveau de Ras Tafer Kennfad et à l'entour du Djebel el Khrroub.

c.2.5- Santonien

c.2.5.1- Le Santonien C4

Est constitue de faciès marneux, de marne gris-bleu et calcaire, il affleure à l'entour du Djebel el Khrroub et Djeble Aurès.

c.2.5.2- Le Santonien C4r

Faciès récifal des Djebels El Krouma et Knif.

c.2.6- Campanien

Constitue de marne et calcaires crayeux, et affleuré au Djebel Chettaia, Djebel Aurès, à Douar Ouled Ensirha et à l'entour des Djebels Chettaia et El Krouma.

c.2.7- Maestrichtien

Le Maestrichtien est assez différent ; il est subdivisé en :

- Maestrichtien inférieur à dominante marneuse.
- Maestrichtien supérieur constitué par des calcaires à Inocérames.

Il affleure à El Tarf, Djebel Chettaia et Argoub Mennsa.

On se rapproche de la zone des hautes plaines constantinoises ou le Maestrichtien semble ne pas exister, ce qui indique que, s'il est déposé dans cette région ce fut sous faible épaisseur et qu'il a ainsi été facilement enlevé par l'érosion ; peut être même n'a-t-il jamais existé en certains points et sa position dans le schéma tectonique de l'Aurès.

I.1.2. Le Cénozoïque**a- Paléogène****a.1- Paléocène**

Le paléogène marin, au Danien marin succède en concordance, des couches marines, marno-calcaires, dans lesquelles, latéralement en certains points, s'intercalent des couches lacustres et des couches rouges d'origine lagunaire ou plutôt continentale, mais il s'agit là de conditions exceptionnelles de l'Eocène inférieur (Yprésien) et l'Eocène moyen (Lutétien) sont essentiellement marin.

a.2- Eocène inférieur (Yprésien)

C'est dans le Sud-est de l'Aurès, que le Nummulitique est le plus développé ; et peut être le seul affleurement existant dans le terrain est celui de A. Eguelmamène constitué par des calcaires à silex. Au début de l'Eocène, et pendant la période paléocène, c'est-à-dire pendant le Montien et leThanétien, la mer semble avoir recouvert l'Aurès d'une manière assez uniforme.

Dans le Sud-est, on trouve, dès la base de la formation, une faune caractérisée par l'abondance des Turritelles.

b- Néogène

Dans les limites de la partie centrale des Aurès, les dépôts Néogènes sont représentés surtout par des conglomérates du Miocène qui remplacent vers le Sud par des formations marines normales (calcaire, marne...). Les dépôts de cette période se caractérisent par des changements fréquents des faciès suivants des directions différentes ; la présence des conglomérates est liée à l'émersion.

Au cours de la période Lutétien, dans les limite de la partie Nord-ouest des Aurès, ces conglomérats et les assises calcaro-marneuse sont surmontés par des formations continentales qui soulignent une étape bien caractéristique du développement du relief et une phase intense du plissement.

A l'intérieur des zones synclinales, les conglomérats et les poudingues du Miocène sont concordants avec des roches sous-jacentes et marquent ainsi la fin de la sédimentation marine. Dans les zones anticlinales, ces dépôts, dont l'épaisseur varie de 250 à 300mètres, reposent en discordance sur les formations sous-jacentes.

b.1- Miocène

En 1862, Coquand signale pour la première fois dans les environs de Khenchela un gisement de Burdigalien à pectens et l'âge exact des couches rouges du Sud de l'Aurès.

Le Miocène dans la région d'étude peut subdiviser de la manière suivante :

b.1.1- Aquitano-burdigalien

Marqué par des conglomérats rouges. Il affleure à El Kelaa, Ras Khodalène et à l'entour de Ras Serdoun.

b.1.2- Langhien-serravalien

Constitue par des marnes, biomicrites, biomicrosparite et grés blancs. Il est remarqué au niveau d'El Kelaa Djebel Knif et Ras Ychebrane.

b.1.3- Tortorien

Gréseux blanc, qui affleurent à Tirkabine, Djebel Kharroub, Djebel Akar, El Mennchar et Douar Khenchela.

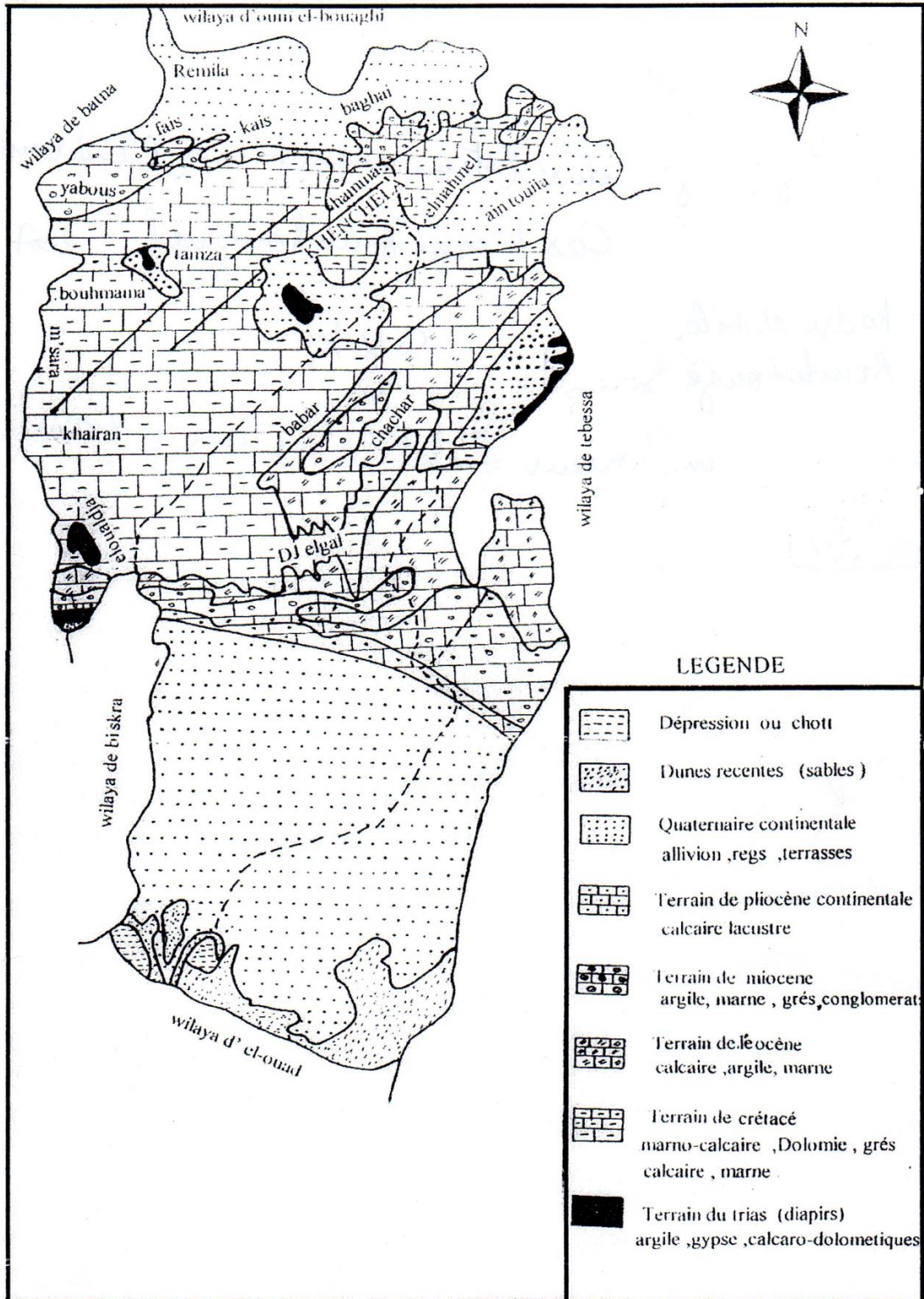
b.1.4- Tortorien supérieur

Continental, ce sont des argiles silteuses beiges et rouges, grés. Le Tortorien supérieur n'apparaît qu'au niveau Draa El Ahmar.

b.1.5- Le Quaternaire

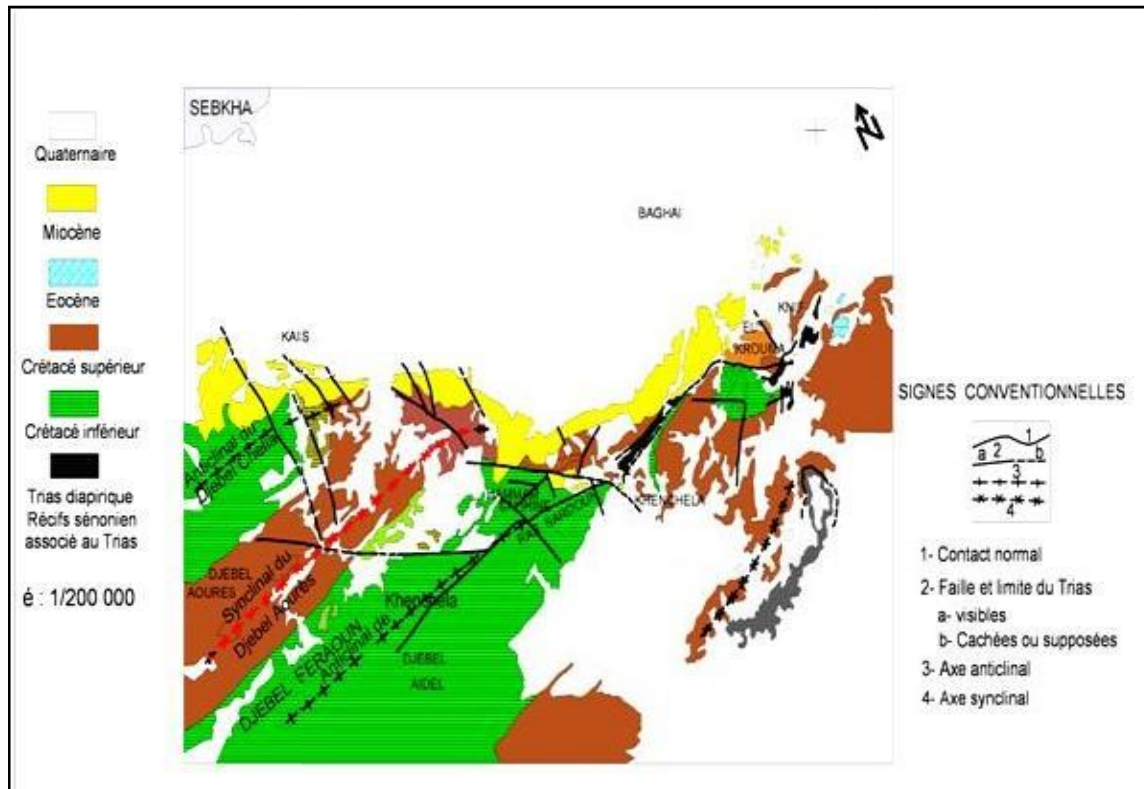
Les formations récentes sont aussi largement répandues à la périphérie de l'Aurès qu'ils sont rares dans le centre du massif : ils sont représentés uniquement par des Eboulis et des terrasses, tandis qu'ils forment en périphérie, de larges et d'épaisses nappes alluviales.

Les dépôts quaternaires recouvrent le majeur parti des plaines, ce sont des Eboulis à blocs, Alluvions récentes ou actuelles, Terres arables, Alluvions anciennes, Glacis polygénique nappant les reliefs et des croutes calcaires.



Source : Extrait de la carte géologique de Khenchela 1 : 20000

Carte n°06 : Carte géologique de la Wilaya de Khenchela.



Carte n°07 : Schéma structural simplifié(D'après J.M.VILA).

II. 2. Géologie local

II.2.1 Unité topographie

Trois unités topographiques qui caractérisent la commune. Elles se présentent comme suit :

II.2.1.1 La zone de montagne

Cette zone est occupée par la forêt de Pin d'Alep (massif forestier) et malgré une configuration de terrains très accidentés, l'érosion ne s'est pas manifestée grâce à une bonne couverture végétale (Vila, 1977).

Les montagnes se caractérisent par une dénivellation importante entre le sommet et le fond de vallées ; et surtout par la vigueur de sa pente.

La carte des altitudes de la zone d'étude a été générée à partir d'un modèle numérique de terrain (DEM) à l'aide d'un système d'information géographique SIG.

Chaque montagne observée présente des caractéristiques particulières telles que l'altitude et

l'exposition.

- Au Nord : Dj.Foural à 1698 m
- Au Nord-Est : Dj. Aurès à une altitude de 1548 m
- A l'Est : Dj.Taafist est à 1399 m avec une exposition Ouest

Dj.Tebak est à 1254 m avec une exposition Sud-est

- Au Nord-Ouest : Dj.Chélia qui culmine 2328 m à exposition Sud-Est.
- A l'Ouest : Dj.Taurirt est à de 1734 m d'altitude avec exposition Sud-Est.
- Au Sud-Est : et enfin Dj. El Kanouf avec une altitude de 1104 m exposé Sud-Ouest.

II.2.1.2 La zone des piémonts

La zone des piémonts est localisée au centre du territoire communal. Malgré la bonne couverture forestière, en amont protégeant cette unité contre l'érosion, un ruissellement diffus par endroit qui se manifeste en l'absence d'une végétation pérenne. La surface de cette unité s'élève à quelques 7 774 ha et représente une portion de 18,99 % du territoire communal (Vila, 1977).

II.2.1.3. La zone de plaine

Cette zone présente une morphologie plus ou moins plate. Elle est localisée le long de l'Oued Mellagou, dont elle porte le même nom et s'étale du Chef-lieu à la limite Sud de la commune. Cette unité est imbriquée dans la zone des piémonts en aval. Elle occupe une surface de 2 148 ha soit 5,26 % du territoire de la commune, drainée par un nombre important de chaabets, qui convergent tous vers Oued Mellagou, cette plaine constitue l'essentiel des potentialités agricoles de la commune. Notons que la charge caillouteuse du sol de cette unité est très importante. Ces cailloux sont des colluvions provenant des cônes de déjection (Vila, 1977).

II.2.2 Les pentes

Les classes de pente de la plaine de Mellagou peuvent être résumées à partir de la carte qui permet de visualiser le dispositif d'agencement orographique de la commune.

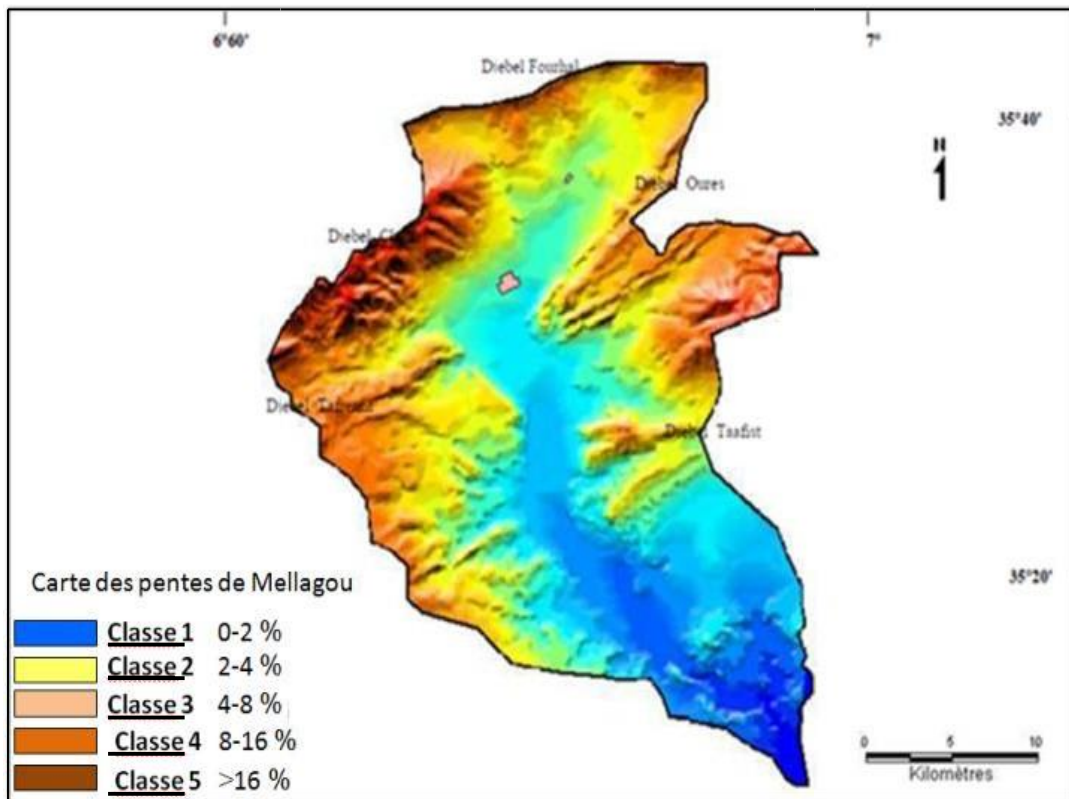
La carte des pentes de la zone d'étude a été générée à partir d'un modèle numérique de terrain (DEM) à l'aide d'un système d'information géographique SIG. Il s'agit, en effet de cinq classes topographiques :

II.2.1.4.1 Les deux premières (0-2%) et (2-4%) : concernent la partie de la vallée d'Oued Mellagou.

Mellagou.

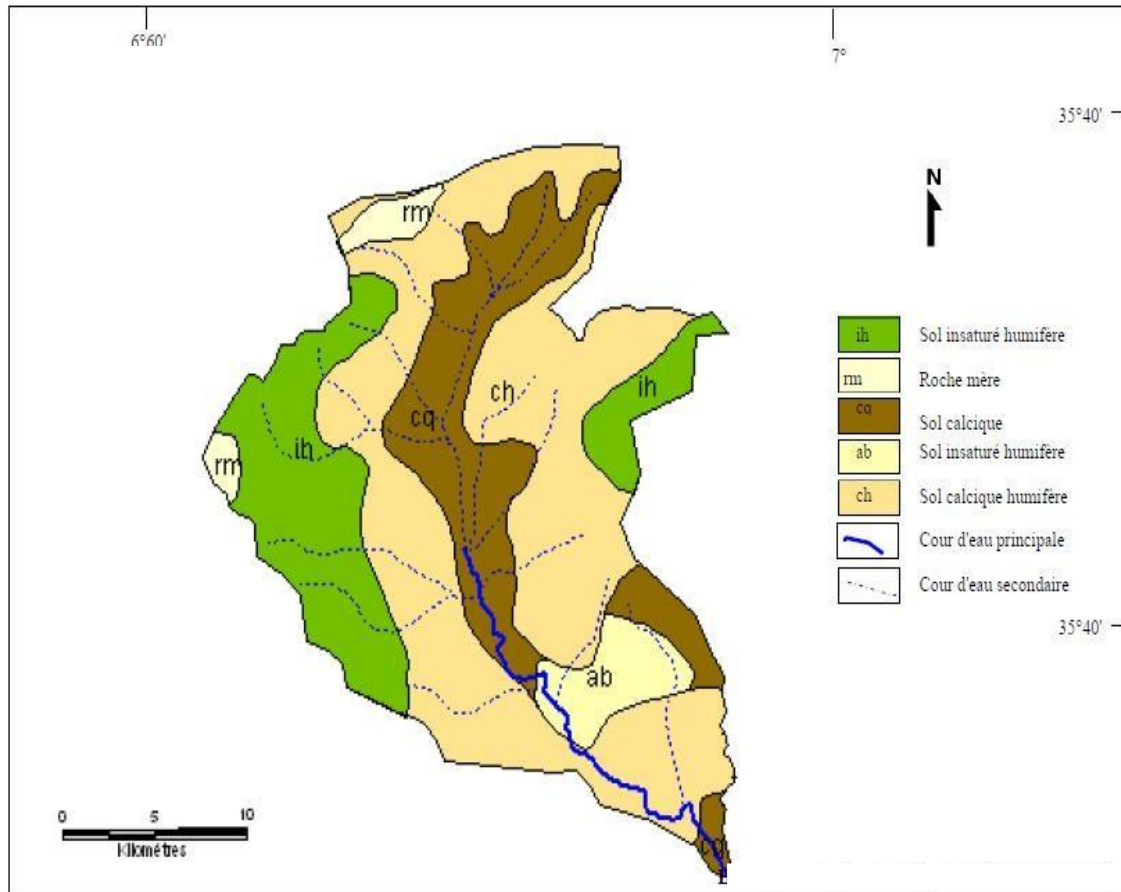
II.2.1.4.2 La troisième classe (4-8%) : correspond aux zones de piémont des relief montagneux concernant la vallée d'Oued Mellagou (Chéla au Nord, Djebel Taafist à l'Est, Ras Tirhezza à l'Ouest) .

II.2.1.4.3 La quatrième et le cinquième classe (8-16%) et (>16%) : correspondent aux parties hautes des principaux alignements de reliefs qui incluent les points les plus hautes des reliefs de la commune.



Source les cartes topographiques : Toufana, Chéla. Toubount. Dj Djahfa et Taberda 150 000

Carte n°08 : les pentes de bassin versant d'Oued Mellagou.



Source : Carte des sols d'Algérie Tebessa 1/500 000

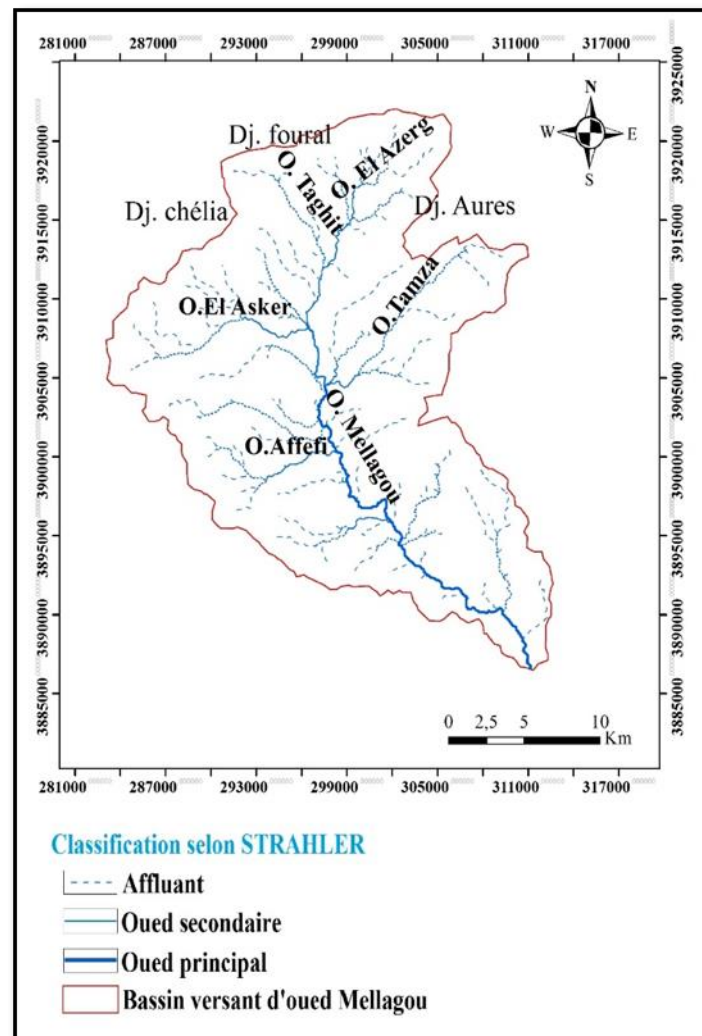
Carte n°09 : la répartition des unités de sols à travers la zone d'étude.

II.3. Le Réseau hydrographiques

Oued Mellagou : est formé de la réunion de 02 bras, celui du sort du djebel Aurès (1.551m) sous le nom d'oued Amar, reçoit à droite Oued Nord Timaroden et Oued Taghit qui sous lenom d'Oued Tafrent descend du versant Nord du Chélia et ouvre de bonnes communications vers l'Ouest et vers le Nord. Après son confluent avec Oued Taghit ce bras prend le nom d'oued Azreg et se réunit avec le bras d'Ouest. Celui-ci descend (fig.n°10). Du versant Sud du Chélia, ouvre le col de Tizougarine, prend le nom d'Oued Aguelmène, puis celui d'oued El Aksser arrose le village de Bouhamama et se réunissant à l'Oued Azreg ; devient l'Oued Mellagou. Oued Mellagou circule ainsi en faisant de nombreux méandres, se jeter dans Al Abiod puis Oued El Arab.

La plupart des Oueds de sous bassin versant d'Oued Mellagou ne sont pas permanents se sont tous des affluents du grand Oued appelé Oued Mellagou. Les importants affluents qui viennent de Nord sont : Oued Taghite, oued Azreg. Ces deux Oued naissent du bord est de la plaines de Mellagou et descendant vers le sud.

A ces deux derniers s’ajoutent les Oueds suivants : Oued Zenague, et Oued Taghit transitant la partie Est de la commune de Chélia. Tous près de l’ancienne Bouhmama d’autres affluents descendant de la région d’El Ksour appelés Oued Lakhsoume et Oued Askar. Au milieu de la plaine s’ajoutent Oued Djaarir et Oued Tamza, Juste après l’adjonction d’Oued Tamza et Asker naiss le grand Oued Mellagou qui forme en jonction avec l’Oued El Abiod et Oued El Arab. La carte de réseau hydrographique de la zone d’étude a été générée à partir d’un modèle numérique de terrain (DEM) à l’aide d’un système d’information géographique SIG.



Carte n°10 : le réseau hydrographique de bassin versant d’oued Mellagou.

II.4. La géologie de la région d’étude

Les données géologiques fournissent des indications précieuses sur la nature du substrat où se développe la végétation. Cette dernière répond d’une manière assez fidèle à la nature lithologique et aux formes géomorphologiques.

La plupart de ces études ont été axées sur les caractères stratigraphiques, géomorphologiques, sédimentologiques et structuraux (**Laffitte, 1939 ; Guiraud, et al.1973**).

En dépit, de la diversité des structures et morphologiques dans cette région des Aurès, marquées, à la fois, par ses massifs montagneux imposants tels que le Djebel de Chélia, ses zones de piémont sur lesquels se sont développés d'importants cônes de déjection marquant le passage entre le domaine de montagne et de plaine, la structure géologique reste dans son ensemble assez simple :

- Des anticlinaux et synclinaux balisant le domaine de montagnes et de piémonts organisés dans leur ensemble selon une direction NE-SW.
- Des plaines et des vallées évasées résultantes, soit de la dynamique érosive et /ou de l'évolution géologique et qui correspondent, soit à des synclinaux perchés, soit à des anticlinaux évidés ou à des structures plus complexes.

II.4.1 La Stratigraphie

La stratigraphie de la commune de Bouhmama se caractérise, essentiellement, par la prédominance des terrains secondaires. Les terrains quaternaires ne sont présents que dans la vallée de l'Oued Mellagou et dans la zone déprimée d'Ez-Ziriz. À noter, aussi, que les plus anciens terrains signalés dans cette zone sont les faciès triasiques qui dans la plupart des cas, sont mis en place grâce au diapirisme.

II.4.1.1Le Quaternaire

Les dépôts quaternaires représentés par des dépôts colluvio-alluvionnaires sont développés au débouché des zones de relief sous forme de cônes de déjections, par des éboulis de gravité sur les terrains accidentés et en contrebas des escarpements et des corniches tel que Kef El Ahmeur. À noter aussi, l'importance des dépôts alluvionnaires de l'Oued Mellagou et de ces principaux affluents qui recouvrent les formations crétacées situées dans la vallée due dit Oued Mellagou.

II.5.1.2Les formations secondaires

L'histoire géologique des terrains mésozoïques de cette région débute par les terrains triasiques et se termine par le Crétacé supérieur en passant par les formations crétacées inférieure et moyenne et le tous se terminent par le Quaternaire.

II.5.1.3Tertiaire : Eocène

- **Eocène inférieure (ei) :** Qui commence sur le M. strichtien supérieure avec des marnes presque noires qui passe au calcaire marneux gris bleuâtre et fin.
- **Eocène moyenne :**

-Oligocène inférieure (lottorfien O3) avec des argiles et gris siliceux rougeâtre.

-Oligocène moyen et supérieur (aquitanien O3) des remblais ou des sédimentations en éventail rougeâtre avec une granulation en bloc jusqu'à argileux, argile et gypse en dépression. Se localisent aux prés de l'aval d'Oued Azreg.

- **Miocène (mi) :** Il se trouve en roche la majorité des grés (Chélia) ; partiellement des marnes, conglomérats bio micrite et bio micro parité.

II.5.1.4 Le Crétacé

L'ensemble des terrains composant le territoire communal de Bouhmama appartient à la période crétacée. Ainsi, la quasi-totalité des affleurements secondaires étudiés de la commune va du Crétacé inférieur au Crétacé supérieur avec des faciès très variés allant des marnes aux calcaires en passant par les marron-calcaires et les grés.

- **Le crétacé supérieur**

Cet ensemble est composé de marnes avec, à la base et au sommet, quelques barres de marron-calcaires. Cette formation affleure dans la zone déprimée comprise entre les Djebels Tebak et Kanouf. C'est la partie qui joue le rôle de jonction entre l'Oued Mellagou.

Companien, Santanien et Coniacien (C8a, C7) : Avec des marnes bleues, noires et quelques blocs calcaires, des marnes beiges à ocre. Située dans la partie sud du sous bassin et la synclinale d'Oued Azreg.

- **Le Crétacé moyen**

Le Turonien

Cette formation est composée par une alternance de marnes grises et de calcaire zoo-génique noduleux d'une épaisseur de 150 mètres et à sa base quelques mètres de marron-calcaires blanchâtres en plaquettes fines à cassures noirâtres bitumineuses. Elle représente plus de 50 % de la superficie du territoire communal.

- **Le Cénomaniens supérieur**

La partie supérieure de cet étage est constituée de calcaires sous la forme d'une barre avec cassures écaillées et au sommet se retrouve un niveau de nodules de pyrite constituant un repère constant dans la région. L'épaisseur de cette formation est de 30 mètres.

- **Le Cénomaniens moyen**

C'est une puissante formation de 650 mètres de marnes grises à micrites gris blanchâtre à fins tests de lamellibranches.

Le Cénomaniens inférieur

Il s'agit des marnes grises à biomicrites argileuses grises avec des niveaux de glauconies d'empreintes d'ammonites et ayant une épaisseur de 100 mètres. L'ensemble de la formation cénomaniens affleure entre les Djebels Tafrennt et Taourirt à l'Ouest et Kef El Ahmeur et Djebel Taafist à l'Est.

- **Le Crétacé inférieur**

- **L'Albien**

Formation affleure sur le versant Sud et Sud-Est du Chéla juste en contre bas des terrains aptiens. Elle entoure régulièrement le Djebel Chéla en formant une ceinture continue au-dessus de l'Aptien. Ayant une épaisseur de 160 mètres. Elle est composée, essentiellement, d'une alternance de grès et de marnes grises, de dolomies d'argiles.

- **L'Aptien**

Cette formation affleure sur le versant Sud et Sud-Est du Chéla juste en contre bas des terrains barrémiens. Elle est composée, essentiellement, de bas en haut par :

- * Des calcaires marneux.
- * Des grès blancs.
- * De marnes grises.

Cet étage se distingue par des calcaires fortement minéralisés ayant une épaisseur totale de 330 mètres.

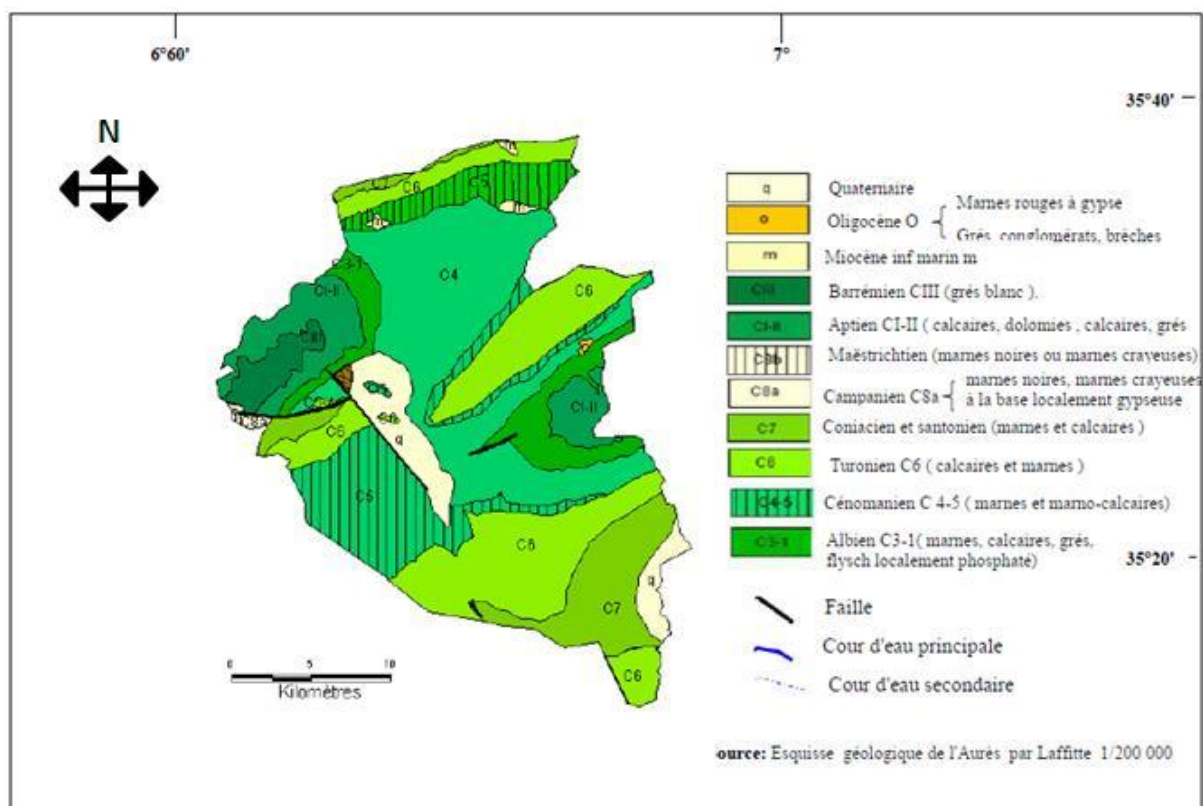
- **Le Barrémien**

Il affleure au Sud et Sud-Ouest du versant du Djebel Chélia sur une distance d'environ 11 km. Il est délimité dans sa partie supérieure par la ligne de crête entre Timchtaouine et le Nord- Ouest du lieu-dit ferme Moussa El Ayat en passant par Tala Bergés. Sa lithologie est constituée, essentiellement, des matériaux détritiques (gris, calcaires gréseux, conglomérat et marnes vertes ou rouges).

II.5.1.5 Le Trias

Le Trias est représenté par des masses chaotiques sans stratification (Villa, 1977), dans lesquelles divers éléments sont reconnaissables tels que des cargneules jaunâtres, des dolomies noires, des calcaires, des gypses marneux et fibreux. Tous ces éléments sont englobés dans une masse argileuse de couleur verte. Ces roches triasiques forment, en général, des diapirs marqués par un contact anormal avec les formations les plus récentes.

Les seuls époinçements triasiques du territoire communal de Bouhmama se localisent au Djebel El Kanouf plus précisément à 02 km à l'Est du Marabout de Sidi Mohamed et dans la partie sommitale de Ktef Es Souda soit à 4,5 km à l'Est-Sud-Est du lieu-dit Marabout.



Source : Esquisse géologique de l'Aurès par Laffite 1/200 000

Carte n°11 : géologique de la commune de Bouhmama.

II.5.1.5 Les mouvements tectoniques dans la région d'étude

La dynamique caractérisant le plissement des grands ensembles de cette zone est à l'image de celle ayant marqué l'ensemble des régions atlasiques.

En dépit de la complexité des certaines structures et des complications orographiques dues à l'inversion topographique, la dynamique ondulatoire générale est, à la fois, simple et imposante par les masses mobilisées.

Quant à la tectonique de cette région, elle se caractérise par sa conformité au style de la déformation cassante de l'ensemble du domaine atlasique et par son orientation constante suivant la direction générale de ce domaine atlasique à savoir NE-SW. Toute fois on dénombre l'existence des failles transverses suivant la direction NW-SE. C'est le cas de la faille délimitant le Djebel Ichemoul du côté oriental (à l'Est d'Arris) et celle de Théniet Rerras.

Dans la commune de Bouhmama, il existe aussi la faille d'orientation NW-SE suivie partiellement par Oued Mellagou, affluent d'El Abiod-El Arabe.

Notons aussi que l'anticlinal du Djebel Chélia dont la voute est visible à l'Est est affecté par des accidents cassants orientés NW-SE et qui probablement peuvent être rattachés à d'anciens coulissements alpins.

Conclusion

La région d'étude est caractérisée par trois grandes unités topographiques à savoir, la zone de montagne, les piémonts et la zone de plaine.

La géologie de la commune de Bouhmama se caractérise, essentiellement, par la prédominance des terrains secondaires (crétacé supérieur, moyen et inférieur) avec des faciès très variés allant des marnes aux calcaires en passant par les marno-calcaires et les grés, les terrains quaternaires ne sont présents que dans la vallée de l'Oued Mellagou.

Chapitre III

Climatique

INTRODUCTION

La climatologie constitue un facteur important pour la connaissance du devenir des précipitations. Elle repose sur l'interprétation des données, des paramètres climatiques mesurés durant une période bien définie permettant ainsi d'estimer les différentes composantes du bilan hydrique, ce dernier est nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, impliquant la connaissance des paramètres suivants: (Les précipitations, la température, l'évapotranspiration, la neige et la grêle), qui conditionnent ce bilan. (Reminiéras, 1986)

Le climat algérien est un climat de transition. Il varie du type méditerranéen et semi-aride dans le Nord au type désertique dans le Sahara. Du fait de son appartenance géographique à la zone aride et semi-aride, l'Algérie du Nord est soumise à des conditions hydro climatiques défavorables, caractérisées par :

1. Des précipitations irrégulières avec des variations interannuelles importantes.
2. Une forte irrégularité saisonnière et interannuelle des écoulements.

I. Les données climatiques disponibles

I.1. Le réseau de mesure et origine des données

Pour effectuer l'étude des précipitations et des autres facteurs du climat, nous avons exploité des données recueillies et archivées par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (A.N.R.H) Il convient de signaler l'existence d'une station climatique de L'Hamma, c'est une station météorologique professionnelle du réseau A,N,R,H considérées comme la plus représentative et qui dispose par ailleurs de données continues, récentes et fiables sur 20 ans (1997/2017).

Tableau 4 : Caractéristique de la station hydrométrique d'El Hamma.

St El Hamma	Longitude	latitude	altitude	Période d'observation
	7°05'E	35°28'N	928.5m	1997/2017

II. Les facteurs climatiques

II.1. La température

La température mesurée et un indicateur de l'ensemble des échanges thermiques qui existent en un lieu et à un instant donné. Sa répartition spatiale est en grande partie tributaire des apports

énergétiques et des transferts par les fluides, mais d'autres facteurs interviennent notamment la disposition des masses continentales et océaniques et bien évidemment l'altitude. (Colin. A, 2007)

Tableau 5 : Température moyenne mensuelle enregistrée à la station d'El Hamma (1997-2017).

	T(C°) Moy min	T(C°) Moy max	T(C°) Moy	Amplitude M-m
Janvier	2,4	12.8	7.6	10.4
Février	3,4	12.43	8	9.03
Mars	5	16.47	10.73	11.47
Avril	7,6	11.62	9.61	4.02
Mai	11,7	25.08	18.39	13.38
Juin	15,9	30.9	23.4	15
Juillet	18.95	34.9	26.9	16
Août	18.6	34.22	26.41	15.62
Septembre	15.01	26.4	20.75	11.39
Octobre	11.9	21.53	16.71	9.63
Novembre	6.30	16.04	11.17	9.74
Décembre	3.33	11.5	14.83	8.17

Source (SMH,2017)

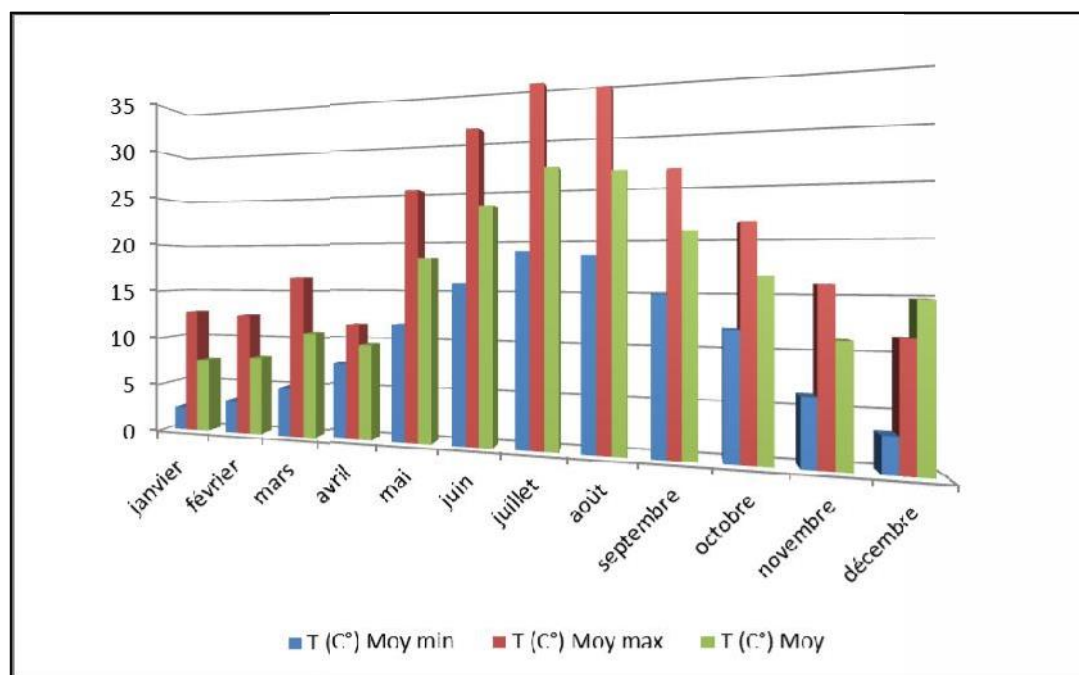


Figure n° 04 : Histogramme de variation des températures moyennes (1997-2017).

II.2. La précipitation

Les précipitations sont les eaux qui tombent sur la surface de la Terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) ou déposée (rosée, gelée, givre, ...).

Quelle que soit la forme de la précipitation, on mesure la quantité d'eau tombée durant un certain laps de temps. On l'exprime généralement soit en millimètres (mm), soit en litres par mètre carré (l/m^2). 1 mm de précipitations correspond à 1 l d'eau par m^2 .

L'intensité de la pluie est la hauteur d'eau précipitée par unité de temps (généralement en mm/h) (Luyet. V, Vogel. J,2014).

II.2.2. Répartition mensuelle des précipitations

Pour mesurer la Répartition mensuel des précipitations, il est nécessaire de connaître la quantité de précipitations dans les années successives.

Dans cette étude, nous avons utilisé les données de la station météorologique El Hamma entre 1997 et 2017.

Tableau 6 : précipitation mensuelle enregistrée à la station d'El Hamma (1997-2017).

Mois	Précipitation (Mm)
Janvier	37,5
Février	33,5
Mars	40,2
Avril	45,9
Mai	63,3
Juin	27,3
Juillet	15,7
Août	35
Septembre	52,9
Octobre	39,8
Novembre	39,4
Décembre	39,4

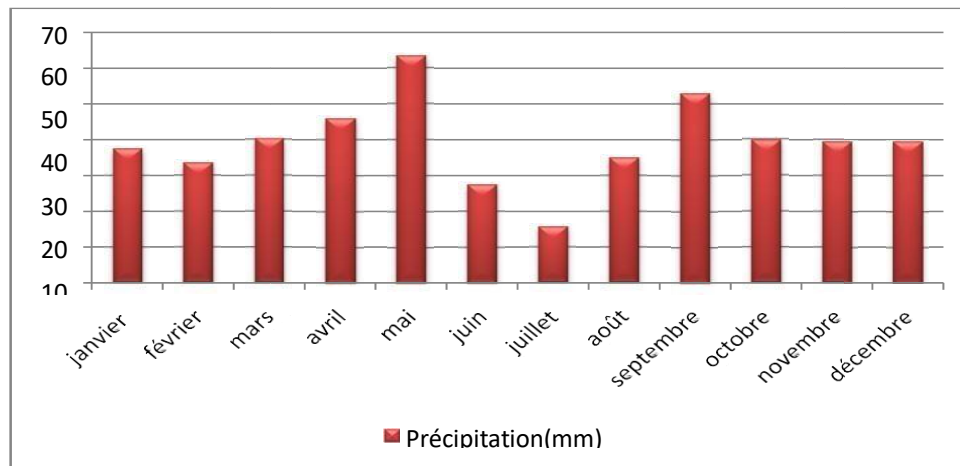


Figure n° 05 : Histogramme de variation des Précipitation moyennes mensuelles (1997-2017).

Les données pluviométriques (Fig.05) montrent que la moyenne mensuelle est environ de 35 mm. Le mois le moins pluvieux est le mois de juillet avec 15.7 mm, cependant, les quantités les plus élevées sont observées au mois de novembre avec 63.3 mm.

II.2.2. Répartition annuelle des précipitations

Les précipitations annuelles n’ont qu’une valeur indicatrice, le plus important c’est leur répartition mensuelle et saisonnière.

On remarque qu’il y’a une irrégularité de la répartition annuelle des précipitations, l’année la plus pluvieuse est celle de (2011) avec une précipitation de 626,3 mm ; alors, que le minimum est enregistré en (2017) avec une précipitation de 276 mm.

Tableau 7 : Précipitation moyenne annuelle d’El Hamma (1997-2017).

Mois	Précipitation (mm)	Mois	Précipitation (mm)	Mois	Précipitation (mm)
1997	538	2004	623.6	2011	626.3
1998	413	2005	368.3	2012	388.3
1999	516.4	2006	583.6	2013	515.1
2000	311	2007	508.2	2014	394.9
2001	357.4	2008	520.5	2015	506.9
2002	417	2009	614.9	2016	318.4
2003	550.2	2010	529.1	2017	276

Source (SMH, 2017)

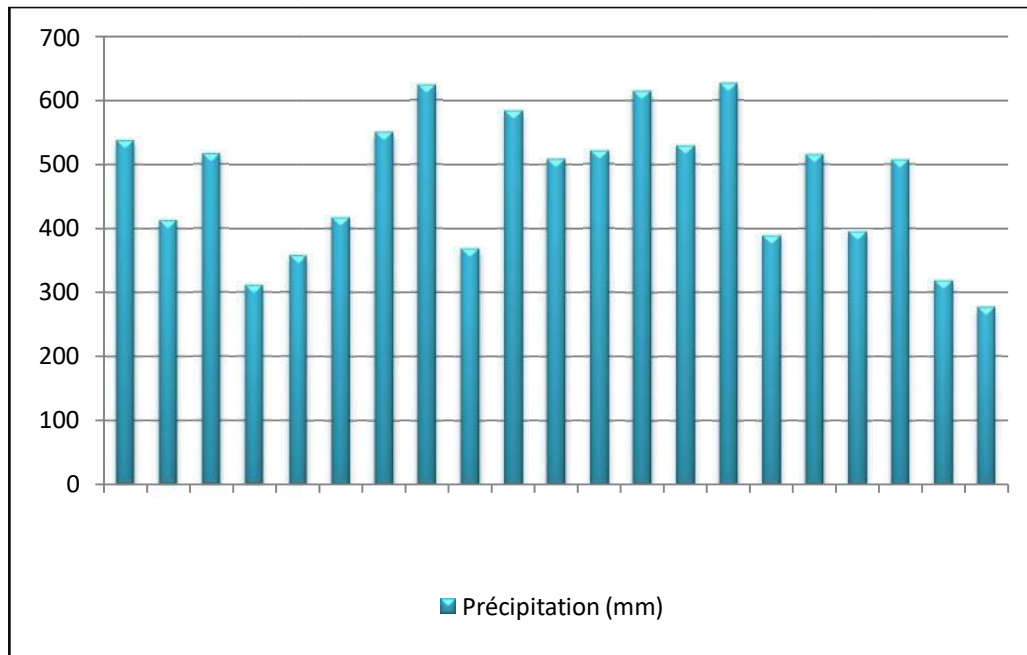


Figure n° 06 : Histogramme de variation des précipitations moyennes annuelles (1997-2017).

III. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

Le diagramme Ombrothermique permet d'estimer les éléments de climat d'une région de points de vue précipitation et température pendant une période donnée et permet également de préciser les périodes sèches et humides.

Selon Gausсен une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales inférieures ou égales au double de la température : $P \leq 2T \Rightarrow$ période sèche.

Une période humide est une période pendant laquelle les précipitations totales égales au double de la température :

Avec

$$P=2T$$

P : précipitations moyenne mensuelle en (mm).

T : température moyenne mensuelle en (C°).

Le diagramme de Gausсен, fournit une représentation plus concrète du climat au cours de l'année.

Tableau 8 : La précipitation et la température moyenne mensuelle (1997-2017).

Mois	P	T(°C)
Janvier	37,5	6,48
Février	33,52	7,43
Mars	40,21	10,61
Avril	45,93	13,95
Mai	63,31	18,40
Juin	27,31	23,44
Juillet	15,78	26,97
Août	35,04	26,21
Septembre	52,98	21,46
Octobre	39,82	16,90
Novembre	39,41	10,99
Décembre	39,46	7,29

Source (SMH, 2017)

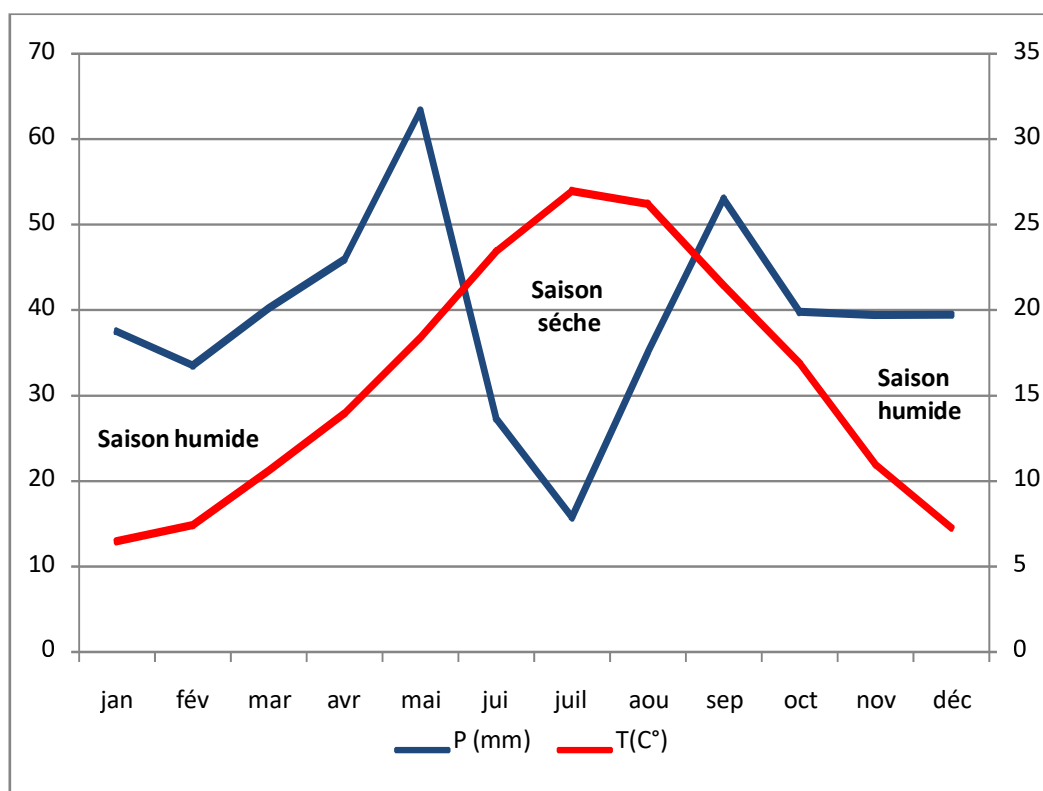


Figure n° 07 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen.

L'analyse de la courbe de Gaussen donne les remarques suivantes

- Lorsque T passe au-dessus de P, la période correspondante est déficitaire (sèche). C'est ce qui se produit de juin à septembre.
- Lorsque P passe au-dessus de T, la période correspondante est excédentaire. Cela se produit d'octobre à fin mai

IV.Détermination de l'étage bioclimatique

Pour caractériser le climat de bassin versant étudiés on utilise le climagramme d'Emberger (Fig.07) qui permet de définir l'étage bioclimatique de la station.

$$Q2 = 2000 P / M^2 - m^2$$

Avec :

P : Précipitations annuelles en mm.

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en degré absolu (k°).

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en degré absolu (k°).

$$(T (K°) = T (C°) + 273.2).$$

Tableau 9 : Les valeurs de Q2.

Station	P (mm)	M		m		Q2
		C°	K°	C°	K°	
EL Hamma	470,3	34.22	307.42	2.4	275.6	50.70

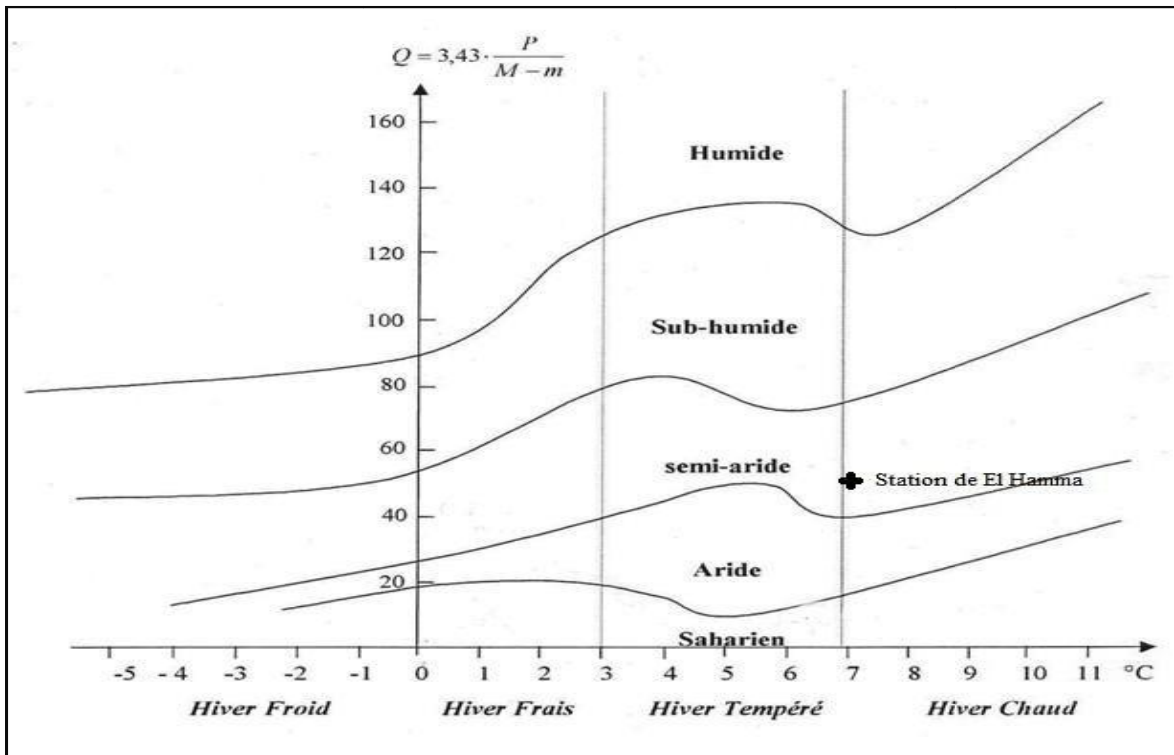


Figure n° 08 : Climagramme d'Emberger.

V. Le bilan hydrique

L'étude du bilan hydrique d'une région permet d'évaluer la répartition des précipitations reçues sur une surface entre ses différents composants (écoulement, infiltration et évaporation).

Il est calculé par la méthode de THORNTHWAITE, cette dernière tient compte de la température, la pluie, l'ETP et la RFU, selon la formule suivante

$$P = ETR + I + R$$

Avec

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Evapo transpiration réelle moyenne annuelle (mm).

I : Infiltration moyenne annuelle (mm).

R : Ruissellement moyen annuel (mm).

V.1. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est en quelque sorte l'exemple de toutes les pertes en eau (la végétation, les nappes libre) par la transformation de cette dernière en valeur.

Donc l'évaporation résulte de deux phénomènes l'un physique (évaporation) et l'autre biologique (transpiration). Elle est en fonction de plusieurs facteurs tels que climat, température, l'isolation et aussi végétation (Mehanna. S ,2016).

V.1.1 L'évaporation potentielle (ETP)

Est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si ceux-ci contiennent en permanence la quantité d'eau suffisante. Elle est estimée par la formule de « THORNTHWAITE » utilisable pour les climats subhumides et semi-arides, selon la formule suivante :

$$ETP = 16 (10t / I)^a \cdot K$$

Avec

ETP : évapotranspiration potentielle annuelle en mm.

T : température moyenne mensuelle en °C.

I : somme des indices thermiques mensuels i.

K : facteur de correction mensuel, fonction de la durée de la journée.

a= un exposant climatique où $a = 0.016I + 0,5$.

$$i = (T / 5) 1.514$$

V.2. L'évapotranspiration réelle (ETR)

V.2.1. Ruissellement

Le ruissellement est la quantité d'eau au cours d'une précipitation échappée à l'infiltration et l'évaporation, il a pour but d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface du sol. (Bouali 2015).

Ce paramètre est très important pour l'étude hydrologique du bassin versant, la lame d'eau ruisselée sera estimée par la formule de Tixeront-Berkaloff .

$$R = P^3 / 3 * (ETP)^2 \text{ si } : P < 600 \text{ mm}$$

Formule de Tixeront Berkaloff modifiée par Romantchouk (1974) .

$$\text{Si } : P > 600 \text{ mm}$$

$$R = P^3 / 3$$

V.3. L'infiltration (I) :

L'infiltration est un paramètre très important du bilan hydrique, elle est définie comme la quantité d'eau franchissant la surface du sol. Elle renouvelle les réserves d'eaux souterraines et entretient le débit de l'écoulement souterrain des sorties après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous sol (Castany 1982).

On a :

$$P = ETR + R + I$$

Donc :

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

Avec

I : L'infiltration en mm.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

ETR : Évapotranspiration réelle annuelle en mm.

R : Ruissellement en mm.

VI. Calcul du bilan hydrique

Les tableaux ci-dessous résument les bilans hydriques pour la station d’El Hamma, établies selon la méthode de Thornthwaite.

Tableau 10 : Bilan hydrique pour la station d’El Hamma.

Mois	P (mm)	Tc°	i	K	ETP (mm)	BH	RFU (mm)	ETR (mm)	DA	EXC
Jan	37.5	6.4	1.4	0.87	10.05	27.45	72.97	10.05	00	27.45
Fév	33.5	7.4	1.8	0.85	12.68	20.82	93.79	12.68	00	20.82
Mar	40.2	10.6	3.1	1.03	27.89	12.31	106.1	27.89	00	12.31
Avr	45.3	13.9	4.7	1.09	45.82	-0.52	105.58	45.3	0.52	00
Mai	63.3	18.4	7.1	1.21	86.9	-23.6	81.98	63.3	23.61	00
Juin	27.3	23.4	10.3	1.21	130.8	-103.5	00	27.3	103.5	00
Juil	15.7	26.9	12.7	1.23	162.28	-146.5	00	15.7	145.58	00
Août	35	26.2	12.2	1.16	153.6	-118.6	00	35	118.6	00
Sep	52.9	21.4	8.9	1.03	92.68	-39.78	00	52.9	39.78	00
Oct	37.9	16.9	6.3	0.97	57.56	-19.66	00	37.9	19.69	00
Nov	39.2	10.9	3.2	0.86	23.41	15.79	15.79	23.4	15.79	15.8
Déc	42.2	7.2	1.7	0.84	12.47	29.73	45.43	12.47	29.73	29.73
Tot	471	15.8	73.4		816.13	-346.13		363.89	496.77	106.11

DA : le déficit agricole est le déficit entre ETP et ETR donc : $DA=ETP-ETR$

EXC : l'excédent c'est la quantité d'eau pouvant s'écouler lorsque l'ETP et RFU sont satisfaits

donc :

EXC=P-ETR

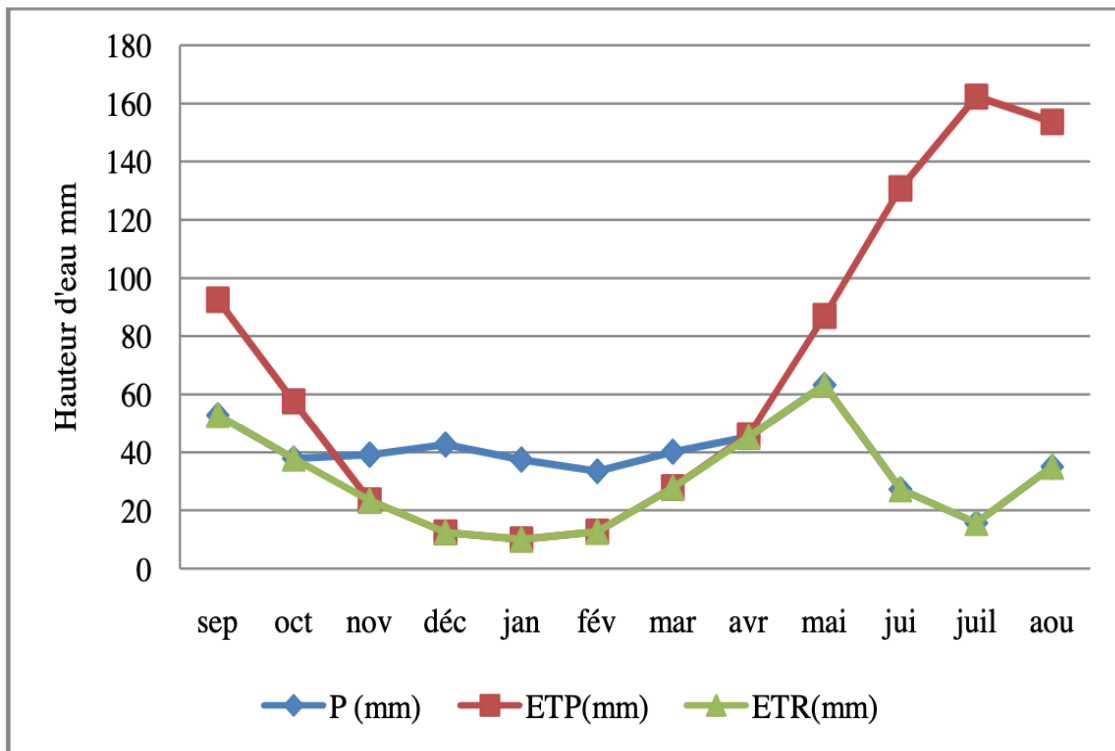


Figure n° 09 : Représentation graphique du bilan d’eau de Thornthwaite de la station d’El Hamma (1997/2017).

VI.1 Interprétation du bilan hydrologique

Après avoir calculé le bilan d’eau de la station d’El Hamma et d’après la représentation graphique du bilan selon la méthode de Thornthwaite (carte n°10), on constate que :

Le bilan d’eau établi par la méthode de Thornthwaite a montré que l’ETP atteint son maximum au mois de Juillet (162,28 mm) et son minimum au mois de Janvier (10,05 mm)

L’observation du graphe du bilan hydrologique nous permet de dire qu’il existe deux périodes la première est déficitaire ou l’ETP est importante à partir de mois d’avril jusqu’au mois d’octobre, dans cette période les sols sont secs et leur niveau de la réserve hydrique est nul, rendant la nécessité de l’irrigation. La deuxième période est humide qui commence à partir du mois de novembre ou les précipitations couvrent les besoins de l’évapotranspiration potentielle et permettent la reconstitution du stock qui s’accompagne d’une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les mois de décembre et mai. Toute la pluie non retenue par la couche superficielle du sol, s’infiltré et rejoint la zone saturée. Au-delà de cette période, la réserve commence à diminuer jusqu’à l’épuisement du stock.

VII.Le vent

Le vent est un des éléments les plus caractéristiques du climat car la sensation de chaleur ou le transfert d'énergie dépend principalement dans une large mesure de sa force, lui confère un intérêt important en matière de connaissance des vitesses maximal dont la région est soumise.

Les potentialités d'évapotranspiration sont également liées aux mouvements de l'air qui conditionnent les variations du bilan hydrique a l'échelle des valeurs moyennes mensuelles et annuelles. (Bahi. A ,2016)

Les vents sont caractérisés par leurs directions, leurs vitesses et leurs intensités.

Tableau 11 : La vitesse moyenne du vent (m/s) enregistrée à la station d'El Hamma (1997-2017).

Mois	V_{moy} (m/s)
Jan	24,5
Fév	25,5
Mar	27,9
Avr	29
Mai	27,7
Jui	28
Juil	27,3
Août	27,06
Sep	27,1
Oct	25,7
Nov	27,5
Déc	24,4
Tot	24,5

Source (SMH 1997-2017)

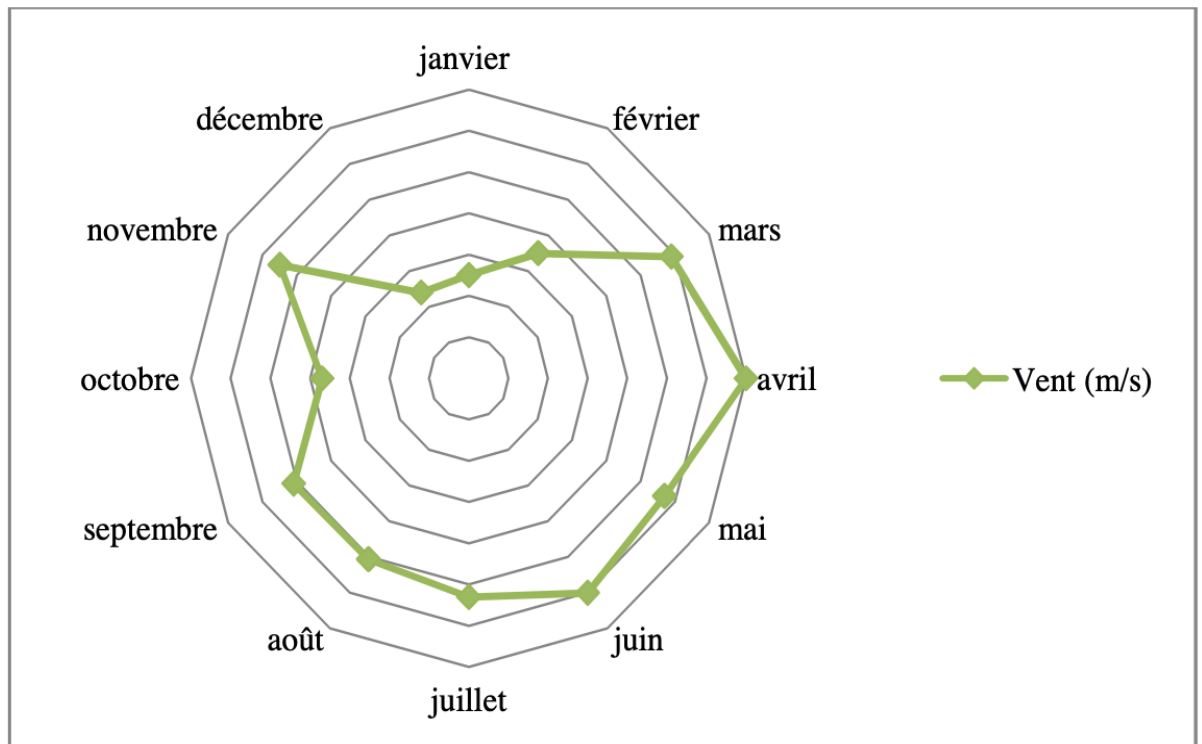


Figure n° 10 : La répartition moyenne de la vitesse du vent (1997- 2017).

VIII.L'humidité

L'humidité représente la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, sans compter l'eau liquide et la glace. On doit distinguer l'humidité relative et l'humidité absolue. L'humidité relative joue un rôle sur la formation du brouillard, de la rosée et des nuages.

L'humidité représente la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, sans compter l'eau liquide et la glace. On doit distinguer l'humidité relative et l'humidité absolue. L'humidité relative joue un rôle sur la formation du brouillard, de la rosée et des nuages.

En général, quand on parle de mesure d'humidité, on fait allusion à l'humidité relative exprimée en %. L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante à la même température et pression. Ce rapport changera si on change la température ou la pression(Vincent. L et Vogel. J, 2014).

Tableau 12 : L'Humidité enregistrée à la station la période (1997-2017).

Mois	Humidité %
Janvier	70,6
Février	64
Mars	60,6
Avril	57,25
Mai	53
Juin	42,5
Juillet	40
Août	41
Septembre	57.16
Octobre	55
Novembre	65.33
Décembre	69

Source (SMH, 2017)

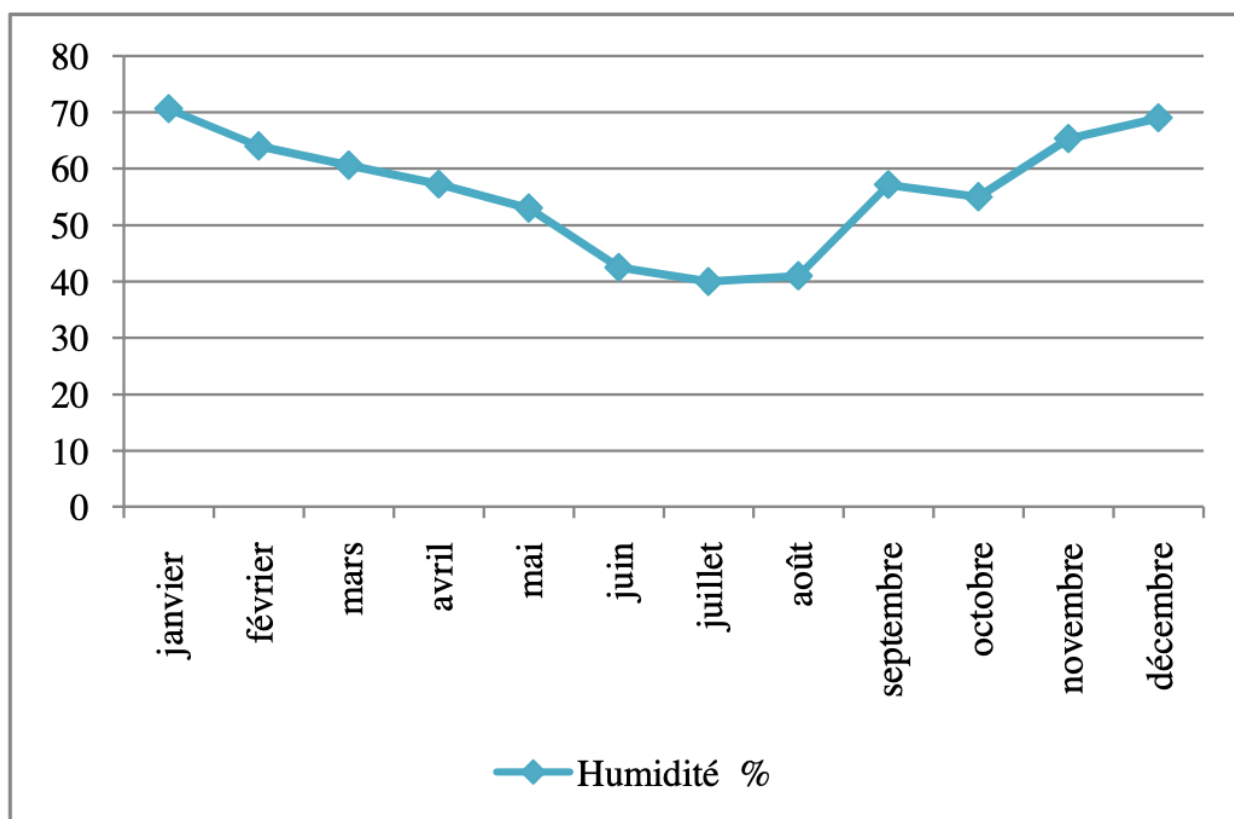


Figure n°11 : L'Humidité enregistrée à la station la période (1997-2017).

Les valeurs de l'humidité relative sont relativement homogènes elles varient entre 40% et 70.6%. L'humidité de l'air dans la plaine de Mellagou est caractérisée.

Au cours d'une journée de la période estivale (juin, juillet, et août), la température étant élevée, nous aurons une humidité journalière faible à moyenne 40 à 42.5% et inversement, durant la nuit par dissipation de la température ambiante et l'humidité tend à augmenter.

Par contre, durant la période hivernale (janvier, février, décembre), la température étant faible et nous remarquons une humidité élevée et atteindre entre 69 à 70.6%.

Conclusion

Le climat de cette région est méditerranéen, semi-aride, avec deux saisons différentes, l'une peut pluvieuse froide allant du mois de novembre jusqu'au mois de mars, et l'autre sèche chaude qui va du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre. Les précipitations sont assez rares, voire absentes en été, et faibles à moyennes en hiver. La moyenne annuelle est de l'ordre de 365 mm, qui est égal à l'évapotranspiration réelle (ETR). Ce dernier traduit d'un côté l'absence de réserve facilement utilisable (RFU) durant toute l'année, et d'un autre côté le déficit agricole (DEF) durant 06 mois.

Chapitre IV
Hydrogéochimique

Introduction

Chaque étude hydro-chimique permet de déterminer l'origine et les niveaux de contamination des eaux souterraines.

L'interprétation des analyses a pour but de déterminer le faciès chimique, la genèse et l'origine des éléments.

Durant le mois d'Avril 2023 notre investigation sur le terrain s'est effectuée sur l'échantillonnage qui a été réalisé sur 12 forages dans la région de Mellagou (fig. 12). Les analyses ont été prises en charge dans le laboratoire de l'hamma

Les paramètres qui en ont été sujet d'analyse sont les suivants

- Paramètres physiques : (pH, conductivité température)

- Paramètres chimiques : éléments majeurs

*Les cations : Calcium (Ca^{2+}), Magnésium (Mg^{2+}), Potassium (K^+), et Sodium (Na^+) ;

*Les anions : Sulfate (SO_4^{2-}) Chlorure (Cl^-)

I. Méthodes et stratégie de travail

I.1. Échantillonnage

Les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques sont prélevés dans des flacons en Polyéthylène à partir des points d'eau (forages) répartis spatialement d'une manière régulière (carte n° 12) dans la zone d'étude. Ces flacons sont rincés à maintes reprises à l'eau distillée et égouttés avant d'introduire à l'intérieur de chaque flacon l'eau en question à analyser.

I.2. Analyses physico-chimique

I.2.1. Mesures in situ : deux paramètres physiques ont été mesurés *in situ*, immédiatement après prélèvement de l'échantillon à l'aide de différents appareils de la même marque WTW.

a. Le pH

La mesure a été effectuée par potentiométrie.

***Appareil** : pH-mètre type WTW 197i.

***Étalon** : solution tampon ; pH =7, pH=4, pH=9.

b. La conductivité électrique (CE)

La mesure a été effectuée par conductimétrie.

***Appareil** : conductimètre WTW 197i.

***Étalon** : solution de KCl WTW.

I.2.2. Analyse des éléments chimiques (au laboratoire)

a. Le sodium (Na⁺) et le potassium (K⁺)

Les paramètres ont été déterminés par spectrophotomètre à flamme.

***Appareil** : un spectrophotomètre à flamme type (JENWAY).

***Étalon** : solution NaCl 0.1 mg/l et KCl 0.1 mg/l.

b. Les chlorures (Cl)

Ont été déterminé par colorimétrie.

***Appareil** : appareil de titrage (burette et bécher gradué).

Réactifs : chromate de potassium, nitrates d'argent AgNO₃, 0.02N.

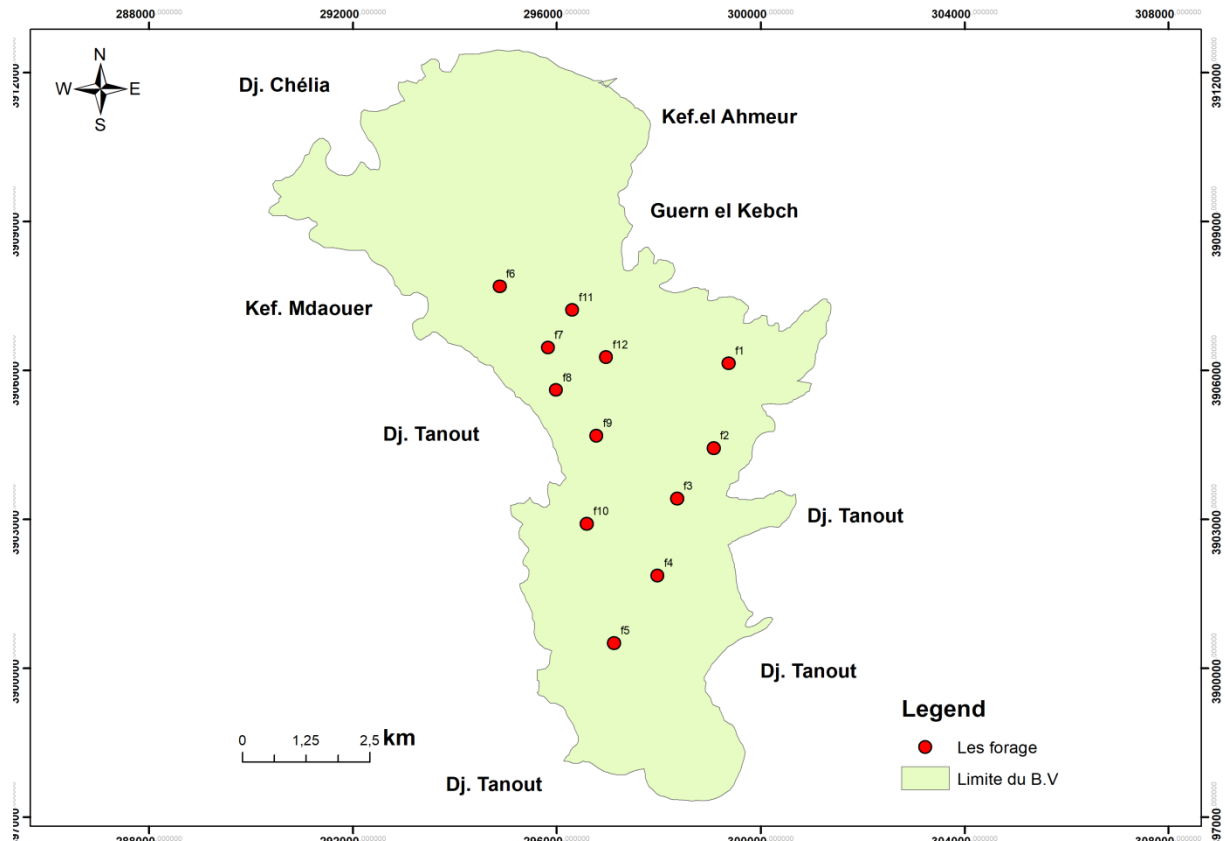
***Étalon** : solution NaCl 0.1 g/l.

c. Les sulfates (SO₄⁻²)

Ces éléments ont été déterminés par spectrométrie.

***Appareil** : spectromètre type (HACH DR/2010).

Réactifs : En gélule le SULFA VER4 pour les sulfates.



Carte n°12 : Carte d'inventaire des des eaux de la zone d'étude(Avril 2023).

II. Variation spatiale des paramètres physico- chimiques

II.1. Paramètres physiques

Ces paramètres sont très importants, car ils jouent un rôle majeur dans la solubilité de l'eau et aident à la détermination de son origine, pour cela, on va étudier trois paramètres, la température, le PH et la conductivité électrique.

II.1.1. La Température

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Les résultats des mesures de la température des eaux souterraines de la région d'étude montrent une valeur maximale de 22°C aux forages F8, F9, F10, F11 et F12 et une température minimale de 18°C au forage F1, avec une moyenne autour de 20°C.

L'examen de la carte d'évolution des températures des eaux (carte.13), montre que la température de ces eaux est en équilibre avec la température annuelle moyenne de l'air (17 à 23°C)

représentées par des échantillons prélevés dans les niveaux superficiels, qui reflètent les conditions thermiques locales (Houha, 2007 ; Belkoum, 2017).

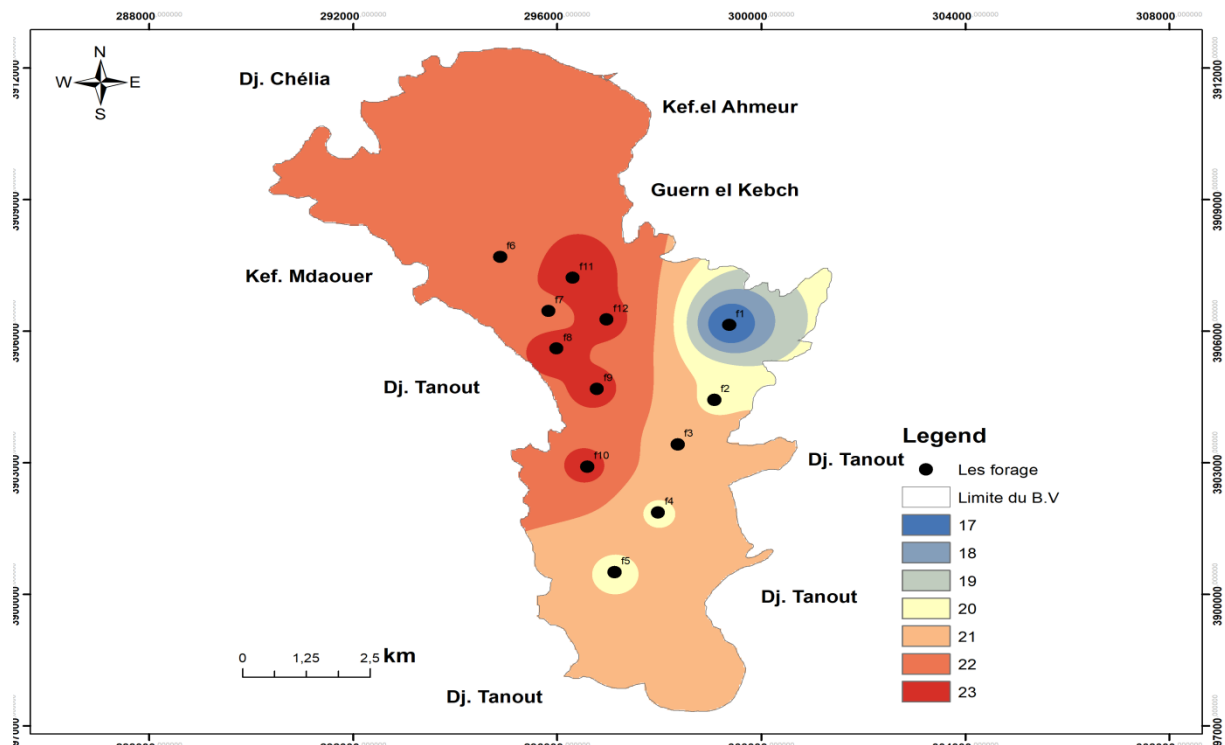
II.1.2. Le potentiel hydrogène (Ph)

Le potentiel hydrogène est liée principalement à la nature lithologique des terrains traversés. Il constitue le mode de représentation de la concentration en ion H^+ d'une solution, c'est- à- dire l'alcalinité ou l'acidité du chimisme du milieu. Il est exprimé par le log décimal de l'inverse de la concentration en ion H^+ .

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

L'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique

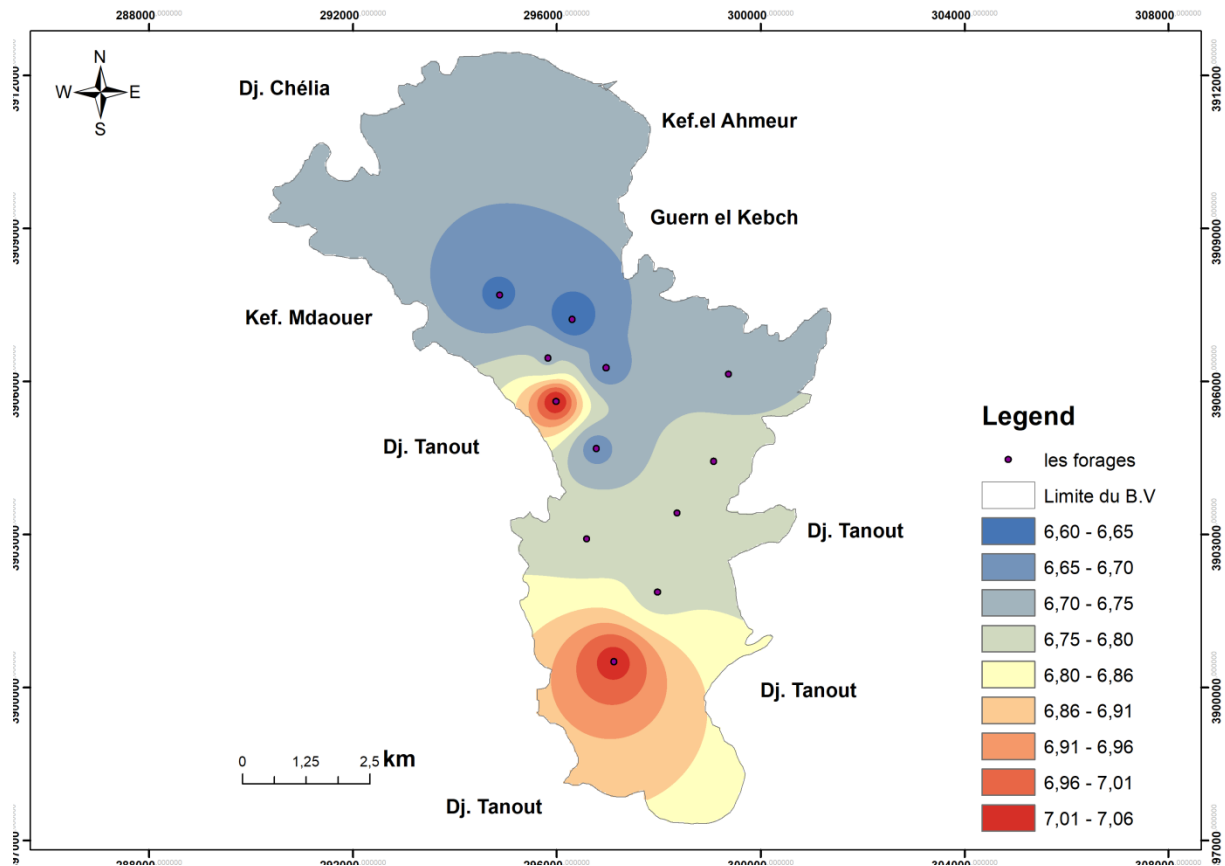
- Si $[H^+] = [OH^-] \rightarrow$ Le pH = 7, donc l'eau est neutre.
- Si $[H^+] > [OH^-] \rightarrow$ Le pH < 7, donc l'eau est acide.
- Si $[H^+] < [OH^-] \rightarrow$ Le pH > 7, donc l'eau est basique.



Carte n°13 : Carte de répartition des températures (°C) des eaux de la zone d'étude.

Le pH des eaux de la zone d'étude varie entre 6,67(F4) et 7,4 (F8) (fig.14). La moyenne est de l'ordre de 7,16. En général, les eaux sont neutres à alcalines. Ceci est lié à la nature des roches

présentes dans la région et qui sont essentiellement constituées de roches sédimentaires à composante carbonatée importante.



Carte n°14 : Carte de répartition des Ph des eaux de la zone d'étude.

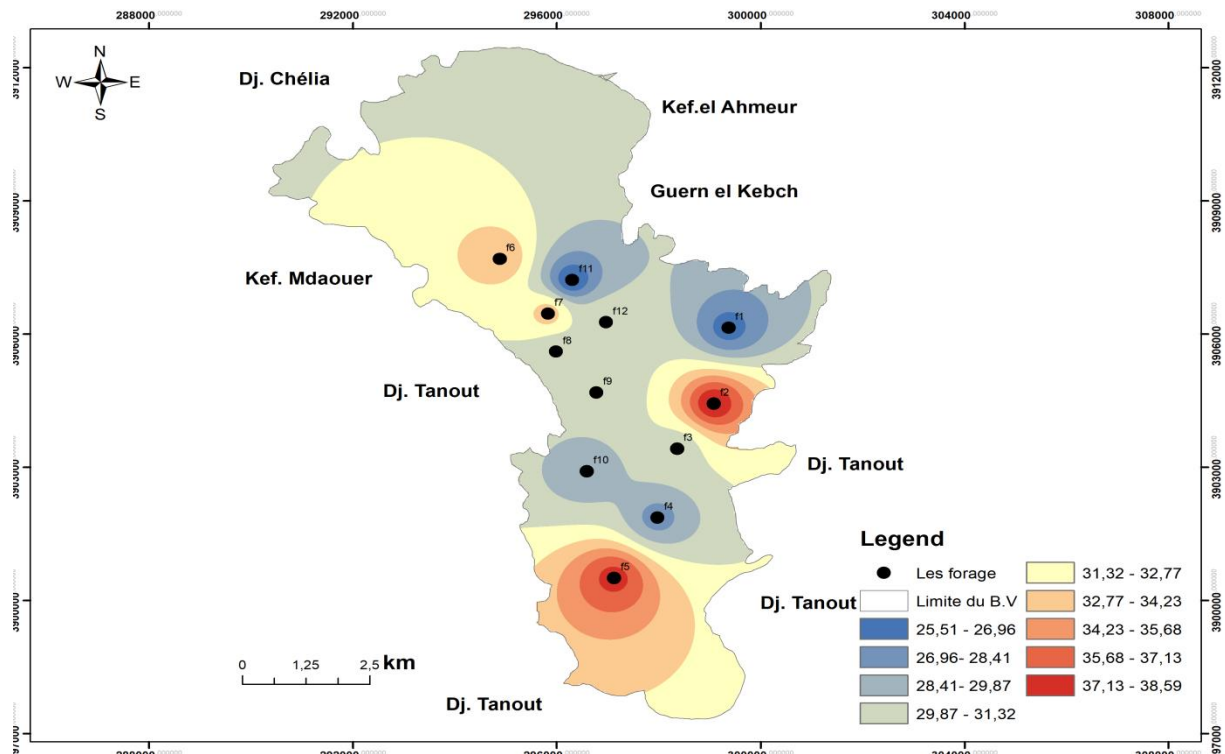
II.1.3. Conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique des eaux souterraines de la zone d'étude ont été mesurées sur terrain et sont exprimées en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductivité électrique est un moyen important d'investigation en hydrogéologie. Sa mesure est précise et rapide. Sa variation est liée à la nature des sels dissous et de leur concentration.

Les valeurs de la conductivité des eaux de la région d'étude varient entre 2550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (F11) et 3860 (F2) $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A l'aval, la minéralisation des eaux augmente et présente des teneurs élevées. L'hétérogénéité du remplissage alluvionnaire enrichi d'évaporites, la texture des dépôts détritiques et la vitesse d'écoulement des eaux seraient à l'origine de l'augmentation de la conductivité des eaux.



Carte n°15 : Carte de répartition des conductivités (c25°C).

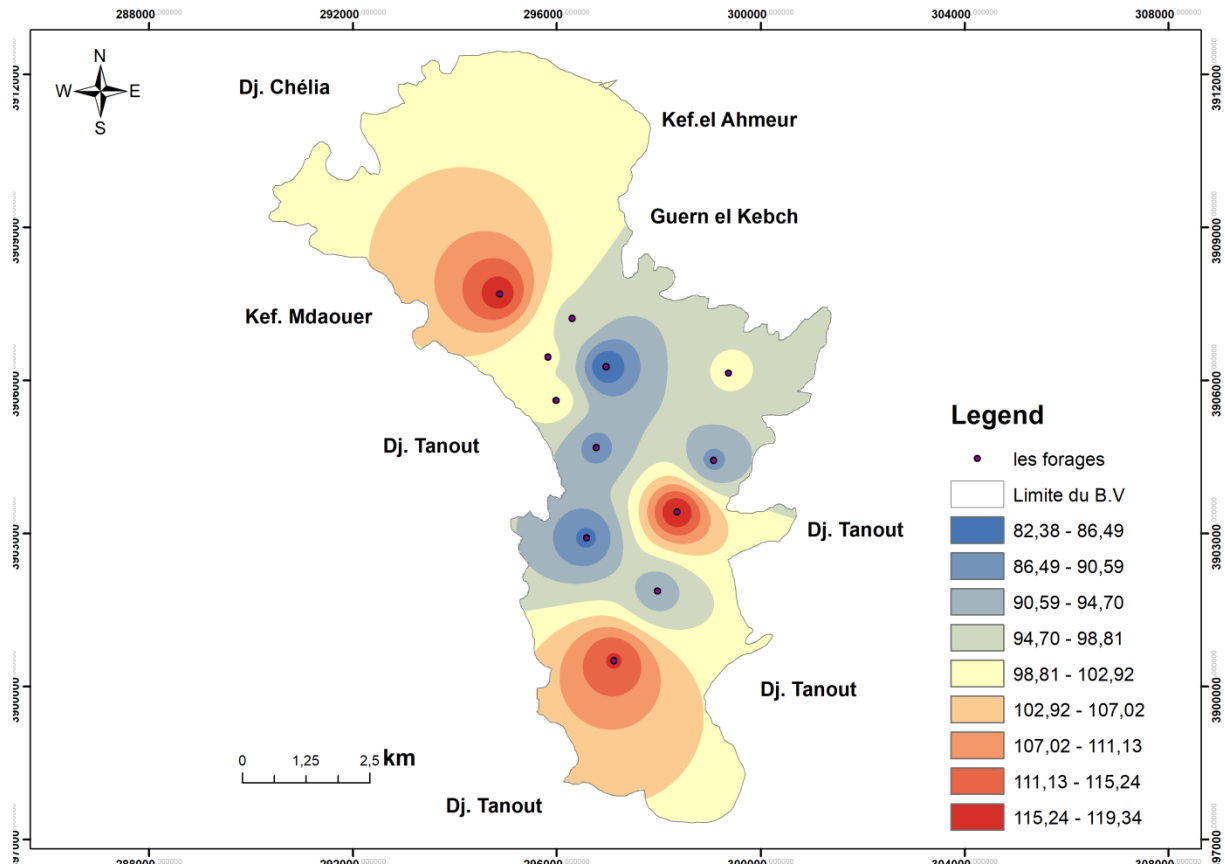
II.2. Evaluation spatiale des éléments chimiques majeurs

II.2.1. Le calcium (Ca⁺⁺)

Les ions de calcium existants dans l'eau proviennent de la dissolution des carbonates et de roches gypseuses. Pour les roches carbonatées, l'apparition du calcium résulte de la dissolution des formations (CaCO₃) par l'attaque chimique des eaux en présence du gaz carbonique (CO₂).



Les concentrations des ions de calcium oscillent entre 82,36 mg/l (F12) et 119,36 mg/l (F3). En amont du bassin, les valeurs sont relativement faibles, car les eaux souterraines ne sont pas trop minéralisées et proviennent de la dissolution des formations carbonatées de bordures. Les fortes teneurs apparaissent au forage (F3,F6,F5) on pense qu'elles résultent de la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃) et les dépôts évaporitiques provenant de Djebel Tanout et Djebel Mdaouer.

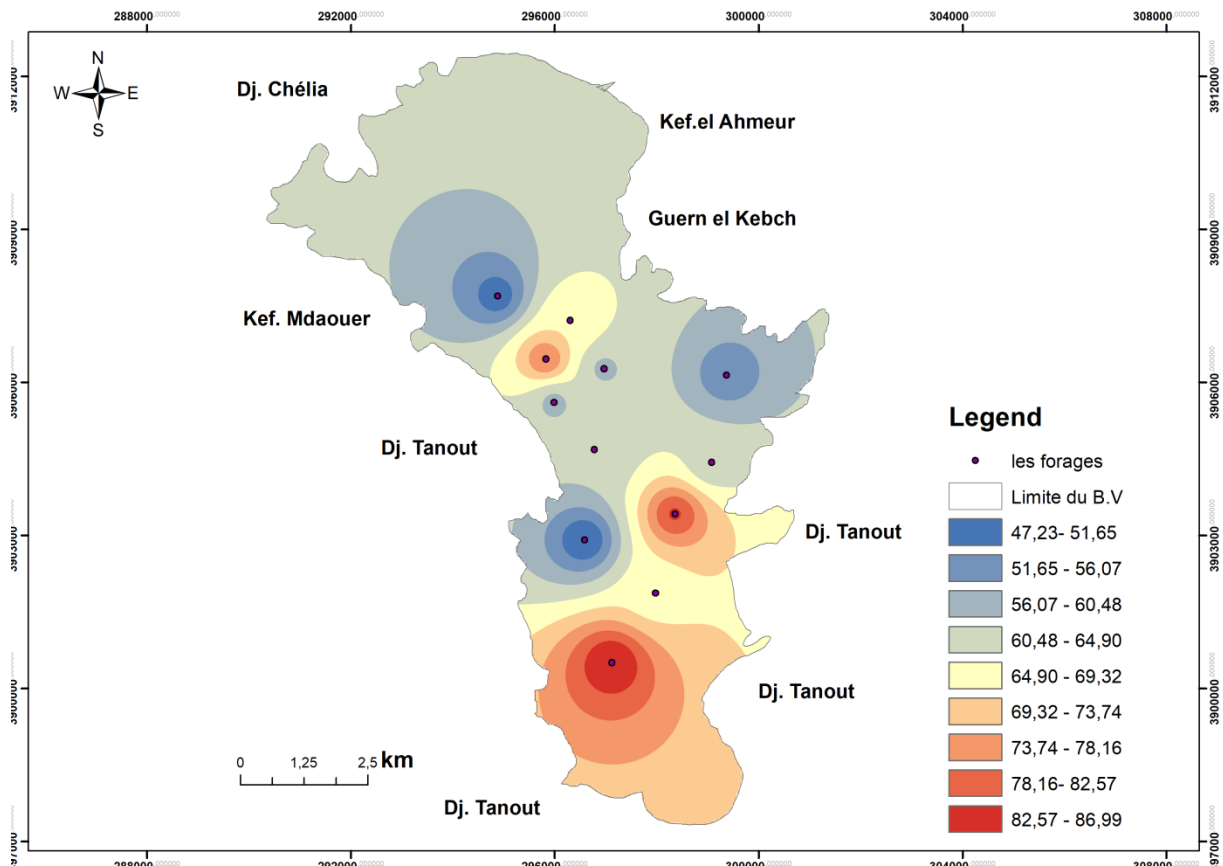


Carte n°16 : Carte de répartition des concentrations de Ca (mg/l).

II.2.2. Le Magnésium (Mg⁺⁺)

L'existence du magnésium dans les eaux résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations dolomitiques, c'est-à-dire la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium, ou bien par les formations salifères riches en magnésium « MgSO₄ ». La réaction chimique est accentuée par la présence de l'acide carbonique présente dans l'eau. (Vallès, 1985)

L'examen de la carte (carte.17) montre que Les teneurs de magnésium oscillent entre 47,23 mg/l (F10) et 87 mg/l F(5). Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite) de Djebel Tanout.

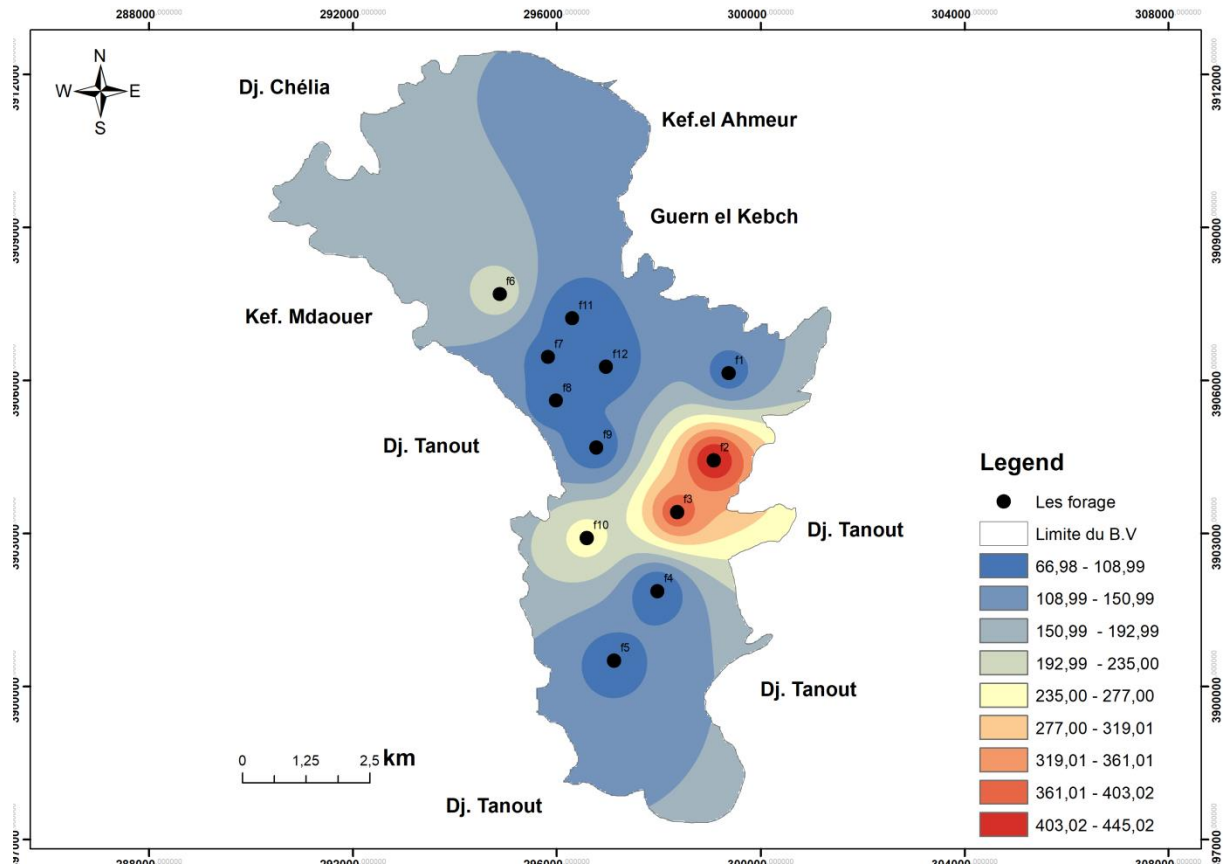


Carte n°17 : Carte de répartition des concentrations de Mg (mg/l).

II.2.3. Le Sodium Na⁺ et le potassium K⁺

Le sodium est toujours présent dans les eaux naturelles en proportions très variables, il provient essentiellement de lessivage des formations riches en NaCl. Le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium.

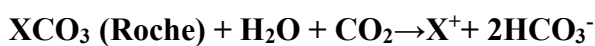
Les concentrations de (Na⁺+K) varient entre 69 mg/l(F4) et 449 mg/l (F2). L'observation de la carte (carte.18) montre que les concentrations sont importantes au Nord-Est de la zone d'étude, Les formations évaporitiques du Trias de Djebel Tnout constituent l'origine du sodium.



Carte n°18 : Carte de répartition des concentrations de Na (mg/l).

II.2.4. Bicarbonates (HCO₃⁻)

Les ions bicarbonatés résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon la relation suivante :



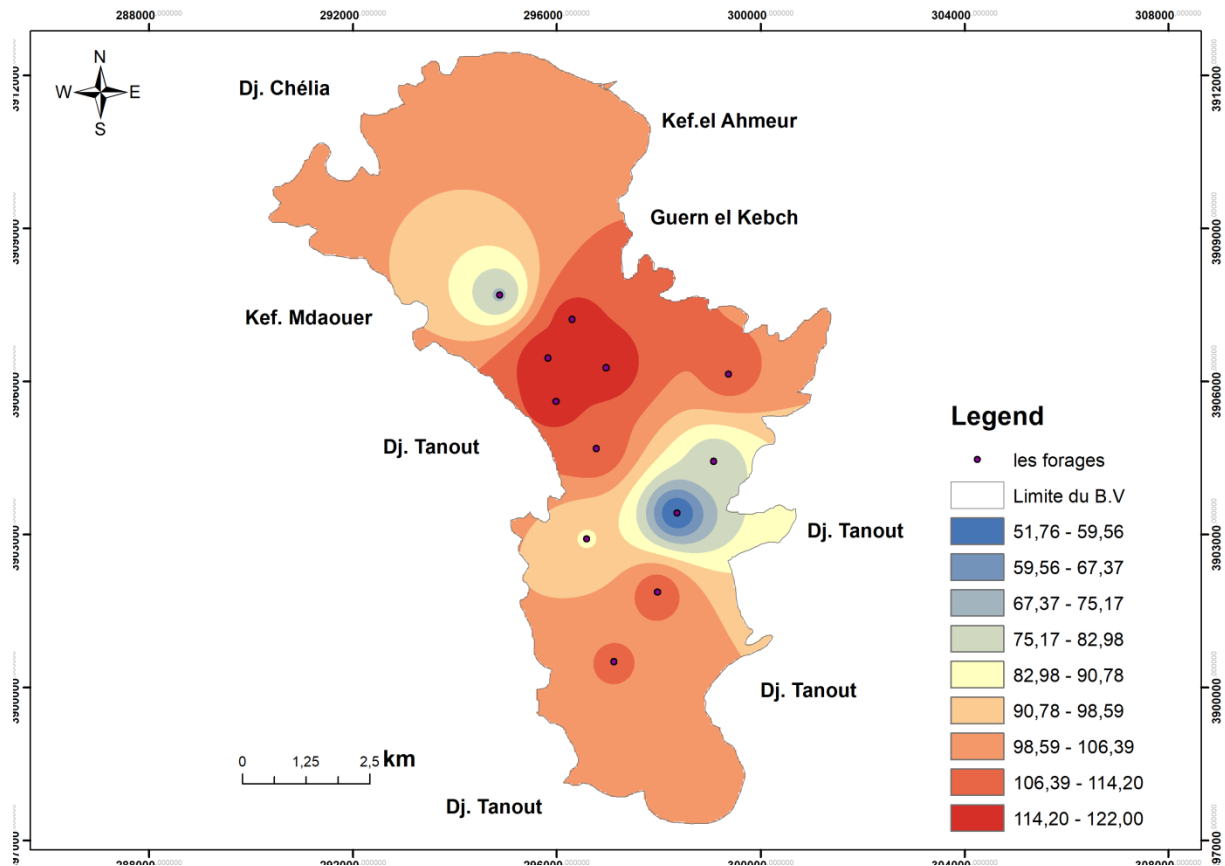
Avec :

X : désigne un élément chimique de la roche.

En d'autres termes, la teneur en (HCO₃⁻) dans l'eau dépend d'un certains nombres de paramètres physico-chimiques à savoir :

- la température de l'eau.
- la concentration du (CO₂) dissous.
- la concentration de l'eau en sels ainsi que la nature lithologique des terrains traversés.

Les concentrations en ions bicarbonatés sont variées entre 51,74mg/l (F3) à 122 mg/l (F7). Les valeurs maximales sont rencontrées au niveau des bordures de Djebel Mdaouer et Djebel Guern el kabch, ce qui est dû à la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃), soit la à la dissolution des formations gypseuses Ca Mg (CO₃).



Carte n°19 : Carte de répartition des concentrations de Hco3 (mg/l).

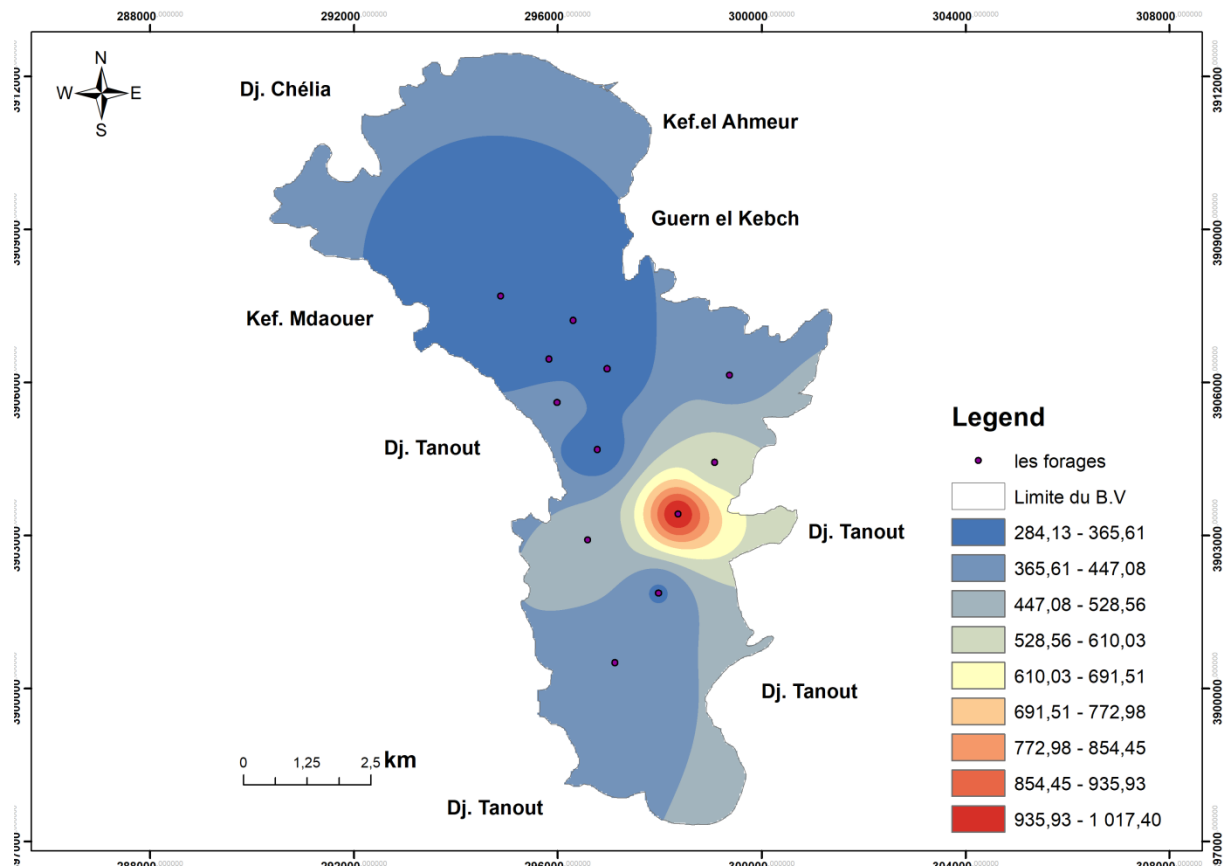
II.2.5. Les chlorures (Cl)

Les chlorures sont des éléments conservés en solution .il ne subissent aucune interaction eau-roche et ne sont pas dégradés en solution. Ils ont pour origines :

- La dissolution des sols naturels et le lessivage des terrains salifères ;
- Les engrais chimiques et les pesticides utilisés en agriculture ;
- Les rejets des eaux usées d'origines domestique et industrielle.

L'observation de la carte des chlorures (carte.20) montre que les teneurs varient entre 284 mg/l(F9) et 1017 mg/l(F3). Cette dernière teneur est mesurée au centre de la zone d'étude. Les argiles et les alluvions du dépôt de remplissage Mio-Plio-Quaternaire et les dépôts salifères,

provenant de l'érosion des formations gypsifères de Djebel Tanout constituent l'origine de ces chlorures. Une deuxième origine serait attachée à l'activité anthropique liée à l'agriculture utilisant dans la région. (Gouiadia, 2008).



Carte n°20 : Carte de répartition des concentrations de Cl (mg/l).

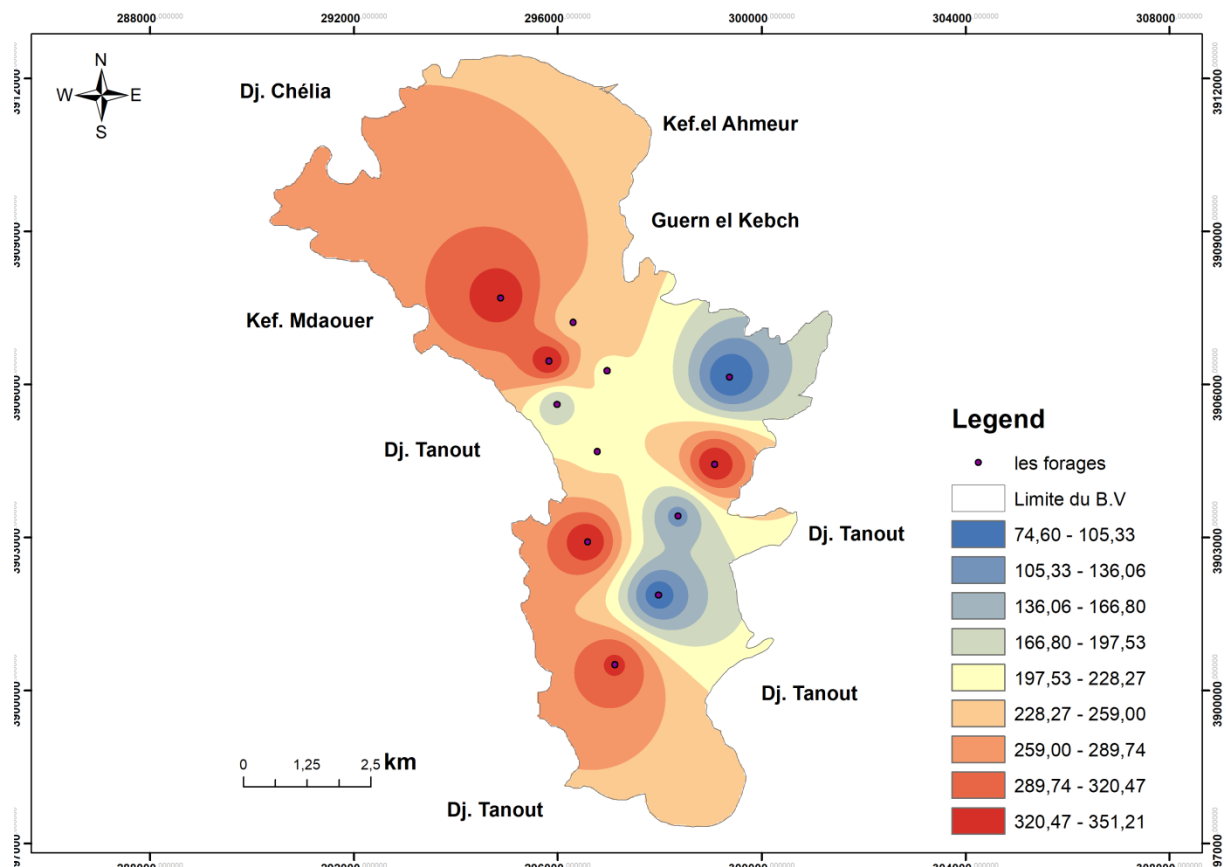
II.2.6. Les sulfates (SO₄⁻²)

La concentration en sulfates des eaux naturelles des terrains à faibles teneurs en minéraux sulfatés est généralement inférieure à 50 mg/l (soit 1,04 méq/l) (Rodier et al, 1984). L'augmentation des sulfates peut provenir en grande partie de la dissolution des minéraux évaporitiques, de l'oxydation du soufre des roches sédimentaires et/ou de pollution urbaine, industrielle et agricole.

La carte représentant les teneurs des sulfates (carte.21), montre que les valeurs varient de 74 mg/l(F1) à 351,54 mg/l(F7).

Les fortes concentrations sont dues, d'une part, à la dissolution des gypses qui sont contenus dans les marnes emschériennes, et d'autre part au lessivage des dépôts évaporitiques, provenant de Djebel Mdaouer.

Une deuxième origine serait attachée à l'activité anthropique liée à l'agriculture utilisant dans la région des produits chimiques riches en sulfates. (Houha 2015)



Carte n°21 : Carte de répartition des concentrations de So4 (mg/l).

II.3. Le faciès chimique des eaux échantillonnées

Les faciès hydrochimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité de permettre une comparaison aisée voire de classer les eaux naturelles selon les échantillons analysés a induit l'utilisation de représentation graphique. De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer, le diagramme à coordonnées rayonnantes, le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff et le diagramme de Piper. Ce sont ces deux dernières représentations graphiques qui ont été retenues et utilisées dans ce travail.

II.3.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eaux. Il est composé de deux triangles équilatéraux à la base surmontés d'un losange au milieu permettant de représenter le faciès hydro-chimiques des eaux par rapport à

la concentration relatives des cations et des anions. Ce type de diagramme est particulièrement adapté pour étudier l'évolution du faciès des eaux lorsque la minéralité augmente ou bien pour distinguer des groupes d'échantillons.

Le diagramme de Piper appliqué aux eaux échantillons (fig. 21) montre une évolution du faciès chimique des eaux depuis le pôle chlorurée calcique et magnésienne vers un faciès de type hyper chlorurée sodique.

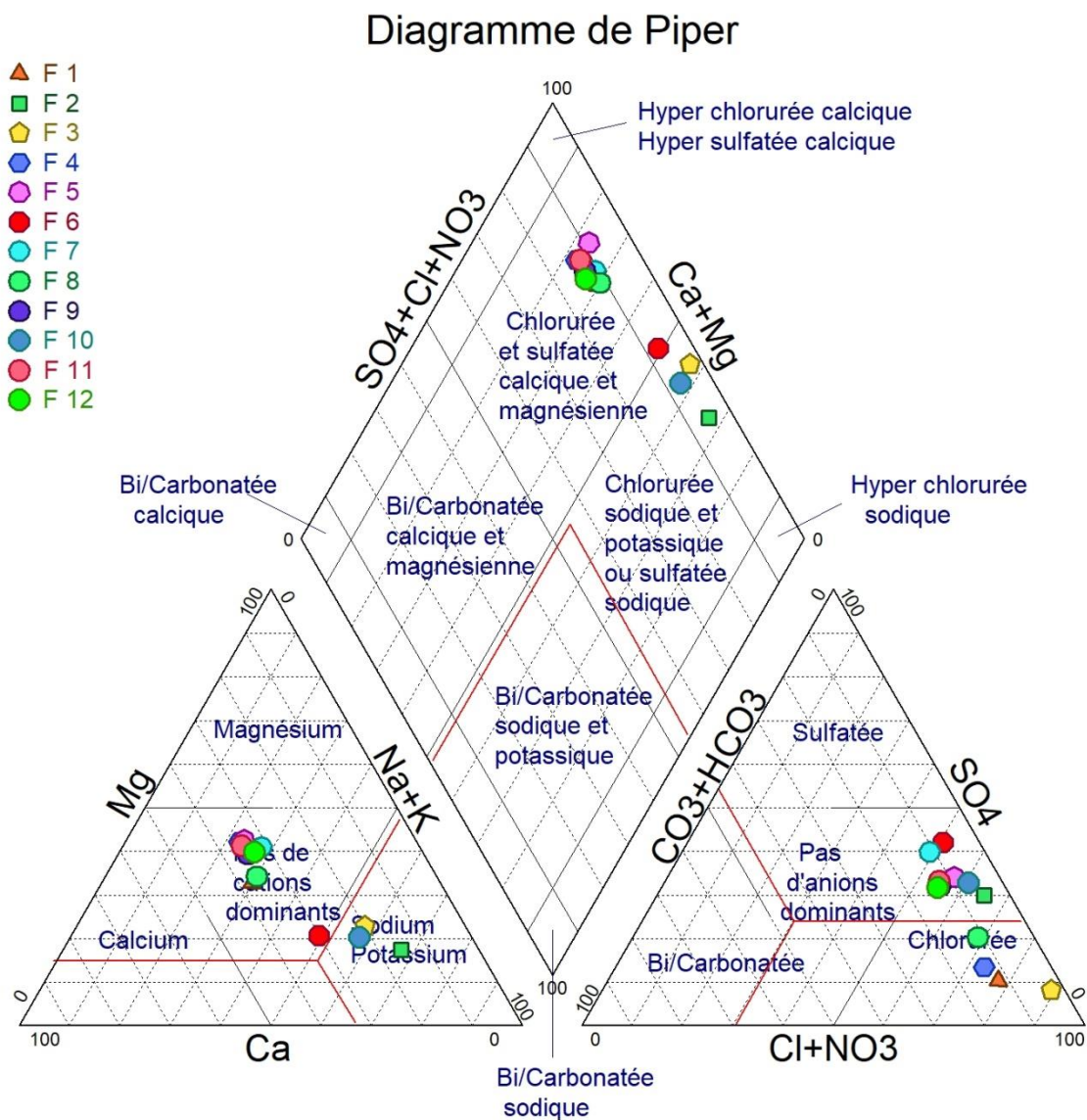


Figure n°12 : Diagramme de Piper des eaux souterraines de Mellagou.

II.3.2. Diagramme de Schoëller et Berkalov

Le diagramme de Schoëller-Berkalov permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques.

Un groupe d'eau de minéralité variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence. (Gouiadia, 2008)

Il est ainsi possible de visualiser le faciès chimique, comme pour le diagramme de Piper, mais aussi la minéralisation de l'eau (sa charge dissoute), ce qui est appréciable. Toutefois, la visualisation du faciès est moins aisée qu'avec le diagramme de Piper.

La représentation graphique des résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (fig. 22), montre que certaines eaux sont issues d'un même aquifère.

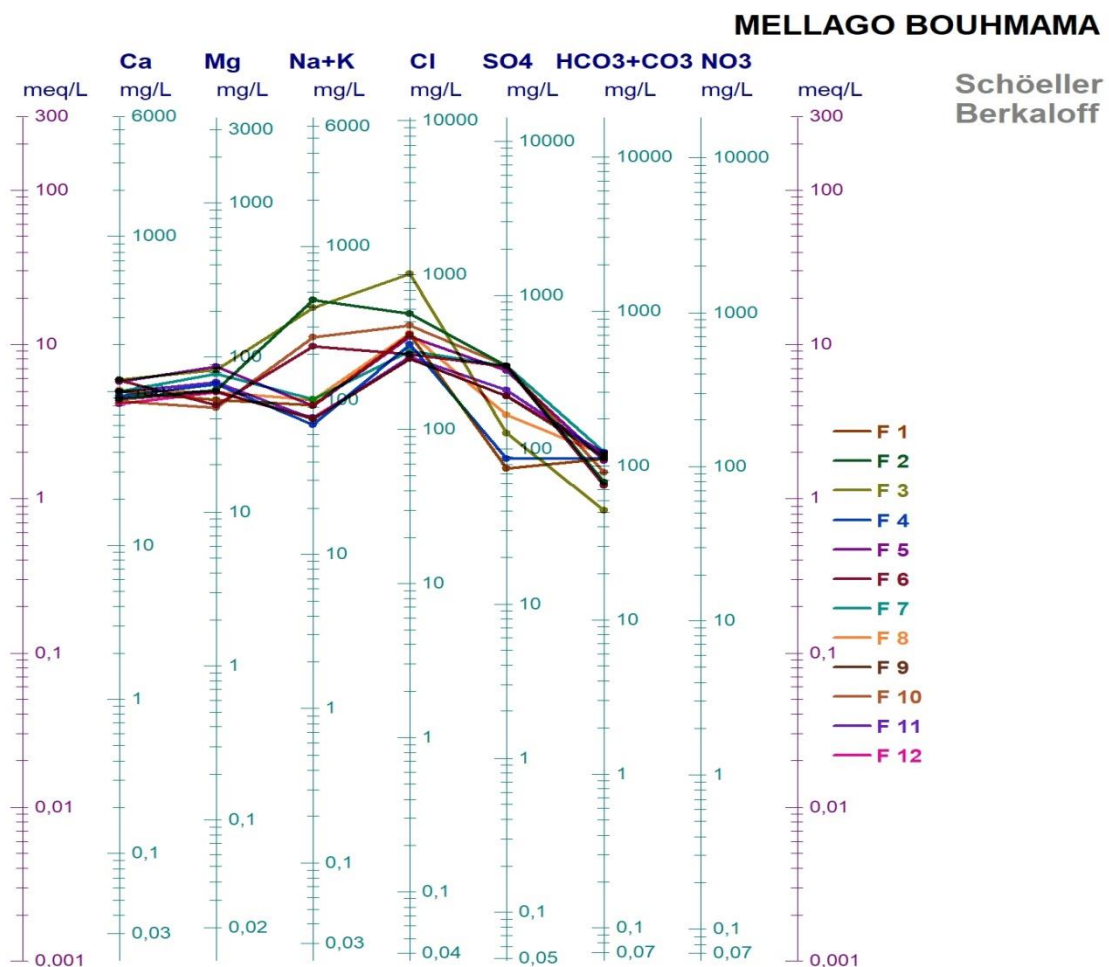


Figure n°13 : Diagramme Schoeller-Berkaloff des eaux souterraines de Mellagou.

Conclusion

L'étude hydrogéochimique a montré que l'évolution du faciès chimique des eaux se fait d'abord du pôle chlorurée calcique et magnésienne vers un faciès de type hyper chlorurée sodique. Ces faciès chimiques sont déterminés par l'interaction eau-roches, la dissolution et les précipitations minérales, à travers les échanges cationiques tout au long de l'écoulement de l'eau vers son exutoire. L'infiltration des eaux d'irrigation chargées en sels et fertilisants dans les périmètres irrigués est un processus secondaire de minéralisation des eaux du bassin de Mellagou.

Conclusion



CONCLUSION GENERALE

La vallée d'Oued Mellagou situé au Nord-Est de territoire Algérien, fait partie de grand bassin versant Chott Melghir. La plaine de Mellagou est située 30 km au Sud – Ouest du chef-lieu de la Willaya de Khenchela, 15 km au Sud – Ouest de Kais, Enivrent de 50 km de Sud – Est de la Willaya de Batna.

La commune de Bouhmama est caractérisée par trois grandes unités topographiques à savoir, la zone de montagne, les piémonts, et la zone de la plaine. L'étude géologique de la région laisse apparaître l'existence d'un étage géologique prédominance des terrains secondaires (Crétacé supérieur, moyen et inférieur) avec des faciès très variés allant des marnes aux calcaires en passant par les marno-calcaires et les grès, les terrains quaternaires ne sont présents que dans la vallée d'Oued Mellagou.

Le climat de cette région est méditerranéen, semi-aride, avec deux saisons différentes, l'une peut pluvieuse froide allant du mois de novembre jusqu'au mois de mars, et l'autre sèche chaude qui va du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre. Les précipitations sont assez rares, voire absentes en été, et faibles à moyennes en hiver. La moyenne annuelle est de l'ordre de 365 mm, qui est égal à l'évapotranspiration réelle (ETR). Ce dernier traduit d'un côté l'absence de réserve facilement utilisable (RFU) durant toute l'année, et d'un autre côté le déficit agricole (DEF) durant 06 mois.

L'étude hydrogéochimique a montré que l'évolution du faciès chimique des eaux se fait de puis le pôle chlorurée calcique et magnésienne vers un faciès de type hyper chlorurée sodique. Ces faciès chimiques sont déterminés par l'interaction eau-roches, la dissolution et les précipitations minérales, à travers les échanges cationiques tout au long de l'écoulement de l'eau vers son exutoire. L'infiltration des eaux d'irrigation chargées en sels et fertilisants dans les périmètres irrigués est un processus secondaire de minéralisation des eaux du bassin de Mellagou.

Recommandations :

- La sensation des populations sur l'importance de ce patrimoine et l'obligatoire de le conserver.
- La bonne gestion des ressources en eaux.
- Recherche des nouvelles méthodes d'irrigation ou de drainage pour réduire le gaspillage d'eau.
- Pour une exploitation durable des eaux souterraines, il faut réaliser des retenues collinaires et des bassins de stockage, des eaux de pluie.
- Construire un réseau de surveillance et de contrôle de la qualité des eaux.

Références bibliographiques





LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIES



- **A.N.R.H:** Agence Nationale des Ressources Hydriques de Constantine.
- **Anonyme (2012)** : Les auteurs : bureau d'études pluridisciplinaire d'assistance et conscients, révision du plan directeur d'aménagement et d'urbanisation de la commune de Bouhmama 1ere phase août 2012.
- **Babana.Ch, Sebaa. H (2018)** : Evaluation de la qualité des eaux (salinité éléments nutritifs et métaux lourds). Cas de la plaine de Mellagou (Bouhmama-Khenchela-NE Algérien).
- **Bahi.A(2016)** : Achèvement des travaux de l'étude d'impact sur l'environnement et qualité des eaux *du petit barrage lazreg* wilaya de Khenchela.
- **Belkoum.N, Houha.B (2017)** : Hydrochemistry and isotopic geochemistry contribution to the characterization of the aquifers of the upper Plains of Algeria, case of the basin of Chemora, oriental Algeria. *Journal of Materials and Environmental Sciences* 2017, 8(9), pp. 3262-3268
- **Bermond. R et Perrdon .C (1979)** : Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement Paris, 259pages.
- **Blum. A, Barbier.J, Chery.I, Petelet-Giraud.E (2001)** : Contribution à la caractérisation des états de référence géochimique des eaux souterraines. Outils et méthodologie. BRGM/RP-51093-FR.
- **Bouali. H, Berkane.W (2015)** : Contribution à l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la plaine de Mellagou, (Bouhmama N-W Khenchela) diplôme de master, Ecologie et l'environnement, khenchela.
- **Boutebba.I, Boutebba.Y, Guercif.S (2021)** : Aptitude à l'irrigation des eaux usées traitées par la station d'épuration de la commune de Kais (Khenchela).
- **Brinis.N, Brinis.N, Boudoukha.A, Ahmed Hamel.A (2015)** : Analyse statistique et géochimique de la dynamique des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines du synclinal de Ghassira Algérie orientale. *Larhyss Journal* 22, pp. 123-137.
- **Colin. A (2007)** : les climats.
- **D.H.W.K:** direction d'hydraulique de la wilaya de Khenchela, service des statistiques Mai 2012.
- **Direction de planification statistique 2010.**

- **Djelloul.M, Saidi.N (2017)** : Caractérisation hydro-chimique des eaux souterraines et son aptitude à l'irrigation, cas de la plaine de Mellagou (Bouhmama-Khenchela).
- **DPAT** : Direction de planification et d'aménagement des territoires Avril, 2012 service des statistique monographique de la wilaya de Khenchela.
- **Gaagai.A (2009)** : Etude hydrologique et hydrochimique du Bassin versant du barrage de Babar sur Oued El Arabe région Est de l'Algérie. Mémoire Magister, université de Batna Faculté des sciences de l'Ingénieurs, Département d'Hydraulique.
- **ANDI (2013)** : Agence Nationale de Développement de l'Investissement 2013 Pages.
- **Gouïadia.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. Thèse de Doctorat. Départ. Géologie, Uni. Annaba.
- **Gourcy.L, Giraud-Petelet.E (2011)** : Utilisation des outils isotopiques pour la délimitation des aires d'alimentation des captages destinés à l'alimentation en eau potable. Report BRGM/RP-59729-FR, 62 p., 22 Ill.
- **Guiraud. R (1973)** : Evolution post-triasique de l'avant- pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Thèse Doctorat, Univ. Nice.
- **Hassad.S (2017)** : Caractérisation géochimique et isotopique des eaux souterraines du plateau de mellagou bouhmama. Khenchela- algerie.
- **Houha.B (1996)** : Qualité des eaux de khenchela, étude hydro- chimique, mémoire de magistère, Univ D'Annaba.
- **Houha.B (2007)** : Etude du fonctionnement hydrogéochimique et salin d'un bassin semi-aride. Remila-khenchela. Doctorate thesis, university of Annaba, Algeria.
- **Houha.B (2015)** : Using contribution of stable isotopes (^{18}O and ^2H) in the estimation of recharging altitudes of thermal sources in Aures massif. Algeria, Dissertation, university of Constantine.
- **Laffitte. R (1939)** : Etude géologique de l'Aurès. Thèse, Paris, Bull Serv. CarteGéol. Algérie.
- **Luyet. V, Vogel. J (2014)** : Climat, météo et atmosphère.
- **Recensement Générale de la Population et de l'Habitat 2008.**
- **Mehanna. S, Meguellati.K (2016)** : Qualité physico- chimique de la nappe phréatique et son impact sur les sols de la plain de Remila (Khenchela) université Batna mémoire master.
- **Reminiéras.G 1986)** : L'hydrologie de l'ingénieur 2ème édition.

- **Samak. H (2002)** : Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001.
- **Siad.L, Nezzar.D (2017)** : Etude du Processus Hydrogéochimique des Eaux de la plaine de Mellagou- Bouhmama-Khenchela.
- **Station Météorologique de Bouhmama Wilaya de Khenchela** (donnés climatiques de la (1992-2010).
- **Vila.J.M (1977)** : Carte géologique de l'Algérie et notices explicatives.

LES SITES INTERNET CONSULTES

<http://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/dioxyde-de-silicium/>

<https://www.canada.ca> document-technique-sodium

<http://www.inrs.fr/htm/ft27.pdf>

https://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Physico_chimie_PresGen.pdf