



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABBES LAGHROUR –KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT: Ecologie & Environnement

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

FILIERE: Ecologie et l'environnement

OPTION: Ecologie et l'environnement

Thème

**Contribution à l'étude hydrochimique des eaux
souterraines de la plaine de Mellagou,
(Bouhmama N-W Khenchela)**

Présenté par:

BOUALI Horiya

BERKANE Widad

Soutenu le:16/06/2015.

Jury de soutenance:

Président : Mr. Ziouche Omar Ramzi MCB

Univ. Khenchela

Encadreur: Mr. Boulabeiz Mahrez MAA

Univ. Khenchela

Examineur: Mr. Daif allah Tarek MAA

Univ. Khenchela

Promotion: Juin 2015

Table des matières

REMERCIEMENTS.....	I
RESUMES.....	II
LISTE DES FIGURES.....	III
LISTE DES CARTES.....	IV
LISTE DES TABLEAUX.....	V
LISTE DES ABREVIATIONS.....	VI
INTRODUCTION GENERALE.....	01

I. Partie bibliographique

Chapitre 01 : Présentation de la zone d'étude

I. Présentation générale de la Wilaya de Khenchela	02
1. Situation géographique.....	02
2. Situation administratif.....	02
3. Situation démographique.....	04
4. Le milieu physique.....	04
5. Le climat.....	06
6. L'hydrogéologie de la Wilaya de Khenchela.....	06
II. Présentation générale de la région de Bouhmama.....	08
1. La situation géographique	08
2. La population	10
3. Les ressources naturelles.....	14
4. Les ressources forestière.....	18
5. Les caractéristiques pédologiques.....	19
6. L'occupation du sol.....	21
7. Les parcours.....	21

Chapitre 02 : Etude géologique

Introduction.....	23
I. La géomorphologie de la région d'étude	23
1. Unités topographique.....	23
1.1. La zone des montagnes.....	23
1.2.La zone des piémonts.....	23
1.3. la zone de plaine.....	23

2. Le Relief de Bouhmama :	23
3. Les Pentas	24
4. Aperçu pédologique de la région de Bouhmama.....	26
II. La géologie de la région d'étude.....	27
1. La stratigraphie	29
1.1. Le Quaternaire	29
1.2. Les formations secondaires	29
1.2.1. Le Crétacé	29
a. Le Crétacé supérieure.....	29
b. Le Crétacé moyen	30
c. Le Crétacé Inférieur	30
1.2.2. Le Trias	31
2. Les mouvements tectonique dans l région d'étude	32
Conclusion.....	32

Chapitre 03 : Etude climatologique

Introduction.....	33
1. Le réseau de mesure et origine des données.....	33
2. La climatologie	34
A. Les facteurs climatiques.....	34
1. La température.....	34
2. L'Humidité.....	36
3. Les précipitations.....	37
B. Les factures secondaires.....	41
1. Les vents.....	41
2. Les gelées	41
3. La neige.....	42
4. Les grêles.....	43
3. Détermination de la période sèche, et humide (diagramme Ombro-Thermique).....	43
A. Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte.....	44
B. Détermination de l'étage bioclimatique.....	45
4. Le bilan hydrologique.....	48
5. Méthode du bilan hydrique de Thornthwaite.....	50
6. Interprétation des graphes.....	52
7. Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite.....	53
Conclusion.....	53

II. Partie pratique

Chapitre 04 : Etude hydrochimique

Introduction	54
I. Méthodes et stratégie de travail	55
1. Echantillonnage	55
2. Analyse physico-chimiques	55
II. Résultats et discussion.....	56
1. Paramètres physiques.....	56
1.1. pH.	56
1.2. Conductivité électrique(CE).....	57
2. Paramètres chimiques	59
2.1. Cartographie des éléments majeurs.....	59
a. Données et matériels disponibles.....	59
b. Interpolation.....	60
2.2. Cartes des cations dans les eaux souterraines de la plaine de Mellagou.....	61
1. Le Calcium (Ca^{++}).....	61
2. Le Magnésium (Mg^{++}).....	62
3. Le Sodium (Na^+).....	63
4. Le Potassium (K^+).....	64
2. 3. Cartes des anions dans les eaux souterraines de la plaine de Mellagou.....	65
1. Les Chlorures (Cl^-)	65
2. Les Sulfates (SO_4^{--})	65
3. Les Bicarbonates (HCO_3^-).....	66
4. Les Nitrates (NO_3^-).....	67
3. Les couples des éléments chimiques.....	68
4. Les relations entre les éléments chimiques.....	70
5. Origine du chimisme des eaux	71
6. Détermination du faciès chimiques.....	74
6.1. Représentation graphique des résultats	74
7. Eléments en trace métalliques	76
7.1. Le Plomb (Pb)	76
7.2. Le Chrome (Cr)	77
7.3. Le Cuivre (Cu)	78
7.4. L'Aluminium (Al)	78

7.5. Le Fer (Fe)	79
7.6. Le Manganèse (Mn)	80
Conclusion.....	81
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	82
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	VII
ANNEXES.....	VIII

Remerciement

Nous remercions Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces années d'étude.

Au terme de ce travail, nous tiens à remercier ceux qui nous ont aidé à le réaliser, et qu'ils trouvent ici le témoignage de nos profondes reconnaissances.

Nos profondes gratitude s'adressent avant tout au

*Mr: **Boulabeiz Mahrez***

notre encadreur, qui a accepté de diriger notre travail et nous a accordé toute son attention et sa patience pour l'accomplir, nous le remercions pour sa disponibilité, ses précieux conseils scientifiques, son encouragement ainsi que sa gentillesse qui nous a permis de mener à bien ce travail.

Également ont nos jurys:

*Monsieur **Ziouche Omar Ramzi**, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de soutenance. Sans oublier plus son aide, et ses précieux conseils scientifiques.*

*Monsieur **Daif Allah Terk**, qui a en la bienveillance d'accepter de juger ce travail aussi, n'oubliez pas son aide tout le temps.*

Nous exprimons également notre profond remerciement et notre vive gratitude à nos enseignants du département science de la nature et de la vie -Khenchela- .

En fin, un remerciement spécial à tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à l'élaboration de ce travail.

***Bouali .H**
Berkane .W*

DEDICACE

*Au tout puissant Allâh
A toi la louange, Ô la lumière des cieux ; de
la terre et de ce qu'ils renferment.*

*Gloire à toi de nous avoir assisté de ta
lumière et en toute circonstance matin et soir.*

*Je tiens à dédier ce mémoire à
Mes très chères parents qui ont soutenu et
encouragé.*

*Mes beaux-frères : Fateh, Zouhir, Saber, Sif,
Mouhamed, Sami.*

*Mes sœurs : Warda, Zizo, Fouzia et surtout
Kaltoum avec son mari (Tayab).*

*Mes toutes les fleurs de mon cœur : Houari,
Houriya, Noura, Hasna, Yahya, Dahbia, Chahra,
Fadia.*

*En reconnaissance de tous les sacrifices consentis
par tout un chacun pour me permettre d'atteindre
cette étape de ma vie. Avec toute ma tendresse.*

Je dédie ce travail pour la promotion 2015 E&E

Berkane widad





Dédicace



Je dédie ce modeste travail

*À celle qui m'a appris le sens de la vie, mon premier professeur:
«ma mère »*

À mon très cher père

*À mes frères et sœur, je pense à toi très cher frère Abed Annacer,
ton soutien moral ainsi que tes encouragements m'ont conforté
d'avantage pour mener à bien ce présent travail*

À toutes mes cher amies chacun à son nom

Ainsi qu'a tous mes enseignants, particulièrement à mon

Encadreur: Boulabeiz Fouad,

Merci pour votre aide et surtout votre grande patience.

Je dédie ce travail

A la promotion 2015



Bouali Horiya



Résumés

Résumé

Le présent travail a pour objet d'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la plaine de Mellagou -Bouhmama- NE d'Algérie, et la détermination de l'origine de la minéralisation en vue d'établir une cartographie de la qualité des nappes Mio-Plio-Quaternaire. Pour étudier et comparer la répartition spatiale des résultats, des cartes thématiques ont été élaborées en utilisant un Système d'Information Géographique (SIG). L'analyse de la qualité globale des eaux a révélé que 80 % des points contrôlés sont de bonne qualité (faciès sulfaté calcique), 20 % sont de qualité moyenne (forte minéralisation, appartiennent au faciès chloruré sodique).

L'interprétation des rapports de corrélation des éléments chimiques montre que l'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines dépend du substrat géologique traversé.

Mot-clé: NE d'Algérie, Mellagou, Hydrochimie, SIG, Géologie.

Abstract:

This work aims to evaluate the physico-chemical quality of groundwater in the basin of Mellagou -Bouhmama- NE Algeria, and the determination of the mineralization origin in order to established cartography of Mio-Pliocene quaternary aquifers quality. To study and compare the spatial distribution of results, thematic maps were developed using Geographic Information System (GIS). The overall water quality Analysis has revealed that 80% of controlled drillings of good quality (sulphated calcic facies), 20% are of average quality (strong mineralization, belong to chlorinated sodic facies).

The interpretation of correlation ratios of the chemical elements shows that the acquisition of the groundwater mineralization depends on the crossing geological substratum.

Keyword: NE Algeria, Mellagou, Hydrochemistry, GIS, geology.

:
يهدف هذا العمل إلى تقييم نوعية الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية في منطقة سهل ملاقو -
وتحديد أصل فيها رسم خريطة لنوعية المياه الجوفية للعصر ميو-بليوسيني
ومقارنة التوزيعية باستخدام نظام المعلومات الجغرافية (SIG).
تحليل نوعية المياه حيث 80 هذه العينات ذات نوعية جيدة (سيلفات الكالسيوم) 20% من نوعية متوسطة
(تنتمي إلى كلوريد الصوديوم).
تحليل تقارير الخصائص الكيميائية
المفتاحية: هيدروكيمياة الجغرافية، الجيولوجيا.
تمعدن المياه الجوفية يتعلق الركيزة الجيولوجية.

Liste des figures

LISTE DES FIGURES

<i>N° de figure</i>	<i>Titre de figure</i>	<i>Page</i>
<i>CAPITRE 01</i>		
Figure N°01	La répartition des zones naturelles de la wilaya de Khenchela	P 04
Figure N°02	Répartition de la population de la commune de Bouhmama au RGPH 2008	P 11
Figure N°03	Evolution de la population à travers les différents RGPH	P 13
Figure N°04	Evolution de la population par dispersion de 1987 à 2010	P 14
<i>CHAPITRE 03</i>		
Figure N°05	Répartitions de la température moyenne mensuelle de Bouhmama (1992-2010)	P 34
Figure N° 06	La répartition des températures moyenne (max, min, et moy) de la station de Bouhmama pendant la période (1992-2000)	P 35
Figure N° 07	Humidité relative mensuelle moyenne de Bouhmama (1992-2010)	P 36
Figure N° 08	Précipitation moyenne mensuelle de Bouhmama (1992-2010)	P 37
Figure N° 09	Précipitation moyenne annuelle de Bouhmama (1992-2008)	P 38
Figure N° 10	Les variations de coefficient pluviométrique en fonction des années	P 39
Figure N° 11	La répartition moyenne du vent de Bouhmama (2000 – 2010)	P 41
Figure N° 12	La répartition moyenne de gelés du Bouhmama (2000 2010	P 42
Figure N° 13	La répartition moyenne de la neige du Bouhmama (2000-2010)	P 42
Figure N° 14	La répartition moyenne des grêles du Bouhmama (2000-2010)	P 43
Figure N° 15	Diagramme Ombro-thermique	P 45
Figure N°16	Abaque de l'indice de l'aridité annuelle De.Martonne	P 46
Figure N°17	Climagramme de L'emberger	P 47
Figure N°18	Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques de la station de Bouhmama (1992-2010	P 51
Figure N° 19	Variations mensuelles des résultats du bilan hydrique	P 52
<i>CHAPITRE 04</i>		
Figure N° 20	La plaine de Mellagou (droit),et la vallée d'oued Mellagou (gouache)	P 54
Figure N° 21	Variations spatiale des valeurs moyennes de pH	P 57

Figure N° 22	Les valeurs de la conductivité électrique dans les eaux souterraines de la plaine de Mellagou pendant la période (Avril 2015)	P 58
Figure N° 23	Phase d'application de l'Arc Gis 10.1	P 60
Figure N° 24	Méthode utilisé pour la réalisation de la carte de concentration	P 61
Figure N° 25	La relation Chlorures-sodium dans les eaux souterraines (Avril 2005)	P 69
Figure N° 26	La relation sulfate-calcium dans les eaux souterraines (Avril 2015)	P 69
Figure N° 27	La relation sulfates sodium dans les eaux souterraines de la plaine de Mellagou (Avril 2015)	P 70
Figure N° 28	La relation Magnésium calcium dans les eaux souterraines de la plaine de Mellagou (Avril 2015)	P 70
Figure N° 29	Le couple $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$ (Avril 2015)	P 71
Figure N° 30	Echange de base (Avril 2015)	P 72
Figure N° 31	Le couple $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{++}$	P 73
Figure N° 32	Les couples $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) / \text{Ca}^{++}$	P 73
Figure N° 33	Représentation de Piper des eaux souterraines de Bouhmama (Avril 2015)	P 75
Figure N° 34	Représentation de Scholler-Berkaloff des eaux souterraines (10 Forages) de Bouhmama (Avril 2015)	P 75
Figure N° 35	Histogramme des variations de la teneur en Plomb (Pb en ppb dans les eaux souterraines de la région de Bouhmama (Avril 2015	P 77
Figure N° 36	Histogramme des variations de la teneur en Chrome (Cr en ppb dans les eaux souterraines de la région de Bouhmama (Avril 2015	P 77
Figure N° 37	Histogramme des variations des teneurs de cuivre (Cu en ppb dans les eaux souterraines de la région de Bouhmama (Avril 2015	P 78
Figure N° 38	Histogramme des variations des teneurs d'Aluminium (Al en ppb dans les eaux souterraines de la région de Bouhmama (Avril 2015	P 79
Figure N° 39	Histogramme des variations des teneurs de Fer (Fe en ppb dans les eaux souterraines de la région de Bouhmama (Avril 2015	P 79
Figure N° 40	Histogramme des variations des teneurs de manganèse (Mn en ppb dans les eaux souterraines de la région de Bouhmama (Avril 2015	P 80

Liste des cartes

LISTE DES CARTES

N° de carte	Titre de carte	Page
<i>CHAPITRE 01</i>		
Carte N° 01	Situation géographique de la Wilaya de Khenchela	P 03
Carte N° 02	Les reliefs de la wilaya de Khenchela	P 05
Carte N° 03	Carte des principales zones aquifères	P 07
Carte N° 04	Localisation administrative de la commune de Bouhmama	P 09
Carte N° 05	Le couvert forestier naturel de bassin versant d'Oued Mellagou	P 19
Carte N° 06	La répartition des unités de sols à travers la zone d'étude	P 20
Carte N° 07	Occupation de sol de bassin versant d'Oued Mellagou	P 22
<i>CHAPITRE 02</i>		
Carte N° 08	Carte topographique de Khenchela au 1/50 000	P 24
Carte N° 09	Carte des pentes de bassin versant d'Oued Mellagou	P 25
Carte N° 10	Schéma structural simplifié (D'après J.M.VILA)	P 28
Carte N° 11	Carte géologique de la commune de Bouhmama	P 31
<i>CHAPITRE 03</i>		
Carte N° 12	Carte des précipitations annuelle moyenne de la plaine de Mellagou Wilaya de Khenchela	P 40
<i>CHAPITRE 04</i>		
Carte N° 13	Carte d'inventaire des points de prélèvements	P 56
Carte N° 14	Carte de conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de la plaine de Mellagou	P 58
Carte N° 15	Carte de concentration de Calcium (Ca^{++} en mg/l)	P 62
Carte N° 16	Carte de concentration de Magnésium (Mg^{+2} en mg/l)	P 63
Carte N° 17	Carte de concentration de Sodium (Na^+ en mg/l)	P 64
Carte N° 18	Carte de concentration de Potassium (K^+ en mg/l)	P 64
Carte N° 19	Carte de concentration de Chlorure (Cl^- en mg/l)	P 65
Carte N° 20	Carte de concentration de Sulfate (SO_4^{--} en mg/l)	P 66
Carte N° 21	Carte de concentration de Bicarbonate (HCO_3^- en mg/l)	P 67
Carte N° 22	Carte de concentration de Nitrate (NO_3^- mg/l)	P 68
Carte N° 23	Carte de faciès hydrochimique (Avril 2015)	P 76

Liste des tableaux

LISTE DES TABLEAUX

<i>N° de tableau</i>	<i>Titre de tableau</i>	<i>Page</i>
CHAPITRE 01		
Tableau N° 01	Répartition de la population par dispersion	P 10
Tableau N° 02	Répartition de la population par dispersion en Avril 2008	P 11
Tableau N° 03	Taux d'accroissement % par an	P 12
Tableau N° 04	Taux d'accroissement par dispersion % par an	P 12
Tableau N° 05	Tableau de l'évolution de la population à travers les différents RGPH	P 12
Tableau N° 06	Evolution de la population par dispersion	P 13
Tableau N° 07	Production végétales Qtx / an 2010/2011	P 16
Tableau N° 08	Répartition du cheptel 2010/2011	P 16
Tableau N° 09	Production animale année 2011	P 17
Tableau N° 10	Les superficies par unité	P 18
CHAPITRE 02		
Tableau N° 11	Principales unité de sols et opportunités de mise en valeur	P 27
CHAPITRE 03		
Tableau N° 12	Caractéristiques de la station de Bouhmama	P 33
Tableau N° 13	Température enregistrée a la station de Bouhmama (1992-2000)	P 35
Tableau N° 14	Valeurs du coefficient pluviométrique d'après la formule précédente de la station de Bouhmama pour une série d'observation de (1992 -2008).	P 38
Tableau N° 15	La vitesse moyenne du vent (km/h enregistrée à la station de Bouhmama	P 41
Tableau N° 16	Nbre des jours de tomber de gelée enregistrée à la station de Bouhmama	P 41
Tableau N° 17	N ^{bre} des jours de tomber de neige enregistrée à la station de Bouhmama	P 42
Tableau N° 18	N ^{bre} des jours de tomber de grêles enregistrée à la station de Bouhmama	P 43
Tableau N° 19	La précipitation et la température moyenne mensuelle de Bouhmama	P 44
Tableau N° 20	Les valeurs de Q2	P 46
Tableau N° 21	Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de C .W. Thornthwaite	P 51
CHAPITRE 04		
Tableau N° 22	Les valeurs de la conductivité électrique des eaux superficielles (Plaine de Mellagou) pendant la période de mesure (Avril 2015)	P 57
Tableau N° 23	Tableau des couples	P 68
Tableau N° 24	Evolution statistiques des faciès	P 74

Liste des abréviations

LISTE DES ABREVIATIONS

A.N.R.H	Agence Nationale des Ressources Hydriques
ACL	Agglomeration 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 générale

Introduction générale

L'eau est source de la vie sur la terre, elle est facteur prépondérant pour tout développement.

Aujourd'hui, un tiers de l'humanité vit dans une situation dite de « stress hydrique », avec moins de 1700 mètres cubes d'eau disponibles par habitant et par an. L'eau, alors, devient de plus en plus rare.

En Algérie, la demande en eau de consommation humaine ne cesse de s'accroître à côté de la croissance démographique poussée. Outre la qualité de l'eau, notamment souterraine, qui pose de sérieux problèmes.

La plaine de Mellagou, située dans la commune de Bouhmama, Wilaya de Khenchela, fait partie de ces zones touchées par le problème du stress hydrique. Cette région est connue pour sa vocation agricole qui exerce une pression sur la nappe via la surexploitation et l'utilisation intense des intrants agricoles (engrais, et pesticides).

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 opté ce suivant plan de travail suivant:

- Dans un premier temps, nous avons procédé à synthèse bibliographique représentant une étude générale des caractéristiques géomorphologiques, géologiques, et les principales caractéristiques climatologiques.
 - Ensuite nous avons enchaîné par la partie pratique, dans laquelle nous avons cartographié et interprété les éléments chimiques et les paramètres physiques des eaux souterraines dans la plaine de Mellagou, enfin une conclusion vient clore notre travail.
-

I. Présentation générale de la wilaya de Khenchela :

1. Situation géographique:

La région de Khenchela est située au l'Est de l'Algérie, au Sud-Est du bassin versant de 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. (Khabthane, 2010).

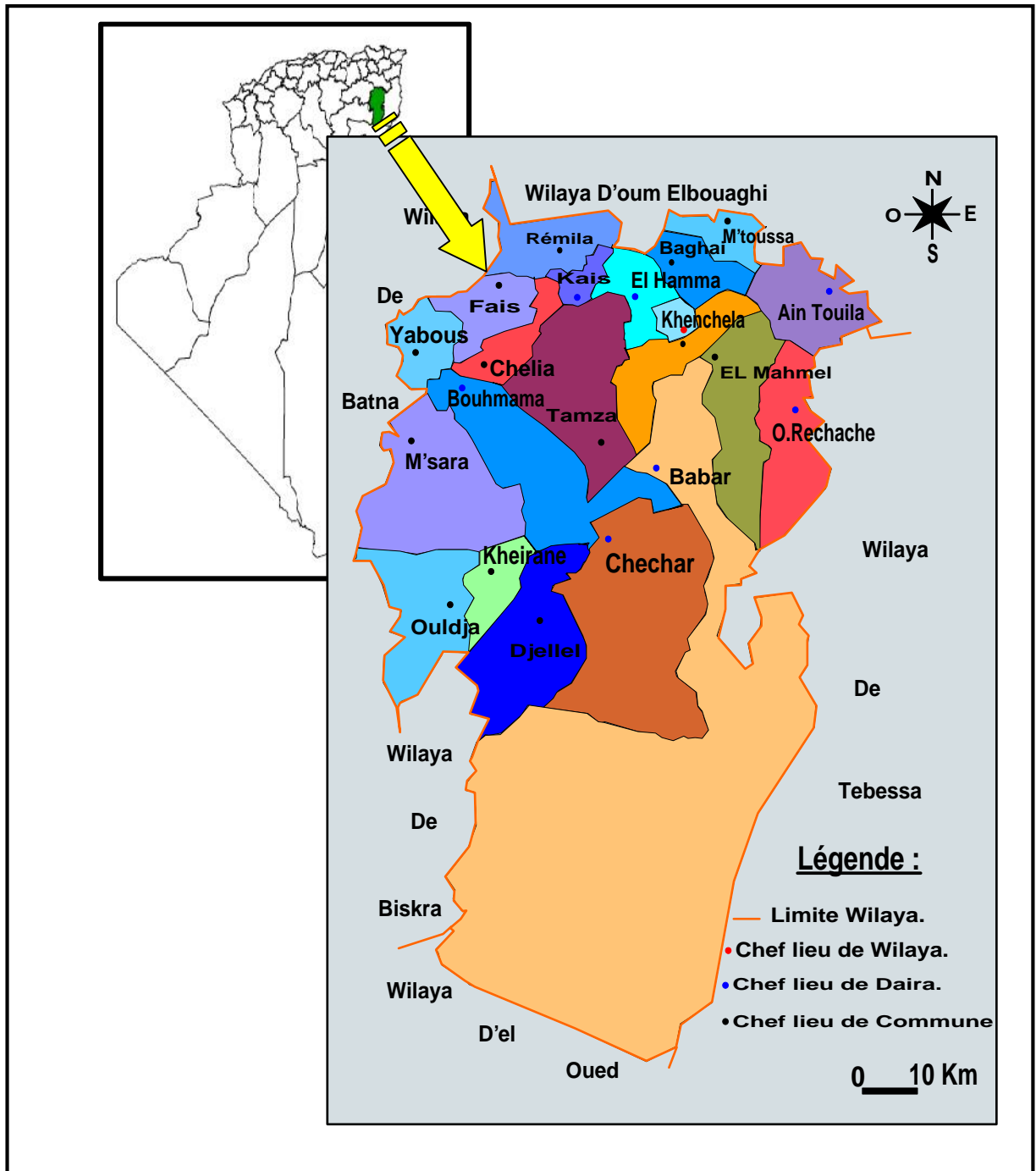
De par, de sa position géographique, la Wilaya de Khenchela est limitée par cinq (05) Wilayas, dont les liens demeurent très étroits dans tous les domaines de l'activité économique et sociale, elle constitue également, un trait d'union non moins appréciable entre le Nord/ Est et le Sud du pays. Elle se trouve ainsi, située aux portes des grandes villes du Sud et non éloignée des villes métropoles du Nord.

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 :

- Oum El Bouaghi pour l'ex Daïra de Khenchela ;
- Tebessa pour la Daïra de Chechar ;
- Batna pour la Daïra de Kais.

Actuellement le territoire de la Wilaya est composé de 21 communes 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, Taoiziant, Remila (DHWK, 2012) (Carte n° 01).



Source: Khenchela ANDIA 2013

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

3. Situation démographique :

3.1. La Population :

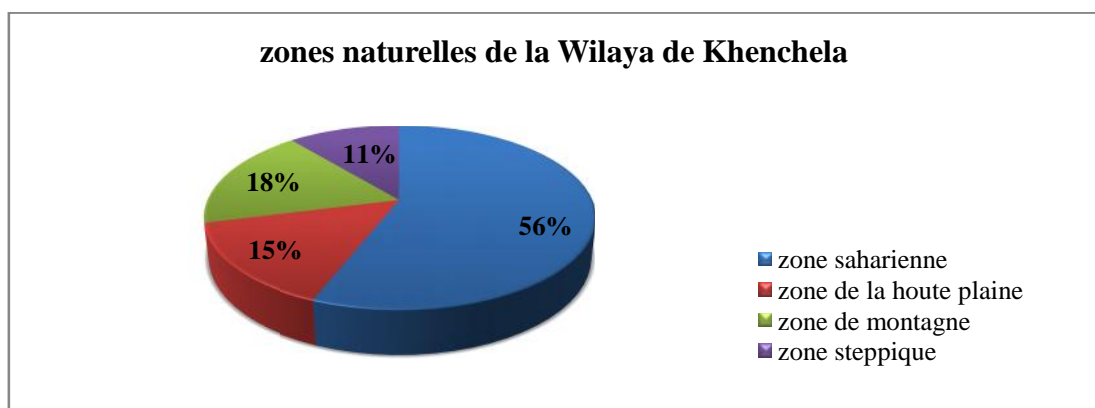
La population totale de la Wilaya est estimée à 414.550 habitants au 31/12/2011(ANDI, 2013).

4. Le milieu physique:

4.1. Le relief:

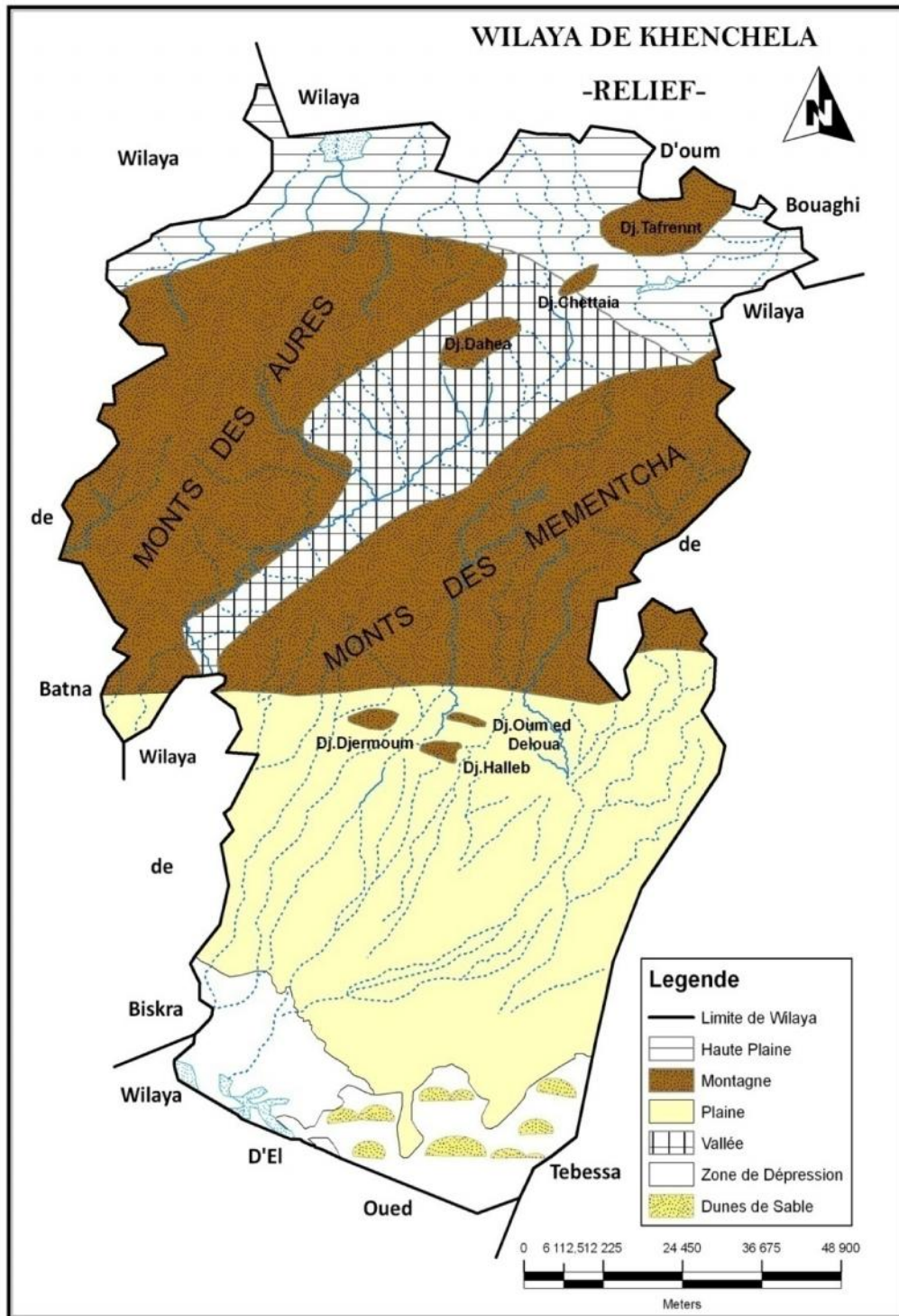
Le relief est la résultante de la combinaison entre deux facteurs: l'altitude et la pente. Le relief de la Wilaya de Khenchela est composé de quatre (04) grands ensembles géographiques (DPAT, 2012).

- **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:La répartition des zones naturelles de la Wilaya de Khenchela



Source : DPAT(2012)

Carte n° 02 : Les reliefs de la Wilaya de Khenchela

5. Le climat:

La Wilaya de Khenchela se caractérise par trois climats :

- Un climat très rude en hiver, modéré en été dans les régions montagneuses centrales;
- Un climat modéré en hiver, chaud et sec en été dans les steppes sahraouies du Sud ;
- Un climat très froid en hiver, sec en été dans les hautes steppes au Nord.

Cette diversité climatique a donné à la Wilaya un penchant naturel multiple conférant des spécificités touristiques non négligeables.

a. Les températures :

- La moyenne de tout le minimum: - 2 C°.
- La moyenne de maximum: +24 C°.
- Le minimum absolu observé: - 4, 8 C°.
- Le maximum absolu observé: +42 C°.

Les maximums absolus observés pendant la saison estivale sont très élevés, ce qui engendre une forte évaporation pendant cette saison.

b. Les précipitations :

Les régions montagneuses du Nord-Ouest (DJ. Chélia et DJ. Aidel) reçoit entre 700 et 1200 mm de pluies par an et du Sud (les parcours sahariens) reçoit moins de 200 mm de pluies par an (Oued EL Meita) ; le reste du territoire de la Wilaya est compris entre les isohyètes 200 et 600 mm (de pluies par an).

Il a été relevé que le mois de mars est le plus humide (reçoit le plus de pluies) alors, que le mois de juillet est le plus sec (reçoit le moins de pluies).

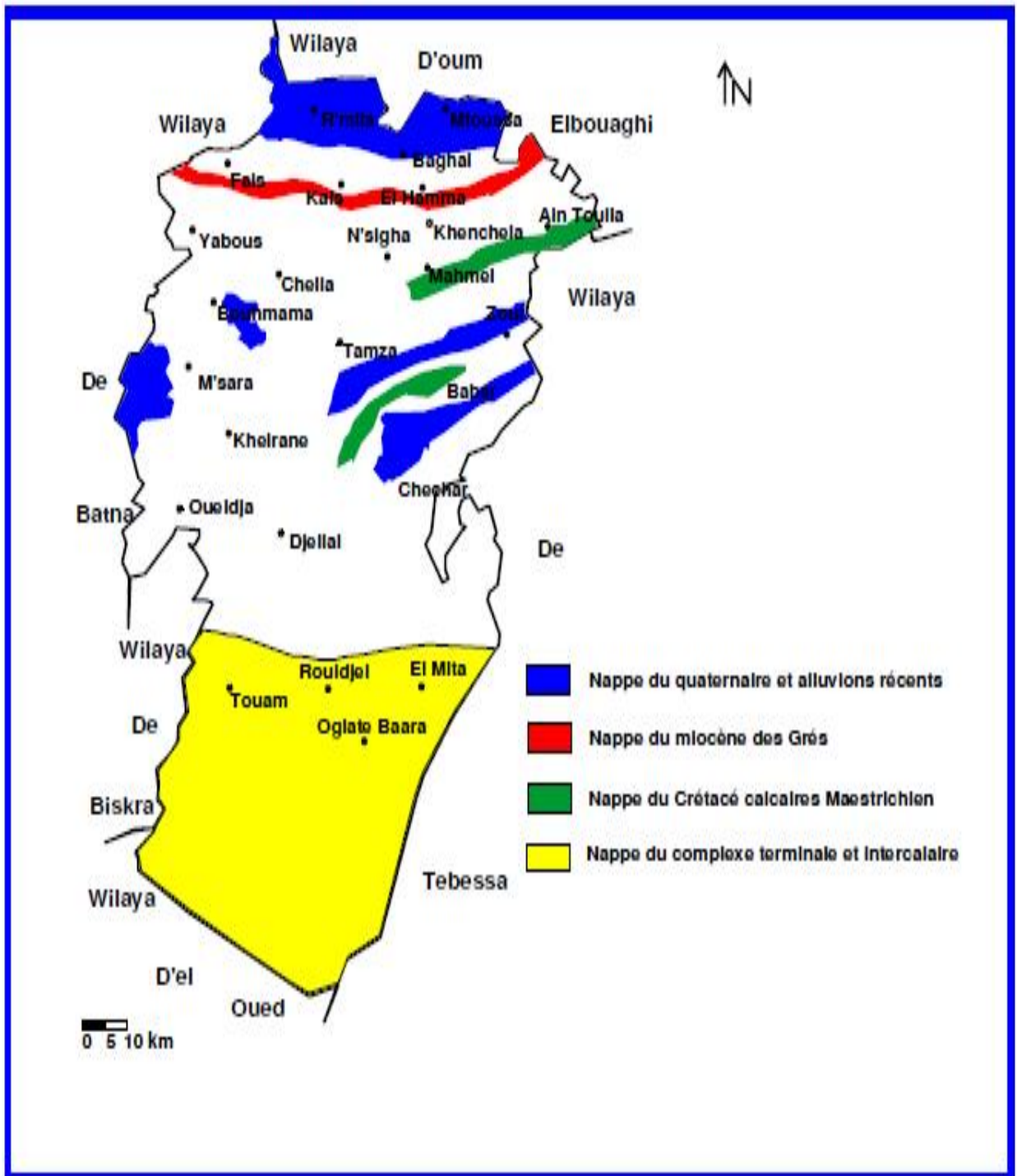
En général, les pluies de printemps sont plus importantes (une moyenne de 60,33 mm) que celles de l'automne qui ont une moyenne de 43,67 mm.

6. 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 Frengal), le point d'exsurgence 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 travers la Wilaya.

- Une troisième nappe peut être différenciée par sa profondeur qui varie de 300 à 600 m (nappe profonde) ; cette nappe concerne exclusivement le Sud de la Wilaya (ANDI, 2013).



Source : (D.H.W.K)

Carte n° 03 : Carte des principales zones aquifères

II. Présentation générale de région de Bouhmama :

1. Situation géographique :

La commune de Bouhmama est située dans la partie Nord-Ouest de la Wilaya de Khenchela et (dans la partie Est des Aurès) est située selon les coordonnées suivantes : 39°06'25", 39°30'25" (latitude Nord) et 4°86'10", 5°1'75" (longitude Est), presque complètement entourée d'une chaîne de montagnes (Ouldammam, et Chouarfia, 2011) (Carte n° 02):

- Nord-Ouest : Massif de Chélia ;
- Nord : Contreforts du massif de Chélia ;
- Est : Massif de Beni-Melloul ;
- 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. Elle est aussi, siège de Daïra qui comprend les communes de : Bouhmama, Yabous, Chélia et M'Sara. Au plan spatial, Bouhmama, présente une configuration territoire allongé du Nord-Ouest vers le Sud-Est et limitée :

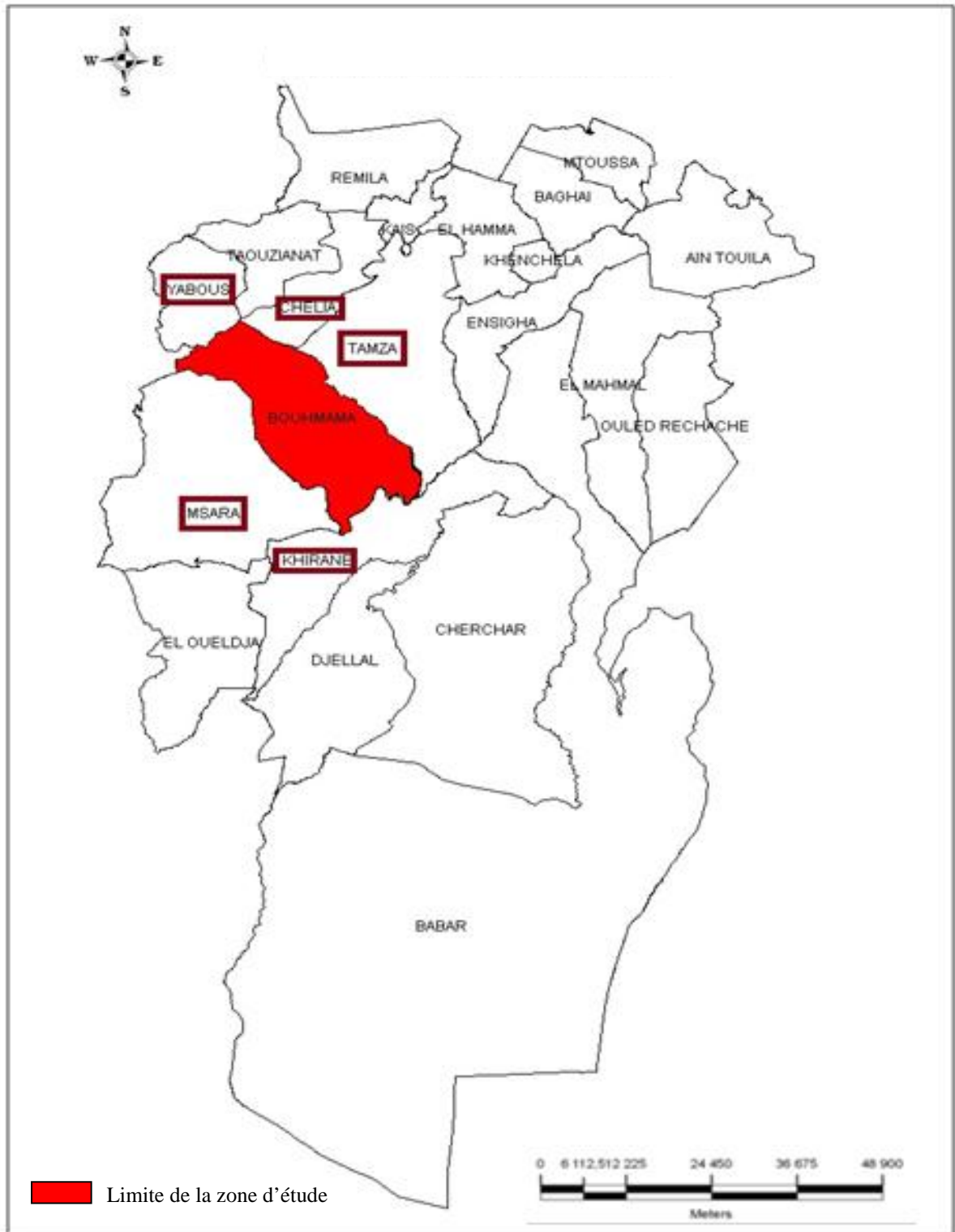
-Au Nord-Ouest par les communes d'Inoughissène (Batna) et Yabous au Nord-Est, par la commune de Chélia ;

-À l'Est, par la commune de Tamza ;

-À l'Ouest, par la commune de M'Sara ;

-Au Sud, par la commune de Kheirane ;

-Ouest à 37 km, à vol d'oiseau du chef-lieu de la Wilaya de Khenchela (Anonyme, 2012).



Source : ANDI 2013 modifier par Bouali. H

Carte n° 04 : Localisation administrative de la commune de Bouhrama

2. La population :

2.1. 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 n° 01: Répartition de la population par dispersion

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

Source : DPSI 2010

La population éparse se trouve, donc, éparpillée à travers la zone éparse 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 éparse 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 :

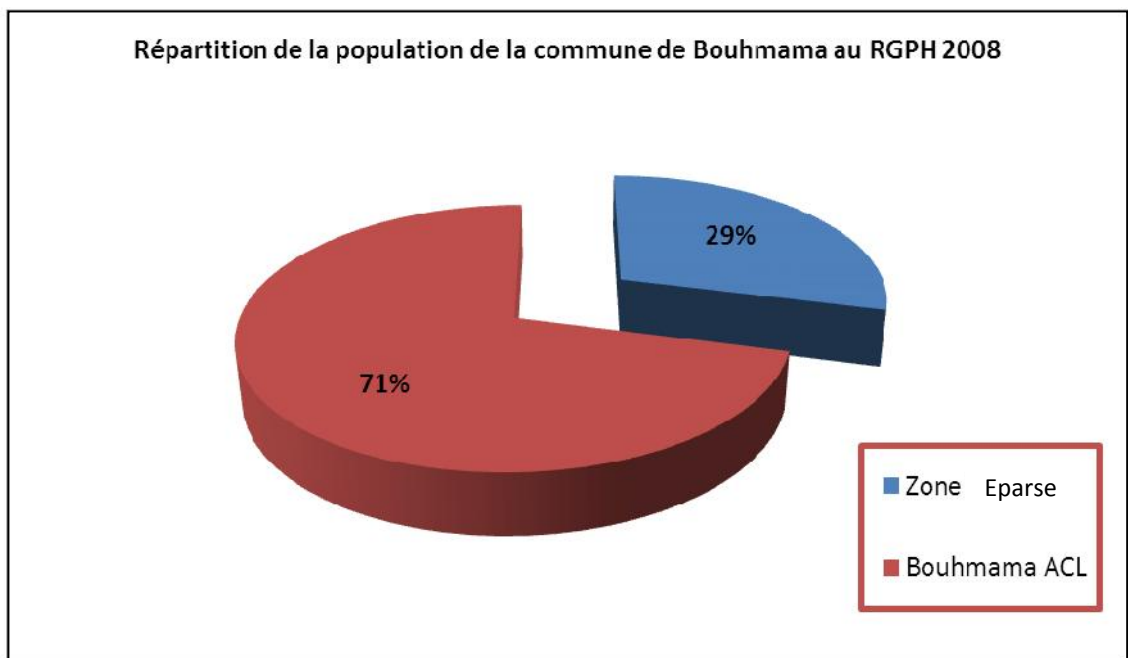
1. Le hameau d'Ouled Ali Benflous qui se représente sous forme d'extensions désordonnées limitant l'agglomération chef-lieu de Bouhmama à l'Ouest et au Nord, ce hameau est structuré par le CC 38. Il comptait 536 habitants au (RGPH, 2008).
2. Hameau d'Ouled Si Moussa situé à l'Ouest de l'agglomération chef-lieu de Bouhmama structuré par le chemin communal 38. Ce hameau comptait 507 habitants au (RGPH, 2008).
3. Hameau de Bouzouamel situé au Sud-Est de l'agglomération chef-lieu de Bouhmama relié et structuré par le chemin communal 21. 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 07. 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 étudiée.

Tableau n° 02: Répartition de la population par dispersion en Avril 2008

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

Source : Etat civil TRC 2008



Source : RGPH 2008

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

2.2. Évolution de la population :

La population de la commune de 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 sont passés 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 n° 03 : Taux d'accroissement % par an

Période	Commune Bouhmama
2,95	2,66
2,52	3,12
0,94	2,07

L'analyse des taux d'accroissement démographiques par dispersion révèle que l'ACL a enregistré des taux d'accroissement positifs durant les deux périodes intercensitaires 1987/1998 et 1998/2008(Anonyme, 2012).

Tableau n° 04 : Taux d'accroissement par dispersion % par an

Période	Total	ACL	ZE
1987/1998	2,52	3,78	0,77
1998/2008	0,94	2,34	-1,84

Par contre la zone éparsse a connu de très faibles taux durant les mêmes périodes, ce qui reflète une forte récursivité de la zone éparsse.

Ceci est dû particulièrement et certainement à la conjoncture qu'a connue le pays durant cette période.

Ainsi le volume de population de la commune de Bouhmama qui était de l'ordre de 5500 habitants au RGPH de 1977, a atteint 7354 habitants au RGPH de l'année 1987. Au RGPH 1998, ce volume presque doublé par rapport à celui de 1977 et a enregistré 9669 habitants. Au dernier RGPH de 2008, la population de cette commune a atteint un nombre de 10613 habitants.

Tableau n° 05 : Tableau de l'évolution de la population à travers les différents RGPH

Année	1977	1987	1998	2008	2010
Pop. Total commun	5500	7354	9669	10613	11220

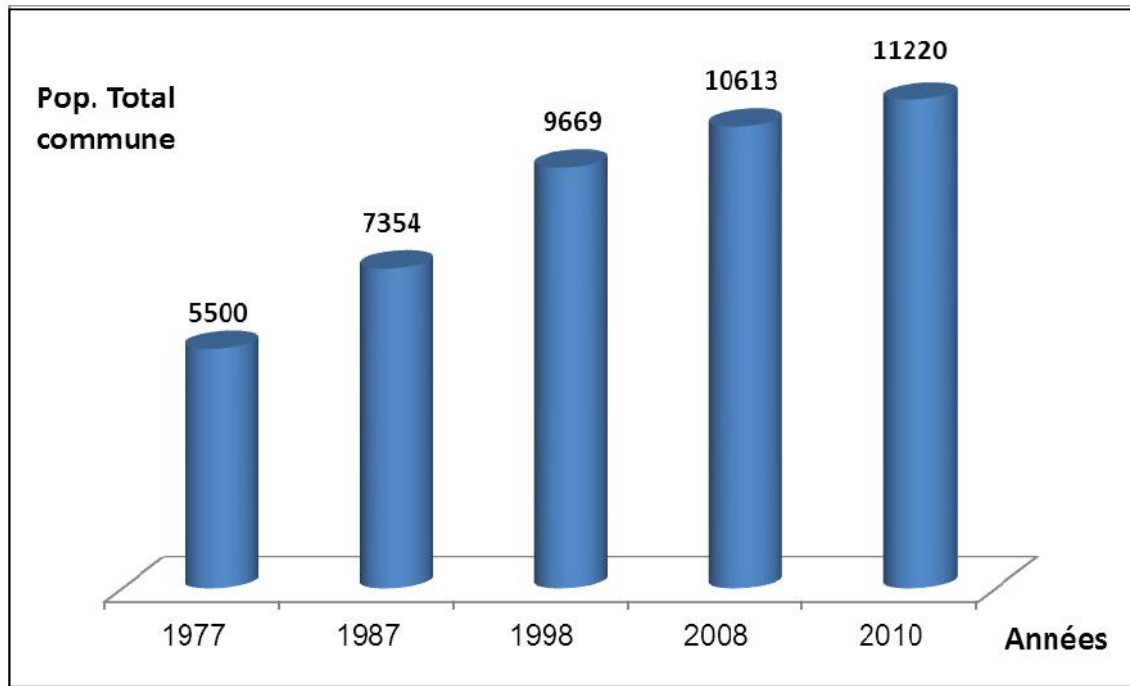


Figure n° 03 : Évolution de la population à travers les différents RGPH

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.

Tableau n° 06 : Évolution de la population par dispersion

Années	Population ACL		Population éparsée	
	N ^{bre}	%	N ^{bre}	%
1987	4002	54,42	352	45,58
1998	6020	62,26	3649	37,74
2008	7583	71,44	3031	28,56
2010	8010	71,39	3210	28,61

Source : DPSI 2010

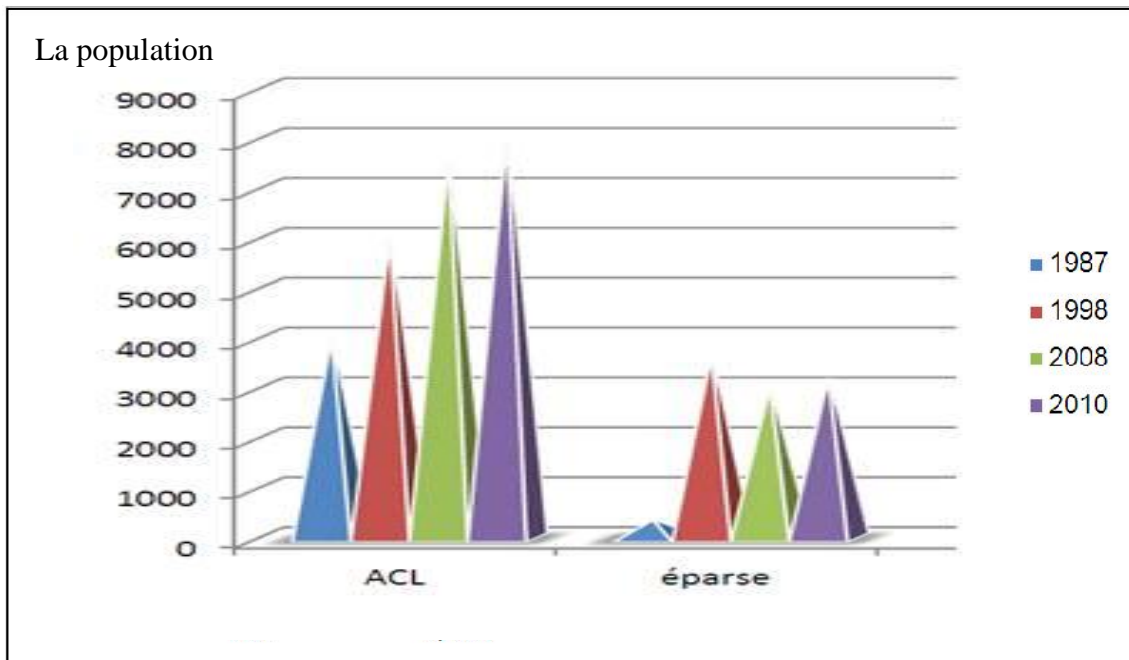


Figure n° 04 : Évolution de la population par dispersion de 1987 à 2010

3. Les ressources naturelles :

La commune de Bouhmama est caractérisée par deux grands ensembles physiques. Un domaine montagneux représentant plus de 64 % de l'espace communal, à l'Ouest, au Nord et à Est la seconde domine morphologique qui est la vallée d'Oued Mellagou.

Néanmoins, la dominance de l'espace montagneux sur le territoire communal marque le caractère intramontagnard de la vallée d'Oued Mellagou. Ainsi plusieurs alignements de reliefs, encadrent cette dernière et sont tous orientés du Nord-Est au Sud-Ouest.

Il s'agit de reliefs qui ressortent bien dans les paysages de la région et qui font partie de la zone de transition entre les Aurès à l'Ouest et les monts de Nememcha à l'Est. Bordée par le piémont Sud et Sud-Ouest du mont Chélia, la vallée du Mellagou a une disposition spatiale Nord-Sud coupant de manière tranchante une succession de reliefs tels que Kef El Ahmeur, Kef Meda, Djebel Tarzout, Djebel Taafist tous orientés NE-SW.

Du point de vue hydrologique, la plaine est drainée par l'Oued Mellagou qui prend naissance au piémont du Chélia, parcourant la dite plaine alluviale sur une quarantaine kilomètres pour se jeter dans l'Oued Al Abiod avant que ce dernier ne rejoigne l'Oued El Arabe. Sachant que celui-ci termine son parcours dans le chott Melrhir.

Affluent de l'Oued El Arabe, le Mellagou est né de la conjonction de l'Oued Amar venant du Djebel Aurès, l'Oued Timarrooden et l'Oued Tafrennt. Ce dernier descend du versant Nord du

Chélia en ouvrant vers l'Ouest et le Nord de bonnes percées pour les différentes voies de communication

La plaine se caractérise par des dépôts alluvionnaires hétérogènes donnant naissance à des sols riches d'où les grandes plantations fruitières rencontrées sur place. Malheureusement, dans cette partie du territoire communal, la faiblesse du réseau de communication est à l'origine d'un enclavement notable.

En matière d'agriculture : Avec 3786 ha la surface agricole utile (SAU) ne représente qu'une ration de 9,3 % de la surface totale communal de 40916 ha dont 2389 ha soit 63,20 % de la SAU sont occupée par l'agriculture en sec et 1343 ha soit 35,47 % occupés par l'arboriculture (Subdivision agriculture Bouhmama, 2010).

3.1. L'agriculture :

Cette agriculture semi-intensive en sec est, essentiellement, localisée dans la vallée d'Oued Mellagou et sur les piémonts et bas piémonts des reliefs la bordant. Les surfaces réservées à la céréaliculture et aux légumes sont insignifiantes, elles sont respectivement de 14 et 40 ha (Subdivision agriculture Bouhmama, 2010).

Tandis que les terres occupées par les forêts caractérisées par une affectation mixte, de protection et de production représentent, une ration très importante, car il atteint plus de 64 % de la surface totale communale avec 26194 ha. Quant aux pacages et parcours, ils occupent près de 5993 ha soit 14,64 % de la superficie totale de la commune. Plus ou moins conservées, les zones alfatières occupent près de 3211 ha (Subdivision agriculture Bouhmama, 2010).

Au niveau communal, la couverture végétale est bien développée et étendue sur l'ensemble du territoire où le patrimoine forestier, la nappe alfatière et les parcours occupent plus de 35398 ha et s'accaparent de près de 86,51 % de la commune et se présentent dans un état de conservation assez bien sauf dans certaines parties touchées par l'érosion, les incendies, le surpâturage ou bien les pratiques agricoles locales inadaptées (Subdivision agriculture Bouhmama, 2010).

3.2. Production végétale :

D'après nos investigations sur le terrain et en exploitant les données du secteur, il apparaît que le meilleur rendement est donné par l'arboriculture, car sur une superficie de 1205 hectares la commune de Bouhmama a réalisé, durant campagne 2010/2011 une production de 105 317 quintaux soit plus de 87,40 % quintaux à l'hectare (Subdivision agriculture Bouhmama, 2010).

Tableau n° 07 : Production végétale Qtx / an 2010/2011

Désignation des spéculations	Production
Céréales	12 600
Fourrages	480
Maraichères	4 490
Arboriculture	105 320

Source : Subdivision agriculture Bouhmama 2010

Ces résultats viennent consolides l'option de favoriser cette spéculation. Mieux encore, l'arboriculture présente, en plus de sa rentabilité, d'autres avantages à effets incontestables en matière de protection contre les phénomènes d'érosion et l'amélioration de la structure du sol par l'apport de la matière organique.

Ces avantages plaident pour la généralisation de cette spéculation surtout la SAU de la commune, les autres spéculations, dont les productions sont appréciables, seront conduites en cultures intercalaires, qui offrent des possibilités d'irrigation.

3.3. Répartitions du cheptel :

Le troupeau de la commune de Bouhmama, toutes espèces confondues, compte 13 293 têtes, il est constitué à 60,80 % d'ovin et à 33,62 % de caprin, alors que les bovins ne représentent que 5,5 % et seulement dix (10) équins sur le territoire de la commune.

Malgré son nombre, relativement réduit, il constitue une surcharge pour les parcours et pacages estimés à 5 993 ha, ce qui explique leur dégradation avancée et la pression exercée sur la forêt (Subdivision agriculture Khenchela, 2014).

Tableau n° 08 : Répartition du cheptel 2010/2011

Désignation	Nombre têtes
Ovin	8600
Bovin	805
Caprin	4873
Équin	1.000
Cameline	/
Autres	/

Source : Subdivision agriculture Khenchela 2014

3.4. Production animale :

Considérant le cheptel de la commune, la production animale est faible, voire aléatoire (1406 quintaux de viande rouge et 932 920 litres de lait). Cette faiblesse de la production est due, certainement, à la conduite du troupeau en stabulation toute l'année (Subdivision agriculture Khenchela ,2014).

Tableau n° 09 : Production animale année 2011

Viande rouge	1406 Qtx
Viande blanche	Néant
Lait	932 920 litres
Œufs	Néant

Source : Subdivision agriculture Khenchela 2014

Toutefois, l'importance du troupeau de chèvres de la commune (4 470 têtes) constitue, en lui-même, une autre spécificité de la commune, dont il faut prendre en charge le développement et la valorisation.

En effet, cette activité mérite une réflexion sur l'amélioration de la conduite de la filière caprine. Il y a lieu de procéder à la modernisation des méthodes d'élevage pour augmenter la production et créer des réseaux pour la transformation et la commercialisation de la viande et de lait de chèvre.

3.5. Les périmètres irrigués :

Dans le cadre de la politique nationale agricole qui vise à inciter les fellahs à l'investissement et la production, deux (02) périmètres de mise en valeur ont été irrigués au profit de soixante-dix (70) bénéficiaires dans le but de générer 200 emplois permanents.

Les périmètres de Tissfssert et celui de Tagaoughir d'une superficie de quatre-vingts (80) hectares sont localisés, dans la plaine du Mellagou et disposent de deux forages et sont spécialisés dans l'arboriculture et maraichage (Subdivision agriculture Khenchela ,2014).

3.6. Les exploitations agricoles :

Les exploitations sont organisées autour de mille cent exploitations, toutes faisant partie de secteur privé. Aucune exploitation étatique n'a été recensée dans la commune.

3.6.1. Répartitions des superficies par unité d'occupation des sols :

Tableau n° 10 : Les superficies par unité

Occupation	Sup. ha	%
Forets	26 194	64.02
Terre cultivée	3 786	9.25
Parcours	5 993	14.65
Alfa	3 211	7.85
Terre inculte*	1732	4.23
Total	40 916	100

*terre inculte ou occupée par les infrastructures et des terrains urbanisés.

Les terres cultivées : Elles occupent une superficie estimée à 3 786 ha (9,25 %) et sont constituées des terres cultivées en céréales, en plus des parcelles occupées par l'arboriculture fruitière et les cultures maraichères sur les micros-parcelles. Ces terres se localisent sur la plaine de Mellagou et le long des petites terrasses alluviales du même Oued et ses affluents ainsi que dans d'autres enclaves dans la forêt.

Les parcelles cultivées sont associées aux parcours, surtout celles des céréales et les parcelles enclavées en zone de montagnes.

Il y a lieu de noter l'essor important que connaît l'arboriculture fruitière en extensif à base de pommier tout comme les régions voisines, malgré les surfaces agricoles limitées de la commune (Subdivision agriculture Khenchela ,2014).

4. Les ressources forestières :

L'importance du patrimoine national forestier permet à la commune de se tailler, par excellence, la vocation sylvicole.

La formation dominante est la forêt de Pin d'Alep avec plus de 20 000 hectares entre forêt dense, forêt clair et jeune futaie. Le reste du patrimoine est occupé par le cèdre et le maquis de chêne vert.

Notons l'existence d'un maquis clair en association avec genévrier et l'alfa et de 1 127 hectares de terre à vocation forestière utilisée, actuellement, comme parcours.

Un quart (25%) du patrimoine forestier de la commune de Bouhmama est classé forêt de production, l'autre quart (25 %) est classé forêt mixte, de protection et production.

Cette forêt participe avec une part importante dans la production de bois de la Wilaya de Khenchela estimée à 30 000 m³ l'année 2010.

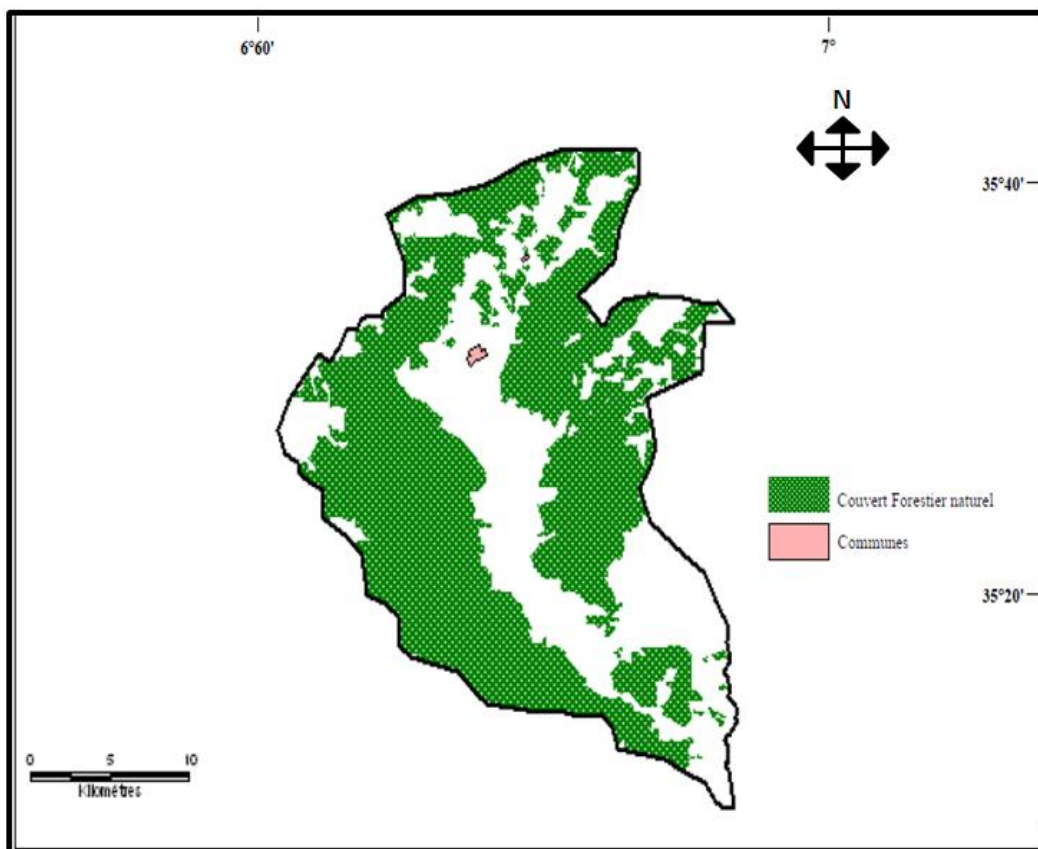
La production de la forêt est destinée à l'unité de sciage de Bouhmama, qui fait travailler 75 personnes, et la menuiserie de Khenchela (SAFA Aurès).

Cette activité constitue, en elle-même, un apport appréciable dans les revenus économiques de la commune de la Wilaya.

Le patrimoine forestier de la commune de Bouhmama se caractérise par la diversité biologique de son couvert végétal (espaces forestières, plantes médicinales aromatiques).

Étant les plus méridionaux de toute l'Algérie, les massifs forestiers de la Wilaya de Khenchela constituent une barrière au désert.

Les espèces telles que le cèdre de Bouhmama, le pin des Beni-Melloul et le frêne de montagne des Aurès constituent des phénotypes qu'il faut protéger et développer.



Source : Carte des sols d'Algérie Tebessa1/500 000

Carte n° 05: Le couvert forestier naturel de bassin versant d'Oued Mellagou

5. Caractéristiques pédologiques:

L'examen de la carte des sols (carte n° 06) met en évidence trois 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.

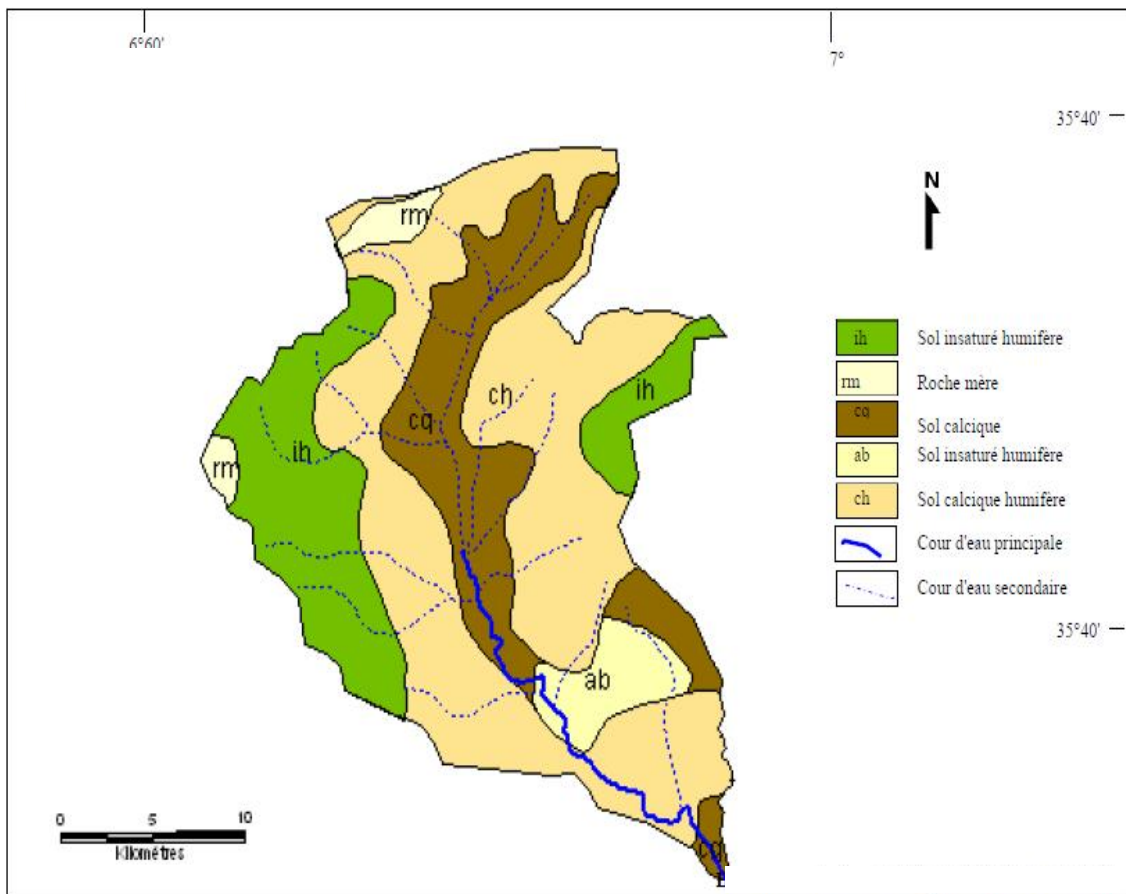
Les sols calcaires humifères occupent une proportion appréciable du territoire communal et se localisent en grande partie sur les piémonts des reliefs situés à la vallée d'Oued Mellagou.

Ces sols sont associés au développement des croutes et des encroutements calcaires. L'affectation culturale principale de ces sols est concentrée, essentiellement, sur la céréaliculture. Toutefois certaines surfaces sont consacrées à l'arboriculture fruitière (le pommier) lorsque l'eau est disponible.

En seconde position les sols calciques qui occupent exclusivement la vallée d'Oued Mellagou et qui coiffent principalement toutes les terrasses bordant le cours du Mellagou. En dépit, de leur faible épaisseur, ces sols sont par endroit occupés par l'arboriculture fruitière.

Quant aux 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.

Enfin, en retrouve de manière très restreinte, spatialement, des sols alluviaux du Mellagou sur lesquels se développe l'arboriculture fruitière en irrigué (pommier, pêcher).



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

Carte n° 06 : La répartition des unités de sols à travers la zone d'étude

6. Occupation du sol :

L'analyse de l'occupation du sol est réalisée sur la base des données planimétriques de la cartographie (Carte n° 07). De ce fait, il en découle les résultats suivants :

- Les formations forestières occupent, près de 65 % de l'espace ;
- 15% du territoire communal sont des terres à vocation de parcours ;
- En revanche, seulement 10% de la superficie communale sont des terres à vocation agricole ;
- Quant aux maquis, ils occupent près de 8 % du territoire communal ;
- Enfin, une portion de 1 % des terres est reboisée.

La commune de Bouhmama avec leur superficie possède une partie de territoire très intéressante, à savoir, la futaie de cèdre limitrophe de la cédraie de Batna et se localise à l'extrême Ouest de la commune. Cette forêt de cèdres est pure et avec une densité claire.

La cédraie du mont Chélia est pure, mais les individus sont assez espacés, à tel point que le sol ou la formation superficielle est exposé directement aux aléas climatiques; conjugué au facteur pentes (supérieures à 12 %) les éléments fins sont entraînés vers les bas de versants faisant affleurer le substrat géologique marno-calcaire.

D'après les quelques relevés réalisés au niveau de la Cédraie de Bouhmama, il a été constaté que cette cédraie présentait des signes de dynamique régressive, ces aspects de dégradation sont liés aux dépérissements de la cédraie, aux coupes illicites, aux maladies, mais aussi le surpâturage (Anonyme, 2012).

7. Les parcours :

Les parcours occupent une aire de 3630 ha soit 6,20 %, éparpillés à travers le territoire communal.

Ces terrains caractérisés par des affleurements rocheux avec une charge caillouteuse se trouvent, aussi associés aux maquis clairs à l'intérieur de la forêt et à l'alfa.

Ces parcours à alfa se trouvent au Sud de la commune à proximité des limites avec Kheirane et M'sara.

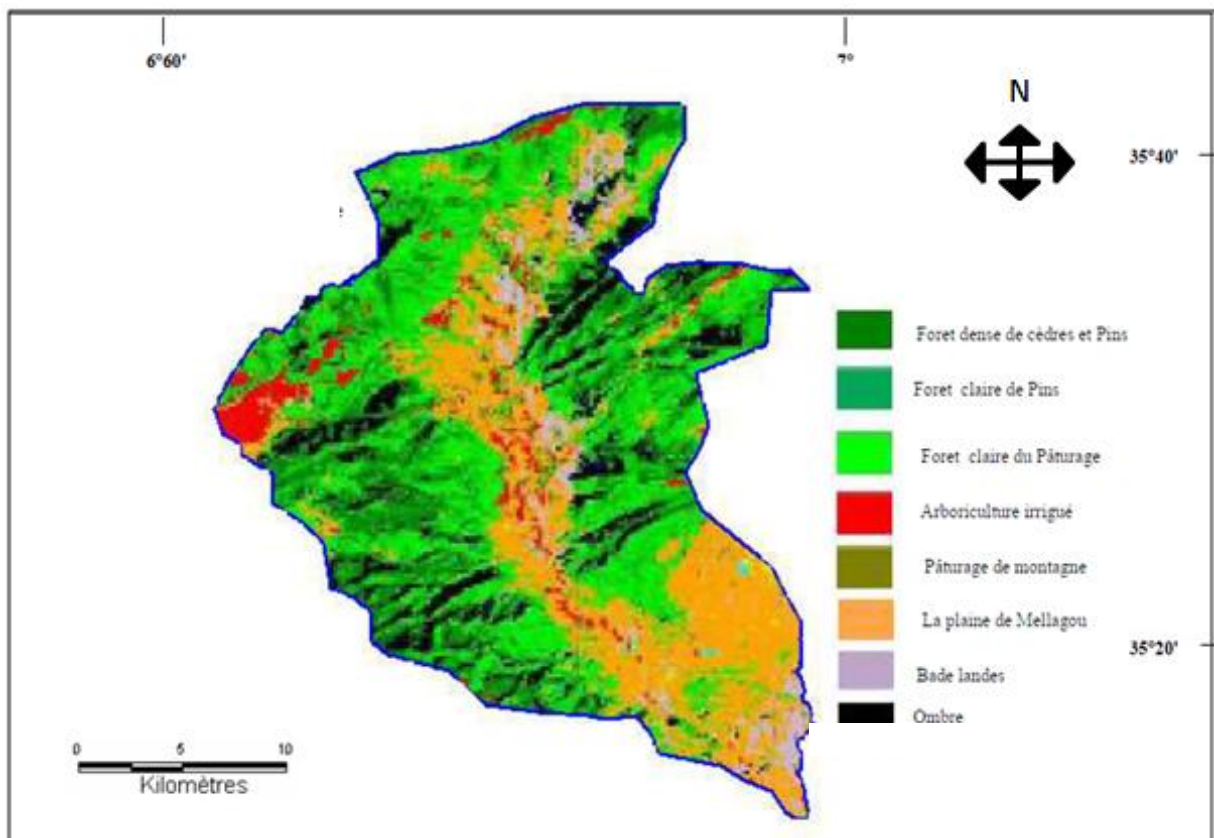
Enfin, il y a lieu de conclure que la réparation des différentes occupations permet de faire les constats suivants :

- Les 64 % de la surface étudiée sont occupés par les formations forestières présentant, en général, un bon état phytosanitaire ;
- Seule la cédraie, souffre du problème de dépérissement et l'absence d'une régénération naturelle ;

- Ces surfaces correspondent en totalité à des forêts et maquis du massif forestier des Beni-Melloul ;
- Les terres cultivées représentent, au niveau de la commune, une faible proportion et ceci est dû à la topographie et à l'occupation actuelle (forêts sur pentes fortes). Alors que les parcours occupent une faible surface.

Eu égard aux caractéristiques physiques du milieu, le développement des reboisements forestiers et l'extension des surfaces occupées, l'arboriculture fruitière mérite de prendre une place plus importante.

Signalons enfin, la régénération de la nappe alfatière, dans certains endroits, au Sud de la commune. Ceci nous conduit à préconiser des études spécialisées relatives à son exploitation dans ces zones et à lancer les métiers artisanaux locaux de transformation de l'alfa et ses dérivés.



Source : Image satellitaire LANDSAT 7

Carte n° 07 : Occupation de sol de bassin versant d'Oued Mellagou

Introduction :

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, sédimentologiques et structuraux (Houha, 1996 et 2007; Laffitte, 1939 ; Guiraud, 1973 ; Vila, 1977 ; Benkoumchi, *et al.*1996).

I. Géomorphologie :**1. Unité topographie:**

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

1.1. La zone de montagne:

La montagne, selon la définition classique donnée par Larousse, est une «forme de relief (mont) caractérisée par son altitude relativement élevée (élévation) et, généralement, par la forte dénivellation entre sommets et fonds de vallées (Agaguenia, 2010).

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).

1.2. La zone des piémonts:

La zone des piémonts est localisée au centre du territoire communal. Malgré la bonne couverture forestière, en amant protégeant cette unité contre l'érosion, un ruissèlement 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).

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).

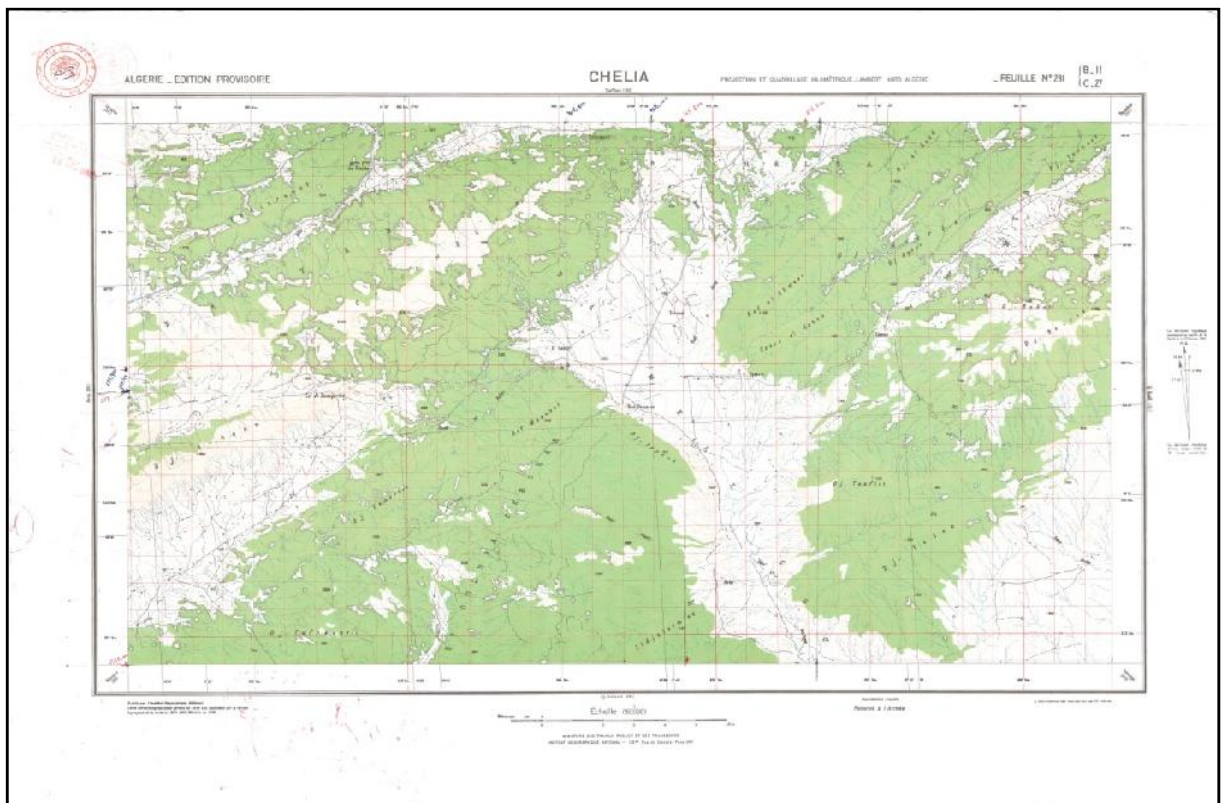
2. Le relief de Bouhmama :

L'analyse de la carte topographique de Khenchela 1/50.000 met en évidence et de manière claire le caractère du domaine montagneux de la commune de Bouhmama et à l'intérieur duquel

a été creusé perpendiculairement à l'axe principal des reliefs montagneux la vallée d'Oued Mellagou.

Le système morphologique dominant à caractère montagneux se manifeste sur le terrain à travers le Djebel Chélia au Nord, culminant à 2328 m, le Djebel Tarzout à 1240 m, le Djebel Tirhezza à plus de 1220 m à l'Ouest, Kef El Ahmeur à 1459 m, Guern El Kebch à 1411 m, Djebel Taafist (1505 m) et Djebel Tebak à 1308 m à l'Est (Vila, 1977), (la carte n° 08).

Quant au domaine déprime drainée par l'Oued Mellagou représenté par une vallée dont l'orientation est perpendiculaire à l'axe principal d'orientation du relief montagneux, les altitudes passent de 800 m au Sud (à la confluence entre l'Oued Mellagou et Oued El Arabe) à 1200 m au Nord au piémont du Djebel Chélia.



Source: Institut Géographique National (IGN)

Carte n° 08: Carte topographique de Khenchela au 1/50 000 (feuille n° 231-1953)

3. Les pentes:

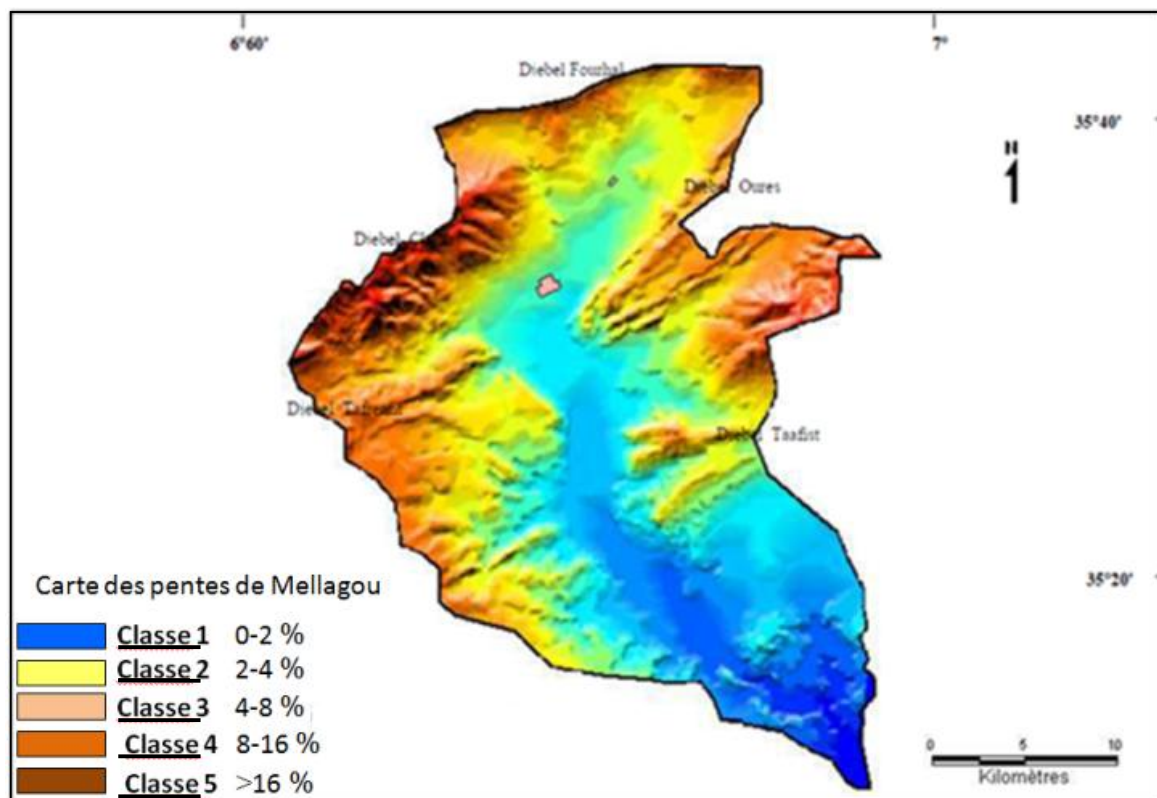
Les classes de pente de la plaine de Mellagou peuvent être résumées à partir de la carte n°09 qui permet de visualiser le dispositif d'agencement orographique de la commune. Il s'agit, en effet de cinq classes topographiques :

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

2. La deuxième classe (4-8%) : correspond aux zones de piémont des reliefs montagneux concernant la vallée d'Oued Mellagou (Chélia au Nord, Djebel Taafist à l'Est, Ras Tirhezza à l'Ouest) ;
3. La troisième et quatrième 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. Cet aperçu a permis de relever afin, que plus de 85% de l'espace communal se situe à plus de 1000 m d'altitude et à scinder l'orographie en deux grandes entités géomorphologiques en l'occurrence les monts et les dépressions. De ce fait, la classent dans la catégorie des communes à caractère montagneux.

Du Nord au Sud de cet espace communal s'agence une succession d'alignements montagneux orientés Sud-Ouest / Nord-Est qui s'alternent avec d'étroites zones déprimées, à l'exemple de la dépression de Tamza.

Cet ensemble a été creusé, perpendiculairement, à l'axe principal des montagnes par Mellagou créant, de ce fait, une vallée d'une longueur de près de 30 km dont la largeur varie de 5 km au Nord à 200 m au Sud.



Source les cartes topographiques: Toufana, Chélia. Toubount. Dj Djahfa et Taberdga 150 000

Carte n° 09 : Carte des pentes de bassin versant d'Oued Mellagou

4. Aperçu pédologique de la région de Bouhmama :

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.

- Sols minéraux bruts Lithosols:

Ces sols sont caractéristiques des zones accidentées. Localisés sur les sommets, au Nord de la commune. Il représente une superficie insignifiante (1000 ha soit 2,44 %) par rapport à la surface communale et n'a aucune valeur agricole.

- Sols peu évolués d'apport colluvial:

Ces sols sont localisés dans la zone des piémonts, ils sont chargés en cailloux en surface et en profondeur. Ils occupent 11 538 ha, soit 28,19 % de la surface communale. Leur valeur agricole est moyenne et est apte à une agriculture de montagne (arboriculture) et au reboisement pour l'extension du couvert forestier.

- Sols calci-magnésiques carbonatés «rendzines humifères»:

Ces sols calcaires, moyennement profonds la tapissent la majeure partie de la forêt Beni-Melloul. Ils ont tendance à évoluer vers les sols bruns forestiers. Ce sont des sols riches en matière organique et représentent le type de sol forestier par excellence. Ils constituent une bonne partie du massif forestier de Beni-Melloul.

En termes de valeur agricole, ce sont de bons sols, mais au vu de l'occupation actuelle (forêt), ces sols doivent être préservés contre toutes formes d'érosion. Ces catégories de sols occupent environ 12 000 hectares, soit 29,32 % de la surface communale.

- Sols calci-magnésiques saturés Rendzines brunifiés humifères :

À la différence des sols précédents, ce type est moins de calcaire et plus riche en matière organique.

Ils tapissent la majeure partie du massif forestier des Beni-Melloul. L'évolution naturelle de ce type de sol est le brun forestier. Ce sont de bons sols forestiers, donc, à préserver. La surface occupée par cette unité s'élève à 14 194 ha soit 34,69 % du territoire communal.

- Sols calci-magnésiques saturés bruns calciques :

Ce sont des sols évolués, profonds de profil A, B, et C, bien structurés. Ils conviennent à une large gamme de cultures. La meilleure utilisation de ces sols reste l'arboriculture fruitière en intensive (pommier). La surface de cette unité s'élève à 2 184 hectares soit 5,33 % de la superficie totale de la commune.

Tableau n° 11 : Principale unité de sols et opportunités de mise en valeur

Unités morphologiques	Sup.(ha)	Localisation	Caractéristiques	Opportunité
Sols minéraux bruts L	1 000	Zone montagneuse (sommet)	Pentes > 25	Aucune
Sol peu évolué d'apport colluvial Acl	11 538	Piémonts	Pentes 12,5 - 25 % peu profonds, chargés en surface et en profondeur	Forêt, Parcours, Arboriculture de montagne (espèces rustiques), Reboisement
Sols calcimagnésiques carbonatés Rendzines humifères (CsRzh)	12 000	Zone montagneuse	Pentes 12,5 - 25 % et > 25 % Matériaux carbonatés Moyennement profond	Bons sols forestiers
Sols calcimagnésiques saturés rendzines brunifiés Humifères CsRzBH	14 194	Zone montagneuse VII hautes altitudes	Pentes 12,5 - 25 % et > 25 %. Moyennement, profonds	bons sols forestiers
Sols calcimagnésiques saturés calciques CsBQ	2 184	Haut plain II	Pente 3-12,5 % Profonds	Bons sols agricoles convient à l'arboriculture fruitière (pommier)

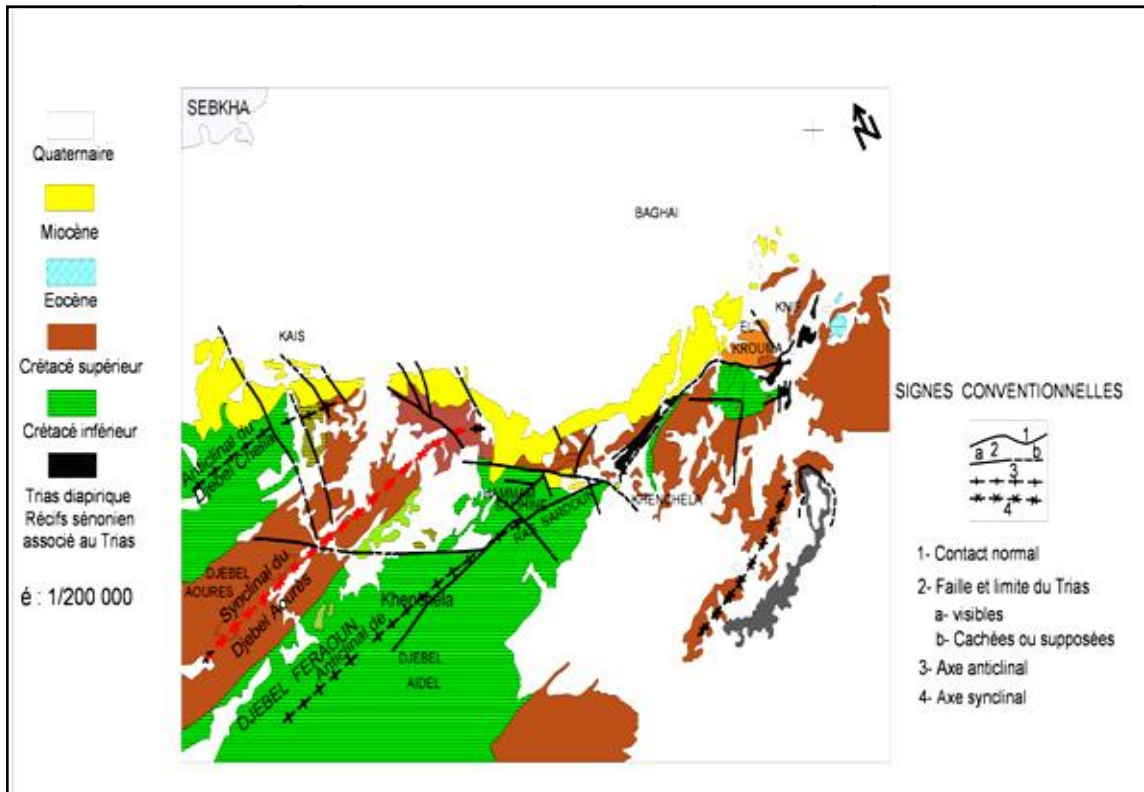
II. La géologie de la région d'étude :

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.



Source : Extrait de la carte géologique de Khenchela 1 : 200000

Carte n° 10: Schéma structural simplifié (D'après J.M.VILA)

Les formations de ces différents ensembles appartiennent généralement au Secondaire avec le Trias, le Jurassique et le Crétacé et au Tertiaire avec des formations oligo-éocènes, miocènes et pliocènes.

Le Quaternaire, quant à lui, reste limité aux dépôts de versant et aux formations alluviales des bassins et des principaux Oued des zones. Toutefois, il faut souligner que les terrains affleurants de la commune de Bouhmama relèvent, essentiellement, de l'ère secondaire avec, seulement, deux épitements triasiques (Villa, 1977).

L'analyse stratigraphique des principaux affleurements de la commune de Bouhmama ne peut se faire qu'à travers une étude globale du bloc Aurès-Nememchas et de l'examen des styles de la déformation souple et cassante. Une étude qui, sans doute, permet de comprendre et de suivre aisément les caractères géologiques de ce domaine.

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.

1.1. Le 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.

À noter également, la présence de formations alluvionnaires argilo-limono-sablo-conglomératiques, développées sur les terrasses de l'Oued Mellagou et de ses principaux affluents.

1.2. Les 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.

1.2.1. Le Crétacé :

Hormis, les sédiments quaternaires et les deux époinçements triasiques, 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 marno-calcaires et les grés.

a. La crétacée supérieure (Le coniacien et santonien) :

Cet ensemble est composé de marnes avec, à la base et au sommet, quelques barres de marno-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. Cette formation est délimitée dans sa partie occidentale par une faille parcourant la rive droite de l'Oued Mellagou avec une direction Nord-Ouest/Sud-Est. On retrouve aussi cet affleurement dans la zone localisée au Sud/ Sud-Est de Ktef Es Souda.

b. Le Crétacé moyen :**b.1. Le Turonien :**

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

b.2. Le Cénomaniens supérieur :

La partie supérieure de cet étage est constituée de calcaires sous la forme d'une barre avec cassures écailleuses 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.

b.3. Le Cénomaniens moyen :

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

b.4. 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.

c. Le Crétacé inférieur :**c.1. L'Albien :**

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

c.2. L'Aptien :

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

- Des calcaires marneux;
- Des grés blancs;
- De marnes grises.

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

c.3. Le Barrémien :

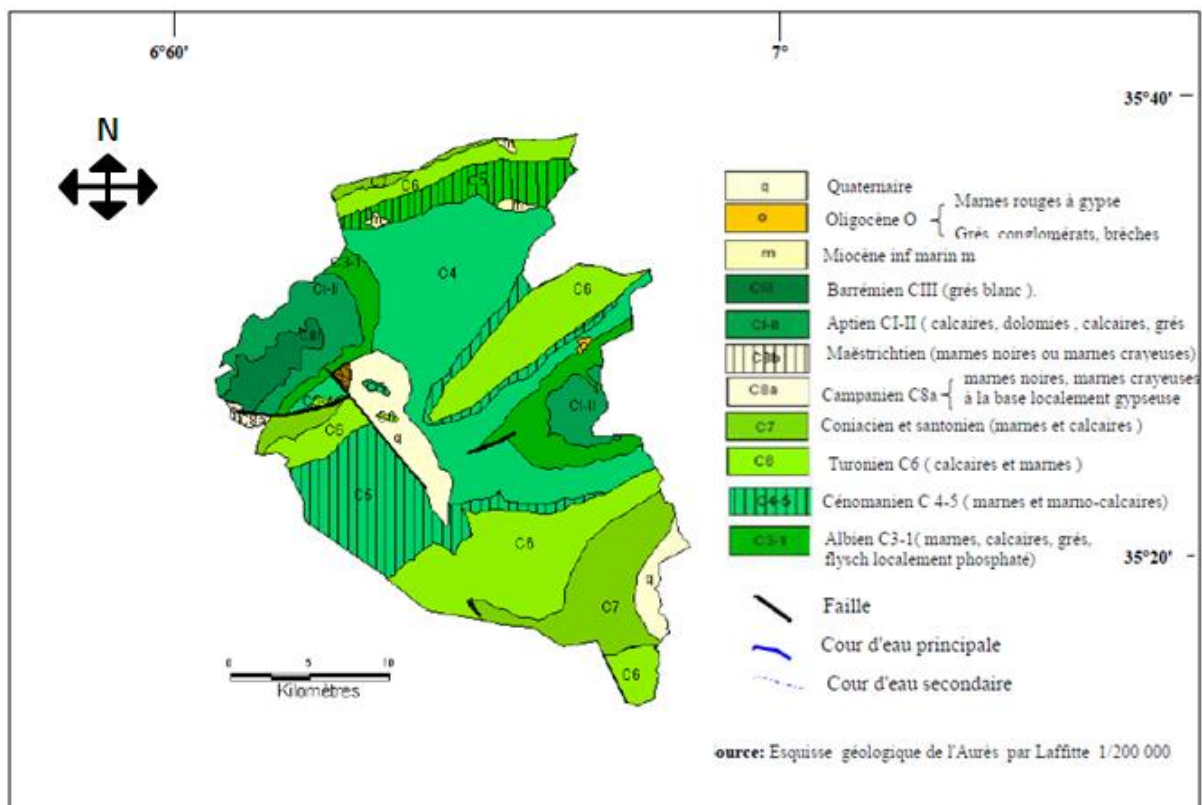
Il affleure au Sud et Sud-Ouest du versant du Djebel Chélia sur une distance d'environ 11 km. Il est délimité dans sa partie supérieure par la ligne de crête entre Timchtaouine et le Nord-Ouest du lieu-dit ferme Moussa El Ayat en passant par Tala Bergés. Sa lithologie est constituée, essentiellement,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

1.2.2. 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 épitements 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 (la carte n° 11).



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

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

2. 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. Toutefois 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 Ressay.

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.

Introduction :

Le climat joue un rôle prépondérant dans le développement, la répartition et l'individualisation des êtres vivants.

Le climat Algérien est caractérisé par la grande variabilité des précipitations et de température liée à l'irrégularité topographique et aux influences opposées de la méditerranéenne et du Sahara.

Les facteurs climatiques dans leur ensemble permettent d'expliquer quantitativement l'intensité et la variabilité des composantes du régime hydrologique, dans le temps et dans l'espace, en interaction avec les conditions physico-géographiques de l'écoulement. C'est ainsi que l'emploi des outils statistiques s'impose afin de pouvoir interpréter les phénomènes hydrologiques enregistrés dans le passé, leur fonctionnement actuel et prévoir leur évolution dans le futur.

L'évaluation des différents paramètres climatologiques a été effectuée en fonction de la disponibilité des informations au niveau des sites d'observations climatologiques.

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 la station de Bouhmama.

Il convient de signaler l'existence d'une seule station climatique dans le bassin versant d'Oued Mellagou, 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 19 ans (1992/2010), Cette période est suffisante pour définir les caractéristiques essentielles du climat. Les caractéristiques de la station climatique de Bouhmama sont représentées dans le tableau n° 12.

Tableau n°12 : Caractéristique de la station de Bouhmama

La station	Altitude (m)	Code de station	Coordonnées	Période d'observation	Type de station
Bouhmama	1150m	061803	6°73' N 35°28' E	1992-2010	Pluviographe

Source des données: Station de Bouhmama et l'A.N.R.H. de Constantine

2. La climatologie :

La climatologie est la discipline scientifique relative au climat. Elle a pour objet la caractérisation et la classification des différents types de climats, leur localisation géographique, l'étude des causes de leur diversification et, en un lieu donné, l'analyse de leur variabilité temporelle (Gérard, 1999).

L'étude des données climatiques permettant d'analyser les facteurs du climat de cette zone qui nous renseignera sur :

- Le type du climat ;
- Le comportement hydro-climatologique ;
- Le bilan hydrologique soit calculé par des formules (ETP, ETR, R, I).

A. Les facteurs climatiques:

Les facteurs climatiques jouent un rôle important dans le comportement hydrologique des cours d'eau alimentant un bassin versant.

1. La température:

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

La température de l'air est un paramètre important qui régit les déperditions d'eau qui s'opèrent par le phénomène de l'évapotranspiration.

L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est primordiale, car elles qui nous permettent d'évaluer le déficit d'écoulement des bassins versants.

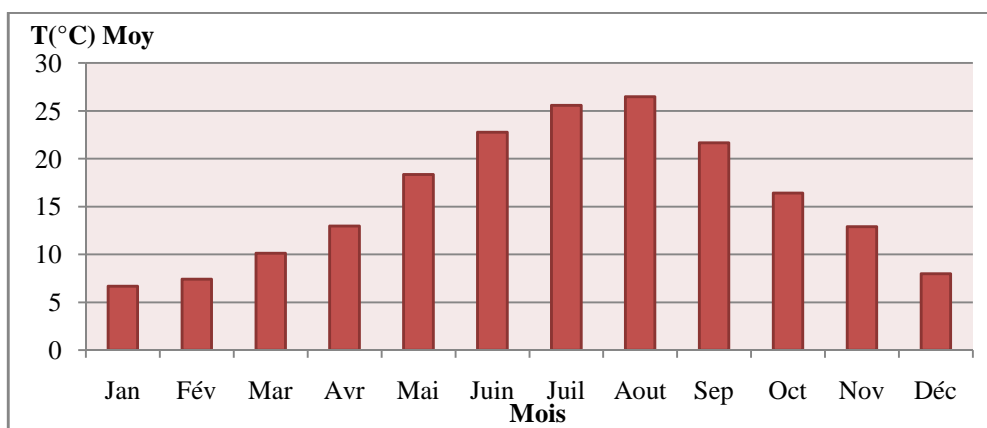


Figure n° 05: Répartitions de la température moyenne mensuelle de Bouhmama (1992-2010)

1.1. Analyse des températures:

D'après ce diagramme, on peut distinguer :

- Une diminution de la température à partir du mois de septembre pour atteindre sa valeur minimale au mois de janvier, c'est le mois le plus froid, avec 6.67 °C.
- Une élévation de la température où la température croit progressivement du mois de février pour arrivée à une valeur maximal au mois d'août, c'est le mois le plus chaud, avec 26.47°C.
- La moyenne annuelle inter-mensuelle est de 15.79 °C.

En été, surtout durant les mois de juillet et aout les maximas atteignent 32°C, et par conséquence restent relativement modères. En hiver, il est enregistrée des températures inférieure à 0°C, d'où la présence de risque de gel.

Tableau n° 13: Température enregistrée à la station de Bouhmama (1992-2000)

Paramètre	T (°C) Moy min	T (°C) Moy max	T (°C) Moy	Amplitude : M-m
S	14.1	29.21	21.655	15.11
O	9.44	23.35	16.395	13.91
N	4.8	20.99	12.895	16.19
D	2.76	13.21	7.985	10.45
Jan	0.85	12.48	6.665	11.63
F	1.42	13.42	7.42	12
M	3.41	16.81	10.11	13.4
A	5.97	19.98	12.975	14.01
M	10.51	26.16	18.335	15.65
J	14.83	30.69	22.76	15.86
J	16.61	34.55	25.58	17.94
A	18.07	34.88	26.475	16.81

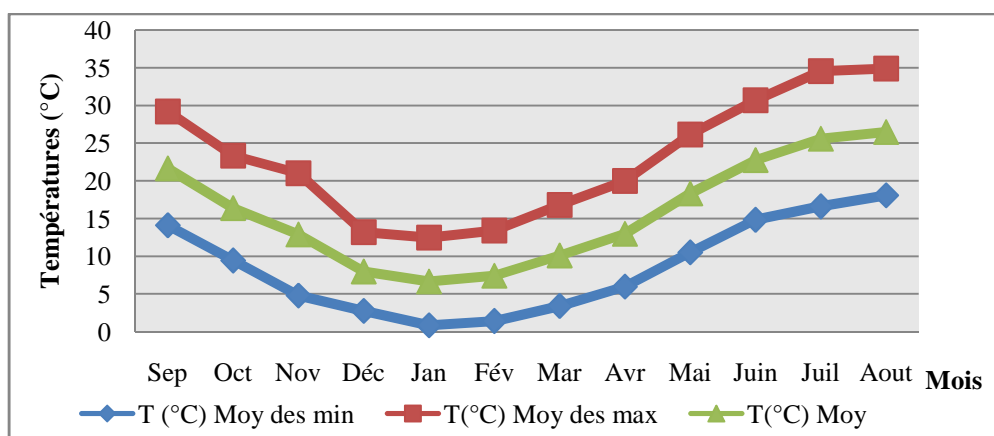


Figure n° 06: La répartition des températures moyenne (max, min, et moy) de la station de Bouhmama pendant la période (1992-2000)

2. L'Humidité:

Les échanges de vapeur d'eau des couverts végétaux dépendent en premier lieu de l'humidité de l'air atmosphérique. Il est donc utile de rappeler un certain nombre de définitions qui lui sont relatives (Cretinon, 1994).

L'humidité relative à l'air est un élément dont la mesure correcte demande plus besoins que celle de la température.

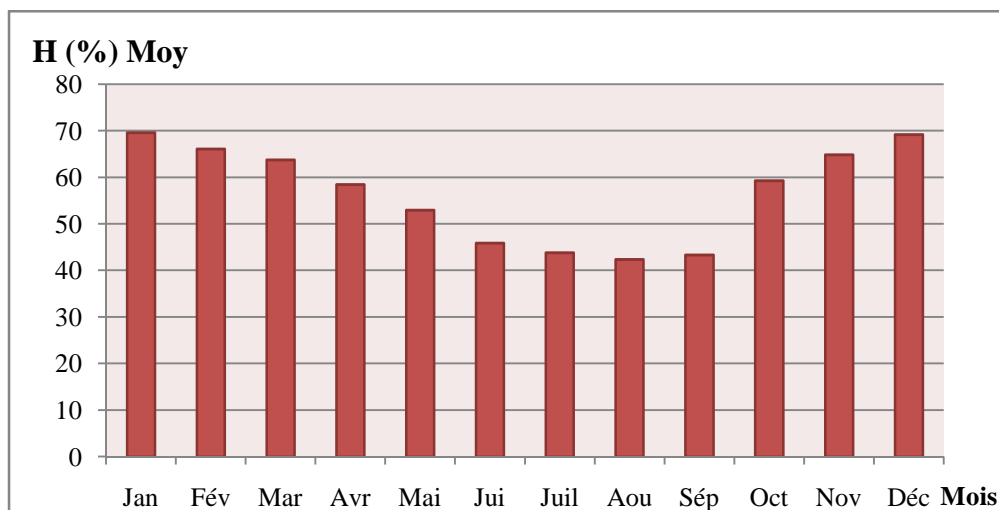


Figure n° 07: Humidité relative mensuelle moyenne de Bouhmama (1992-2010)

Les valeurs de l'humidité relative sont relativement homogènes elles varient entre 42.41 % et 69.605 %.

L'humidité de l'air dans la plaine de Mellagou est caractérisée selon la station météorologique de Bouhmama par :

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 (42.41 à 43.80 %) et inversement, durant la nuit par dissipation de la température ambiante et l'humidité tend à augmenter.

Par contre, durant la période hivernale (janvier et février), la température étant faible et nous remarquons une humidité élevée et atteindre à 69.60 %.

3. Les précipitations:

La pluviosité est défini selon Djebaili en 1984, comme étant le facteur primordial qui permet de déterminer le type du climat (Khabthane, 2010).

Les variations climatiques d'une année à l'autre, de même que les changements des conditions climatiques moyennes, sont souvent perçus à travers l'analyse des séries pluviométriques.

Nous nous intéressons dans cette étude surtout aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur primordiale dans le comportement hydrogéologique, de la région elles sont relativement importantes, variables et irrégulières d'une année à autre.

a. Répartition mensuelle des précipitations :

Les données pluviométriques mentionnées dans la fig. n°08 montrent que la moyenne mensuelle est environ de 29.56 mm. Le mois le moins pluvieux juillet avec 12.71 mm, cependant, les quantités les plus élevées sont observées au mois de novembre avec 41.7 mm.

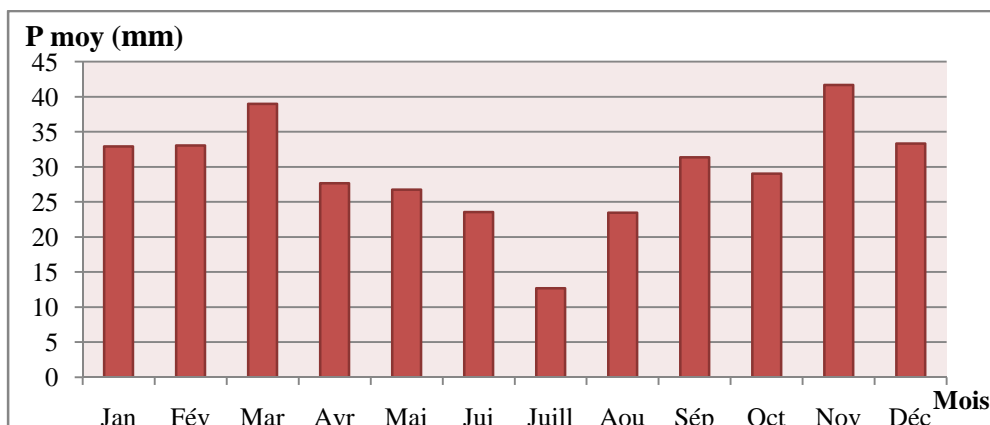


Figure n° 08: Précipitation moyenne mensuelle de Bouhmama (1992-2010)

b. Répartition annuelle des précipitations :

On remarque qu'il y'a une irrégularité de la répartition annuelle des précipitations, l'année la plus pluvieuse est celle de (2004) avec une précipitation de 715.4 mm ; alors, que le minimum est enregistré en (1994) avec une précipitation de 225.96 mm ce qui représente une différence de 489.44 mm. Le module pluviométrique de la série est égal à 414.21 mm.

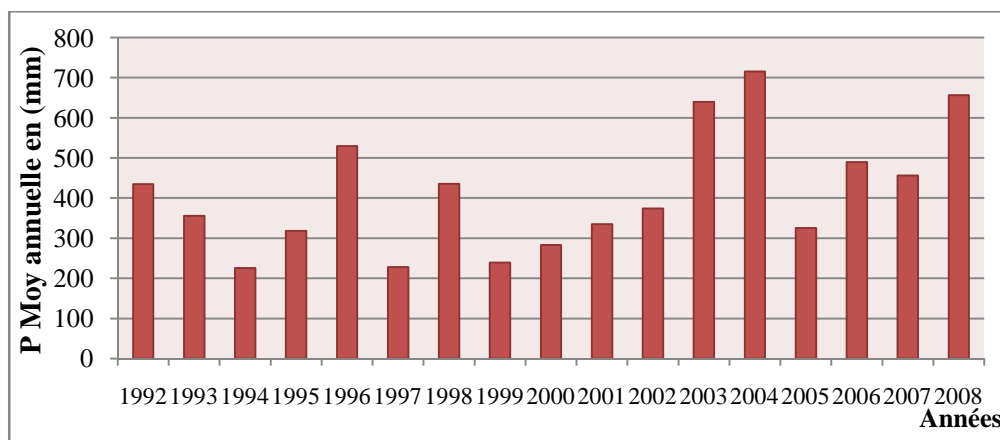


Figure n° 09: Précipitation moyenne annuelle de Bouhmama (1992-2008)

c. Le coefficient pluviométrique :

C'est un paramètre climatique important, représentant le rapport de la pluviométrie de l'année considérée au module pluviométrique pour la station donnée soit:

$$\bar{H} = H_i / H \quad \text{Avec :}$$

\bar{H} : Coefficient pluviométrique ;

H : Pluviométrie moyenne pour une période de N années ;

(Dans notre cas H = 414.21 mm) ;

H_i : Pluviométrie d'une année donnée en (mm).

Ce coefficient pluviométrique permet de déterminer les années excédentaires (H>1) et les années déficitaires (H<1).

Tableau n° 14: Valeurs du coefficient pluviométrique d'après la formule précédente de la station de Bouhmama pour une série d'observation de (1992 -2008)

Années	P annuelles (mm)	Coefficient pluviométrique (H)	Observation	Années	P annuelles (mm)	Coefficient pluviométrique (H)	Observation
1992	434.6	1.04	Excédentaire	2001	335	0.8	Déficitaire
1993	355.8	0.85	Déficitaire	2002	374.2	0.9	Déficitaire
1994	225.96	0.54	Déficitaire	2003	639.8	1.54	Excédentaire
1995	317.9	0.76	Déficitaire	2004	715.4	1.72	Excédentaire
1996	529.4	1.27	Excédentaire	2005	325.1	0.78	Déficitaire
1997	227.8	0.54	Déficitaire	2006	489.9	1.18	Excédentaire
1998	435.5	1.05	Excédentaire	2007	456.5	1.1	Excédentaire
1999	239	0.57	Déficitaire	2008	656.8	1.58	Excédentaire
2000	283	0.68	Déficitaire	2009	/	/	/

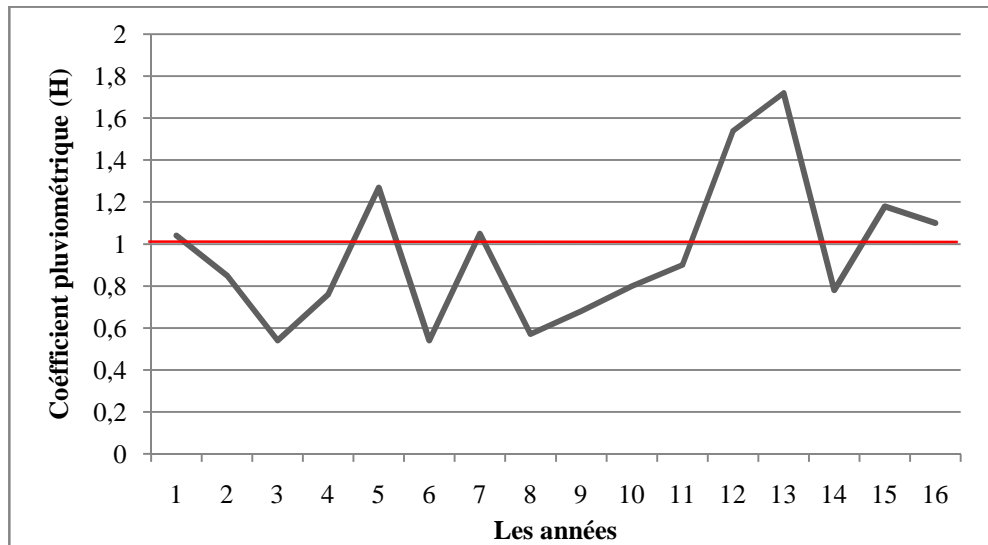
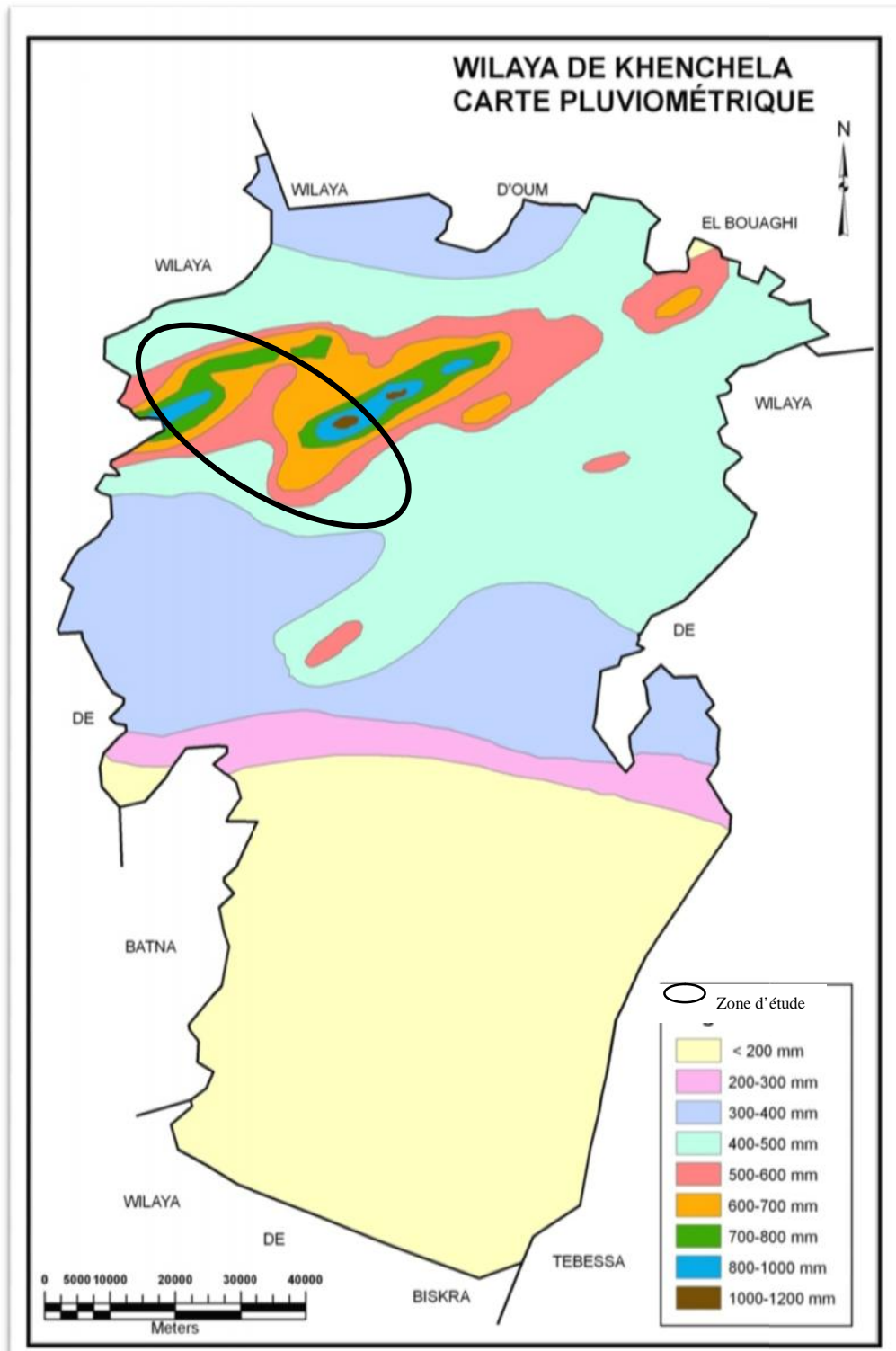


Figure n° 10: Les variations de coefficient pluviométrique en fonction des années

A partir des résultats de tableau suivante on obtient que:

- Le Coefficient pluviométrique (H) excédentaire représente **47.05 %**
- Le Coefficient pluviométrique (H) déficitaire représente **52.94 %**



Source : ANAT, (2008)

Carte n° 12 : Carte des précipitations annuelle moyenne de la plaine de Mellagou Wilaya de Khenchela

B. Les factures secondaires:

1. Les vents:

Le vent est un facteur météorologique non négligeable, qui se caractérise par sa fréquence, son intensité et sa direction dominante signale que les possibilités d’augmenter les irrigations constituent le moyen le plus efficace pour lutter contre les vents chauds.

Tableau n° 15 : La vitesse moyenne du vent (km/h enregistrée à la station de Bouhmama

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Moyenne de vent (km/h	1.7	1.21	1.36	1.85	1.02	1.2	2.2	1.23	1.83	1.69	1.83	2.57

Source: Station de Bouhmama (2000-2010)

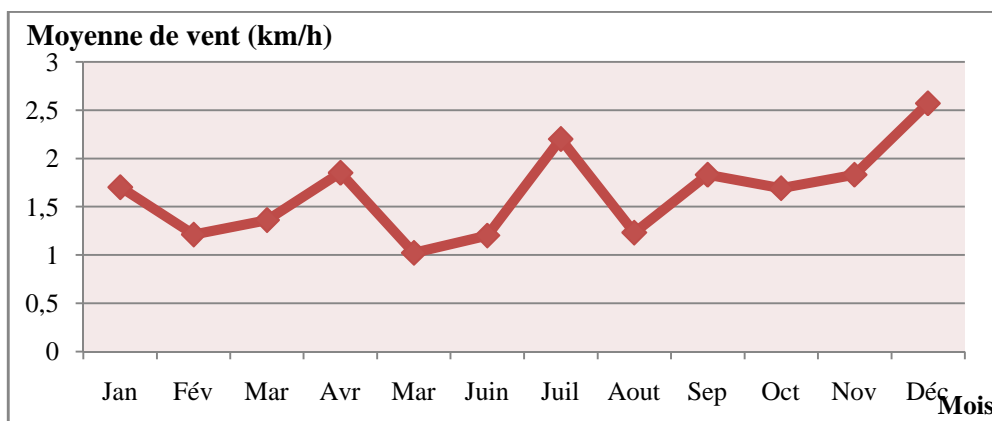


Figure n° 11: La répartition moyenne du vent de Bouhmama (2000 - 2010)

Le tableau n° 15 montre que la vitesse moyenne du vent est de 1,64 Km/h.

On remarque que la moyenne du vent le plus fort pendant cette période (2000- 2010) est enregistrée au mois de décembre avec 2.57 km/h. Par contre le mois de mai ont des vitesses très faibles du vent avec 1.02 km/h.

2. Les gelées:

Les gelées sont en général dues à l’interaction de deux phénomènes : le passage d’une masse d’air froid, et les pertes de chaleur excessives par rayonnement ou par évaporation.

Tableau n° 16 : N^{bre} des jours de tomber de gelée enregistrée à la station de Bouhmama

Compagne	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Moyenne des jours de gelée	18.8	19.6	10.1	3.56	0.44	00	00	00	00	0.11	5.4	15.5

Source : Station de Bouhmama (2000-2010)

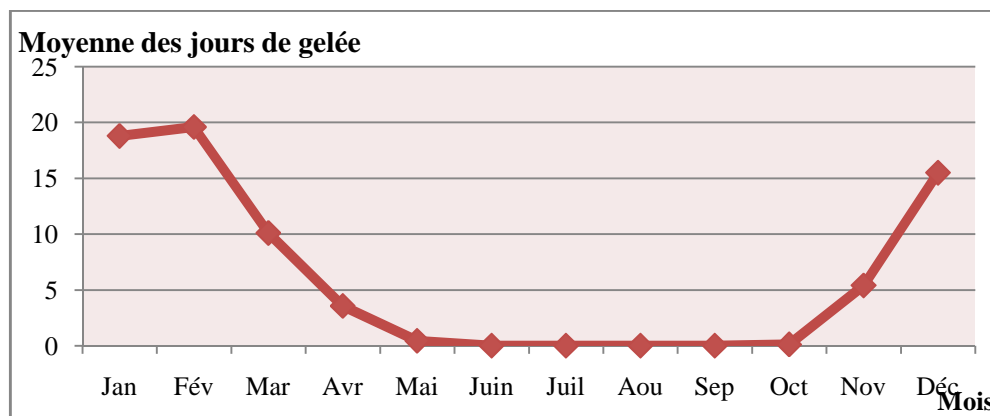


Figure n° 12: La répartition moyenne de gelés du Bouhmama (2000-2010)

Les données résumées dans le tableau n° 16 révèlent que les gelées sont fréquentes en hiver et au début de printemps, avec un nombre maximum de moyenne des jours de gelées au mois de février (19.6 jours).

3. La neige:

Ce phénomène est peu fréquent, mais il reste tout de même bénéfique par son infiltration lente, ainsi que par son alimentation des sources en eau.

Tableau n° 17 : Nbre des jours de tomber de neige enregistrée à la station de Bouhmama

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Nbre des jours	1.7	0.1	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1

Source : Station de Bouhmama (2000-2010)

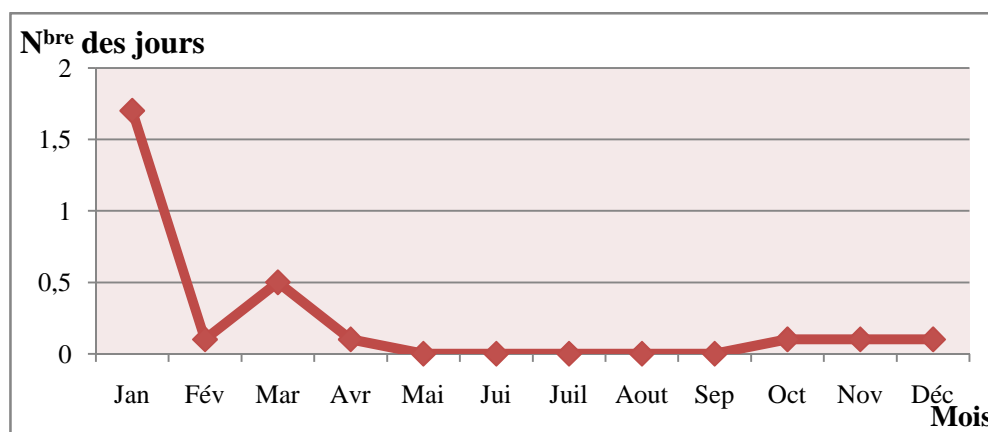


Figure n° 13 : La répartition moyenne de la neige du Bouhmama (2000-2010)

La fig. n°13 montre que les nombres des jours de neige est presque négligeable toute l'année à l'exception de 02 mois (janvier, mars). Le maximum des jours est enregistré au mois de janvier avec moyenne de 1.7 jour.

4. Les grêles:

Compte tenu de leurs poids les grêlons atteignent des vitesses de chute importante:

*quand ils arrivent au sol, ils sont à l'origine de dégâts parfois importants sur la structure du sol, et sur l'agriculture.

Tableau n° 18 : N^{bre} des jours de tomber de grêles enregistrée à la station de Bouhmama

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Nbre des jours	0	0.3	0.3	0	0.1	0	0	0	0.2	0	0.1	0.1

Source : Station de Bouhmama (2000-2010)

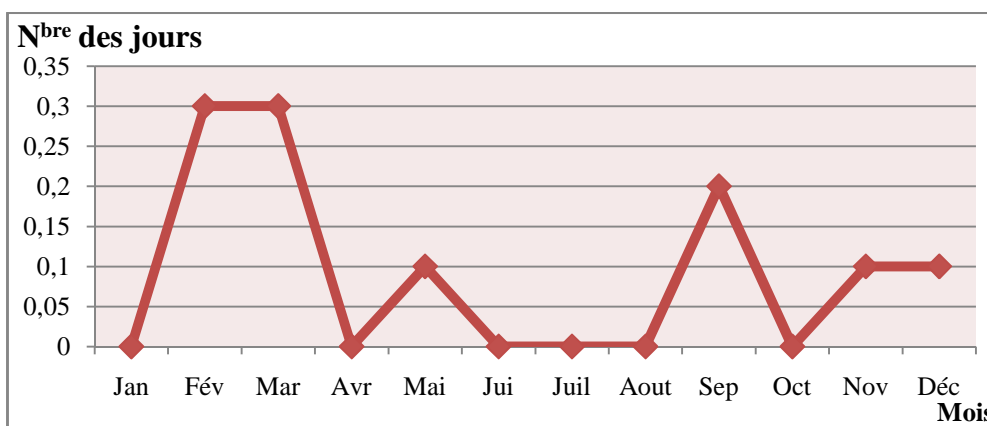


Figure n° 14 : La répartition moyenne des grêles du Bouhmama (2000-2010)

On observe que les deux mois (février et mars) ont le maximum des jours de grêle, puis le mois septembre, et manque dans six mois qui sont: janvier, avril, juin, juillet, août, et octobre.

3. Détermination de la période sèche, et humide (diagramme Ombro-Thermique):

Le diagramme Ombro-thermique permet d'estimer les éléments de climat d'une région de points de vue précipitation et température pendant une période données et permet également de préciser les périodes sèches et humides. Selon Gaussen une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales inférieures ou égales au double de la température : $P \leq 2T$ ⇒période sèche.

Une période humide est une période pendant laquelle les précipitations totales égales au double des températures : $P=2T$ Avec ;

P : précipitations moyenne mensuelle en mm ;

T : température moyenne mensuelle en °C.

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

A. Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte:

Cette méthode consiste à l'établissement du rapport P/T qui nous permet de connaître l'évolution de l'humidité du sol. On distingue 04 régimes :

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

Tableau n° 19: La précipitation et la température moyenne mensuelle de Bouhmama (1992-2010)

Mois Compagne	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
P moy: 1992-2010	32.96	33.06	39	27.68	26.79	23.57	12.71	23.5	31.38	29.07	41.7	33.35
T° moy: 1992-2010	6.67	7.42	10.10	12.98	18.35	22.77	25.58	26.47	21.65	16.4	12.9	7.98
P/T	4.94	4.45	3.86	2.13	1.45	1.03	0.49	0.88	1.44	1.77	3.23	4.17

D'après le tableau n° 19 l'évolution de l'humidité du sol dans la zone d'étude est comme suit :

- Le régime est très sec aux mois : Juillet et août;
- Le régime est sec aux mois : Mai, juin, septembre et octobre;
- Le régime est subhumides au mois : Avril;
- Le régime est humide aux mois: Janvier, février, mars, novembre et décembre.

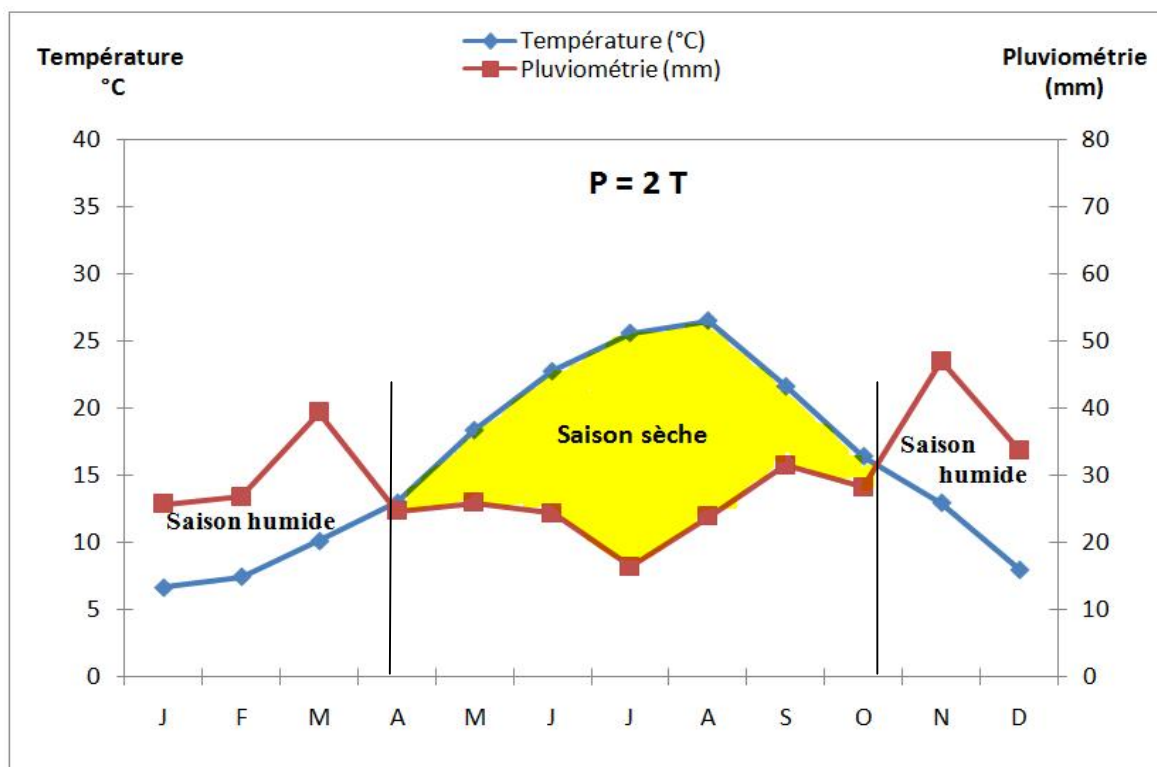


Figure n° 15: Diagramme Ombro-thermique

Ce diagramme montre que la période sèche s'étale pendant six mois allant de la moitié de mai jusqu'à la moitié d'octobre, cette sécheresse devient plus accentuée au juillet et août.

B. Détermination de l'étage bioclimatique:

On a divers méthodes permettent de déterminer le climat, et parmi les quelles l'indice de De. Martonne.

B.1. Indice de De. Martonne (1923):

Le géographe De. Martonne a proposé un indice d'aridité annuel caractérisant la saison sèche, et pour caractériser le climat à l'échelle mensuelle.

Il définit l'indice de l'aridité (A) en se basant sur les températures et les précipitations selon la formule suivante : $A = P / (T + 10)$ avec :

P : précipitations moyennes annuelles (mm) ;

T : températures moyennes mensuelles (°C).

De. Martonne a proposé la classification suivante :

- $A < 5$: climat hyper-aride;
- $5 < A < 7.5$: climat désertique;
- $7.5 < A < 10$: climat steppique;
- $10 < A < 20$: climat semi-aride;

- $20 < A < 30$: climat tempéré.

Application numérique: $A = P / (T + 10)$ avec $P = 354.79$, $T = 15.79$

Donc, $A = 354.79 / (15.79 + 10) = 13.75$

D'après les classifications précédentes, notre zone d'étude a un climat semi-aride ($A = 13.75$)

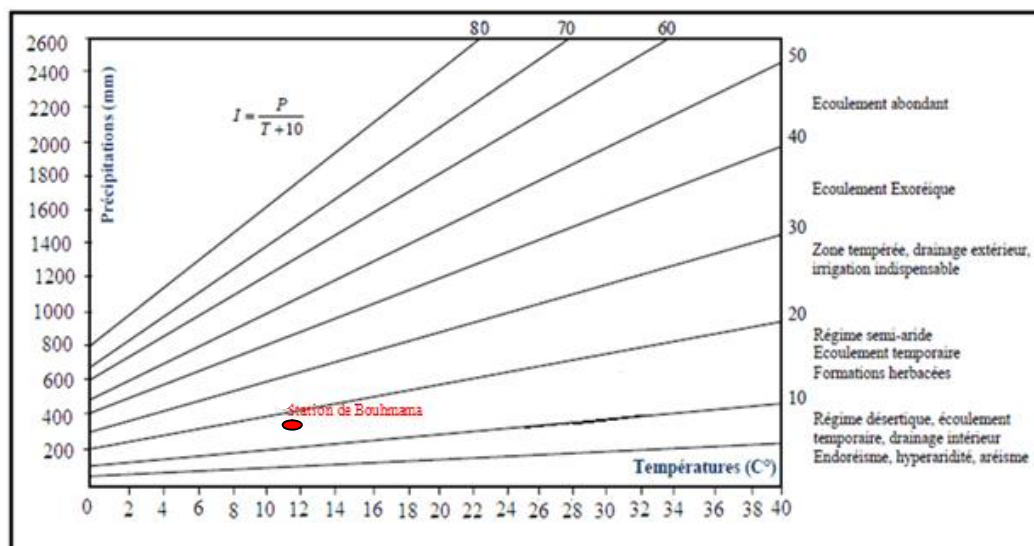


Figure n° 16: Abaque de l'indice d'aridité annuel de De. Martonne

B.2. Le diagramme de L. Eemberger:

Pour préciser le climat de la région, nous employons le Climagramme de L. Eemberger sur lequel nous avons reporté les données relatives à la station de Bouhmama avec en abscisse la moyenne de la température minimale (en °C), et en ordonnée Q_2 donné par la formule suivante:

$$Q_2 = 2000 P / M^2 - m^2 \quad \text{avec:}$$

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),

$$(T^{\circ k} = T^{\circ c} + 273.2).$$

Tableau n° 20 : Les valeurs de Q_2

Stations	P (mm)	M		m		Q ₂
		° C	° k	° C	° k	
Bouhmama	354.783	27.9	301.1	-0.4	272.8	43.68

$$Q_2 = 354.783 * 2000 / 90661.21 - 74419.87 = 709566 / 16241.37$$

$$Q_2 = 43.68$$

*la température moyenne des minimums est de l'ordre: -0.4

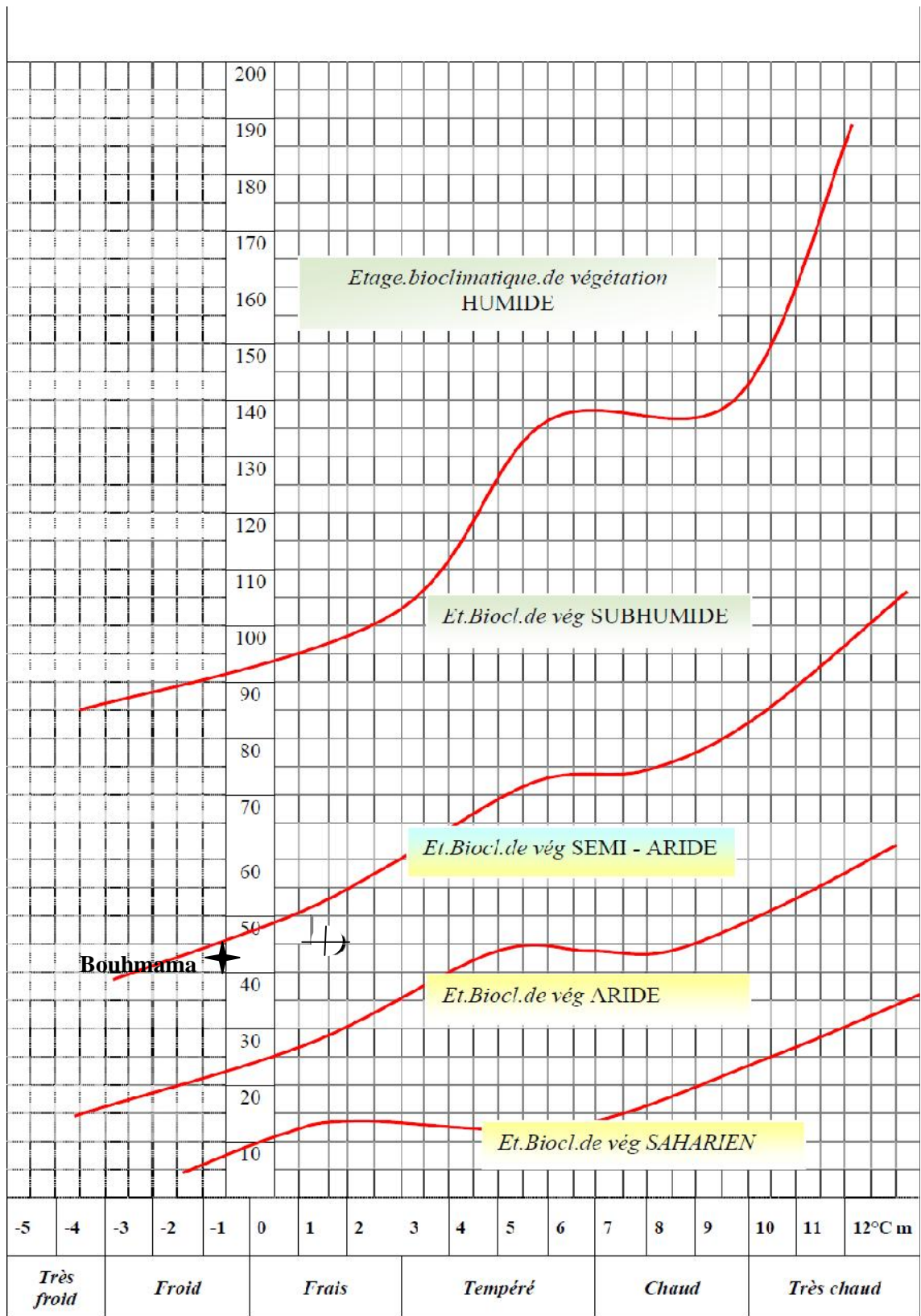


Figure n° 17: Climagramme de L'emberger

4. Le bilan hydrologique:

L'application des différentes méthodes pour le calcul du bilan hydrologique montre que, lorsque l'on s'intéresse à des régions à déficit hydrique, l'estimation du bilan devient un véritable exercice d'équilibre. (Diafallah, 2008).

L'équation générale d'un tel bilan peut s'écrire : $P = ETR + R + I$

Avec :

P : Précipitation annuelle en mm ;

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm ;

R : Ruissellement en mm ;

I : Infiltration annuelle en mm.

4.1. Estimation de l'évapotranspiration :

L'évapotranspiration est la déperdition en eau par retour directe à l'atmosphère sous forme de vapeur et correspondant à un phénomène regroupant à la fois des processus d'évaporation physique de l'eau contenue dans le sol et ceux relatifs à la transpiration correspondant à l'utilisation de l'eau atmosphérique et celle du sol par les végétaux et au rejet de vapeur d'eau dans l'atmosphère.

L'évapotranspiration est l'un des composantes fondamentales du cycle hydrologique, son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrique d'une région ou d'un bassin versant.

On distingue :

4.1.1. Évapotranspiration potentielle ETP :

C. W Thornthwaite a défini l'évapotranspiration potentielle par la perte en eau qui est conditionné par :

- La température de l'air et de l'eau ;
- L'insolation et l'humidité de l'air ;
- La vitesse et la turbulence du vent ;
- La pression barométrique et l'altitude.

4.1.2. Calcul de l'ETP selon Thornthwaite :

La formule utilisée est :

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

Où : T = la température moyenne annuelle en degré (°C) ;

I = la somme des indices thermiques mensuels ;

$$i = (T / 5)^{1.514} ;$$

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

ETP corrigé = ETP. K dont, K = est un facteur de corrélation mensuel dépend de la latitude et du mois, il est obtenu par un abaque de la durée d'éclairage.

4.1.3. Évapotranspiration réelle (ETR):

L'évapotranspiration réelle (ETR) est appelée souvent déficit d'écoulement (DE) elle correspond à la quantité d'eau évaporée ou transpirée effectivement par le sol, les végétations, et les plans d'eau libres.

Plusieurs formules ont été proposées pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle ETR.

La hauteur des précipitations et les températures moyennes mensuelles forment les bases de ces formules.

4.2. Calcul de l'ETR :

*Formule de TURC :

Cette formule est applicable à tous les climats, elle est fonction des précipitations et des températures moyennes annuelles.

$$ETR = P / [0.9 + (P^2 / L^2)]^{1/2}$$

$$\text{Avec : } L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

ETR: évapotranspiration réelle (mm/an) ;

P: hauteur annuelle de la pluie (mm) ;

T: température moyenne annuelle (°c) ;

On a: P=354.8 mm, T=15.8 C°, L=893.21.

Donc, un ETR exprime : 356.09 mm.

4.3. Ruissellement:

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 :

$$R = P^3 / 3 \times (ETP)^2$$

P = 354.8 mm, ETP = 841.5 mm, donc R = 22.33 mm.

4.4. L'infiltration :

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

$$P = ETR + R + I + Wa \quad \text{donc, } I = P - (ETR + R)$$

Pour le sou bassin de Mellagou :

P = 354.8 mm ;

ETR= 356.09 mm ;

R=22,33 mm.

Donc, l'infiltration : I= 76.38 mm

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

Dans le sous bassin de Mellagou l'estimation de l'infiltration est de 76.38 mm donc cette valeur représente 21.52% des précipitations. Nous constatons que l'infiltration efficace est supérieure au ruissellement en raison des fortes perméabilités des terrains.

5. Méthode du bilan hydrique de Thornthwaite :

C.W Thornthwaite a proposé une méthode qui permet de connaître les différents termes d'un bilan hydrique à l'échelle mensuelle, il fait intervenir l'évapotranspiration (ETR) et la pluviométrie (P), cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU). Cette dernière peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes. On suppose qu'une lame d'eau de 100 mm est la quantité nécessaire pour que le sol soit saturé.

Cette valeur représente alors la quantité d'eau optimale que le sol peut retenir ou soustraire à l'écoulement interne. On peut distinguer trois cas :

- $P > ETP$: alors $ETR = ETP$
- Il reste un excédent ($P - ETP$) qui est affecté en premier lieu à la RFU, et si la RFU est complète à l'écoulement Q
 - $P = ETP$
- Les précipitations sont reprises par l'évapotranspiration
 - $P < ETP$
- Dans ce cas il y a un épuisement des réserves et en aura alors un déficit
- Si le $RFU = 0$ la quantité $D = ETP - ETR$ représente le déficit agricole.

Les résultats de calcul de ces paramètres pour la station de Bouhmama, sont présentés sur le tableau et les graphes suivantes:

Tableau n° 21: Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de C .W. Thornthwaite

Période	T _p (°C)	I	K	ETP _C (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	21,655	9,2	1,03	100,9	31,388	-69,5	-0,7	0,0	0,0	31,4	69,5	0,0
O	16,4	6,0	0,97	59,6	29,068	-30,6	-0,5	0,0	0,0	29,1	30,6	0,0
N	12,9	4,2	0,86	35,4	41,7	6,3	0,2	6,3	6,3	35,4	0,0	0,0
D	7,985	2,0	0,85	15,7	33,35	17,7	1,1	17,7	24,0	15,7	0,0	0,0
J	6,67	1,5	0,87	11,9	32,96	21,1	1,8	21,1	45,1	11,9	0,0	0,0
F	7,425	1,8	0,85	13,9	33,065	19,2	1,4	19,2	64,3	13,9	0,0	0,0
M	10,1	2,9	1,03	28,1	39	10,9	0,4	10,9	75,2	28,1	0,0	0,0
A	12,98	4,2	1,08	44,9	27,68	-17,2	-0,4	-17,2	57,9	44,9	0,0	0,0
M	18,355	7,2	1,2	89,1	26,792	-62,3	-0,7	-57,9	0,0	84,7	4,4	0,0
J	22,77	9,9	1,2	127,8	23,57	-104,2	-0,8	0,0	0,0	23,6	104,2	0,0
J	25,58	11,8	1,21	156,6	12,714	-143,9	-0,9	0,0	0,0	12,7	143,9	0,0
A	26,475	12,5	1,15	157,7	23,503	-134,2	-0,9	0,0	0,0	23,5	134,2	0,0
Année	15,8	73,4		841,5	354,8	-486,7				354,8	486,7	0,0

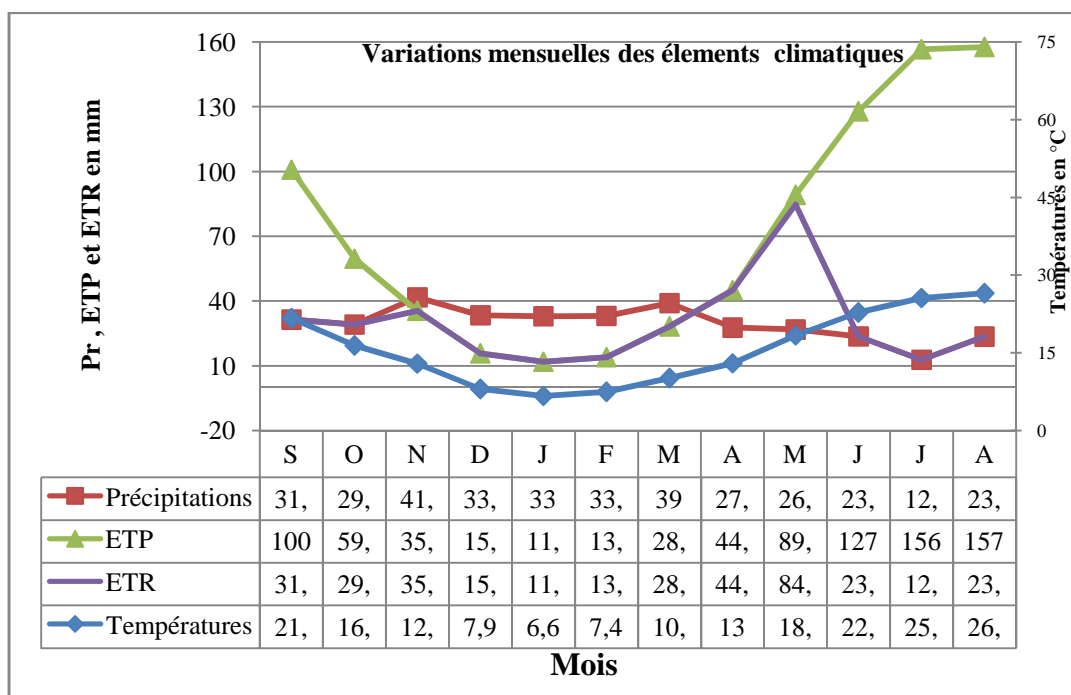


Figure n° 18: Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques de la station de Bouhmama (1992-2010)

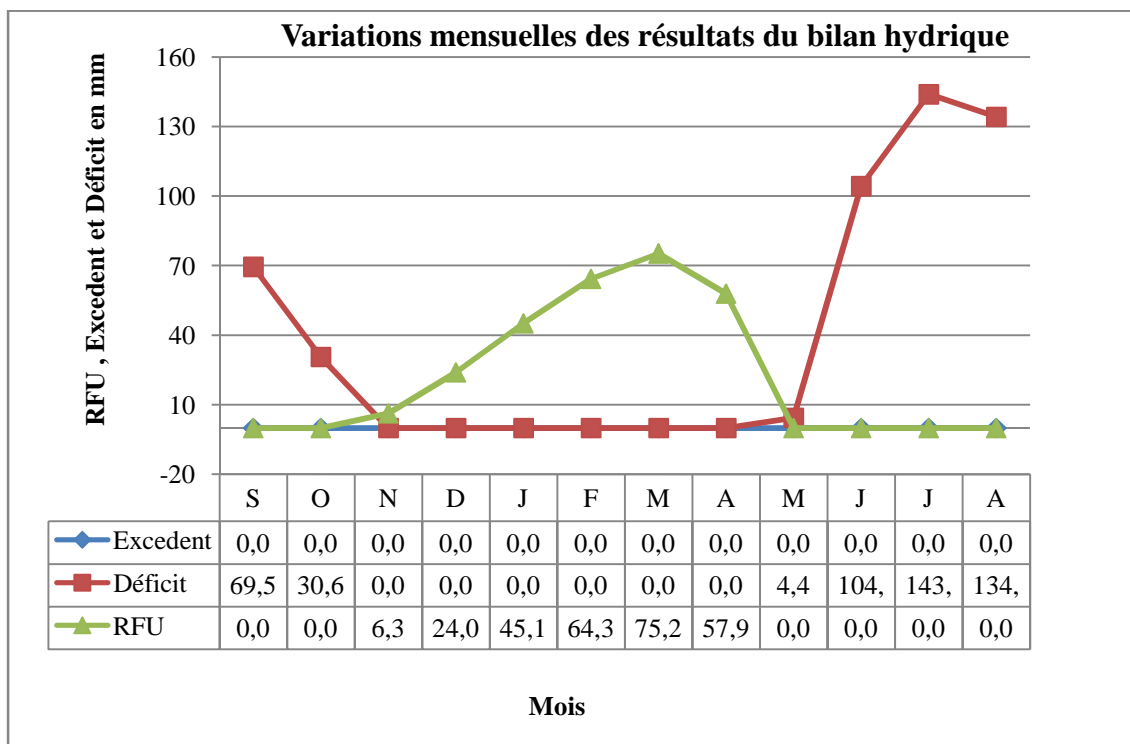


Figure n° 19: Variations mensuelles des résultats du bilan hydrique

6. Interprétation des graphes :

De ce diagramme Fig. n°18 qui représente les trois paramètres du bilan d'eau, on remarque qu'au mois de novembre la précipitation commence à se diminuer jusqu'à l'obtention de sa plus petite valeur au mois de juillet (12.71 mm). En même temps l'ETP augmente et atteint son maximum toujours au mois d'août (157,7 mm). Dans cette période qui s'étale entre novembre et mai l'ETR continue son augmentation qui débute au mois de février jusqu'au mois de mai et c'est à cause le RFU qui n'a pas encore épuisé. Dès que le RFU diminue à partir de mai, l'ETR diminue aussi et atteint son minimum avec la précipitation au mois de juillet, et c'est la période d'épuisement des réserves.

Cet épuisement persiste jusqu'au mois d'octobre formant une période de déficit agricole, et à partir de ce mois la précipitation retombe en reconstituant les réserves et les cours d'eau, est c'est la saison pluvieuse étalant jusqu'au mois de mai.

7. Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite:

- A l'échelle annuelle, l'ETP dépasse largement les précipitations. Ce dernier, dominant dans la région d'étude avec un total de 354.8 mm/an.
- A l'échelle mensuelle nous constatons qu'à partir du mois d'avril les précipitations sont inférieures à l'ETP jusqu'au mois d'octobre. Les autres mois (novembre jusqu'à mars) où les précipitations sont supérieures à l'ETP.
- En générale Les précipitations ne couvrent pas les besoins de l'évapotranspiration potentielle et ne permettent pas la formation de la RFU.
- D'après le bilan hydrique les précipitations (P) est égale ETR avec 354.8 mm. Donc, exprime l'absence d'excès (EXC = 00 mm)
- Le déficit agricole (DA) débute au mois de novembre et se poursuit jusqu'au mois d'avril.
- La RFU atteint son maximum (75.2 mm) au mois de mars et diminue jusqu'à 6.3 mm au mois de novembre, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.

Conclusion :

Le climat de la commune de Bouhmama s'intègre parfaitement dans le climat des hautes plaines constantinoises et des Aurès. Il est méditerranéen, semi-aride, au voisinage de l'aride. Deux saisons distinctes ont été obtenues :

- Une saison peut pluvieuse froide allant du mois de novembre jusqu'au mois de mars.
- une saison sèche chaude qui va du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre.

Les précipitations sont assez rares voire absentes en été, mais faibles à moyennes en hiver. Elles tendent à connaître d'importantes fluctuations d'une année à l'autre, la somme des précipitations moyennes annuelles est de l'ordre de 354.79 mm.

- la température moyenne annuelle est de l'ordre de 15.8 °C.
- l'évapotranspiration réelle (ETR) est de l'ordre de 354.8 mm
- l'évapotranspiration potentielle (ETP) est de l'ordre de 841,5 mm.
- La réserve facilement utilisable (RFU) n'est jamais remplie au courant de toute l'année. C'est l'état de déficit existant durant la saison estivale.

Introduction:

Chaque étude hydro-chimique permet de connaître l'origine des eaux souterraines, ainsi que leur potabilité et leurs degrés de pollution.

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

Durant le mois d'avril 2015, notre investigation sur le terrain s'est effectuée sur l'échantillonnage qui a été réalisé sur 10 forages dans la région de Bouhmama. Les analyses ont été prises en charge dans le laboratoire de l'institut des sciences de la terre de l'université de Constantine.

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

- Paramètres physiques: (pH, conductivité) ;

-Paramètres chimiques : éléments majeurs

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

*Les anions: Bicarbonate (HCO_3^-), Sulfate (SO_4^{2-}), Chlorure (Cl^-), et Nitrate (NO_3^-) ;

- Paramètres inorganiques: éléments en trace

*Fer (Fe), Chrome (Cr), Manganèse (Mn), Plomb (Pb), Cuivre (Cu), et Aluminium (Al).



Source : Bouali. H (20/04/2015)

Photo n° 01: La plaine de Mellagou (droite), et la vallée d'Oued Mellagou (gauche).

I. Méthodes et stratégie de travail :

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° 13) 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.

2. Analyses physico-chimique :

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.

2.2. Analyse des éléments chimiques (au laboratoire) :

a. Les bicarbonates (HCO_3^-):

Les dosages ont été effectués par potentiométrie et par volumétrie.

***Appareil** : appareil de titrage automatique.

Réactifs : H_2SO_4 à 0.02N, solution tampon.

b. 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 0.1mg/l et KCl 0.1mg/l.

c. Les chlorures (Cl^-) :

Ont été déterminé par colorimétrie.

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

Réactifs : chromate de potassium, nitrates d'argent AgNO_3 , 0.02N.

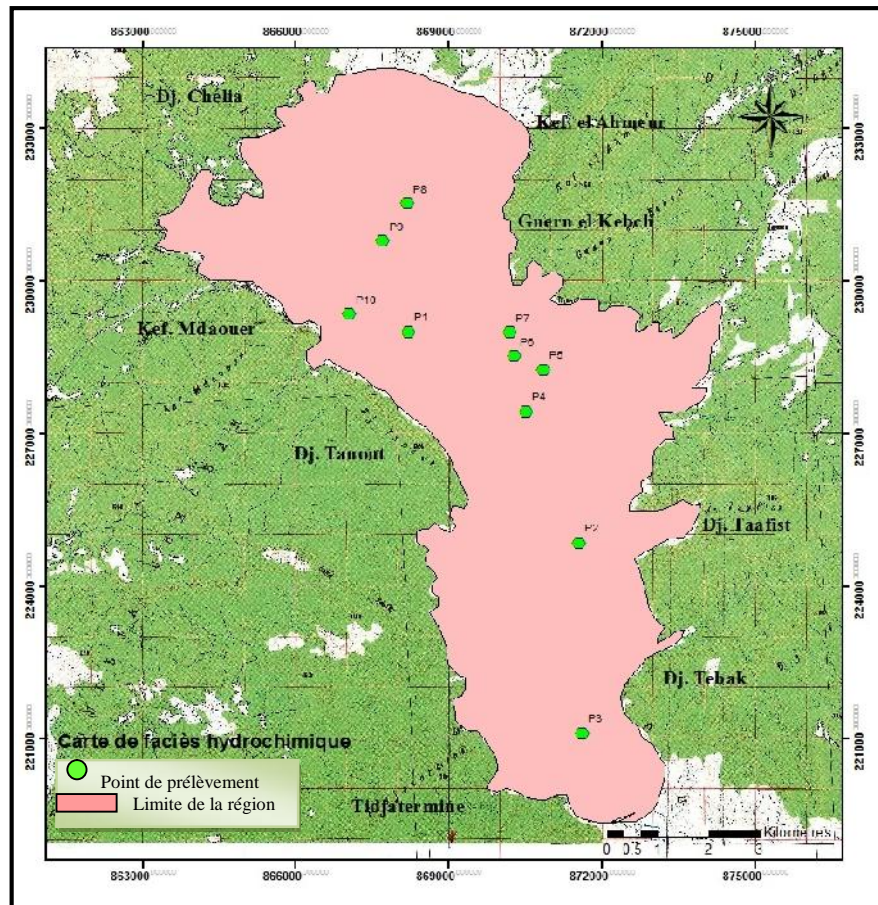
Étalon : solution NaCl 0.1g/l.

d. Les nitrates (NO_3^-) et les sulfates (SO_4^{2-}) :

Ces éléments ont été déterminés par spectrométrie.

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

Réactifs : En gélule le NITRA VER5 pour les nitrates et le SULFA VER4 pour les sulfates.



Carte n° 13 : Carte d'inventaire des points de prélèvements

II. Résultats et discussion :

1. Paramètres physiques :

1.1. pH :

Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (Dussart, Bermond *et al.* 1966). Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie aquatique du développement favorable. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 alors que dans les eaux tièdes, celui-ci est compris entre 5 et 9 (HCEFLCD, 2007).

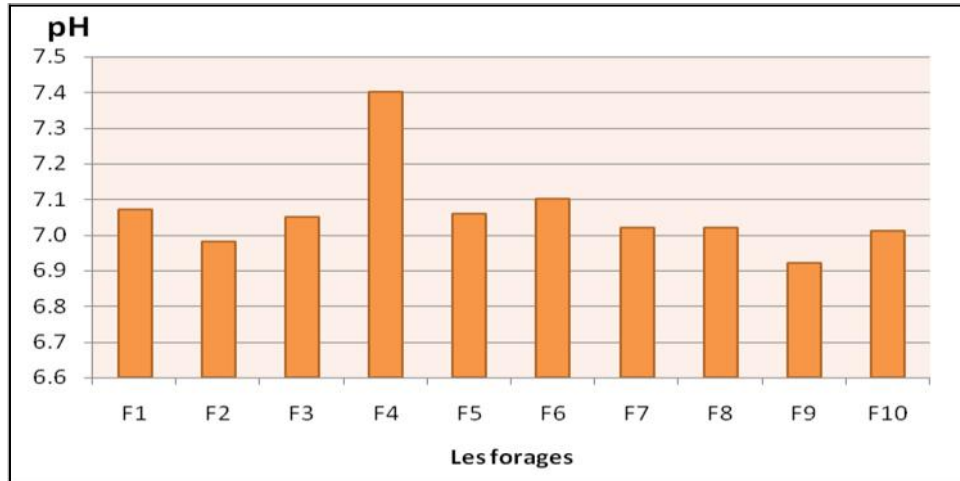


Figure n° 21: Variations spatiales des valeurs moyennes de pH

Les valeurs du pH des eaux souterraines de la plaine de Mellagou ne montrent pas une variation notable, avec un minimum de 7.0 dans les forages : F7, F8, et F10 et un maximum de 7.4 dans le forage F4. Ces valeurs témoignent d'un milieu neutre et bien équilibré (Fig. n° 21).

1.2. Conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm^2 de surface et séparé l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m): $1\text{S/m} = 10^6 \mu\text{S/cm}$. La conductivité donne une idée sur la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau (HCEFLCD, 2006). En effet, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation.

Tableau n° 22: Les valeurs de la conductivité électrique des eaux superficielles (Plaine de Mellagou) pendant la période de mesure (avril 2015)

La plaine de Mellagou			
	Avril 2015		Avril 2015
F1	1675 $\mu\text{S/cm}$	F6	1218 $\mu\text{S/cm}$
F2	1811 $\mu\text{S/cm}$	F7	1526 $\mu\text{S/cm}$
F3	1380 $\mu\text{S/cm}$	F8	1311 $\mu\text{S/cm}$
F4	1350 $\mu\text{S/cm}$	F9	5153 $\mu\text{S/cm}$
F5	1570 $\mu\text{S/cm}$	F10	4933 $\mu\text{S/cm}$

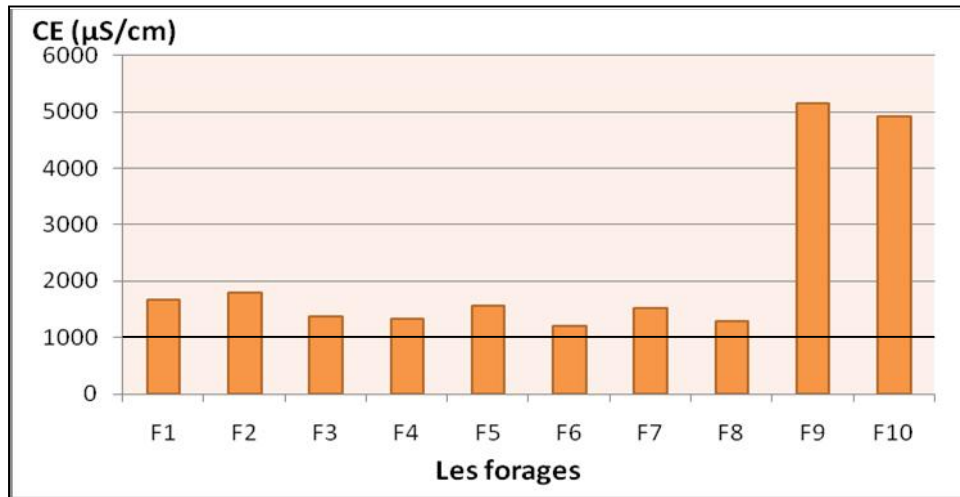
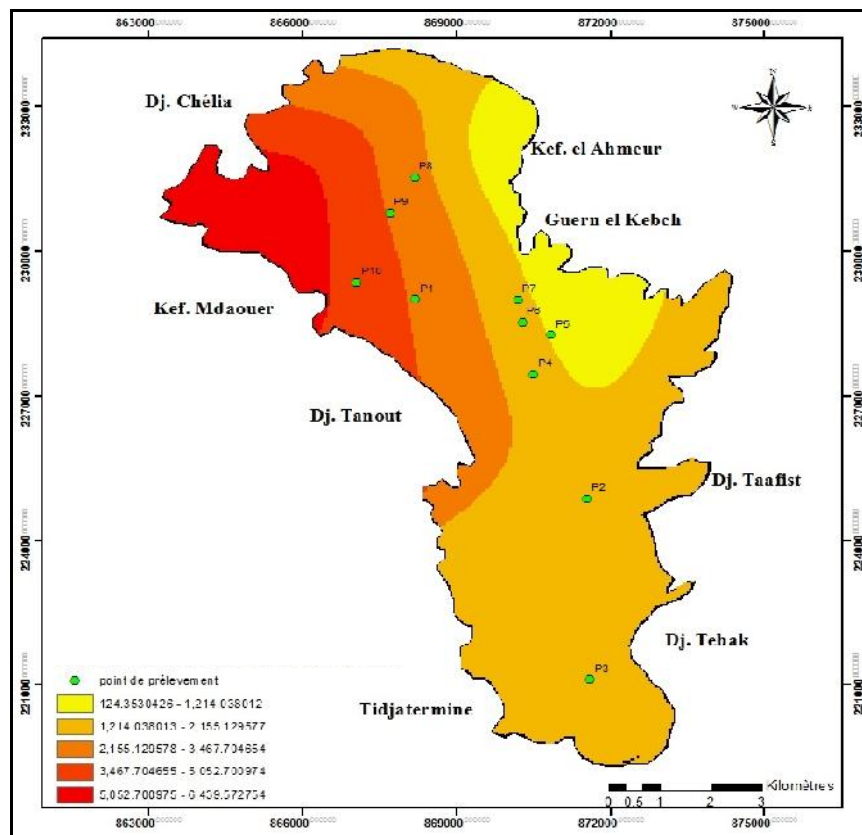


Figure n° 22: Les valeurs de la conductivité électrique dans les eaux souterraines de la plaine de Mellagou pendant la période (avril 2015)

Les valeurs enregistrées durant la période d'étude varient de 1218 à 5153µS/cm, dont la valeur minimum est enregistrée au forage F6, et le maximum est enregistré au forage F9 (Fig. n° 22 et tableau 22). La conductivité électrique dépend du substrat géologique traversé ainsi que la température, phénomène d'évaporation, qui joue un rôle d'augmentation de concentration des sels dans l'eau.



Carte n° 14: Carte de conductivité électrique (µS/cm) des eaux souterraines de la plaine de Mellagou (avril 2015)

La carte n°14 de conductivité électrique nous donne 05 classes qui va de la plus forte concentration (5052.70 – 6439.57 μ S/cm) qui correspond aux forages (F1, F9, et F10) localisés dans le Nord-Ouest. L'intervalle de concentration le plus faible (124.35 – 10214.03 μ S/cm) correspond aux forages (F5, F6, et F7) qui sont localisés dans le Nord-Est.

2. Paramètres chimiques :

Dans l'aquifère, l'eau peut subir les effets de plusieurs phénomènes (dissolution, échange) capables de modifier l'aspect chimique de l'eau suivant la nature lithologique des terrains traversés.

2.1. Cartographie des éléments majeurs :

L'utilisation du Système d'Information Géographique (SIG) constitue une nouvelle approche pour la spatialisation de l'information, et la mise à jour des travaux de cartographie, en vue d'aide à la prise de décision.

Dans cette partie les cartes de répartition des éléments majeurs dans l'espace ont été faites à l'aide du logiciel Arc Gis 10.1 Desktop édité par ESRI (Environnemental, Inc).

Arc GIS Desktop est la principale application utilisée par les professionnels de la SIG pour compiler, créer et utiliser les informations et les connaissances géographiques. Elle est disponible à trois niveaux fonctionnels : Arc View, Arc Editor et Arc Info.

Arc GIS Desktop comprend une suite d'applications bureautiques intégrées : Arc Map, Arc Catalog™, Arc Toolbox™ et Arc Globe™. Chaque application offre une gamme complète d'outils et d'opérateurs SIG.

a. Données et matériels disponibles :

Ce travail a été basé sur des données de type tridimensionnel (x, y, z), en l'occurrence: longitude, latitude et la concentration des éléments majeurs (cation et anion). L'information utilisée provient de deux sources différentes :

- Carte topographique sous format numérique Echelle 1 :50000 ;
- Données de campagnes de mesure, l'inventaire de ces campagnes est présenté dans tableau Excel.

Le traitement des données a été réalisé à l'aide du matériel informatique suivant :

- un ordinateur PC avec l'environnement Windows 7 Pro (Microsoft inc) ;
- les logiciels d'Esri : ARC-VIEW/Spatial-Analyst/ Geostatistical Analyst (ESRI Inc) ;
- PCC Star : logiciel de conversion des coordonnées (Adjou mokhtar 2004).

Les données étudiées (cartes topo et données de campagnes) sont introduites dans le SIG en unité géographique, ces derniers sont convertis en coordonnées projetées format Lambert Conforme conique.

b. Interpolation : la distribution des points de mesure n'est pas uniforme dans toute la zone d'étude. Certaines zones disposent d'une couverture assez dense, d'autres ne disposent pas de mesures. À fin d'estimer les valeurs des concentrations dans les secteurs ne disposant pas de mesures, nous avons eu recours aux méthodes géostatistiques d'interpolation par Krigeage (est une méthode d'interpolation qui permet d'estimer les valeurs aux points non échantillonnés par combinaison des données. Les points des échantillons sont pondérés par une fonction de structure issue des données. Ainsi, on tient compte des distances, des valeurs et des corrélations. La fonction n'est pas fixée à priori, mais suite à l'analyse du variogramme) en utilisant le module Geostatistical Analyst. Ce dernier permet de créer des modèles continus à partir de données échantillonnées et de prédire ainsi les valeurs sur des régions où le prélèvement n'a pas pu être effectué.

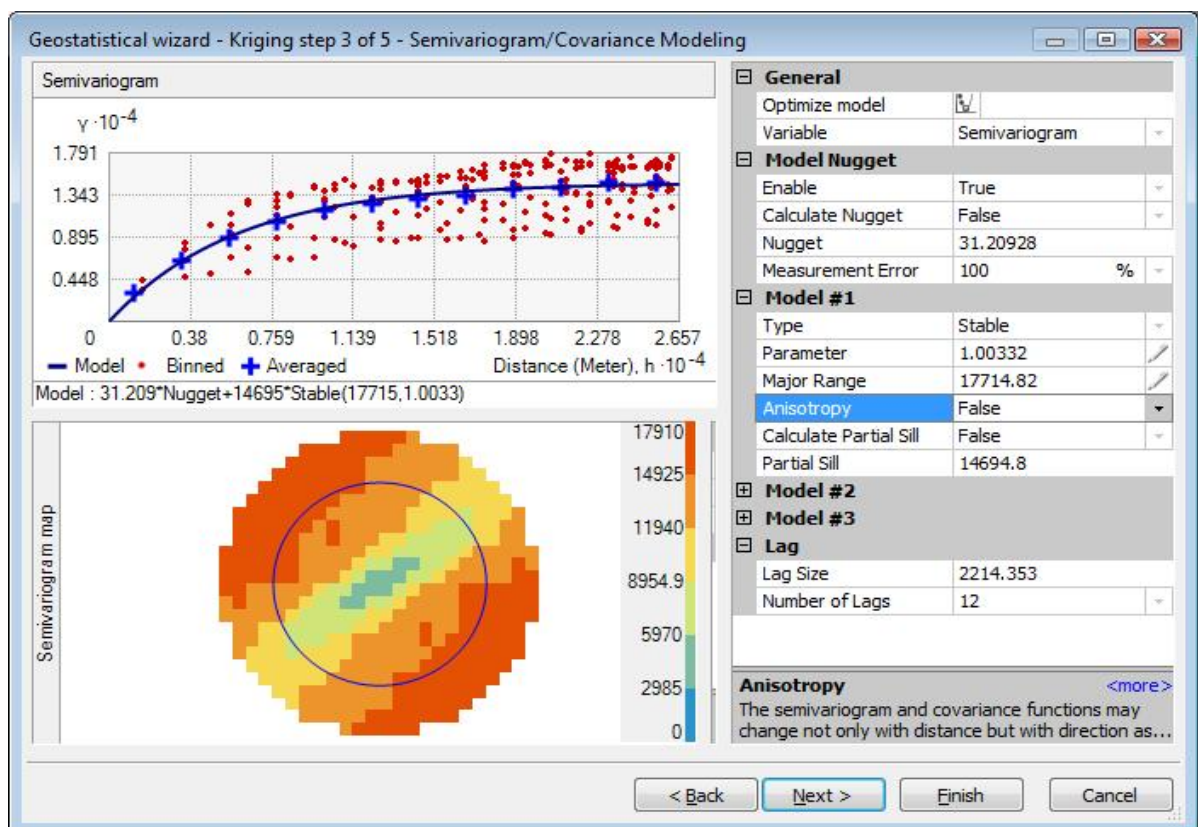


Figure n° 23: L'un des phases des applications de l'Arc Gis 10.1

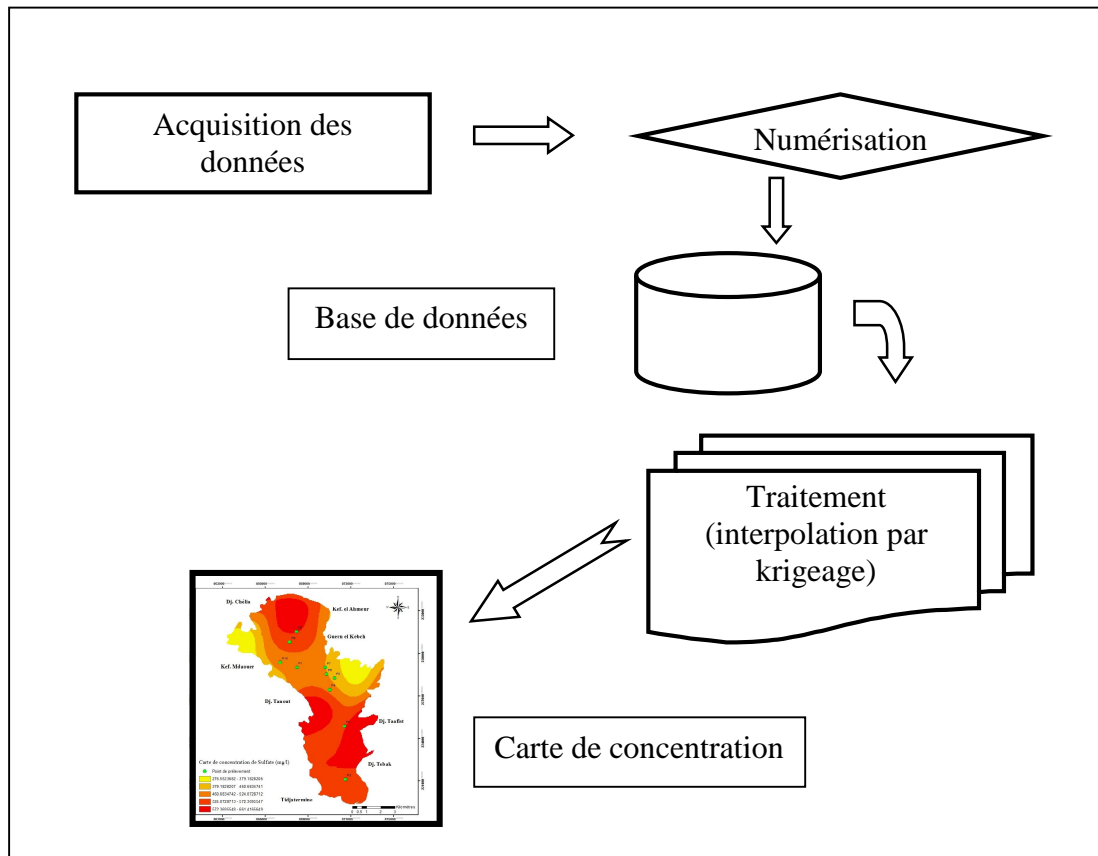
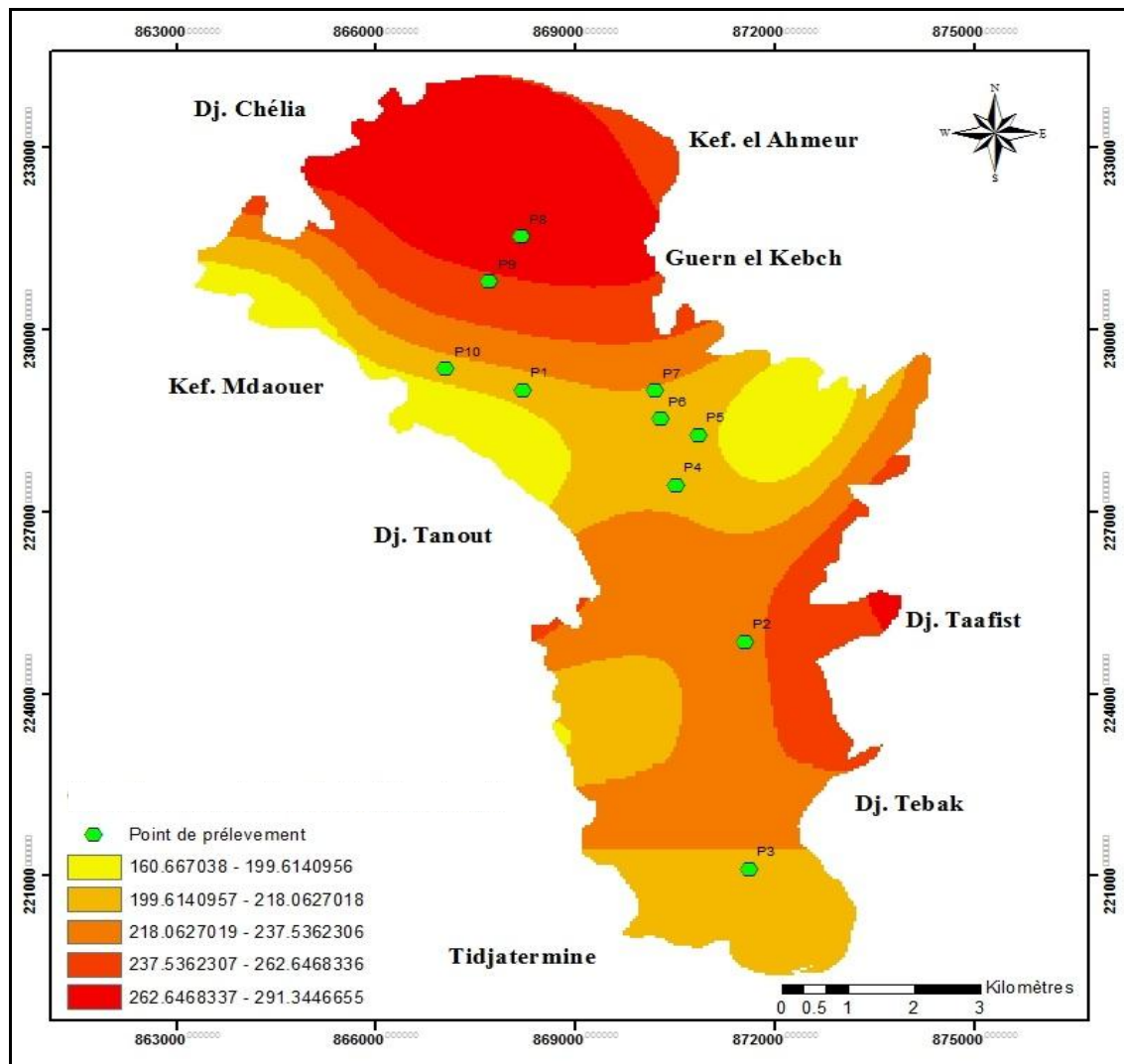


Figure n° 24 : Méthode utilisée pour la réalisation de la carte de concentration

2.2. Répartitions des cartes des cations dans les eaux souterraines de la plaine de Mellagou:

1. Le Calcium (Ca^{++}):

Selon la définition du Petit Larousse 1906, le calcium est un métal blanc jaunâtre, isolé par Davy (1808), qu'on obtient en décomposant certains de ses sels au moyen de la pile ou encore en chauffant de la chaux dans un courant de vapeurs de potassium ou de sodium : le calcium décompose l'eau à la température ordinaire (Claude, 1905).

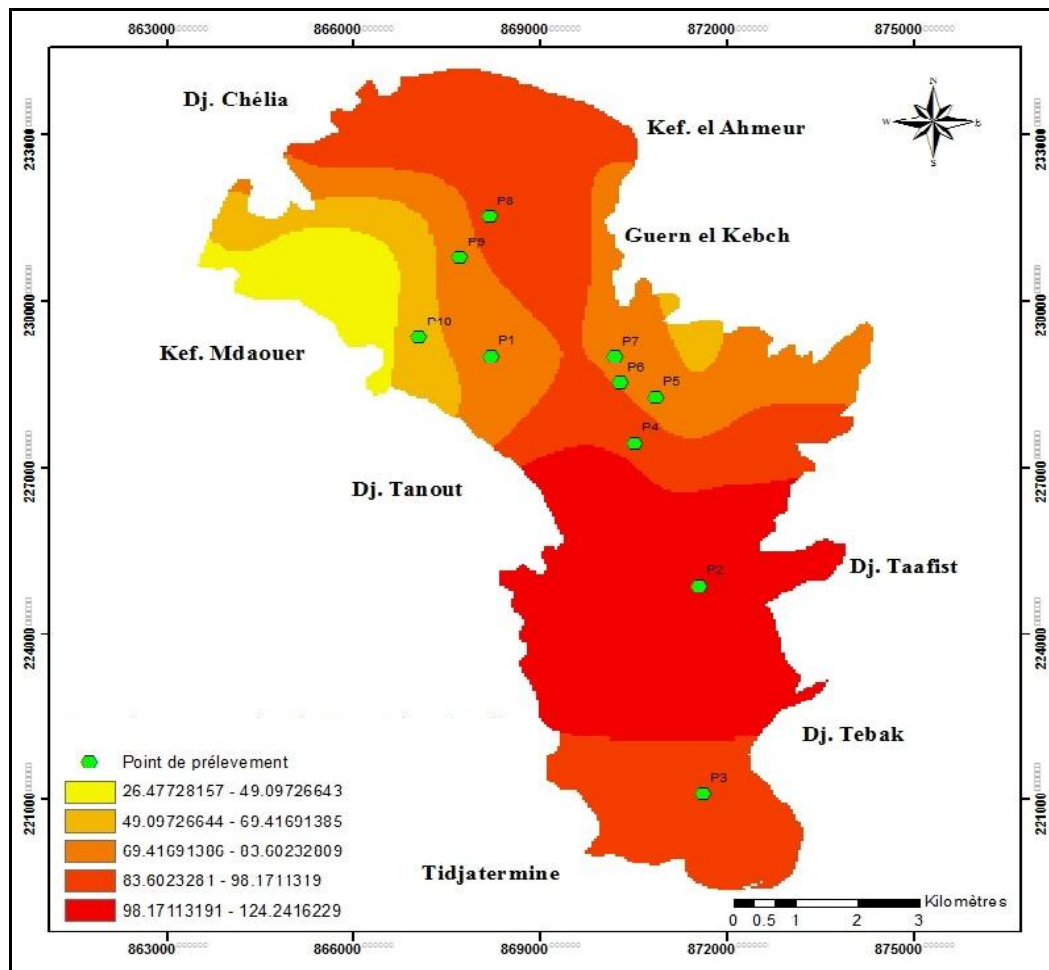


Carte n° 15: Carte de concentration de Calcium (Ca^{++} en mg/l)

Les fortes concentrations (263.50 – 291.34 mg/l) en Calcium (Ca^{++}), se trouvent dans le Nord de la plaine de Mellagou, dont la valeur maximale est enregistrée dans le forage (F9). Le Sud de cette plaine, par contre, nous enregistre les concentrations les plus faibles dont la valeur minimale est donnée par le forage (F4) (la carte n°15).

2. Le Magnésium (Mg^{++}) :

Selon la définition du Petit Larousse, le magnésium (Mg^{++}) est un métal solide, d'un blanc d'argent, qui brûle à l'air avec une flamme éblouissante : le sulfate de magnésium est employé comme purgatif sous le nom de sel d'Epsom, de Sedlitz (Claude, 1905).

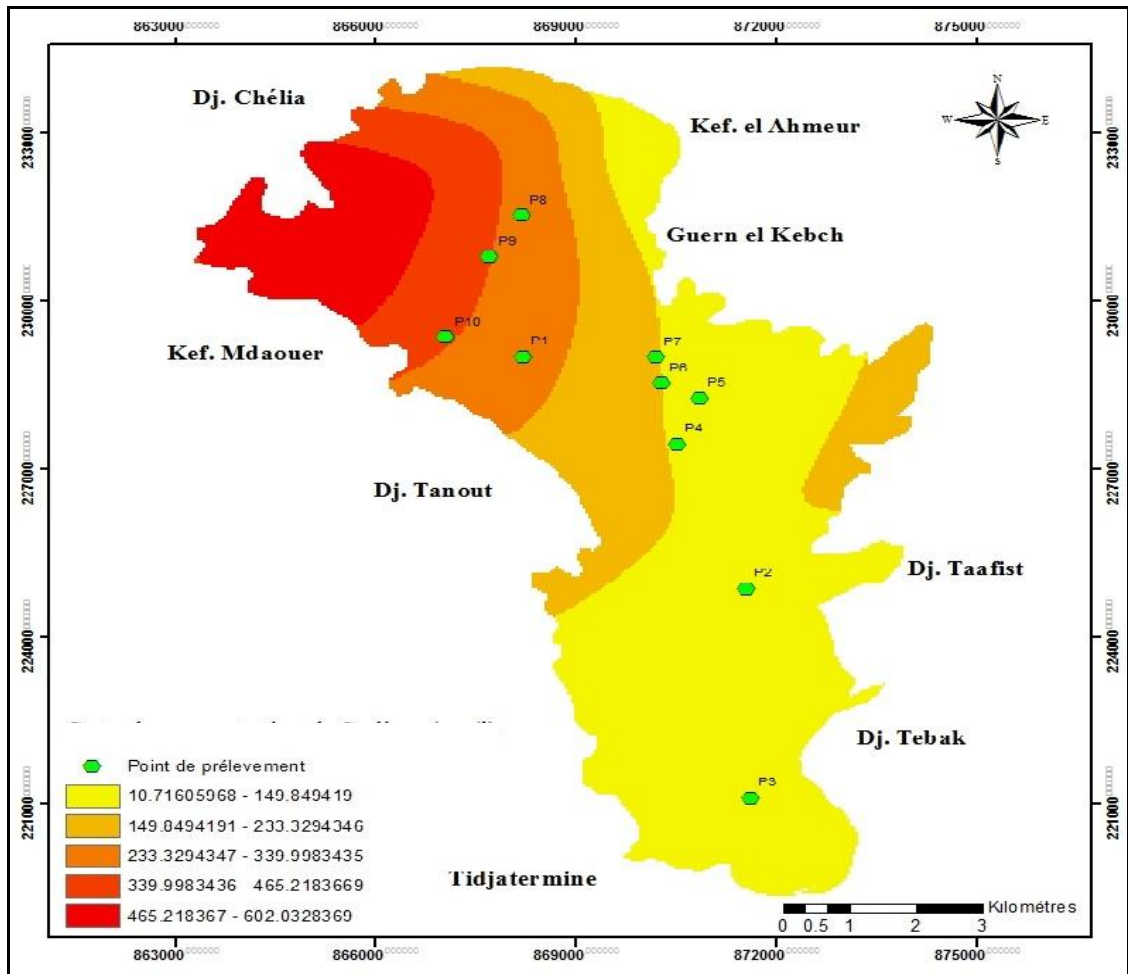


Carte n° 16: Carte de concentration de Magnésium (Mg^{+2} en mg/l)

La carte n°16 nous donne un Sud en forte concentration en Mg^{+2} (99.12 – 125.01 mg/l), la valeur maximale est enregistrée au niveau du forage (F2). Le Nord de cette même carte est réservé aux faibles concentrations (26.45 – 51.19 mg/l), la valeur minimale est enregistrée au Nord-Ouest, forage (F10).

3. Le Sodium (Na^{+}):

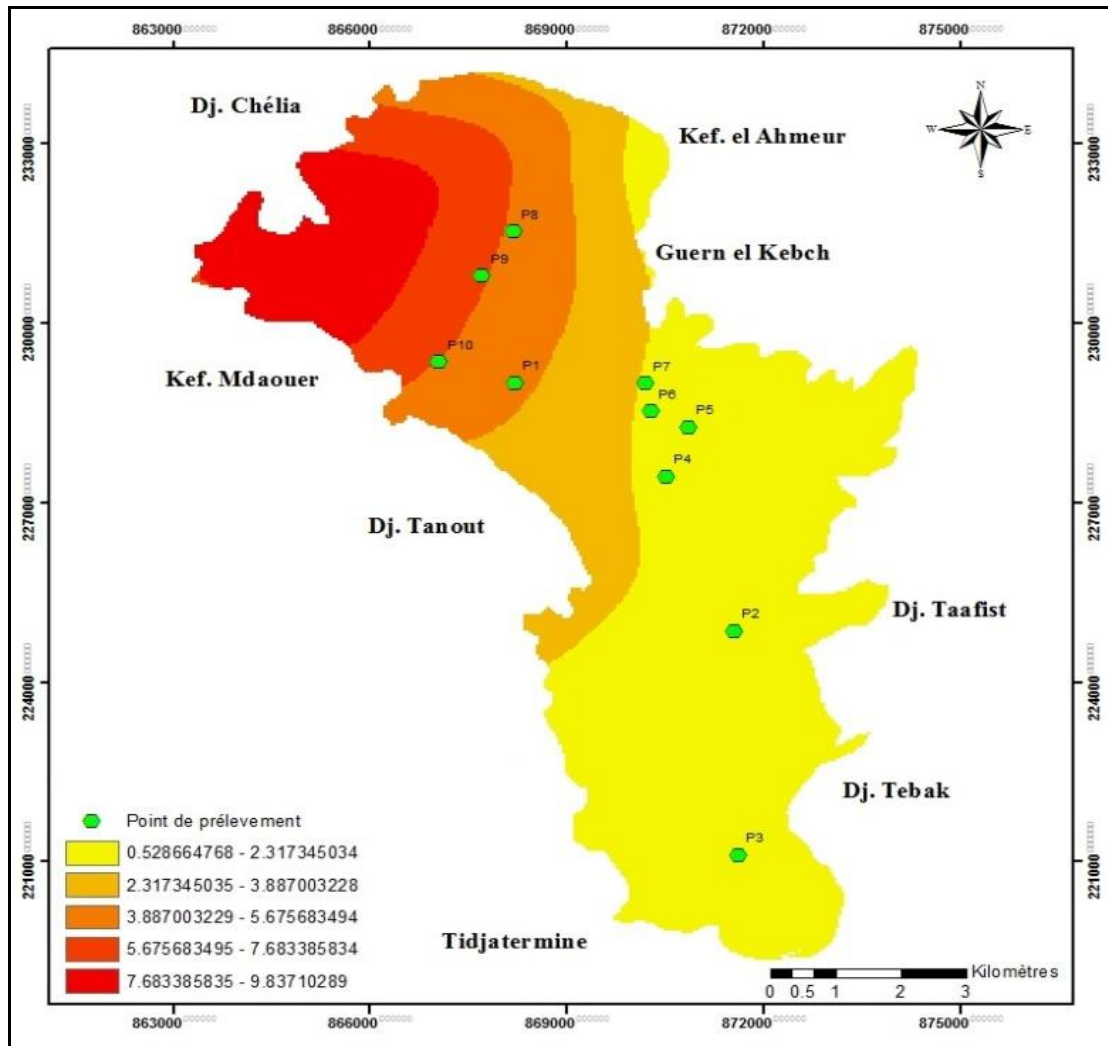
Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois les concentrations peuvent être extrêmement variables. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition des sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères. La carte (n°17) de sodium de la plaine de Mellagou montre que les concentrations augmentent en allant vers le Nord-Ouest avec (70,6 mg/l) comme valeur minimale enregistrée dans le forage (F8) et (710.5 mg/l) comme valeur maximale enregistrée au forage (F9).



Carte n° 17: Carte de concentration de Sodium (Na^+ en mg/l)

4. Le Potassium (K^+):

On trouve le potassium en grandes quantités dans la nature. Il est rencontré sous forme de chlorure double dans nombreux minerais. Tels que la carnallite de Stassfurt et la sylvinite. On le trouve également dans les cendres des végétaux sous forme de carbonate (Allali, 2004).



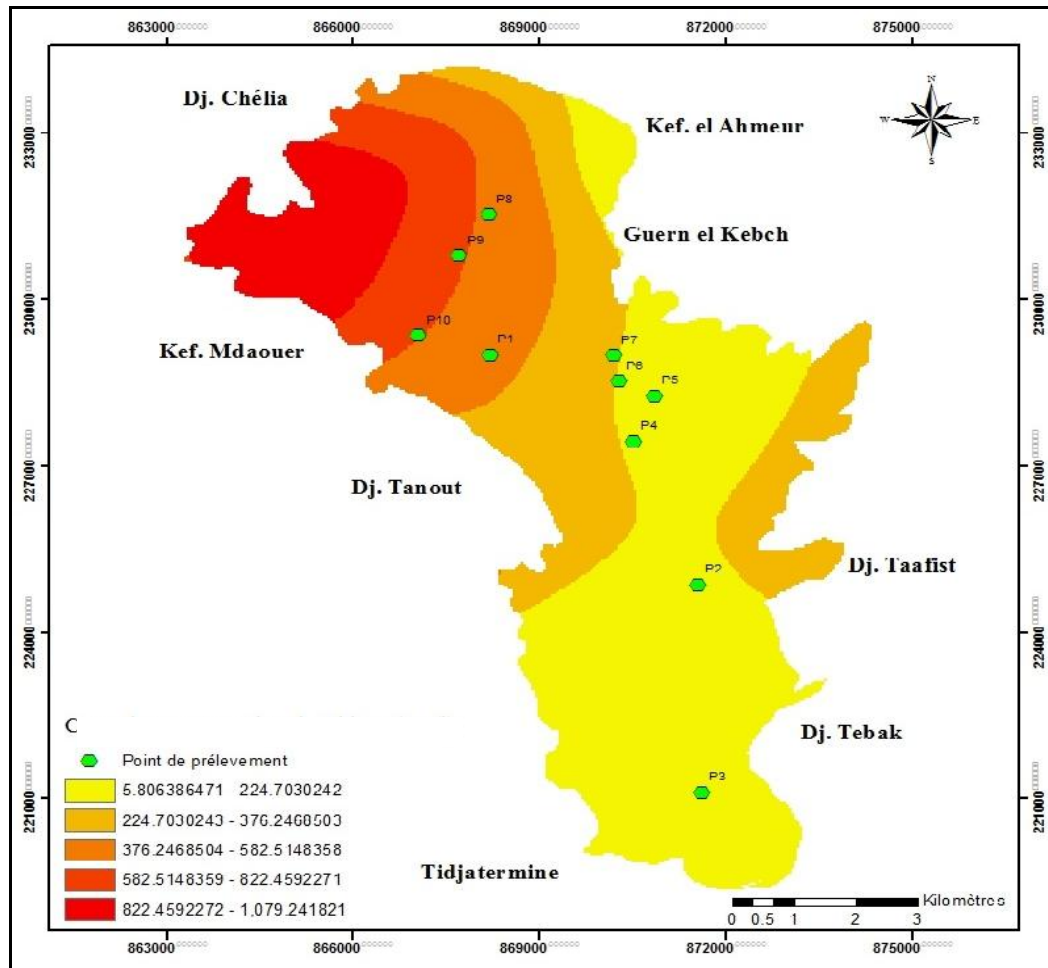
Carte n° 18: Carte de concentration de Potassium (K^+ en mg/l)

La carte n° 18 de Potassium (K^+) de la plaine de Mellagou montre que les concentrations augmentent en allant vers le Nord-Ouest avec (0.9 mg/l) comme valeur minimale dans le forage (F3) et (11.6 mg/l) comme valeur maximale enregistrée dans le forage (F9).

2.3. Répartitions des cartes des anions dans les eaux souterraines de la plaine de Mellagou:

1. Les Chlorures (Cl^-):

Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives. La concentration des chlorures dans l'eau dépend aussi du terrain traversé.



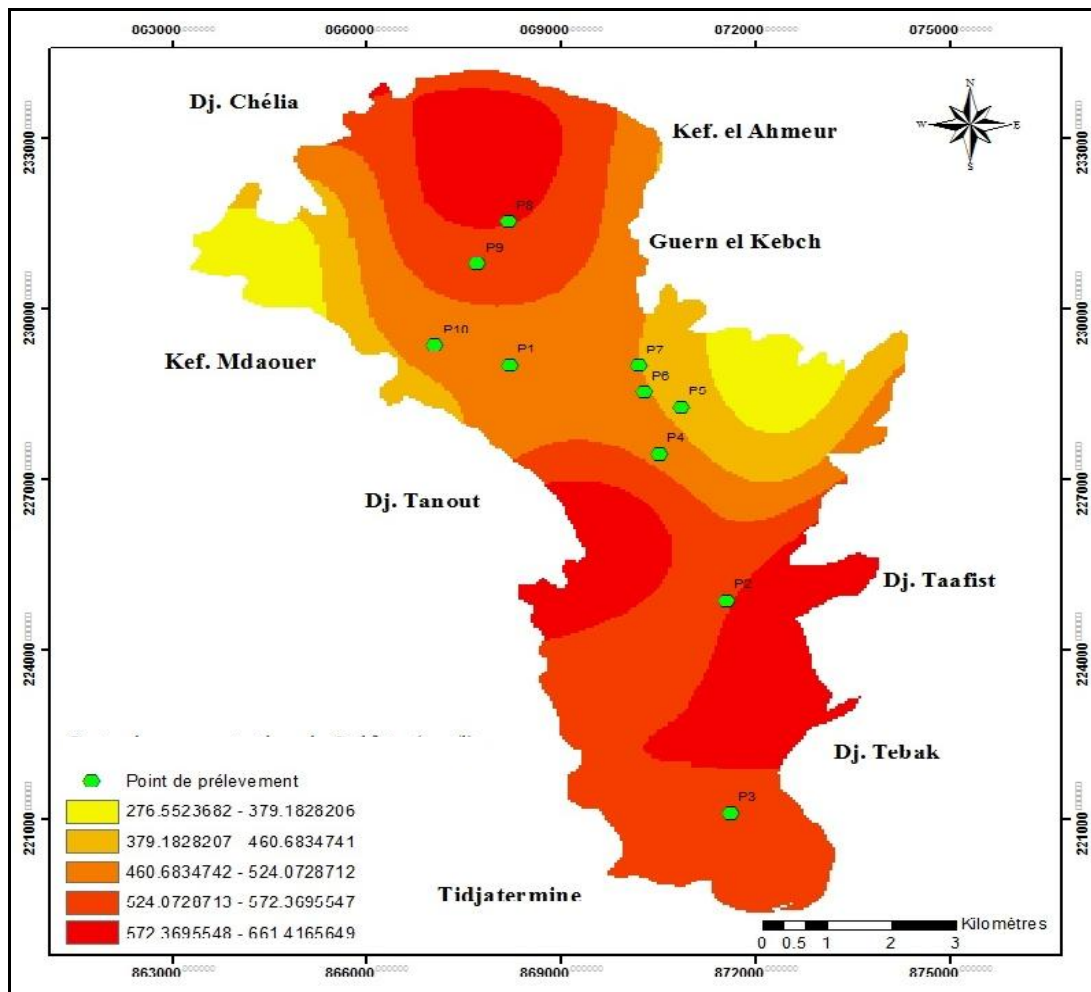
Carte n° 19: Carte de concentration de Chlorure (Cl^- en mg/l)

La carte des Chlorures (Cl^-) de la plaine de Mellagou montre que les concentrations augmentent en allant vers le Nord-Ouest avec, la valeur minimale (84.6 mg/l) est enregistrée dans le forage (F8). Quant à la maximale (1300.1 mg/l), elle est enregistrée dans le forage (F9), (Carte n°19).

2. Les Sulfates (SO_4^{2-}) :

Les eaux naturelles contiennent, pratiquement, des ions sulfatés, dont les proportions très variables. Leurs présences résultent de la légère solubilité des sulfates de calcium dans les roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures se trouvant dans les roches. Cependant, ils peuvent aussi provenir de l'oxydation dans l'atmosphère, de l'anhydrite sulfureuse par combustion des hydrocarbures (Bakalowicz, 1979).

La variation de la concentration des sulfates varie d'une zone à une autre, généralement liée aux évaporites du Trias et aux crétacés et aux lits gypseux des argiles (Khemmoudj, 2009).

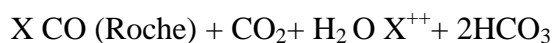


Carte n° 20: Carte de concentration de Sulfate (SO_4^{2-} en mg/l)

Les concentrations minimales en sulfates sont localisées dans le Nord se propageant de l'Est vers l'Ouest, le forage (F5) enregistre la plus faible valeur (299.9 mg/l). À l'extrême Nord, ainsi qu'au Sud, les concentrations en (SO_4^{2-}) sont des plus fortes, la concentration la plus élevée est 1300.1 mg/l dans le forage (F 8) (la carte n°20).

3. Les Bicarbonates (HCO_3^-) :

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique selon l'équation générale suivante :



L'élément (X) peut être le (Ca^{++}) ou le (Mg^{++}), il est très probable que ce soit le Ca^{++} , car le Mg^{++} est très soluble, sauf si l'eau est thermale, l'origine principale des carbonates est la dissolution des roches carbonatées et gypsifères (Trias).

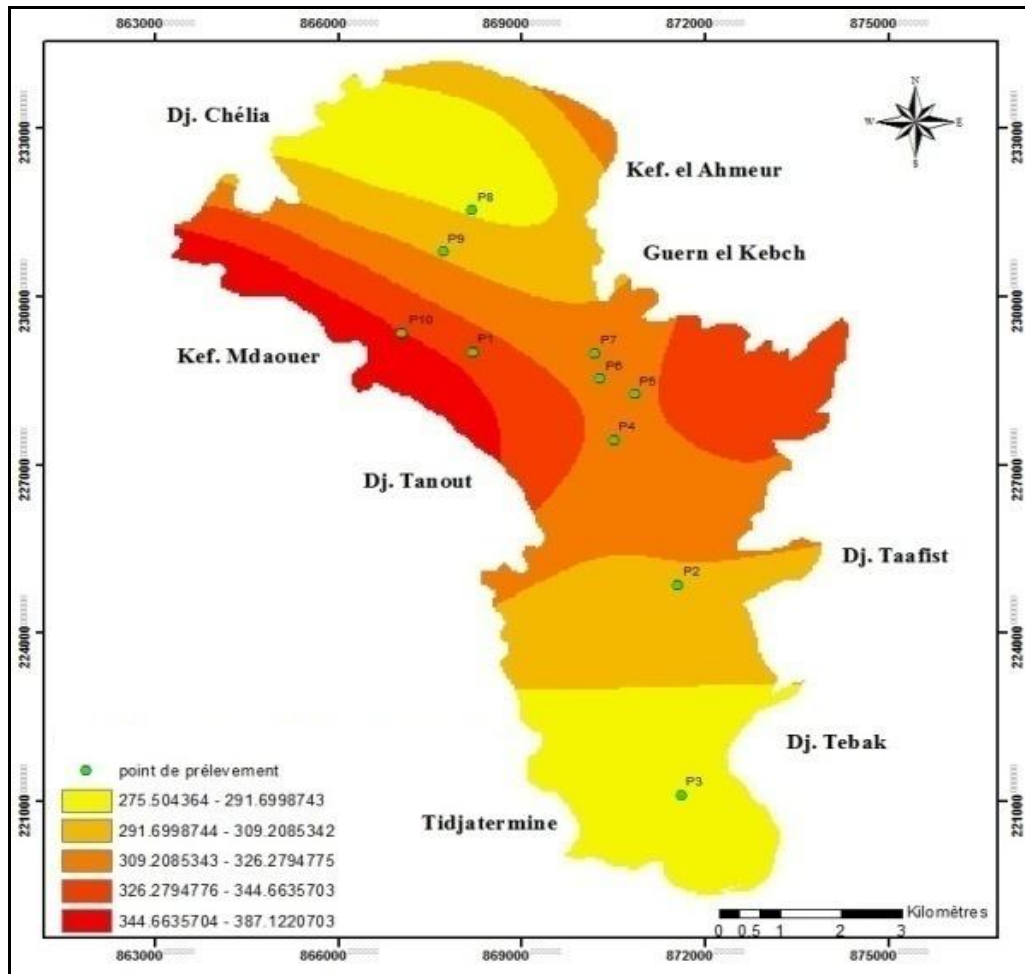
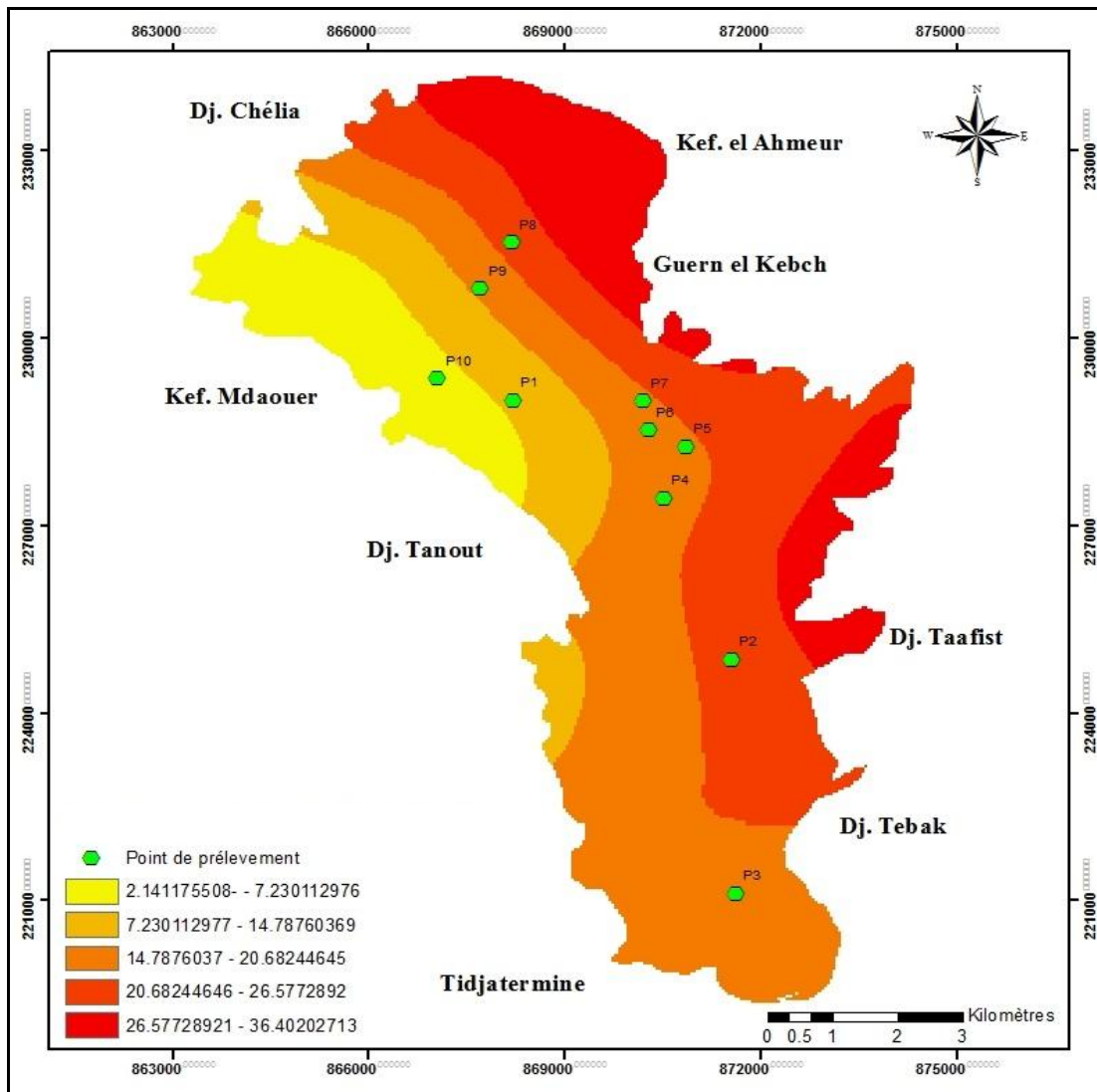


Figure n° 21: Carte de concentration de Bicarbonate (HCO_3^- en mg/l)

La concentration des Bicarbonate (HCO_3^-) dans les deux extrêmes, Nord et Sud, de la carte n° 21 est des plus faibles avec une valeur minimale (229.1 mg/l) enregistrée dans le forage (F09). Les concentrations commencent à augmenter à partir du centre se propageant vers les deux extrêmes (Est et Ouest) de la plaine. La valeur maximale est enregistrée dans le forage (F10) avec une concentration de 3838.3 mg/l.

1. Les Nitrates (NO_3^-):

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans les couches de sol et par la décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse et/ ou naturels. L'azote est un élément indispensable dans l'édification de la cellule. Dans le domaine aquatique, l'azote existe sous forme moléculaire (N_2) ou ionisée : Nitrates (NO_3^-), Nitrites (NO_2^-) et ammonium (NH_4^+) ainsi que sous forme organique dissoute ou particulaire (protéine, acides aminés, urée).



Carte n° 22: Carte de concentration de Nitrate (NO_3^- mg/l)

Les concentrations minimales des nitrates (NO_3^-) sont enregistrées au Nord-Ouest de la carte n°22 dont la valeur minimale est de (0.9 mg/l) enregistrée dans le forage 10. Le reste de la carte est marqué par une augmentation progressive en matière de concentration en Nitrate. Les valeurs maximales sont enregistrées essentiellement dans l'extrême Est avec la teneur la plus élevée (30.4 mg/l) enregistrée dans le forage (F2).

3. Les couples des éléments chimiques:

Tableaux n° 23: Tableau des couples

	Ca ⁺⁺	Na ⁺
Cl ⁻		×
SO ₄ ⁻²	×	×
HCO ₃ ⁻	×	
(SO ₄ ⁻² +HCO ₃ ⁻)	×	

3.1. Le couple Na⁺-Cl⁻:

Les points d'observation présentent une tendance d'alignement, ce qui voudrait dire que l'origine de ces deux éléments est commune, il s'agit de la dissolution de l'halite (NaCl).

Il y'a lieu de signaler que l'origine de sodium en plus de l'halite, il provient aussi de la décomposition et la dissolution des marnes gypsifères, ainsi que les dépôts évaporitiques sous l'action des phénomènes de lessivage, évaporation et par l'échange de base (Gouidia, 2008).

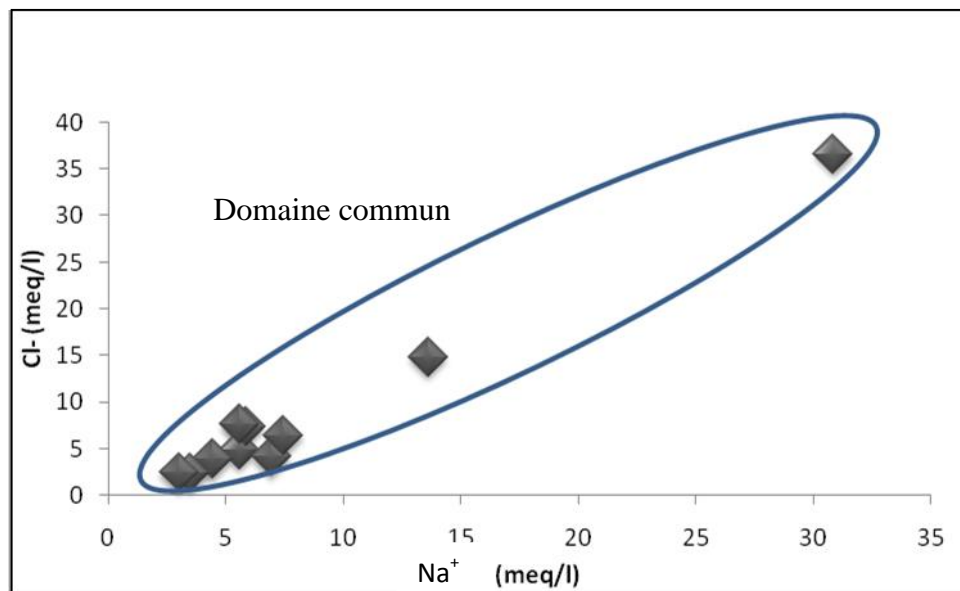


Figure n° 25: La relation Chlorures-Sodium dans les eaux souterraines (avril 2015)

3.2. Le couple Ca⁺⁺-SO₄²⁻ :

On remarque deux familles distinctes, la première représente une forte teneur en calcium, et l'autre en sulfate qui résulte probablement du lessivage des niveaux gypseux.

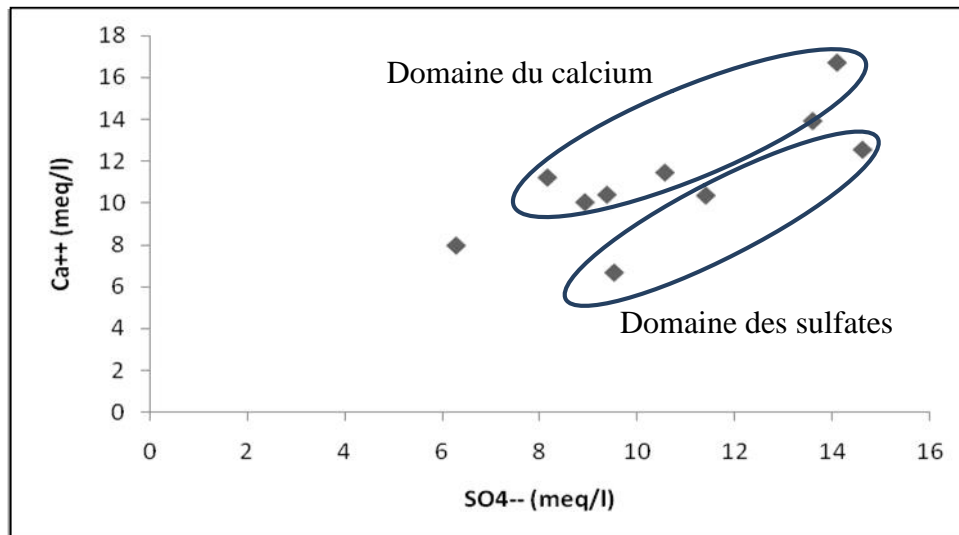


Figure n° 26: La relation Sulfate-Calcium dans les eaux souterraines (Avril 2015)

4. Les relations entre les éléments chimiques :

4.1. La relation Na^+ - SO_4^{2-} :

On remarque que la majorité des points présentent un excès de sulfates vis-à-vis le sodium, seulement deux échantillons présentent un excès de sodium (probablement aux marnes bleues).

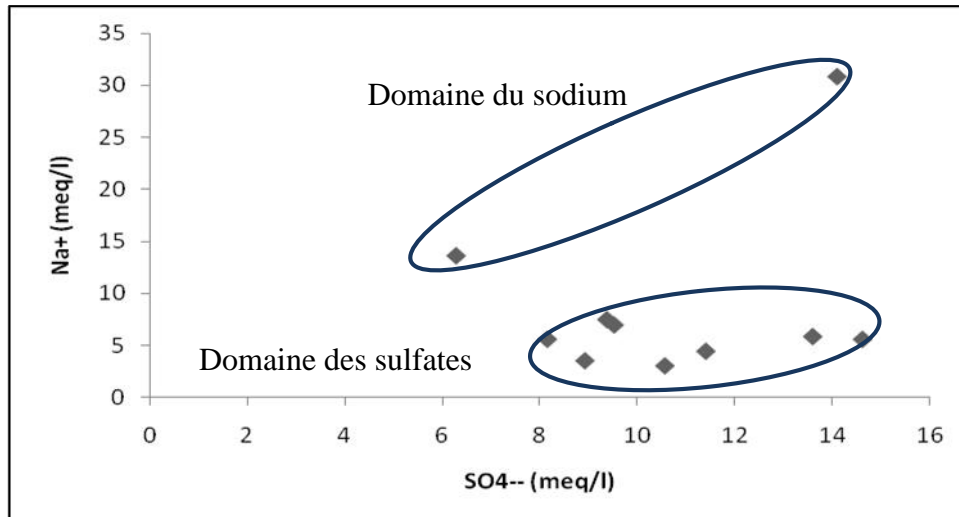


Figure n° 27: La relation Sulfate (Na^+) Sodium (SO_4^{2-}) dans les eaux souterraines de la plaine de Mellagou (avril 2015)

4.2. La relation Ca^{++} - Mg^{++} :

Suivant la figure n°28 nous constatons qu'il y a une corrélation entre ces deux éléments ce qui nous permet de dire qu'ils ont la même origine (origine carbonatée) à l'exception de quelques points qui présentent des teneurs fortes en calcium.

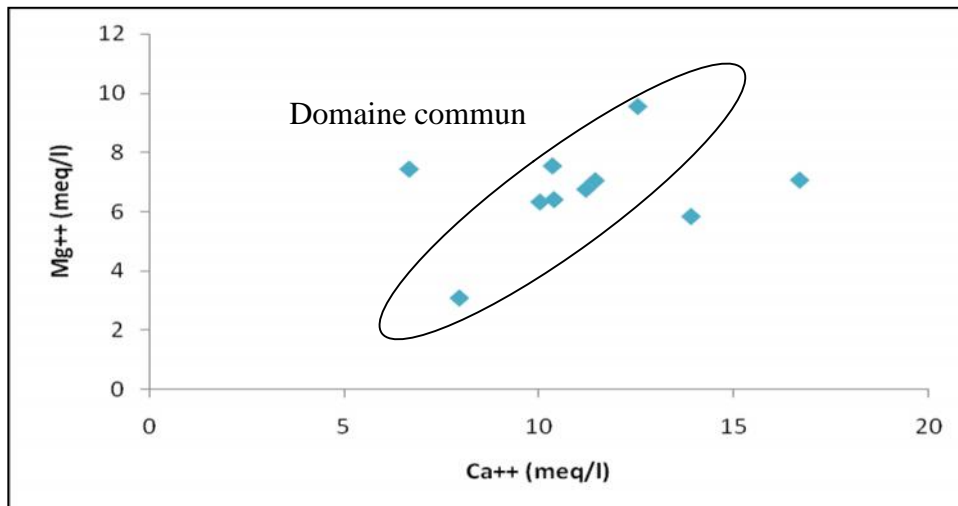
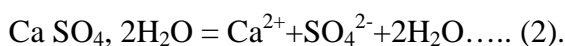
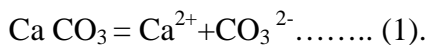


Figure n° 28: La relation Magnésium (Mg⁺⁺) Calcium (Ca⁺⁺) dans les eaux souterraines de la plaine de Mellagou (avril 2015)

- Le magnésium peut avoir comme origine les oxydes de magnésium ou de la magnétite. Il peut aussi se trouver en abondance dans les roches carbonatées et peut être sous la forme de Mg, SO₄, Cl⁻.
- La présence des ions Ca²⁺ dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles: soit à la dissolution des formations carbonatées (Ca CO₃), soit la dissolution des formations gypseuses (Ca SO₄).



5. Origine du chimisme des eaux :

On détermine ici l'origine des éléments chimiques à partir de la bonne corrélation qui existe entre eux.

5.2. Le couple Na⁺-Cl⁻ :

Ces deux éléments dans les eaux naturelles sont souvent liés à la dissolution de l'halite (NaCl). L'évolution de Na⁺ est étudié en fonction des teneurs en chlorures, car ce dernier est considéré comme un traceur stable et conservatif des évaporites, très soluble, n'intervient pas dans les phénomènes d'oxydoréduction et peut influencer par l'intervention des bactéries (Fetter, 1993 in Y.Hsissou).

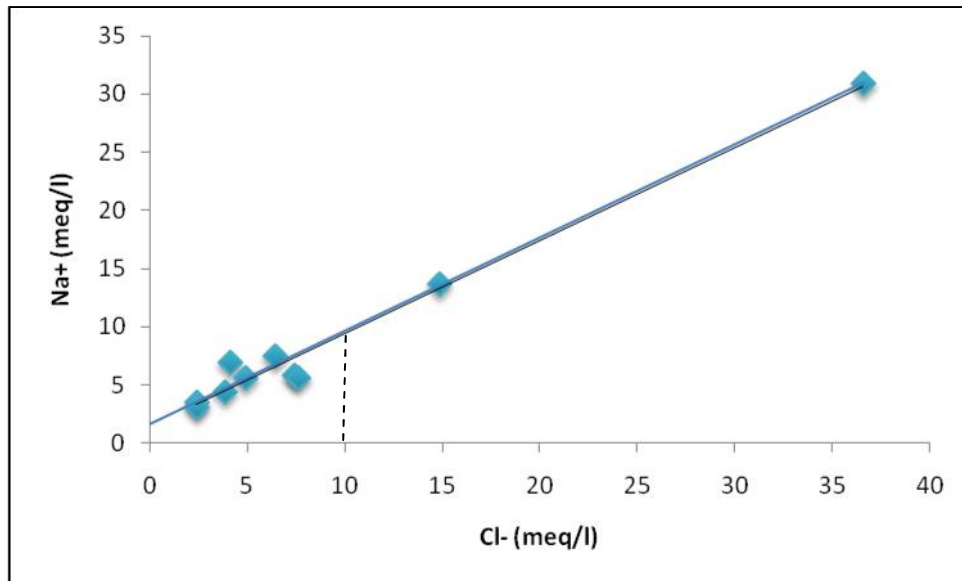


Figure n° 29: Le couple Cl⁻ - Na⁺ (avril 2015)

La figure n° 29 montre deux processus :

- Pour les faibles concentrations du chlorure (<10 méq/l) on observe une répartition stœchiométrique des ions Na⁺ avec les ions Cl⁻, indiquant l'origine chlorurée sodique commune (halite) de ces deux éléments chimiques.
- Pour les fortes concentrations en chlorures (>10 méq/l) : on observe aussi une répartition très régulière des teneurs en sodium et chlorure qui signifie la même origine pour ces deux éléments. Cet apport pourrait provenir de la géologie.

Le potassium (K⁺) résulte de l'altération des argiles potassiques.

5.3. L'échange de base:

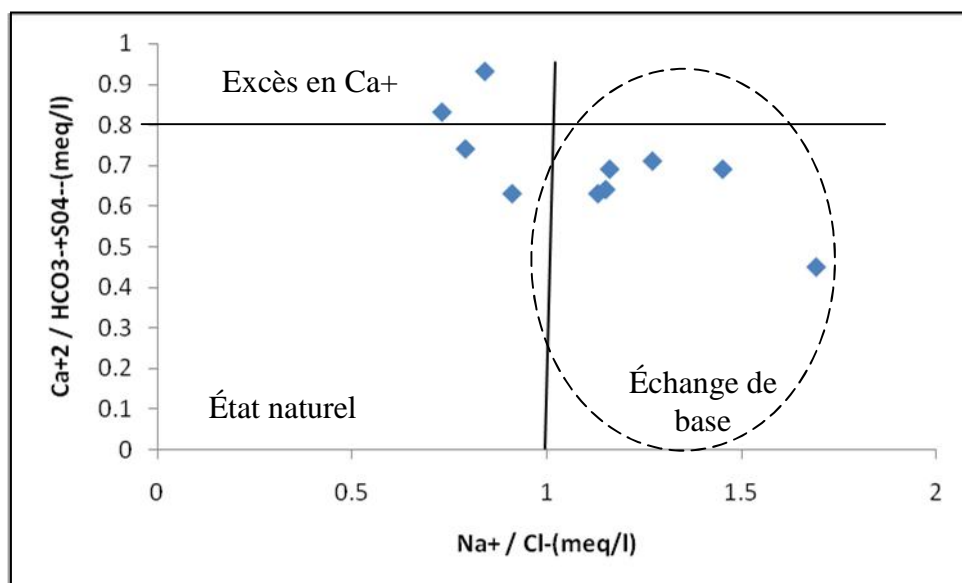


Figure n° 30: Échange de base (avril 2015)

La projection des différents points sur le diagramme $\text{Ca}^{2+}/(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) - \text{Na}^+/\text{Cl}^-$ montre que 60 % des points d'eau subissent un échange de base (F3, F4, F5, F6, F8, et F10), 20 % des points présentent l'état naturel (F1 et F2), et 20 % (F7 et F9) un excès en Ca^{2+} par rapport aux ions HCO_3^- et SO_4^{2-} du sûrement à la formation gypseuse qui fournissent plus d'ions Ca^{2+} .

5.4. Les éléments $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$:

a. Le couple $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$:

On examine ici l'origine du calcium en fonction de deux éléments chimiques (bicarbonates et les sulfates) qui indiquent ses deux origines principales (carbonates et le gypse) Fig. n° 31. La représentation graphique de l'évolution de calcium en fonction des bicarbonates montre un excès des ions de calcium par rapport aux bicarbonates dus à l'abondance des formations carbonatées de crétacés qui caractérise la région d'étude.

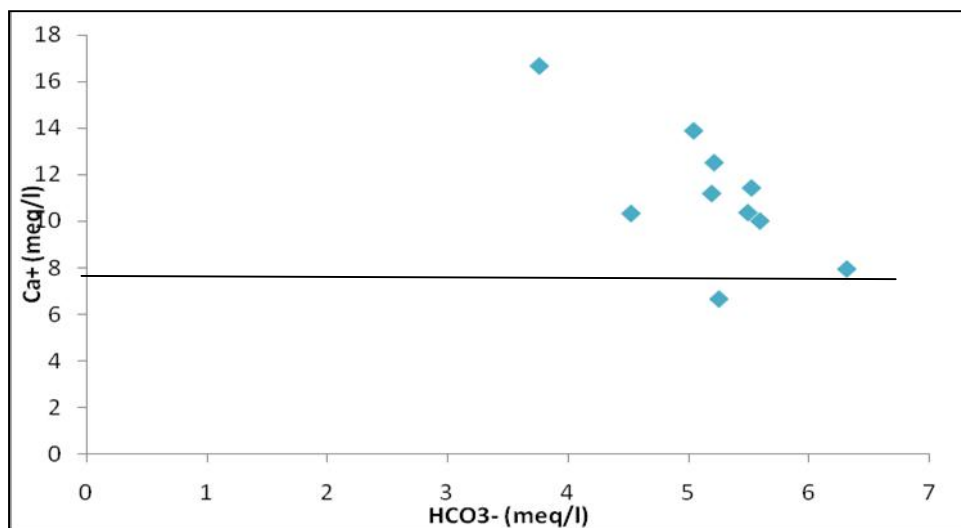


Figure n° 31: Le couple $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{++}$

b. Le couple $\text{Ca}^{+2} - (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$:

Pour déterminer l'évolution de calcium en fonction des bicarbonates et sulfates, une représentation graphique des teneurs en Ca^{2+} en fonction de $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ a été réalisé (Fig.32) cette dernière faite apparaît une évolution linéaire interprété comme le résultat de la dissolution des formations carbonatées et gypsifère (Boulabeiz, 2006).

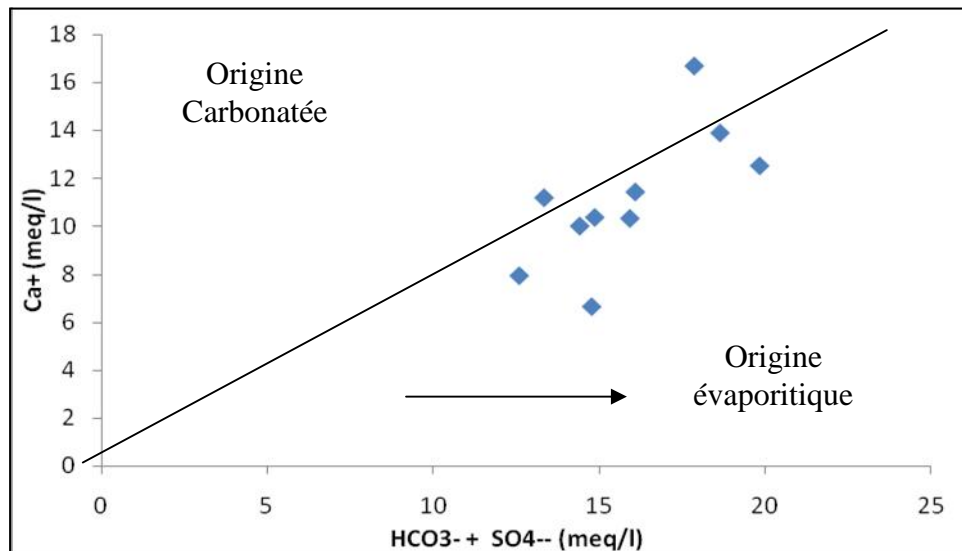


Figure n° 32: les couples $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) / \text{Ca}^{++}$

6. Détermination du faciès chimique:

6.1. Représentation graphique des résultats :

Les résultats d'analyses physico-chimiques sont présentés sous forme de diagrammes qui autorisent une interprétation aisée.

a. Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper permet de visualiser sur le triangle des anions ou des cations des échantillons analysés et de définir non seulement leur faciès grâce aux éléments-major, mais de suivre également leur évolution dans le temps. La représentation des concentrations est exprimée en pourcentage. Les unités de mesure utilisées dans le diagramme Piper sont les % de méq/l. La représentation des données de l'analyse de l'eau sur le diagramme de Piper a permis de distinguer les faciès chimiques suivants :

- Le faciès sulfaté calcique représente 80% des échantillons ;
- Le faciès chloruré sodique qui représente 20% des échantillons.

Tableau n° 24: Évolution statistique des faciès

Faciès chimique	Avril 2015	
	N ^{bre}	%
Sulfaté Calcique	08	80
Chloruré sodique	02	20

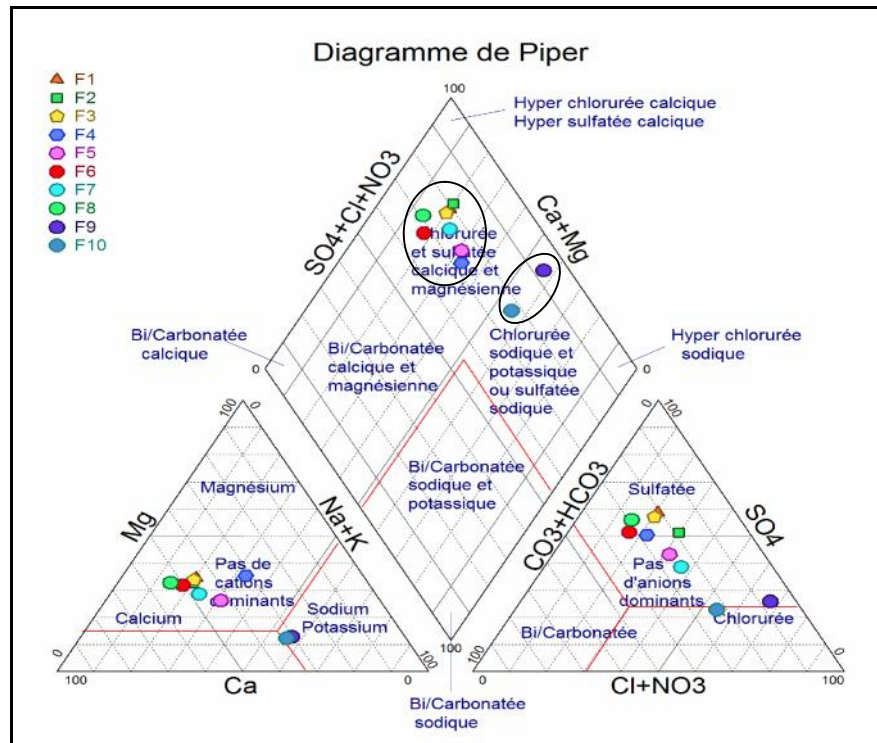


Figure n° 33: Représentation de Piper des eaux souterraines de Bouhmama (avril 2015)

b. Diagramme de Shoeller-Berkaloff :

Le diagramme de Shoeller-Berkaloff ne permet pas de présenter un nombre important d'analyses, mais autorise une comparaison quantitative des analyses. L'unité utilisée n'est plus un rapport (%), mais le mg/l ou le méq/l. Les échelles de valeurs sont graduées dans les deux unités.

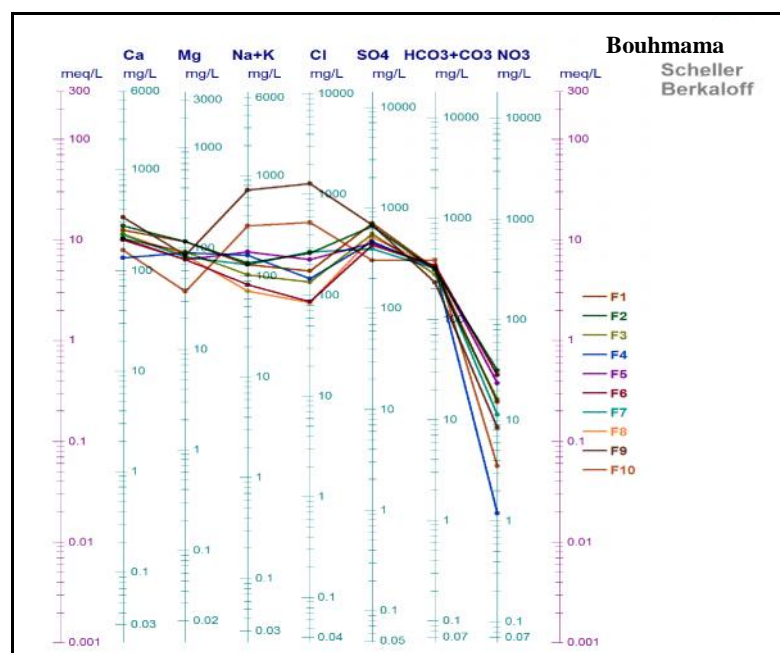
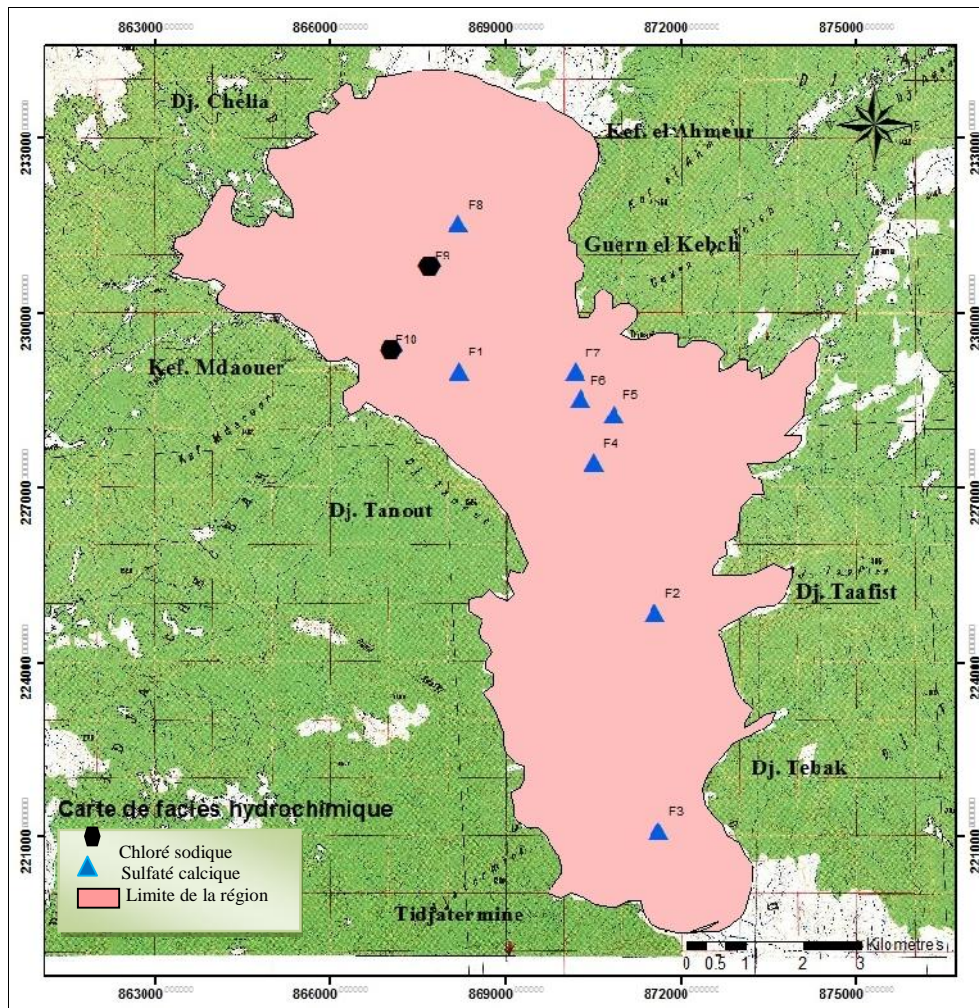


Figure n° 34: Représentation de Scholler-Berkaloff des eaux souterraines (10 Forages) de Bouhmama (avril 2015)

*La carte de faciès hydrochimique de la plaine de Mellagou (avril 2015):



Carte n° 23: carte de faciès hydrochimique (Avril 2015)

7. Élément en trace métallique :

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5g/cm^3 . Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces: mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse. Les plus toxiques d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure.

Les éléments en trace métalliques étudiés au cours de ce travail sont:

7.1. Le Plomb (Pb) :

La forme la plus fréquente dans les milieux naturels est Pb^{2+} , ses caractéristiques physico-chimiques le rapprochent des alcalino-terreux (Ca^{2+} et Ba^{2+}). Cet élément peut être associé aux sulfates et aux carbonates, mais aussi aux argiles et à la matière organique suivant le pH. Cet

élément a beaucoup d'affinités avec le cadmium Cd et le zinc Zn. Lors de l'altération de minéraux primaires, le Pb peut être fixé par des argiles comme la kaolinite.

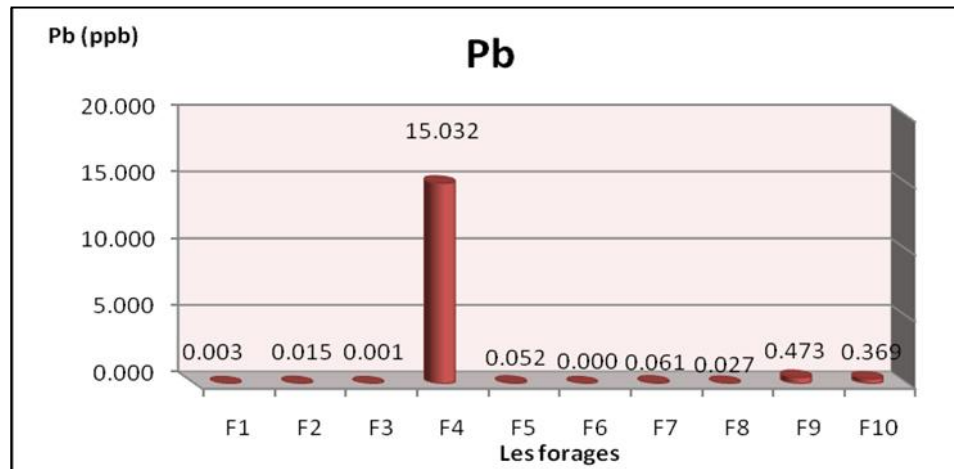


Figure n° 35: Histogramme des variations de la concentration en Plomb (Pb) en ppb dans les eaux souterraines de la région de Bouhmama (avril 2015)

Ce diagramme représente les teneurs en plomb dans les 10 Forages analysés. Les concentrations de ce métal sont très faibles, le forage F4 inscrit la valeur maximale avec (15.033 10⁻³ mg/l), mais reste une concentration négligeable. Selon les recommandations de la qualité de l'eau potable, la concentration maximale acceptable pour le plomb est de 0,05 milligramme par litre (mg/L) ou 50 µg/L (Annexes, Tab.03).

7.2. Le Chrome (Cr :

Il provient généralement des résidus de galvanoplastie, des tanneries, des raffineries et de l'industrie de textile (Kemmer , 1984). Il est toxique surtout sous forme de Cr VI (chromate), il passe sous forme de Cr III (sels chromiques) en milieu naturel. Le Cr VI est mutagène et cancérigène (Gaujous, 1995). En milieu alcalin, on estime que la stabilité des chromates peut atteindre 50 ans, et qu'ils peuvent migrer vers les nappes aquifères, même au travers de sols cohérents.

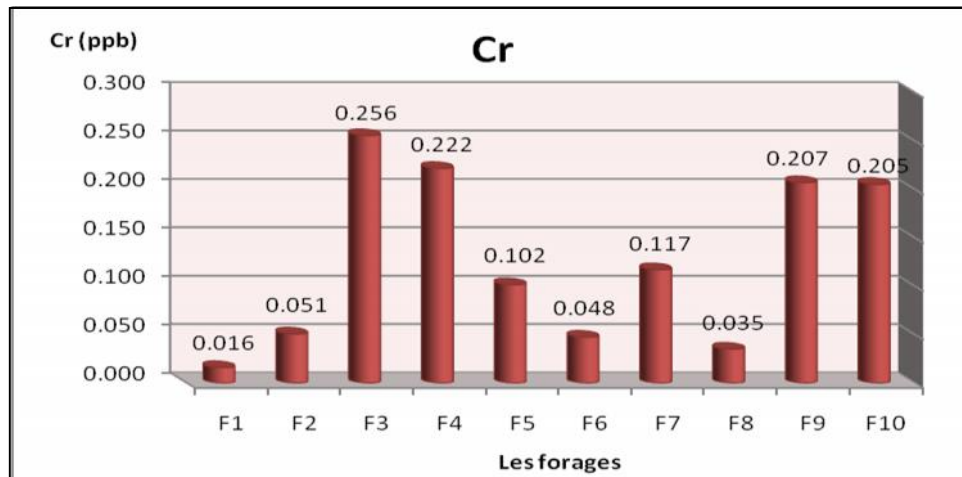


Figure n° 36: Histogramme des variations de la teneur en Chrome (Cr en ppb dans les eaux souterraines de la région de Bouhmama (avril 2015)

L'histogramme représente les variations de la concentration en chrome (Cr dans les différents forages (10 forages). Il présente une forte teneur en ce métal dans le forage (F03) avec ($0.256 \cdot 10^{-3}$ mg/l), et une faible concentration au forage F1 avec ($0.016 \cdot 10^{-3}$ mg/l).

Toutefois, la teneur maximale en Chrome enregistrée pendant cette période ($0.307 \cdot 10^{-3}$ mg/l) n'atteint pas la valeur maximale admissible par l'OMS qui est fixée à 0,05 mg/l.

7.3. Le Cuivre (Cu :

Dans les eaux, le Cuivre provient pour la majeure partie de l'érosion des sols par les cours d'eau : 68 % ; de la contamination par le Sulfate de Cuivre : 13 % ; et des rejets d'eaux usées qui contiennent encore du Cuivre, même après traitement. Le Cuivre en excès produit des radicaux libres responsables de lésions cellulaires au niveau de l'ADN et d'organites tels que les mitochondries ou les lysosomes (Pichard, 2003).

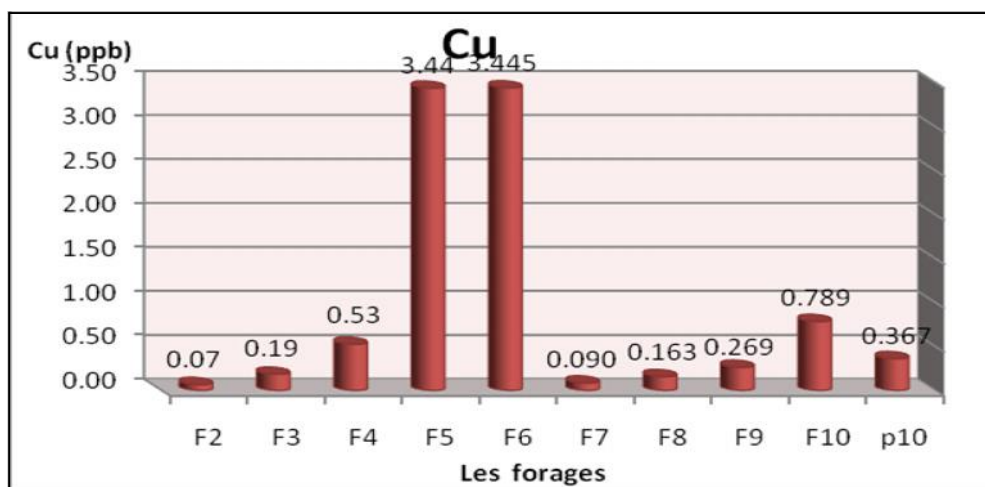


Figure n° 37: Histogramme des variations des teneurs de Cuivre (Cu en ppb dans les eaux souterraines de la région de Bouhmama (avril 2015)

Ce diagramme présente les variations de la concentration en cuivre dans les 10 forages analysés dans la région d'étude, les concentrations de ce métal sont très faibles qui varient entre $0,07 \cdot 10^{-3}$ mg/l au Forage (F1) et $3,445 \cdot 10^{-3}$ mg/l au Forage (F5). Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS recommande une valeur guide provisoire de 2 mg/L compte tenu des incertitudes de la toxicité du cuivre pour l'homme. Donc, avec ces résultats l'eau est de bonnes qualités.

7.4. L'Aluminium (Al) :

On trouve couramment l'aluminium sous la forme de silicate d'aluminium ou combiné avec d'autres éléments, tels que le sodium, le potassium, le fer, le calcium et le magnésium. Dans l'industrie, il est utilisé dans le traitement de surface, la métallurgie, l'industrie de l'alumine, les colorants et l'industrie pétrochimique (Taha-Hocine, 2002).

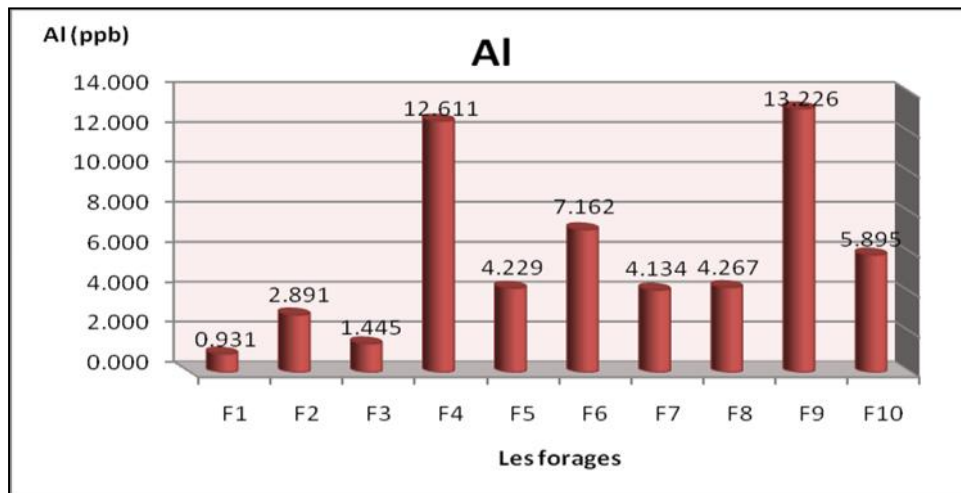


Figure n° 38: Histogramme des variations des teneurs d'Aluminium (Al) en ppb dans les eaux souterraines de la région de Bouhmama (avril 2015)

L'OMS a adopté une valeur guide pour l'aluminium dans l'eau de boisson égale à 0,2 mg/l ou 200 µg/l. Et dans notre étude on remarque que dans tous les forages les valeurs de cet élément ne dépassent pas la norme recommandée. La concentration maximale est $13,226 \cdot 10^{-3}$ mg/l au Forage (F9), tandis que le minimum est de $0,931 \cdot 10^{-3}$ mg/l au Forage (F1).

7.5. Le Fer (Fe):

Le Fer est classé au quatrième rang des éléments de la croûte terrestre par ordre d'abondance, sa présence dans l'eau peut avoir diverses origines : lessivage des terrains avec dissolution des roches et des minerais contenus dans le sous-sol ; rejets industriels (pollutions minières, métallurgiques, sidérurgiques) ; corrosion des canalisations métalliques (en fonte ou en acier) ou existence de dépôts antérieurs (Bendada et Boulakradeche, 2011).

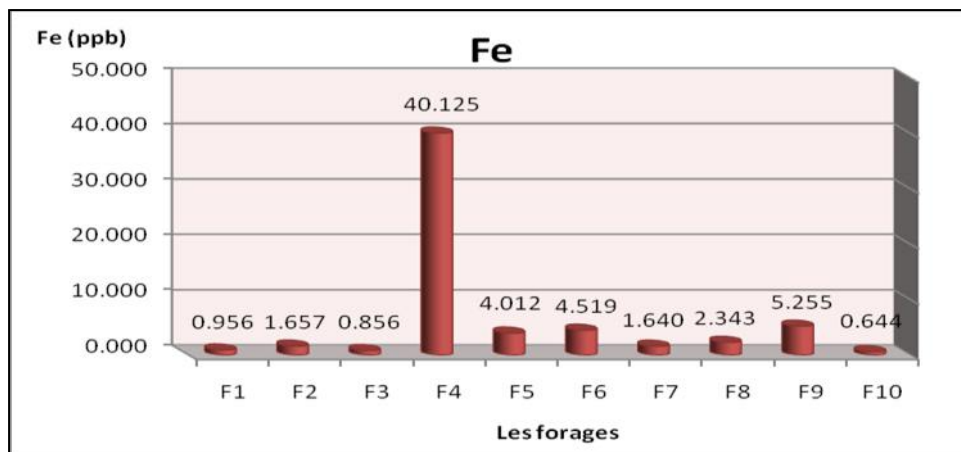


Figure n° 39: Histogramme des variations des teneurs de Fer (Fe en ppb dans les eaux souterraines de la région de Bouhmama (Avril 2015

Les résultats de mesure obtenus au laboratoire montrent que tous les forages d'eau de la plaine de Mellagou présentent des concentrations variant de $0,856 \cdot 10^{-3}$ et $40,125 \cdot 10^{-3}$ mg/l. La concentration minimale est enregistrée au Forage (F3), par contre la concentration maximale est enregistrée au Forage (F4).

7.6. Le Manganèse (Mn :

Le Manganèse c'est le métal le plus électropositif ($E^{\circ} = (Mn^{+2}/Mn) = -1,17V$) obtenu par électrolyse en milieu aqueux. On réalise l'électrolyse d'une solution de sulfate de manganèse en milieu de sulfate d'ammonium.

Le manganèse est un métal de transition gris-blanc qui ressemble au fer. C'est un métal dur, il fond sans difficulté, mais il est facilement oxydé. Le manganèse n'est ferromagnétique qu'après un traitement spécifique.

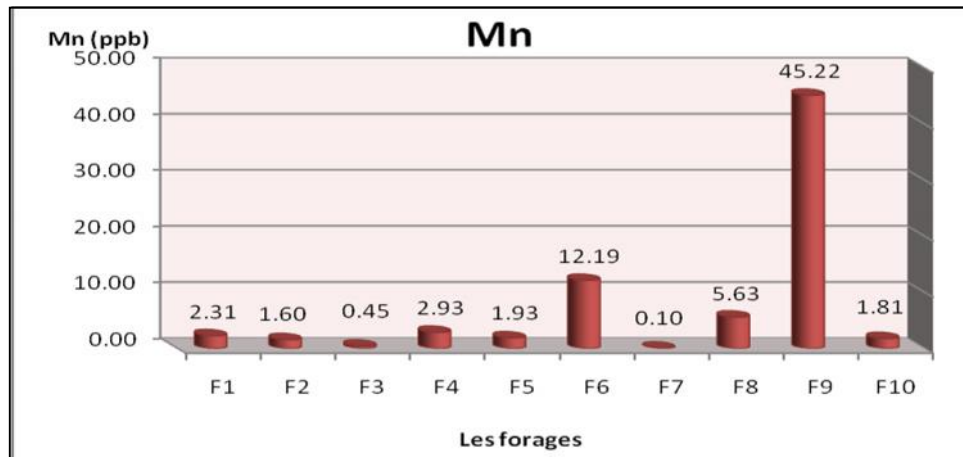


Figure n° 40: Histogramme des variations des teneurs de Manganèse (Mn en ppb dans les eaux souterraines de la région de Bouhmama (avril 2015)

Les concentrations en manganèse (Mn) montrent des variations notables dans les forages analysés, dont la valeur maximale est enregistrée au Forage (F9) avec $45,22 \cdot 10^{-3}$ mg/l, et la valeur minimale est enregistrée au Forage (F7) avec une concentration de $0,10 \cdot 10^{-3}$ mg/l.

Conclusion:

Les eaux souterraines de la région d'étude caractériser par deux faciès chimiques distincts l'un est chloruré sodique et l'autre sulfaté calcique cette dernière couvre la majorité des forages avec une proportion de 80 %.

La concentration des éléments en trace (Fer (Fe), Chrome (Cr), Manganèse (Mn), Plomb (Pb), Cuivre (Cu), et Aluminium (Al)) reste dans les normes de portabilité fixer par l'OMS. La concentration des éléments majeurs ils dépassent parfois les limites fixées par l'OMS, surtout le sulfate et le calcium qui due aux natures géologiques des terrains traversés gypseux et carbonatés. Ceci est accentué par l'existence des sources thermales, tel que Hammam Djaarir.

Conclusion générale et recommandations

Conclusion générale

La vallée d'Oued Mellagou situé au Nord-Est de territoire Algérien; appartient à l'ensemble des hauts plateaux constantinois, fait partie de grand bassin versant d'Oued Arabe. La plaine de Mellagou est de longueur de 30 km, et de largeur qui varie de 05 km au Nord à 200 m au Sud.

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 354.79 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.

La caractérisation hydrochimique des eaux souterraines montre que 80 % des échantillons sont de bonne qualité (faciès sulfaté calcique), 20 % sont de qualité moyenne (forte minéralisation, appartiennent au faciès chloruré sodique).

À la lumière des résultats obtenus il apparaît que les ressources hydriques de la région face a deux défis : le premier est le «stress hydrique» à cause de manque des précipitations, et la seconde la conservation de ces ressources, pour cela un ensemble de recommandations seront proposées :

- La sensation des populations sur l'importance de ce patrimoine et l'obligatoire de le conserver ;
 - Vue au caractère agricole, il convient de sensibiliser les agriculteurs sur l'utilisation rationnelle des produits phytosanitaires et le danger qui peuvent provoquer sur les eaux souterraines ;
 - Chercher des nouvelles méthodes d'irrigation ou de conduite de drainage, pour diminuer le gaspillage d'eau.
 - Créé un réseau de surveillance et de contrôle de la qualité des eaux ;
-

Conclusion générale et recommandations

- Pour une exploitation durable des eaux souterraines, il faut réaliser des retenues collinaires et des bassins de stockage, des eaux de pluie ;
- Enfin, les eaux usées et les décharges domestique ou industrielle, restent le problème majeur et constitue un risque important de la pollution, pour cela une réflexion pour le traité sera indispensable.





LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIE



- A.N.R.H: Agence Nationale des Ressources Hydriques de Constantine.
- AGAGUENIA.S., (2010): *Principes d'aménagement pour un développement local durable d'un territoire montagneux du littoral. Cas de la commune de Collo (Nord-est Algérien) Mémoire de magister. Université d'Annaba.23P.*
- ALLALI. A., (2004): *Ahmed 2004 Cartographie de la qualité physico-chimique et biologique de l'eau des zones humide de la Numidie.*
- ANDI, (2013) : *Agence Nationale de Développement de l'Investissement 2013 Pages 06, 10.*
- 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.*
- BAKALOWICZ., (1979) : *Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. Thèse Doctorat Es.Sciences.*
- BENDADA. K et BOULAKRADECHE. M., (2011) *Optimisation des conditions de dosage par spectroscopie d'absorption atomique (SAAF et SAAET): Application à la détermination de la pollution et de la bioaccumulation des métaux lourds.*
- BOUBELLI. S., (2009) : *Identification et mise en évidence des formations hydrogéologique de la wilaya de Khenchela (Nord-Est Algérien) analyse et synthèse de données Mémoire de magister. Université de Annaba 19 P.*
- BOULABEIZ. M., (2006) : *Evolution des éléments chimiques et évaluation de risque des eaux souterraines à la pollution: Cas de la nappe de Collo, Nord-Est Algérien. Wilaya de Annaba 88 P.*
- BENKOUUMCHI. R ; SENOUCI. M, et AOUAT. M., (1996): *Rapport d'étude géophysique par la méthode du sondage électrique vertical dans la région de Bouhmama (wilaya de Khenchela) 10 p.*
- CLAUDE. A., (1905) : *petit Larousse 1906 illustré de 1889.*
- CRETINON. B., (1994): *Définition des principaux paramètres utilisés en hygrométrie, Bulletin du Bureau National de Métrologie, 25 (98), 3-6 (1994).*
- D.H.W.K: direction d'hydraulique de la wilaya de Khenchela, service des statistiques Mai 2012.

- DAIFALLAH. T., (2008): *Ressources en eau et gestion intégré dans le bassin versant de l'oued kebir Ouest 5Nord Est Algérien- Mémoire de magister. Université de Annaba 68 P.*
- *Direction de l'agriculture de la Wilaya de Khenchela (2014).*
- DPAT : *Direction de planification et d'aménagement des territoires Avril, 2012 service des statistique monographique de la wilaya de Khenchela.*
- DUSSART. B., (1966). *Limnologie : Etude des eaux continentales. Gauthier-Villars, Ed., Paris.*
- 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. 130 p.*
- GAUJOUS. D., (1995) : *La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, Paris, 40-183.*
- GERAD. G., (1999) : *Climatologie de l'environnement 2^{eme} édition Dounod 290 P.*
- GOUAIDIA. L., (2008) : *Influence de la lithologie des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de maskiana nord-est algérien université badji mokhtar-Annaba, 79 p.*
- 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, 270 p.*
- HCEFLCD., (200) : *Etude diagnostique de la zone humide AL Massira-Faija, cercle d'EL Brouj et Cercle de Settat (Maroc), 242p.*
- HCEFLCD., (2006) : *Etude sur la pisciculture au barrag Almassira, CR dar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat, 201p.*
- HOUHA. B., (1996) : *Quantité et qualité des eaux souterraines de la région de Khenchela (Garât Tarf). Mémoire de Magister, F.S.T Annaba, Algérie, 114p.*
- HOUHA. B., (2007) : *étude de fonctionnement hydrogeologique et salin d'un basin semi-aride rémila-Khenchela. thèse doctorat, université badji mokhtar-Annaba .*
- HSISSOU. Y., (1997) : *Dynamique et salinité de la nappe côtière d'Agadir (Maroc) influence du biseau salé et des faciès évaporitiques, Hydrochemistry (Proceedings of the Rabat Syposium, April 1997) IAHS, publi N° 244, 1997.*
- KEMMER N.F., (1984) : *Manuel de l'eau Technique et Documentation (Lavoisier).*
- KHABTHANE.H., (2010) : *Contribution à l'étude du comportement écophysologique du genre Tamarix dans différents biotopes des zones arides de la région de Khenchela. Mémoire Magister. Université de Constantine. 152 p.*

- KHEMOUDJ. K., (2009) : *Dynamique des systèmes et stratégie d'aménagement et gestion de la ressource en eau en zone semi-aride: cas de la région d'El Eulma. Wilaya de Sétif* 90p
- LAFFITTE. R., (1939) : *Etude géologique de l'Aurès. Thèse, Paris, Bull Serv. Carte Géol. Algérie, 2e série. 484p.*
- PICHARD. A., (2003) : *Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, cuivre et ses dérivés. INERIS.11avril2003. [Page consultée le06/05/2011]. 66p. <www.ineris.fr/substances/fr/substance/getDocument/2751 >.*
- 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, 77p.*
- SELTZER .,(1946) : *Le climat de l'Algérie, Alger, Institut de Météorologie et de Physique du Globe, Carbonnel, 219 p.*
- *Station Météorologique de Bouhmama Wilaya de Khenchela (donnés climatiques de la (1992-2010).*
- TAHA-HOCINE. D., (2002) : *Evolution de la qualité des eaux (salinité, Azote et Métaux lourds).*
- VILA J.M., (1977) : *Carte géologique de l'Algérie et notices explicatives.*

Annexes

Tableau n° 01: Normes de potabilité des éléments chimiques selon l'OMS 2011 et le pourcentage des forages qui concernent ces valeurs

Eléments chimiques	Valeurs guides (mg/l)	Les Forages concernant les valeurs guident	%
Calcium	100	Les 10 Forages étudiés dépassent la valeur guide	00 %
Magnésium	50	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8 et F9.	90%
Sodium	200	Les 10 Forages étudiés dépassent la valeur guide	00 %
Potassium	12	Les 10 Forages étudiés ne dépassent pas la valeur guide	100%
Sulfates	250	Les 10 Forages étudiés dépassent la valeur guide	00 %
Chlorures	250	F2, F7, F9, et F10.	40%
Nitrates	50	Les 10 Forages étudiés ne dépassent pas la valeur guide	100%

Tableau n° 02: Valeurs directrices de potabilité des paramètres physique selon l'OMS

Paramètre	Unités	Valeur directrice
température	°C	8-15
pH	/	6.5-8.5
Conductivité	µS/cm	180-1000
Turbidité	NTU	5 NTU
Couleur	UCV	15 UCV

Tableau n° 03: Valeurs directrices de potabilité pour les métaux lourds selon l'OMS

Paramètre	Valeur directrice en mg/l
civre	<0.02
plomb	<0.001
aluminium	<0.05
Manganèse	400
Fer	100
Cadmium	/