



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'enseignement supérieur 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

Spécialité : Ecologie et l'environnement

Thème

**Caractérisation hydro-chimique des eaux souterraines et son
aptitude à l'irrigation, cas de la plaine de Mellagou (Bouhmama-
Khenchela-)**

Présenté par :

Djelloul Meriem

Saidi Nouha Meriem

Soutenu le : 28/06/2017

Jury de soutenance :

Président : M.Aouiden El Aich

MAA Univ.Khenchela

Examineur : M. Daif Allah Tarek

MAA Univ. Khenchela

Encadreur : M. Boulabeiz Mahrez

MAA Univ. Khenchela

Année : 2016- 2017

Remerciement

*Avant tout, je remercie Allah, Dieu le Miséricordieux, L'Unique, le Puissant, ...pour
Son guide et sa protection.*

*Merci à dieu qui nous a données le pouvoir, la patience, et la volonté pour terminer ce
modeste travaille.*

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

*Je remercie **M. Boulabeiz Mahrez**, qui a dirigé ce travail, tout en me prodiguant de
nombreux conseils et nous faisant profiter de sa large expérience. Je lui en suis très
reconnaissant.*

*Merci à tous les membres du jury qui ont accepté de juger mon travail : **M. Daif Allah
Terk et M.Auiden El Aich.***

*J'exprime mes gratitudes à Mme. **M.Hassed Sara**, qui a en bienveillance dont les conseils
et les suggestions qu'elle me faisait au sujet de mon travail.*

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

*Je n'oublie pas aussi mes amis (es) pour leur soutien et leurs différents conseils qui m'ont
encouragé parfaitement pour atteindre mes objectifs.*

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

A tous Merci

Dédicace

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude à ma (mère) et mon père pour l'éducation qu'ils m'ont prodigué ; avec tous les moyens et au prix de toutes les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard, pour le sens du devoir qu'ils m'ont enseigné depuis mon enfance.

Pour mes chers frères : Haroun et Yakoub

Pour mes chères sœurs : Manel, Hadjer Et Racha

Pour la femme de mon frère et son fils

A mon cher ami, mon binôme, Nouha Meriem chez qui m'a supporté durant ces quatre dernières années, et chez qui j'ai trouvé l'entente dont j'avais besoin.

Pour mes très chers amis : Warda, Narimane, Houria, Wassila, Soumia, Assia, Akila, Noura, Djamila et toute mon amitié.

A toutes la promotion de génie de l'environnement : 2016-2017

Meriem djelloul

Dédicace

Je dédie ce mémoire à mon père, qui m'a encouragé à aller de l'avant et qui m'a donné tout son amour pour continuer mes études.

A la mémoire de ma mère qui nous a quittées voilà 5 ans.

A la mémoire de ma tante (tata Nassira) qui nous a quittées depuis 3ans.

A mes soeurs Hadia et soumia.

A mes adorables neveux Adem. et amdjed.

A ma cousine Amira.

A toute mes familles.

*A mes ami(e)s : ma binôme Meriem, halla , manel , miled, hidaya
amina, dalila, ghada, gamra, zineb, abla, imen, wissem, moussa, mostaffa, didou,
djalil .*

*Et à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la
réalisation de ce mémoire.*

Saidi nouha

Résumé

Résumé

Dans plaine de Mellagou (nord-ouest de Khenchela), caractérisée par un climat semi-aride et une forte évapotranspiration, le recours à l'irrigation pour la majorité des cultures est indispensable. L'analyse des eaux de 11 puits utilisés pour l'irrigation a montré un faciès chimique sulfaté calcique dominant. L'analyse de risque d'alcalinité "SAR" a montré que les eaux des forages destinés à l'irrigation dans la zone d'étude ont une salinité élevée qui entraînent un risque élevé (classe C3) ou très élevé (classe C4) de salinisation des sols sous l'influence de l'irrigation. Une carte de risque d'alcalinité "SAR" interpolée par la méthode de krigeage a été dressée.

La carte montre que les valeurs de "SAR" sont inférieures à 10 dans toute la zone d'étude ce qui signifie un risque modéré de sodisation. Les eaux des puits de la plaine de Mellagou sont utilisables seulement pour l'irrigation de cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité.

Mots clés : puits, irrigation, alcalinité, hydrochimie, Mellagou, Khenchela.

Abstract

In the Mellagou plain (north-west of Khenchela), it character by a semi-arid climate and strong evapotranspiration, the irrigation is very important for all most crops. Water's analysis of 11 wells are using for irrigation showed a chemical dominant sulphate calcic facies. The "SAR" alkalinity risk analysis showed that the waters of boreholes intended for irrigation in the study area have a high salinity, which entail a high risk (C3) or very high risk (C4) of soils salinity under the influence of irrigation. A "SAR" alkalinity risk map interpolated by the kriging method was prepared.

The map shows that "SAR" values are less than 10 throughout the study area, which means a moderate risk of sodisation. The wells of the Mellagou plain are suitable only for salt-tolerant crops irrigation, on well-drained or good-permeability soils.

Key words: wells, irrigation, salinity, hydrochemistry, Mellagou, Khenchela.

Table des matières

REMERCIEMENTS

RESUMES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE

I. Partie bibliographique

Chapitre (I) : Présentation de la zone d'étude

I.1 Présentation générale et localisation de la Wilaya de Khenchela.....	01
I.2 Présentation générale de la région de Bouhmama.....	02
I.3 Présentation générale de la zone d'étude	02
I.3.1 Situation géographique	02
I.3.2 Localisation de la zone d'étude	02
I.4 La population.....	04
I.4.1 Densité et répartition spatiale de la population.....	04
I.4.2 Évolution de la population.....	05
I.5 Les ressources naturelles.....	06
I.6 L'agriculture.....	07
I.7 Les ressources forestières.....	07

Chapitre (II) : milieu physique et cadre géologique

II.1 Introduction.....	09
II.2 Géomorphologie.....	09
II.2.1 Unité topographie.....	09
II.2.1.1 La zone de montagne.....	09
II.2.1.2 La zone des piémonts.....	10
II.2.1.3 La zone de plaine.....	10
II.2.1.4 Les pentes.....	11
II.3 Caractéristiques pédologiques.....	12
II.4 Le Réseau hydrographiques.....	13

II.5 La géologie de la région d'étude.....	15
II.5.1 La Stratigraphie.....	15
II.1 Introduction.....	09
II.2 Géomorphologie.....	09
II.2.1 Unité topographie.....	09
II.2.1.1 La zone de montagne.....	09
II.2.1.2 La zone des piémonts.....	10
II.2.1.3 La zone de plaine.....	10
II.2.1.4 Les pentes.....	11
II.3 Caractéristiques pédologiques.....	12
II.4 Le Réseau hydrographiques.....	13
II.5 La géologie de la région d'étude.....	15
II.5.1 La Stratigraphie.....	15
II.5.1.1 Le Quaternaire.....	15
II.5.1.2 Les formations secondaires	15
II.5.1.3 Tertiaire : Eocène.....	16
II.5.1.4 Le Crétacé.....	16
II.5.1.5 Le Trias.....	18
II.6 Conclusion.....	19

Chapitre (III) : Etude climatologique

III.1 Introduction	20
III.2 Les données climatiques utilisées.....	20
III.3 Les facteurs climatiques.....	21
III.3.1 La température.....	21
III.3.2 Les pluviométries.....	22
III.3.2.1 Répartition mensuelle des précipitations.....	22
III.3.2.2 Répartition annuelle des précipitations.....	23
III.3.3 Le vent.....	24
III.3.4 L'Humidité.....	24
III.4 Détermination de la période sèche, et humide (diagramme Ombro-Thermique de GAUSSEN).....	26
III.5 Détermination de l'étage bioclimatique.....	27
III.6 Le bilan hydrologique.....	29

III.6.1 Estimation de l'évapotranspiration.....	29
III.6.1.1 Évapotranspiration potentielle ETP.....	29
III.6.1.2 Évapotranspiration réelle (ETR).....	30
III.6.2 Ruissellement.....	30
III.6.3 Infiltration.....	30
III.6.4 Bilan hydrique selon la formule de C.W Thornthwaite.....	30
III.6.4.1 Interprétation du bilan de Thornthwaite.....	31
III.6.4.2 Interprétation des graphes.....	32
III.7 Conclusion.....	33

II. Partie pratique

Chapitre(IV) : *Aptitude des eaux à l'irrigation*

IV.1 Introduction.....	34
IV.2 Méthodologie.....	34
IV.3 Échantillonnage et analyses.....	34
IV. 4 Mode opératoire.....	35
IV.5 Analyse des éléments majeurs.....	36.37
• Analyse des balances ioniques – contrôle de la cohérence des résultats.....	36.37
IV.6 Résultats et discussions.....	38
IV.6.1 Paramètres physiques.....	38
IV.6.1.1 le Ph.....	38
IV.6.1.2 la conductivité électrique.....	38.39
IV.6.2 Paramètres chimiques.....	39
IV.6.2.1 Les cations.....	39
IV.6.2.2 Les anions.....	40
IV.7 Cartes des cations des eaux souterraines de la plaine de Mellagou.....	41
IV.7.1 Le Calcium (Ca^{++}).....	41
IV.7.2 Le Magnésium (Mg^{++}).....	42
IV.7.3 Le Sodium (Na^+).....	43
IV.7.4 Le Potassium (K^+).....	44
IV.8 Cartes des anions dans les eaux souterraines de la plaine de Mellagou.....	45
IV.8.1 Les chlorures (Cl^-).....	45
IV.8.2 Les sulfates (SO_4^{-2}).....	46
IV.8.3 Les nitrates (NO_3^-).....	47

IV.8.4 Les Bicarbonates (HCO_3^-)	48
IV.9 Détermination des faciès hydro-chimiques des eaux.....	49
IV.10 Aptitude des eaux à l'irrigation.....	51
IV.10.1 Taux d'absorption du Sodium (SAR).....	51
IV.10.2 Classification de Wilcox.....	52
IV.11 Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation selon le diagramme de Wilcox.....	53
IV.12 Conclusion.....	54

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

Liste des figures

Numéro et le titre de figure	Numéro de page
Figure. n°01 : situation géographique de la wilaya de kenchela	1
Figure. n°02 : localisations administratives de la commune de bouhmama et la zone d'étude	3
Figure. n°03 : carte des grands bassins versant de Nord Algérien	4
Figure. n°04 : Répartition de la population de la commune de Bouhmama	5
Figure. n°05 : Évolution de la population à travers les différents RGPH	6
Figure. n°06 : Le couvert forestier naturel de bassin versant d'Oued	8
Figure. n°07 : les altitudes de bassin versant de la plaine de Mellagou	10
Figure. n°08 : les pentes de bassin versant d'Oued Mellagou	11
Figure. n°09 : la répartition des unités de sol à travers la zone d'étude	13
Figure. n°10 : présente le réseau hydrographique de bassin	14
Figure. n°11 : la géologie de la commune de Bouhmama	18
Figure. n°12 : La répartition des températures moyenne (max, min, et moy) de la station de Bouhmama pendant la période (1992-2010)	21
Figure. n°13 : Précipitation moyenne mensuelle de Bouhmama (1992-2010)	23
Figure. n°14 : Précipitation moyenne annuelle de Bouhmama (1992-2010)	23
Figure. n°15 : La répartition moyenne du vent de Bouhmama (2000- 2010)	24
Figure. n°16 : l'humidité relative mensuelle moyenne de Bouhmama	25
Figure. n°17 : Diagramme Ombro-thermique de Gaussen	27
Figure. n°18 : Climagramme de L'emberger	28
Figure. n°19 : moyenne pluriannuelle des éléments climatique de la station de Bouhmama	32
Figure. n°20 : la variation mensuelle des résultats de bilan hydrique	32
Figure. n°21 : Carte d'inventaire des points de prélèvements dans la plaine de Mellagou	36
Figure n°22 : Représentation des balances ioniques calculées	37
Figure. n°23 : variation spatiale des valeurs moyennes de pH	38
Figure .n°24 : les valeurs de la conductivité électrique dans les eaux souterraines de la plaine de Mellagou	39
Figure. n°25 : Concentrations des cations des eaux de la nappe de la plaine de Mellagou	40

Liste des figures

Figure. n°26 : Concentrations des anions des eaux de la nappe de la plaine de Mellagou en méq/l	41
Figure. n°27 : concentration de Calcium (Ca^{++} en mg/l)	42
Figure. n°28 : concentration de Magnésium (Mg^{+2} en mg/l)	43
Figure. n°29 : concentration de Sodium (Na^+ en mg/l)	44
Figure. n°30 : concentration de Potassium (K^+)	45
Figure. n°31 : concentration de Chlorure (Cl^- en mg/l)	46
Figure. n°32 : concentration de sulfate (SO_4^{-2} en mg/l)	47
Figure. n°33 : concentration de nitrate (NO_3^- en mg/l)	48
Figure. n°34 : concentration de bicarbonate (HCO_3^- en mg/l)	49
Figure. n°35 : Représentation de Piper des eaux souterraines de Bouhmama (avril 2017)	51
Figure. n°36 : Qualité de l'eau de la plaine de Mellagou (d'après le Diagramme du wilcox)	52
Figure. n°37 : Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation (SAR en méq/l)	53

Liste des tableaux

Nom et numéro des tableaux	Numéro des pages
Tableaux n °01 : Répartition de la population par dispersion	4
Tableaux n °02 : Répartition de la population par dispersion en Avril 2008	5
Tableaux n °03 : Tableau de l'évolution de la population à travers les différents RGPH	6
Tableaux n °04 : Caractéristique de la station de Bouhmama	20
Tableaux n °05 : Température moyenne mensuelle enregistrée à la station de Bouhmama (1992-2010)	21
Tableaux n °06 : La précipitation mensuelle enregistrée à la station de Bouhmama (1150 m) pendant la période (1992-2010)	22
Tableaux n °07 : La vitesse moyenne du vent (km/h) enregistrée à la station de Bouhmama (2000-2010)	24
Tableaux n °08 : L'Humidité enregistrée à la station de Bouhmama (1150 m) pendant la période (2000-2010)	25
Tableaux n °09 : La précipitation et la température moyenne mensuelle de Bouhmama (1992-2010)	26
Tableaux n °10 : Les valeurs de Q2	28
Tableaux n °11 : Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de C .W. Thronthwaite	31
Tableaux n °12 : Intervalles de concentrations des cations en méq/l	39
Tableaux n °13 : Intervalles de concentrations des anions en méq/l	40

Liste des abréviations

A.N.R.H	Agence Nationale des Ressources Hydriques
ANDI	Agence National de développement et de l'investissement
ACL	Agglomération Chef-Lieu
CC	Chemin Communal
DHWK	Direction Hydraulique Wilaya De Khenchela
DPSI	Direction De Planification Statistique
NICB	Solde De Charge Inorganique Normalisé (Normalized Inorganic Charge Balance)
RGPH	Recensement Générale De La Population Et De l'Habitat.
SIG	Système D'information Géographique
SAR	Taux D'adsorption Du Sodium
S.A.B	Subdivision Agriculture Bouhmama

Introduction

En Algérie, la demande en eau de consommation humaine ne cesse de s'accroître à côté de la croissance démographique. Outre la qualité de l'eau, notamment souterraine, qui pose de sérieux problèmes. Toutefois, la sécheresse des années successives accompagnant la rareté et l'irrégularité des apports annuelles aussi bien en eaux superficielles qu'en eaux souterraines retardent le développement et posent un problème de gestion de ces ressources surtout au secteur agricole.

L'eau d'irrigation, qu'elle provienne des rivières ou qu'elle soit pompée dans les nappes n'est jamais pure elle contient des sels dissous qui suivant leur concentration, peuvent affecter les sols et les cultures. Il importe alors d'adopter les pratiques agricoles à l'eau dont on dispose sachant que les comportements seront différents suivant la nature des sels en cause.

La composition chimique d'une eau doit donc être examinée en fonction de son impact sur les terres et les plantes.

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).

Le présent travail a pour objectif d'étude la caractérisation hydro-chimique des eaux souterraines et son aptitude à l'irrigation de la zone de Mellagou, qui nécessite une étude multidisciplinaire à savoir la géologie, la climatologie, la hydrochimie de l'eau...etc.

Cette étude s'articule autour de quatre chapitres qui traitent respectivement :

- ✓ Chapitre I consacré au rassemblement des données concernant la zone d'étude. Il s'agit en l'occurrence de la situation géographique, démographique, et caractéristique naturels.
- ✓ Chapitre II traite le milieu physique et la géologie du bassin versant d'oued Mellagou.
- ✓ Chapitre III est consacré à l'analyse des paramètres hydro-climatiques de la zone d'étude pour aboutir à l'établissement du bilan hydrique.
- ✓ Enfin, le chapitre IV consacré à la caractérisation hydro-chimique des eaux souterraines et son aptitude à l'irrigation. Il est esquissé par une conclusion finale et recommandation clôturant le mémoire.

I.1 Présentation générale et localisation de la Wilaya de Khenchela

La wilaya de Khenchela est située à 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.

Elle limitée géographiquement au :

- ✓ **Nord** : par la Wilaya d'Oum El Bouagi ;
- ✓ **Sud** : par la wilaya d'El Oued ;
- ✓ **Est** : par la wilaya de Tébessa ;
- ✓ **Ouest** : par la wilaya de Batna. (Khabtane. A. H. 1996)

Sur le plan administratif et structural la Wilaya de khenchela est composé de 21 communes regroupées en huit (08) Dairas (dont 05 Dairas créés en 1990) : Khenchela, El-Hamma, N'sigha, Tamza, Baghai, Ain-Touila, M'touss, Bouhmama, Chélia, M'sara, Yabous, Babar, Chechar, Djelal, Khirein, Ouldja, O.Rachache, Mahmel, Kais, Taouziant, Remila. (DHWK., 2012), (fig.n°01).

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

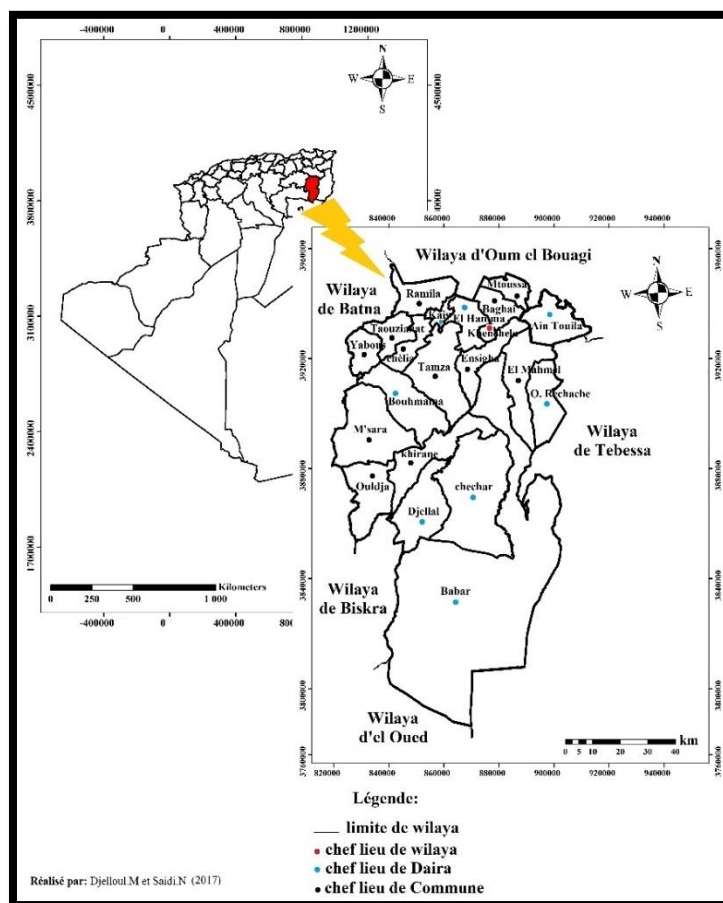


Figure n° 01 : Situation géographique de la Wilaya de Khenchela

I.2 Présentation générale de la région de Bouhmama

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

- ✓ **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. Au plan spatial, Bouhmama, présente une configuration territoire allongé du Nord-Ouest vers le Sud-Est et limitée (figure.n°02) :

- ✓ **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).

I.3 Présentation générale de la zone d'étude

I.3.1 Situation géographique

Le sous bassin versant d'Oued Mellagou, situé au Nord-Est du territoire algérien (fig.n°02), s'étend sur la totalité de la commune de Bouhmama.

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

I.3.2 Localisation de la zone d'étude

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

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

- ✓ **30 km au Sud – Ouest** du chef-lieu de la Wilaya de Khenchela ;
- ✓ **15 km au Sud – Ouest** de Kais ;
- ✓ **Environ de 50 km de Sud – Est** de la Wilaya de Batna.

Il est limité partiellement :

- ✓ **Au Sud** par la commune de Babar ;
- ✓ **Au Nord** par la commune de Taouziant ;

Chapitre I : présentation de la zone d'étude

- ✓ A l'Est par la commune de Tamza ;
- ✓ A l'Ouest par la commune de M'Sara.

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

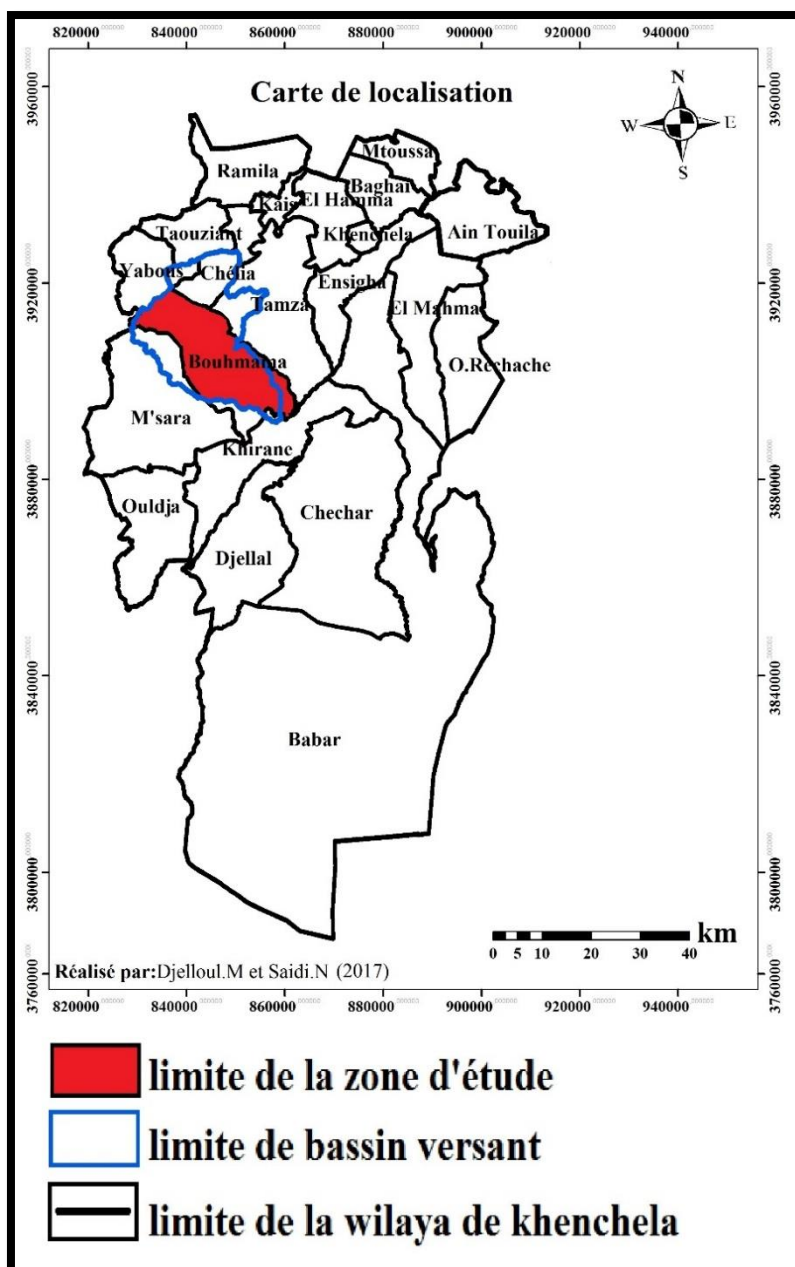


Figure n° 02 : localisations administratives de la commune de bouhmama et de la zone d'étude

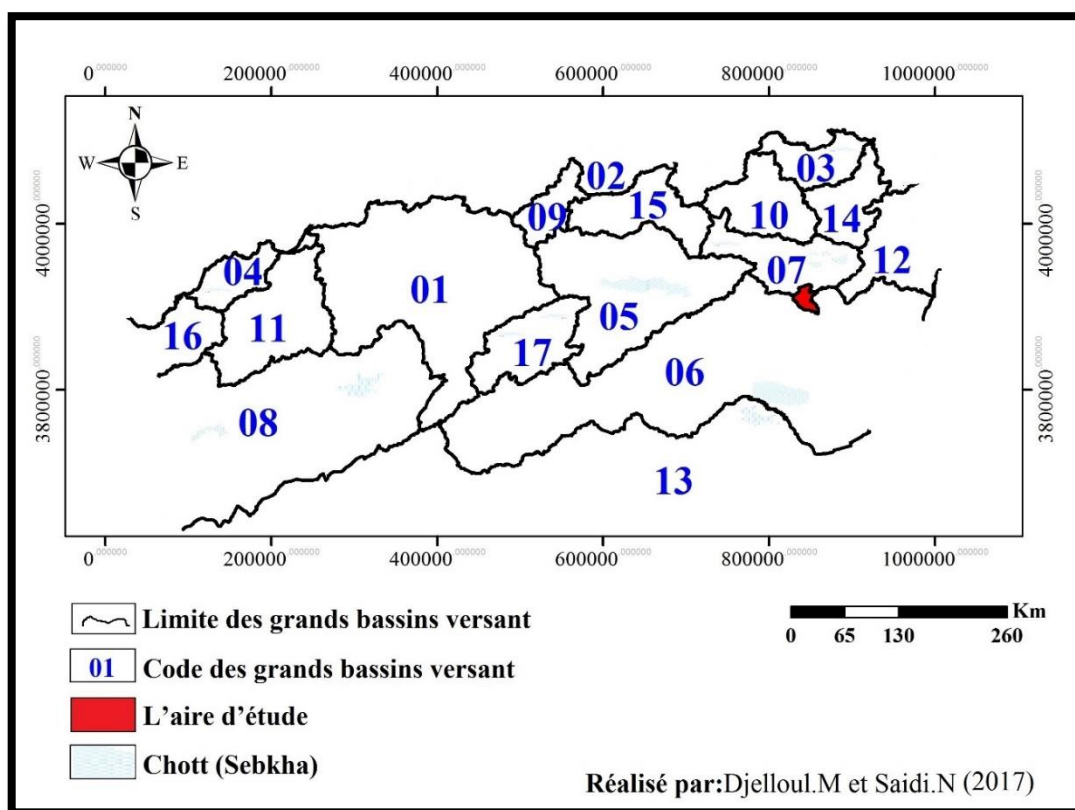


Figure n°03 : Carte des grands bassins versant de Nord Algérien

I.4 La population

I.4.1 Densité et répartition spatiale de la population

En 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).

Tableau n°01 : Répartition de la population par dispersion

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

Source : DPSI 2010

La population éparsé se trouve, donc, éparpillée à travers la zone éparsé 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 éparsé est constituée de six hameaux importants en plus de l'habitat éparpillé à travers le reste du territoire.

Chapitre I : présentation de la zone d'étude

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

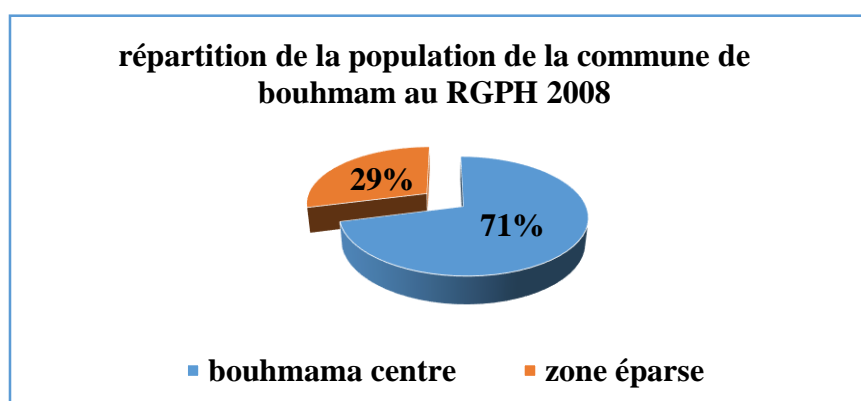
1. Le hameau d'Ouled Ali Benflous qui se représente sous forme d'extensions désordonnées limitant l'agglomération chef-lieu de Bouhmama à l'Ouest et au Nord, ce hameau est structuré par le CC 38. Il comptait 536 habitants au (RGPH, 2008).
2. Hameau d'Ouled Si Moussa situé à l'Ouest de l'agglomération chef-lieu de Bouhmama structuré par le chemin communal CC38. 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 CC21. Ce hameau comptait 528 habitants au (RGPH, 2008).

Les hameaux les moins importants sont ceux reliés au chef-lieu de la commune de Bouhmama par le chemin communal CC07. Il s'agit de Bouhmama El Kadima (224 habitants au RGPH 2008), Ouled Meriem (395 habitants au RGPH 2008) et Chir Ouled Billal dont la population est confondue avec le reste de la zone 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 éparse			3031	894
Total commun	5086	5527	10613	2555

Source : Etat civil TRC 2008



Source : RGPH 2008

Figure n°04 : Répartition de la population de la commune de Bouhmama

I.4.2 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 passé de 2,95 % par an pour la période 1977/1987 à 2,52 % par an pour de 1987 à 1998 pour chuter à 0,94 % par an durant la période intercensitaire 1998/2008 (Anonyme, 2012).

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° 03 : 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

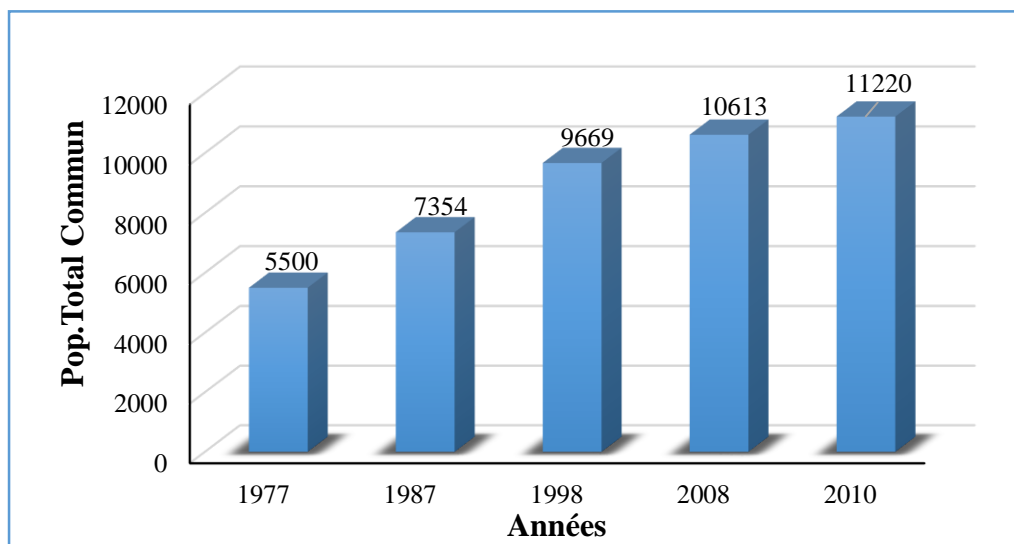


Figure n° 05 : Évolution de la population à travers les différents RGPH

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.

I.5 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.

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 Melghrir.

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.

I.6 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 40ha (S.A.B., 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 (S.A.B., 2010).

I.7 Les ressources forestières

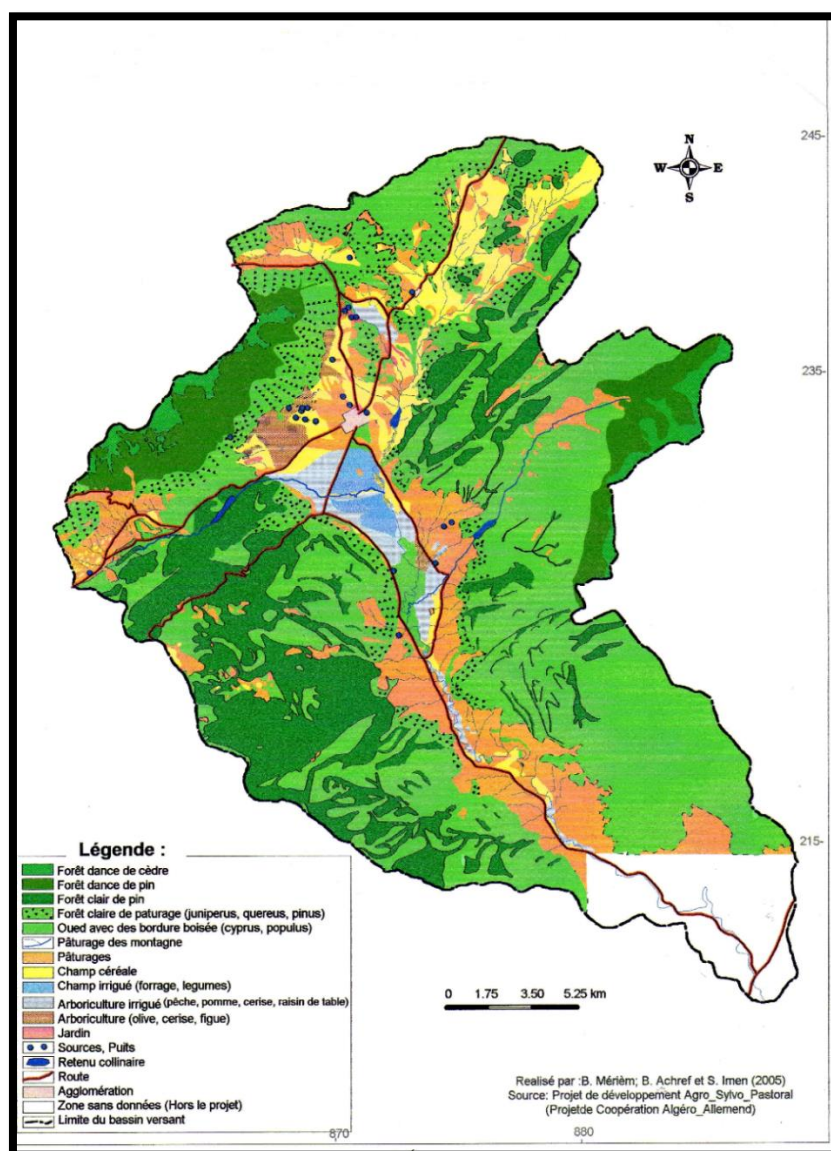
L'importance du patrimoine national forestier permet à la commune de se tailler, par excellence, la vocation sylvicole.

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.

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.

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

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 : projet de développement Agro_Sylvo_Pastoral (Projet de coopération Algéro_Alleme)

Figure n°06 : Le couvert forestier naturel de bassin versant d'Oued Mellagou

II.1 Introduction

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

Nos connaissances géologiques sur la région d'étude sont largement inspirées des travaux et des études régionales et des synthèses sur le massif des Aurès sur les hautes plaines steppiques et sur les zones humides.

La plupart de ces études ont été axées sur les caractères stratigraphiques, géomorphologiques, sédiment-logiques et structuraux (**Houha, 1996 et 2007 ; Laffitte, 1939 ; Guiraud, 1973 ; Vila, 1977 ; Benkoumchi, et al.1996**).

II. 2Géomorphologie

II.2.1Unité topographie

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

II.2.1.1 La zone de montagne

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

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

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

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

- ✓ **Au Nord** : Dj.Foural à 1698 m ;
- ✓ **Au Nord-Est** : Dj. Aurès à une altitude de 1548 m ;
- ✓ **A l'Est** : Dj.Taafist est à 1399 m avec une exposition Ouest ;
Dj.Tebak est à 1254 m avec une exposition Sud-est ;
- ✓ **Au Nord-Ouest** : Dj.Chélia qui culmine 2328 m à exposition Sud-Est ;
- ✓ **A l'Ouest** : Dj.Taourirt est à de 1734 m d'altitude avec exposition Sud-Est ;
- ✓ **Au Sud-Est** : et enfin Dj. El Kanouf avec une altitude de 1104 m exposé Sud-Ouest.

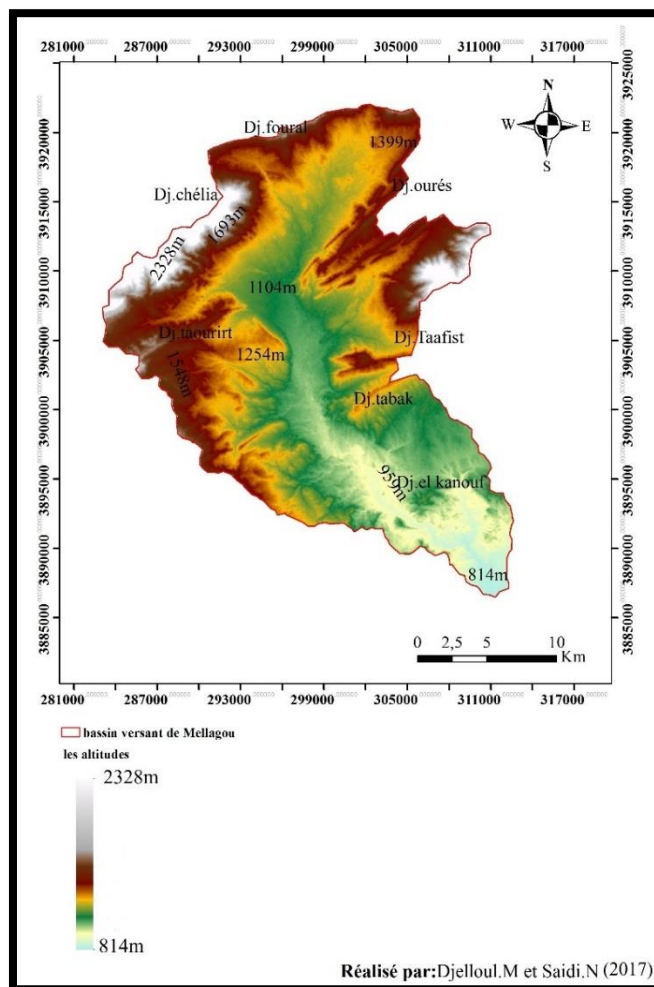


Figure n°07 : les altitudes de bassin versant de la plaine de Mellagou

II.2.1.2 La zone des piémonts

La zone des piémonts est localisée au centre du territoire communal. La surface de cette unité s'élève à quelques 7 774 ha et représente une portion de 18,99 % du territoire communal (Vila, 1977).

II.2.1.3 La zone de plaine

La plaine ayant l'aspect d'une botte qui a une forme allongée s'étend sur environ de 20 Km sur son grand axe Nord –Sud. A part les piémonts qui entoure la plaine proprement dite, le relief n'est pas très accusé ; en altitude, les deux points extrêmes sont (selon la carte d'état-major) :

- ✓ **Au Nord** : 1247 m ;
- ✓ **Au sud** : 845m (vers l'exutoire)

Oued Mellagou c'est le principe Oued qui traverse la plaine dans sa grande partie et ses affluents (Oued L'Azreg, Oued Tamza et Oued Taghit).

II.2.2 Les pentes

Les classes de pente de la plaine de Mellagou peuvent être résumées à partir de la carte

qui permet de visualiser le dispositif d'agencement orographique de la commune.

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

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

II.2.1.4.2 La troisième 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) ;

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

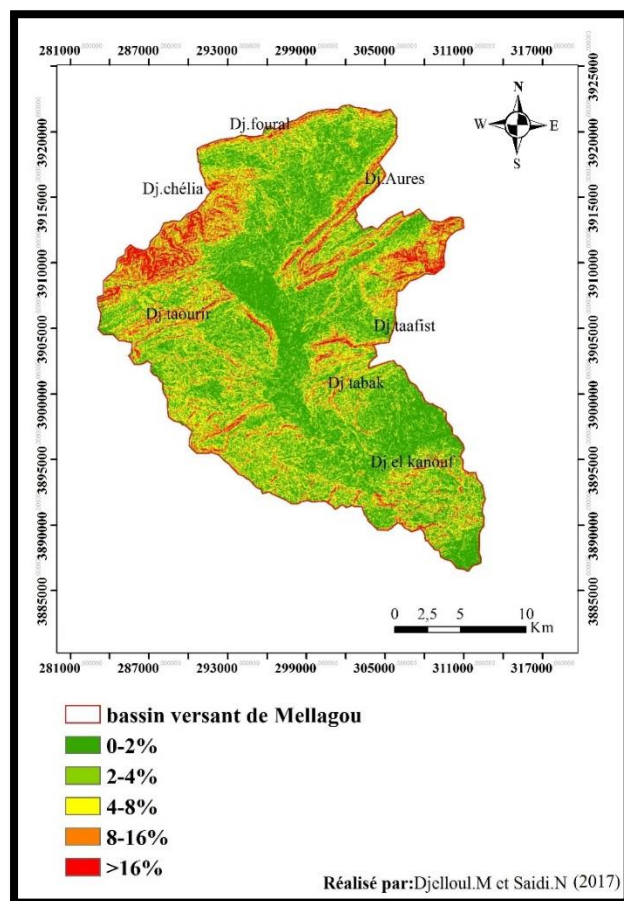


Figure n°08 : les pentes de bassin versant d'Oued Mellagou

II.3 Caractéristiques pédologiques

L'étude des ressources en sols consiste à mettre en évidence les formes du relief (la morphologie), la lithologie et à travers le territoire communal dans l'objectif de déterminer les

Chapitre II : milieu physique et cadre géologique

potentialités, les contraintes et présenter les orientations d'aménagement adéquates.

L'examen de la carte des sols (fig.n°09) met en évidence quatre grandes catégories de sols qui caractérisent l'espace communal de Bouhmama et qui sont :

Les sols calcaires humifères ;

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

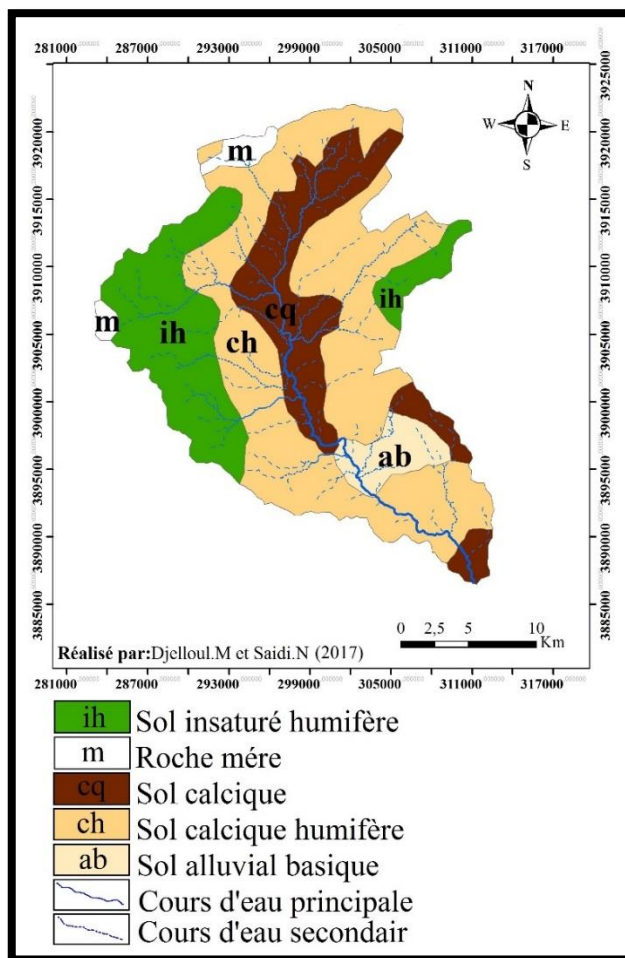


Figure n°09 : la répartition des unités de sols à travers la zone d'étude

II.4 Le Réseau hydrographiques

Oued Mellagou : est formé de la réunion de 02 bras, celui du sort du djebel Aurès (1.551 m) sous le nom d'oued Amar, reçoit à droite Oued Nord Timaroden et Oued Taghit qui sous le nom d'Oued Tafrent descend du versant Nord du Chélia et ouvre de bonnes communications vers l'Ouest et vers le Nord. Après son confluent avec Oued Taghit ce bras prend le nom d'oued Azreg et se réunit avec le bras d'Ouest. Celui-ci descend (fig.n°10).

Du versant Sud du Chélia, ouvre le col de Tizougarine, prend le nom d'Oued Aguelmène, puis celui d'oued El Aksser arrose le village de Bouhamama et se réunissant à l'Oued Azreg ; devient l'Oued Mellagou. Oued Mellagou circule ainsi en faisant de nombreux méandres, se jeter dans Al Abiod puis Oued El Arab.

La plupart des Oueds de sous bassin versant de Oued Mellagou ne sont pas permanents se sont tous des affluents du grand Oued appelé Oued Mellagou. Les importants

Chapitre II : milieu physique et cadre géologique

affluents qui viennent de Nord sont : Oued Taghite, oued Azreg. Ces deux Oued naissent du bord est de la plaines de Mellagou et descendant vers le sud.

A ces deux derniers s'ajoutent les Oueds suivants : Oued Zenague, et Oued Taghit transitant la partie Est de la commune de Chélia. Tous près de l'ancienne Bouhmama d'autres affluents descendant de la région d'El Ksour appelés Oued Lakhsoume et Oued Askar.

Au milieu de la plaine s'ajoutent Oued Djaarir et Oued Tamza, Juste après l'adjonction d'Oued Tamza et Asker naiss le grand Oued Mellagou qui forme en jonction avec l'Oued El Abiod et Oued El Arab. La carte de réseau hydrographique de la zone d'étude a été générée à partir d'un modèle numérique de terrain (DEM) à l'aide d'un système d'information géographique SIG.

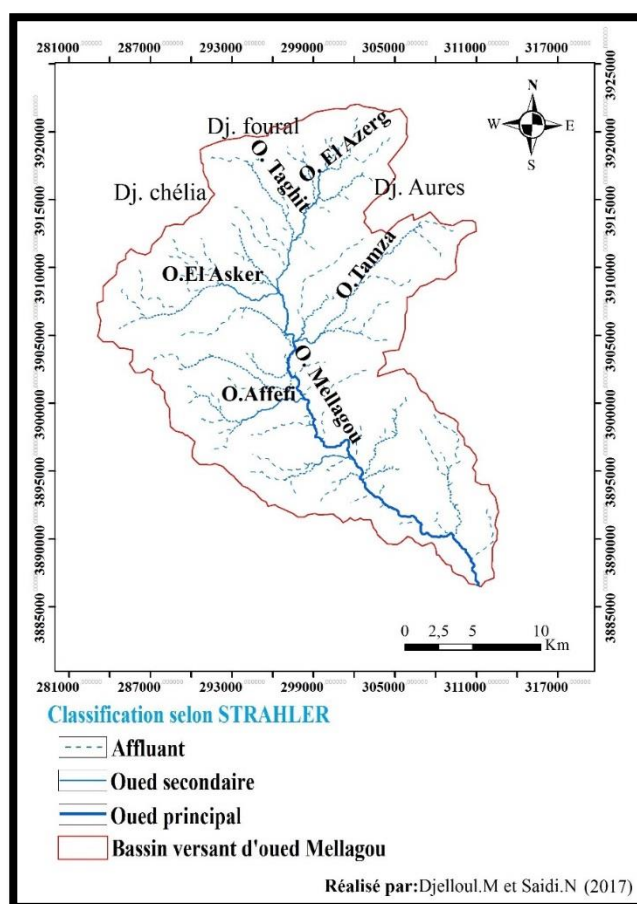


Figure n°10 : le réseau hydrographique de bassin versant d'oued Mellagou

II.5 La géologie de la région d'étude

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

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

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

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

II.5.1 La Stratigraphie

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

II.5.1.1Le Quaternaire

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

II.5.1.2Les formations secondaires

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

II.5.1.3 Tertiaire : Eocène

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

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

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

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

II.5.1.4 Le Crétacé : L'ensemble des terrains composant le territoire communal de Bouhmama appartient à la période crétacée. Ainsi, la quasi-totalité des affleurements secondaires étudiés de la commune va du Crétacé inférieur au Crétacé supérieur avec des faciès très variés allant des marnes aux calcaires en passant par les marron-calcaires et les grés.

- **Le crétacé supérieur** : Cet ensemble est composé de marnes avec, à la base et au sommet, quelques barres de marron-calcaires. Cette formation affleure dans la zone déprimée comprise entre les Djebels Tebak et Kanouf. C'est la partie qui joue le rôle de jonction entre l'Oued Mellagou.
- **Companien, Santanien et Coniacien (C8a, C7)** : Avec des marnes bleues, noires et quelques blocs calcaires, des marnes beige à ocre. Situe dans la partie sud du sous bassin et la synclinale d'Oued Azreg.
- **Le Crétacé moyen**

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

- **Le Cénomaniens supérieur** : La partie supérieure de cet étage est constituée de calcaires sous la forme d'une barre avec cassures 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.

- **Le Cénomaniens moyen** : C'est une puissante formation de 650 mètres de marnes grises à micrites gris blanchâtre à fins tests de lamellibranches.
- **Le Cénomaniens inférieur** : Il s'agit des marnes grises à biomicrites argileuses grises avec des niveaux de glauconies d'empreintes d'ammonites et ayant une épaisseur de 100 mètres. L'ensemble de la formation cénomaniens affleure entre les Djebels Tafrennt et Taourirt à l'Ouest et Kef El Ahmeur et Djebel Taafist à l'Est.
- **Le Crétacé inférieur**
- **L'Albien** : Formation affleure sur le versant Sud et Sud-Est du 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 grès et de marnes grises, de dolomies et d'argiles.
- **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 grès blancs ;

*De marnes grises.

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

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

II.5.1.5 Le Trias : Le Trias est représenté par des masses chaotiques sans stratification (Villa, 1977), dans lesquelles divers éléments sont reconnaissables tels que des cargneules jaunâtres, des dolomies noires, des calcaires, des gypses marneux et fibreux.

Chapitre II : milieu physique et cadre géologique

Tous ces éléments sont englobés dans une masse argileuse de couleur verte. Ces roches triasiques forment, en général, des diapirs marqués par un contact anormal avec les formations les plus récentes.

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

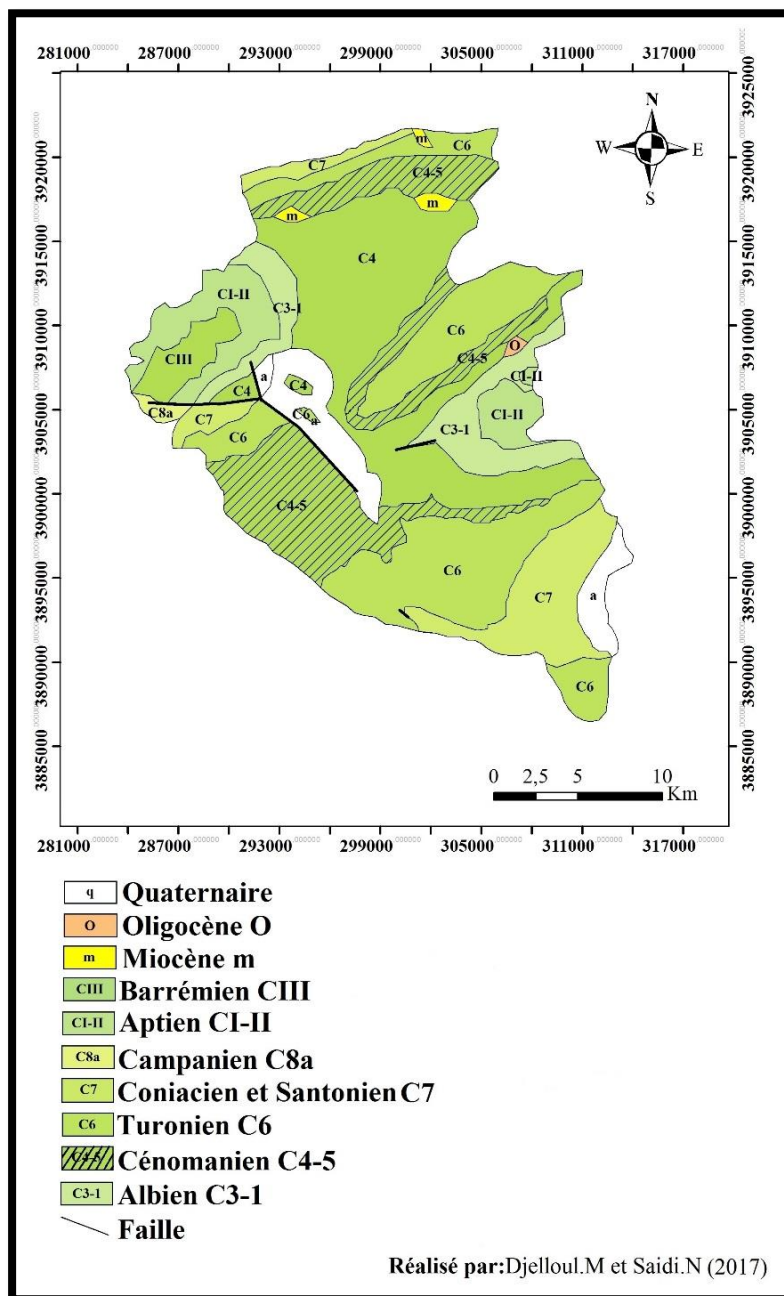


Figure n°11 : géologie de la commune de Bouhmama

II.6 Conclusion

La région d'étude est caractérisée par trois grandes unités topographiques à savoir, la zone de montagneuse, 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.

Après avoir étudié les différentes composantes du milieu physique de bassin versant de Oued Mellagou ; il ressort que la zone d'étude offre des caractéristiques spécifiques et particulière à la région montagneuse. Ce sont les paramètres qui conditionne la bonne exploitation et la réussite aménagement, donc il faut les prendre en considération ; soit pour l'exploitation soit pour l'aménagement.

On peut conclure les principaux caractéristiques des composantes du milieu physique de bassin versant de Oued Mellagou par :

Les caractéristiques du bassin versant prouvent que le bassin versant est allongé, les pentes sont décroissantes de l'amont vers l'aval, elle varie entre (0 – 2 %) et (0-4%), (4-8%) avec majorité de (8-16%) et (>16%), ceci provoque une accélération d'écoulement surtout durant des crues ce qui traduit par un risque majeur c'est l'érosion hydrique.

On remarque aussi que la lithologie est varié (marne – calcaire – Alluvion ancienne et récente) donc ces formations présente perméabilité élevé.

La végétation dans la zone d'étude se divise en deux parties majeurs couverture naturelle (cèdre, chaîne vert, pin d'Alep, alpha) et couverture végétale anthropique (arboriculture, céréale ...) le pourcentage de taux de recouvrement 61.3% de la surface totale du bassin, dont la majorité de cette couvert végétale tend vers la dégradation.

III.1 Introduction

La climatologie s'intéresse à l'analyse quantitative à plus long terme de la moyenne des paramètres requis pour caractériser les états de l'atmosphère, principalement la température de l'air, la lame d'eau précipitée, la durée d'insolation, la direction et la vitesse du vent. Le climat représente donc le « temps moyen » en un lieu donné (**Emselem, 1989**).

L'étude des caractéristiques hydro-climatiques d'un bassin versant (précipitations, température, évapotranspiration), joue un rôle primordial dans la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux superficielles et souterraines. Ces principaux facteurs permettent également d'approcher les termes du bilan hydrique, qui sont les précipitations, la température, l'évapotranspiration et la détermination du type de climat qui règne dans la région concernée.

Le climat algérien est un climat de transition. Il varie du type méditerranéen dans le Nord au type désertique dans le Sahara. Du fait de son appartenance géographique et bio-climatologique à la zone aride et semi-aride, l'Algérie du Nord est soumise à des conditions hydro-climatiques défavorables, caractérisées par des précipitations irrégulières avec des variations interannuelles importantes et une forte irrégularité saisonnière et interannuelle des écoulements.

III.2 Les données climatiques utilisées

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 de Oued Mellagou c'est celle de Bouhmama, 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 (Tab.n°04).

Tableau n°04 : 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

III.3 Les facteurs climatiques

III.3.1 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.

Les données de température durant la période (1992-2010) sont représentées sur le (Tab.n°05), suivi par des courbes de variation de la moyenne mensuelle de température. La (fig.n°12) représentent les minima, les maxima et les moyennes des températures mensuelles en degrés Celsius dans la région étudiée.

Tableau n°05 : Température moyenne mensuelle enregistrée à la station de Bouhmama (1992-2010)

Mois	T (C°) Moy min	T (C°) Moy max	T (C°) Moy	Amplitude M-m
Sep	14,1	29,21	21,65	15,11
Oct	9,44	23,35	16,39	13,91
Nov	4,8	20,99	12,89	16,19
Déc	2,76	13,21	7,98	10,45
Jan	0,85	12,48	6,66	11,63
Fév	1,42	13,42	7,42	12
Mar	3,41	16,81	10,11	16,81
Avr	5,97	19,98	12,97	14,01
Mai	10,51	26,16	18,33	15,65
Juin	14,83	30,69	22,76	15,86
Juill	16,61	34,55	25,58	17,94
Août	18,07	34,88	26,47	16,81

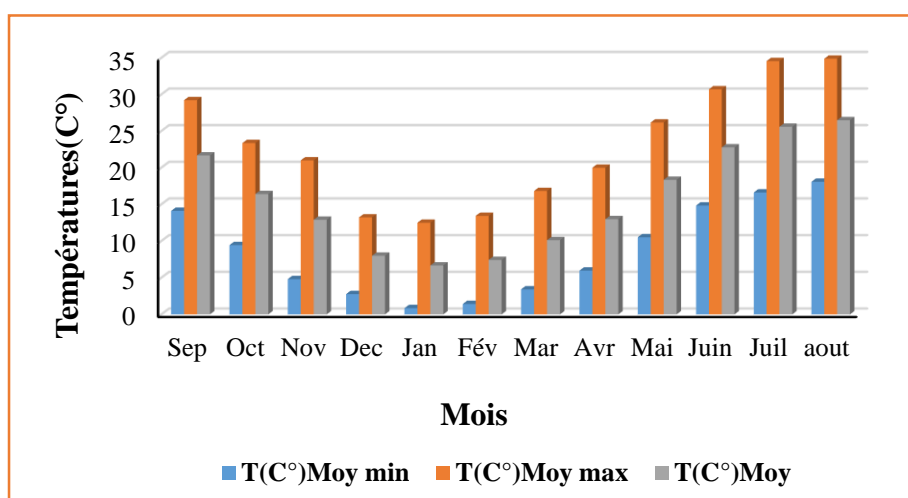


Figure n°12 : La répartition des températures moyenne (max, min, et moy) de la station de Bouhmama pendant la période (1992-2010)

La saison chaude s'étend de Mai à Octobre, mois pendant lesquels les températures mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle, alors que la saison froide correspond de Novembre à Avril, Le maximum de température est atteint en juillet _Août avec une moyenne de 26C°, alors que le minimum d'environ 6.66 C° se situe en janvier.

-la température moyenne annuelle est de 15.77 C°.

III.3.2 Les pluviométries

La pluviosité est défini, comme étant le facteur primordial qui permet de déterminer le type du climat. Elle conditionne le maintien et la répartition du tapis végétal, et la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosions d'une part, et a rôle social et économique d'autre part.

III.3.2.1 Répartition mensuelle des précipitations

Les régimes des précipitations mensuelles sont à l'origine de l'écoulement saisonnier des régimes des cours d'eau , de l'adaptation de la végétation et de l'agriculture , les hauteur des précipitations mensuelles calculées pour le site étudié sont portées dans le (Tab.n°06)

Tableau n°06 : La précipitation mensuelle enregistrée à la station de Bouhmama pendant la période (1992-2010)

Mois	P (mm) Moy mensuelle
Sep	31,38
Oct	29,06
Nov	41,70
Déc	33,34
Jan	32,96
Fév	33,06
Mar	39,04
Avr	27,67
Mai	26,79
Juin	23,56
Juill	12,71
Août	23,50

Les données pluviométriques mentionnées dans la (fig.n°13) montrent que la moyenne mensuelle est environ de 29.56 mm. Le mois le moins pluvieux est le mois de juillet avec 12.71 mm, cependant, les quantités les plus élevées sont observées au mois de novembre avec 41.70 mm.

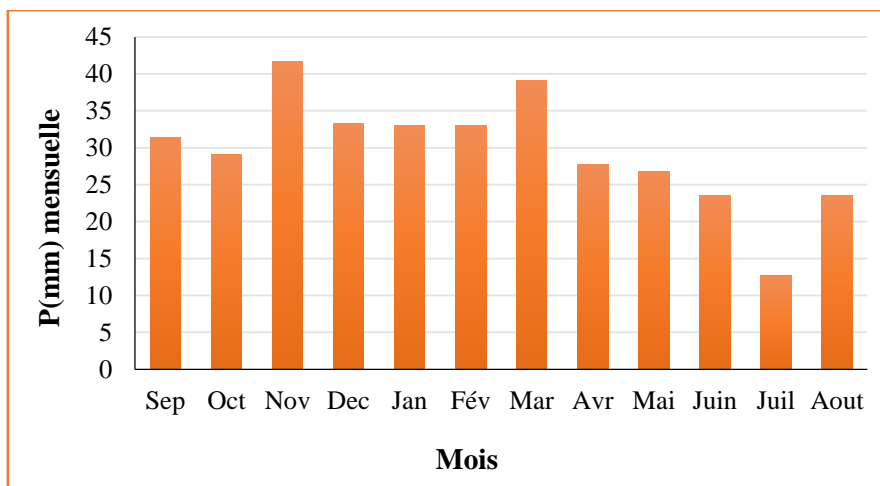


Figure n°13 : Précipitation moyenne mensuelle de Bouhmama (1992-2010)

III.3.2.2 Répartition annuelle des précipitations

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

On remarque qu'il y'a une irrégularité de la répartition annuelle des précipitations, l'année la plus pluvieuse est celle de (2000) avec une précipitation de 641.2 mm ; alors, que le minimum est enregistré en (1998) avec une précipitation de 195.1 mm.

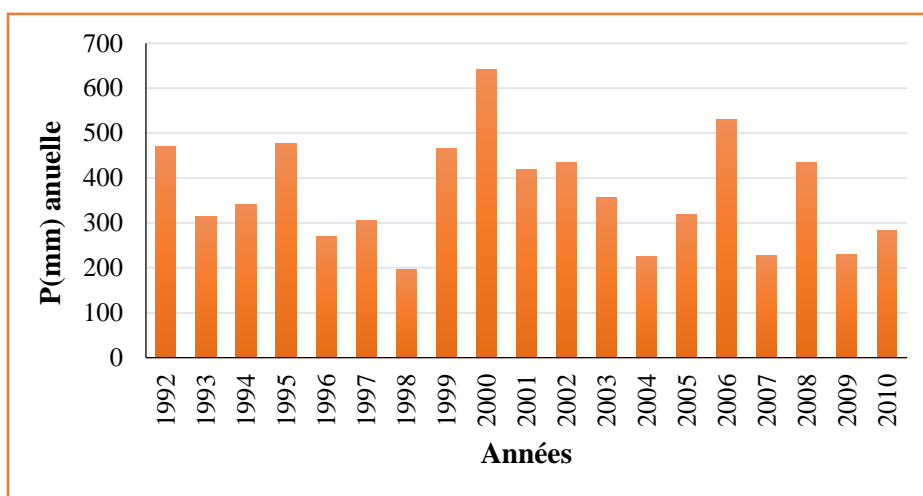


Figure n°14 : Précipitation moyenne annuelle de Bouhmama (1992-2010)

III.3.3 Le vent

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

Tableau n°07 : La vitesse moyenne du vent (km/h) enregistrée à la station de Bouhmama (2000-2010)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
vitesse 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

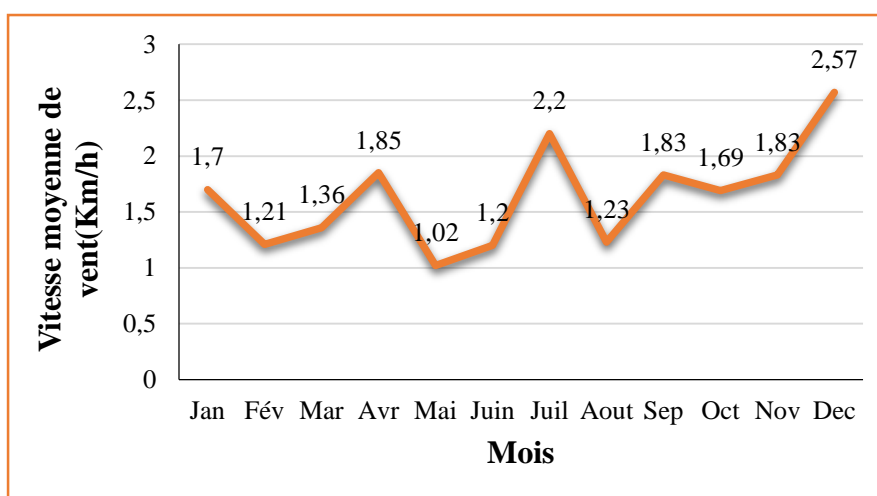


Figure n°15 : La répartition moyenne du vent de Bouhmama (2000- 2010)

Le (Tab.n°07) montre que la vitesse moyenne du vent est de 1, 64 Km/h.

On observe pendant cette période de (2000-2010) que la moyenne du vent la plus forte est le mois de décembre et janvier avec 2.57km /h et au mois de juillet avec une valeur de 2.2km/h par contre dans le mois de mai les vents ont des vitesses très variable de vent avec 1.02km/h

III.3.4 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.

Tableau n°08 : L'Humidité enregistrée à la station de Bouhmama (1150 m) pendant la période (2000-2010)

Mois	Humidité en %
Sep	34,39
Oct	61,58
Nov	69,23
Déc	73,65
Jan	75,02
Fév	67,68
Mar	65,73
Avr	60,34
Mai	55,78
Juin	48,25
Juill	43,82
Août	40,57

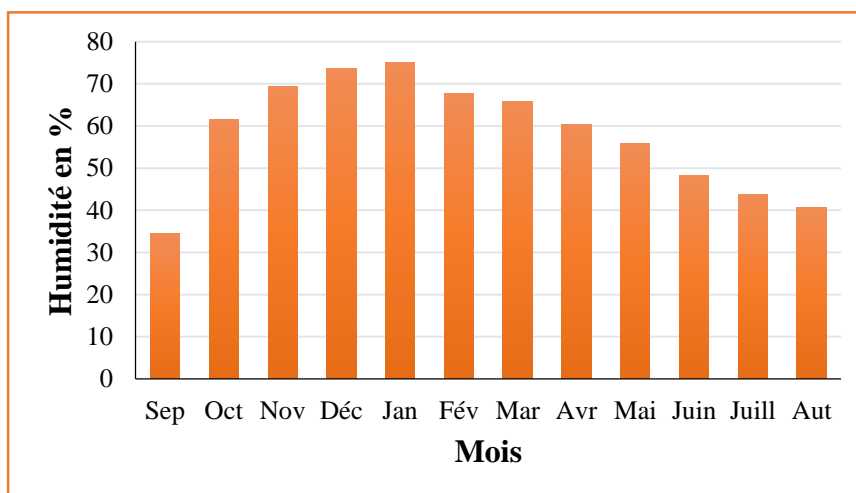


Figure n°16 : l'Humidité relative mensuelle moyenne de Bouhmama (2000-2010)

Les valeurs de l'humidité relative sont relativement homogènes elles varient entre 34.39 % et 75.02 %. 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 40.57 à 48.25% et inversement, durant la nuit par dissipation de la température ambiante et l'humidité tend à augmenter.

Par contre, durant la période hivernale (janvier, février, décembre), la température étant faible et nous remarquons une humidité élevée et atteindre entre 67.68 à 75.02%.

III.4 Détermination de la période sèche, et humide (diagramme Ombro-Thermique de GAUSSEN)

D'après la courbe Ombro-thermique, on peut distinguer la période humide de la période sèche.

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

Une période humide est une période pendant laquelle les précipitations totales égales au double de la température : $P=2T$

Avec ;

P : précipitations moyenne mensuelle en (mm).

T : température moyenne mensuelle en (C°).

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

Tableau n°09 : La précipitation et la température moyenne mensuelle de Bouhmama (1992-2010)

Mois	T (C°) Moy	P (mm) Moy
Jan	21,65	31,38
Fév	16,39	29,06
Mar	12,89	41,70
Avr	7,98	33,34
Mai	6,66	32,96
Juin	7,42	33,06
Juill	10,11	39,04
Août	12,97	27,67
Sep	18,33	26,79
Oct	22,76	23,56
Nov	25,58	12,71
Déc	26,47	23,50

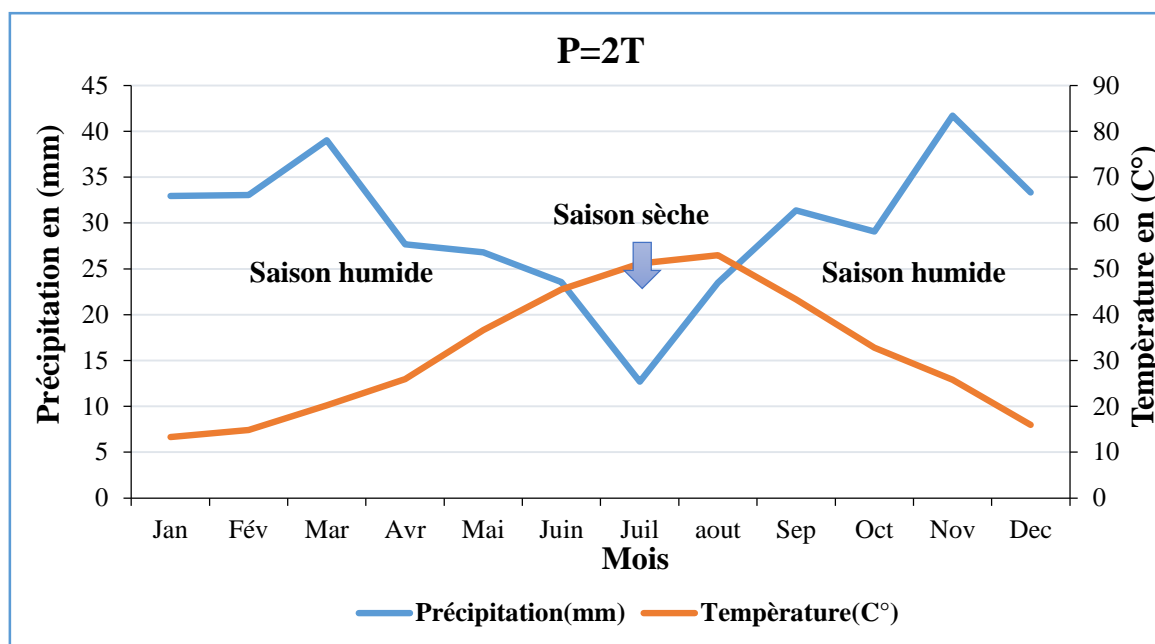


Figure n°17 : Diagramme Ombro-thermique de Gaussen

L'analyse du diagramme nous permet de distinguer :

- ✓ une période de sécheresse de trois mois, allant du mi-juin jusqu'à mi-août, elle coïncide avec la période la plus chaude (été) ;
- ✓ une période humide plus longue, de neuf mois et qui commence du mi-août et se prolonge jusqu'à la mi-juin, alors que cette période correspond essentiellement l'Hiver et le printemps.

III.5 Détermination de l'étage bioclimatique

Plusieurs méthodes permettent de déterminer le climat, dans notre travail nous avons utilisé le Cliagramme de L.Emberger.

Pour caractériser le climat de la région étudiée on utilise le Cliagramme de L.Emberger (fig.n°18) qui permet de définir l'étage bioclimatique de la station avec la formule suivante :

$$Q2 = 2000 P / M^2 - m^2 \quad \text{avec :}$$

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 (K°) = T (C°) + 273.2).

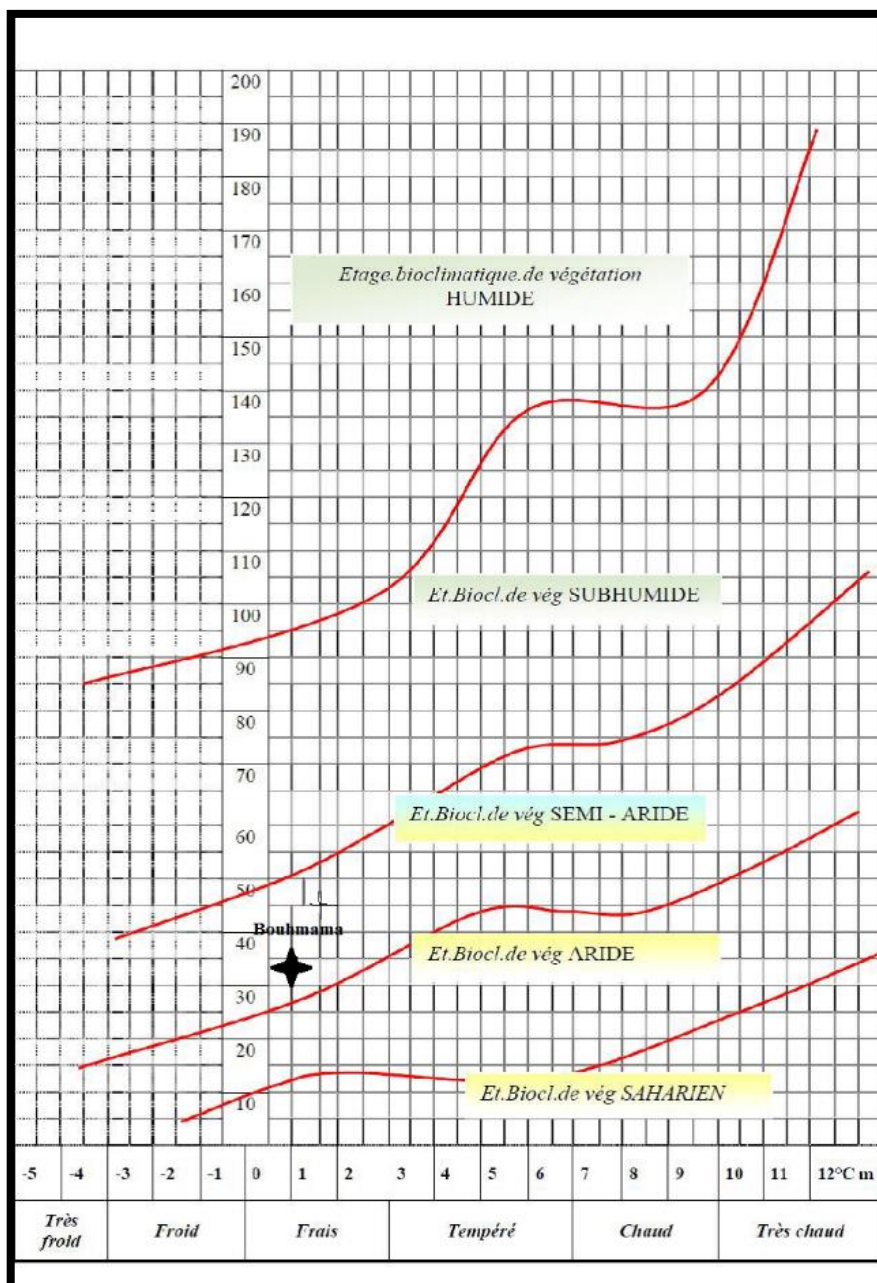
Tableau n°10 : Les valeurs de Q²

Stations	P (mm)	M		m		Q ²
		C°	K°	C°	K°	
Bouhmama	354,77	34.88	308,08	0.85	274,05	35,81747392

$$Q^2 = 354,77 * 2000 / ((308,08)^2 - (274,05)^2) = 709540 / 94913,2864 - 75103,4025$$

$$Q^2 = 709540 / 19809,8839$$

$$Q^2 = 35,81747392$$



III.6 Le bilan hydrologique

Le bilan d'eau d'une région consiste à évaluer la répartition entre les différentes composantes du bilan hydrique : l'écoulement, l'infiltration et l'évaporation.

L'évaporation est définie comme étant la restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère. Cette notion englobe, aussi bien, la lame d'eau évaporée à partir du substratum terrestre que celle transpirée par les plantes. Il faut distinguer entre l'évaporation potentielle (E.T.P) employée lorsque la surface évaporant est convenablement alimentée en eau, et l'évaporation réelle (E.T.R) qui tient compte de l'abondance de l'eau à la surface. L'ETR par définition, inférieur ou égale à l'ETP.

L'équation générale d'un tel bilan peut s'écrire :

$$P = ETR + R + I \quad \text{Avec :}$$

P : Précipitation annuelle en mm ;

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm ;

R : Ruissellement en mm ;

I : Infiltration annuelle en mm.

III.6.1 Estimation de l'évapotranspiration

« Le terme "évapotranspiration" désigne la quantité de vapeur d'eau rejetée dans l'atmosphère tant par évaporation directe au niveau du sol lui-même que par transpiration des organes aériens des plantes (Gaume, 2002).

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 :

III.6.1.1 Évapotranspiration potentielle ETP

On applique la méthode empirique de C.W Thornthwait :

$$ETP = 16 (10t / I)^a \cdot K \quad \text{Avec :}$$

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 $a = 0.016T + 0,5$.

- Formule de Turc (1961)

Cette formule tient compte de la durée de l'insolation et applicable à tous les types de climats, la formule est la suivante :

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

Avec : $L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$;

ETR : évapotranspiration réelle (mm/an) ;

P : hauteur annuelle de la pluie (mm) ;

T : température moyenne annuelle (C°) ;

III.6.2 Ruissellement

L'évaluation du ruissellement est impérative pour estimer l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface du sol, il est calculé selon deux formules :

Formule de Tixeront Berkaloff ; $R = P^3 / 3 * ETP^2$, si : $P < 600$ mm

Formule de Tixeront Berkaloff modifiée par Romantchouk (1974) ; $R = P^3 / 3$, si : $P > 600$ mm

Avec : P : Précipitations moyennes annuelles (mm),

ETP : Evapotranspiration potentielle annuelle (mm),

R : Ruissellement (mm).

III.6.3 Infiltration

L'infiltration est calculée à partir de la formule générale du bilan ;

$$P = ETR + I + R \iff I = P - ETR - R$$

Avec : ETR : Evapotranspiration réelle (mm) (selon Thornthwaite).

III.6.4 Bilan hydrique selon la formule de C.W Thornthwaite

C'est la méthode la plus utilisée pour les climats sub-humides et semi-arides, elle permet de quantifier ou d'évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan hydrique (écoulement, infiltration et évapotranspiration). Il permet également de cerner plus précisément la notion de sécheresse.

L'estimation de l'évapotranspiration réelle établie par la méthode de Thornthwaite est liée au volume de précipitations ; trois cas peuvent se présenter :

- ✓ **1er Cas :** ($P \geq ETP \iff ETR=ETP$) : Il y a reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation (un sol saturé, quand il aura absorbé une lame d'eau équivalente à une précipitation de 100 mm), le surplus représentera l'écoulement superficiel ;
- ✓ **2eme Cas :** ($P < ETP \iff ETR = P + RFU$) : Dans ce cas, on puisera dans les réserves du sol jusqu'à satisfaction de l'ETP ;
- ✓ **3eme Cas :** ($P > ETP$ et $RFU = 0 \iff ETR = P$) : Dans ce cas, on aura un déficit qui représentera la quantité d'eau à apporter pour l'irrigation (déficit agricole).

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

Tableau n°11 : Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de C .W. Thornthwaite

Période	Tp (C°)	I	K	ETPC (mm)	P (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	21,655	9,2	1,03	100,9	31,38	-69,5	-0,7	0,0	0,0	31,4	69,5	0,0
O	16,395	6,0	0,97	59,6	29,06	-30,6	-0,5	0,0	0,0	29,1	30,6	0,0
N	12,895	4,2	0,86	35,4	41,70	6,3	0,2	6,3	6,3	35,4	0,0	0,0
D	7,985	2,0	0,85	15,7	33,34	17,7	1,1	17,7	24,0	15,7	0,0	0,0
J	6,665	1,5	0,87	11,9	32,96	21,1	1,8	21,1	45,1	11,9	0,0	0,0
F	7,42	1,8	0,85	13,9	33,06	19,2	1,4	19,2	64,3	13,9	0,0	0,0
M	10,11	2,9	1,03	28,1	39,04	10,9	0,4	10,9	75,2	28,1	0,0	0,0
A	12,975	4,2	1,08	44,9	27,67	-17,2	-0,4	-17,2	57,9	44,9	0,0	0,0
M	18,335	7,2	1,2	89,1	26,79	-62,3	-0,7	-57,9	0,0	84,7	4,4	0,0
J	22,76	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	12,71	-143,9	-0,9	0,0	0,0	12,7	143,9	0,0
A	26,475	12,5	1,15	157,7	23,50	-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

III.6.4.1 Interprétation du bilan de Thornthwaite

L'interprétation du bilan hydrologique calculé par la méthode de C.W Thornthwaite pour la

Station de bouhmama :

- ✓ 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 les précipitations sont inférieures à l'ETP à partir du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre par contre dans Les autres mois (novembre jusqu'à mars) les précipitations sont supérieures à l'ETP ;

- ✓ l'absence d'excès (EXC = 00 mm) s'exprime d'après le bilan hydrique, les précipitations (P) est égale ETR avec 354.8 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.

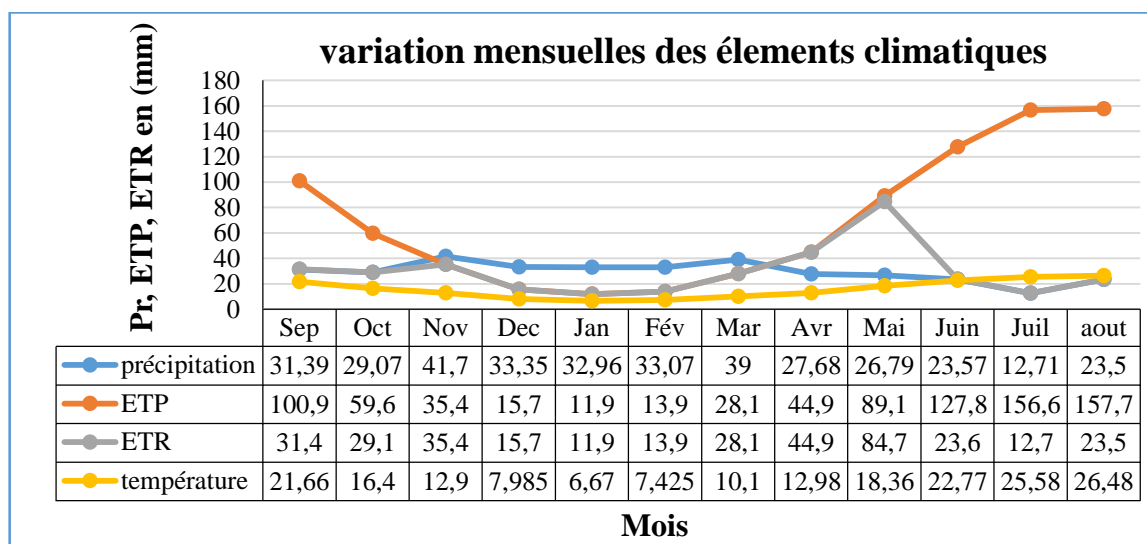


Figure n°19 : Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques de la station de Bouhmama

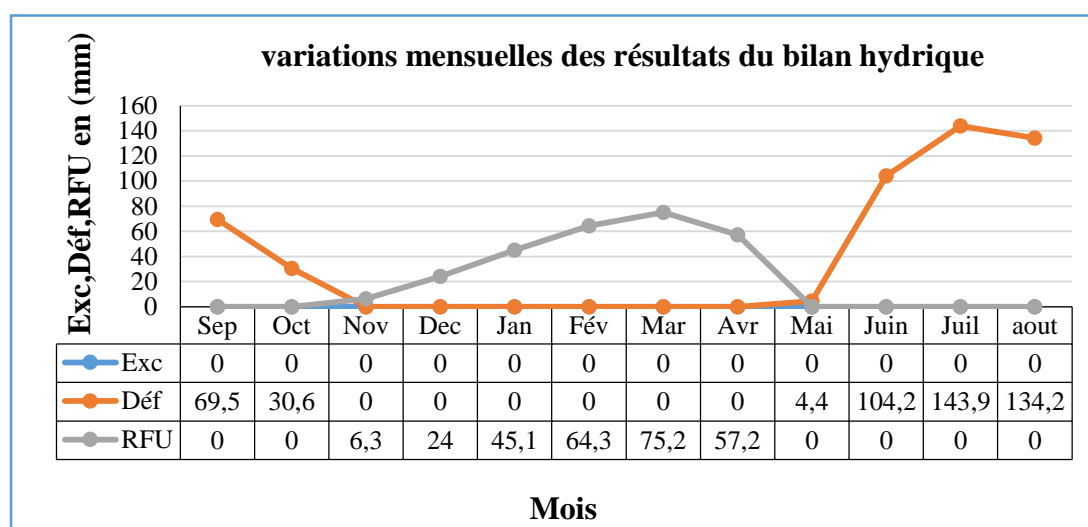


Figure n°20 : Variations mensuelles des résultats du bilan hydrique

III.6.4.2 Interprétation des graphes

Dans ce diagramme qui représente les 3 paramètres de bilan hydrique, on observe que les précipitations diminuent dans le mois de juillet avec 12.71mm, en même temps ETP augmente dans le mois aout (157.7mm). Et aussi ETP continue son augmentation de mois de février jusqu'au mois d'avril, cette augmentation à causer de RFU qui n'a pas épuisé, dès que le RFU diminue à partir de mai et une diminution de ETR au mois de juillet à cause de 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 jusqu'au mois de mai la précipitation retombe en reconstituant les réserves et les cours d'eau.

III.7 Conclusion

L'étude bioclimatique que nous avons réalisée confirme que le climat de la région d'étude un climat méditerranéen, semi-aride à deux saisons ; l'une sèche et humide s'étend du fin de septembre jusqu'au mois de mai, et l'autre chaude et sèche occupe le reste des mois.

La région d'étude reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de : 365mm et une température moyenne annuelle de l'ordre de 15.77 °C enregistrée à la station de bouhmama.

La reconstitution du stock commence en novembre et s'achève en mai. L'épuisement du stock du sol s'observe en mai, ce qui provoque un déficit agricole (Déf) nécessitant une irrigation surtout pour la période allant de mai jusqu'à octobre.

IV.1 Introduction

L'eau d'irrigation, qu'elle provienne de rivières ou de sources ou qu'elle soit pompée dans les nappes, n'est jamais pure ; elle contient des sels dissous qui suivant leur concentration, peuvent affecter les sols et les cultures. Il importe alors d'adapter les pratiques agricoles à l'eau dont on dispose, sachant que les comportements seront différents suivant la nature des sels en cause.

La composition chimique d'une eau doit donc être examinée en fonction de son impact sur les terres et les plantes.

L'altération naturelle de la qualité des eaux souterraines est la conséquence des facteurs de salinité. Tout ce qui défavorise et ralentit le drainage naturel en surface ou dans le sous-sol est un facteur de concentration des eaux. On cite les faibles pentes, les basses altitudes, les faibles perméabilités, l'évaporation, la nature lithologique du réservoir...etc. (Boukhari, 2008).

Ce chapitre fait l'objet d'une approche hydro-chimique des ressources en eau afin de définir la qualité, les faciès, la composition chimique et les possibilités d'utilisation de l'eau de la zone d'étude pour l'irrigation.

IV.2 Méthodologie

Dans le but d'une caractérisation des eaux d'irrigation dans la zone d'étude, nous avons réalisé une campagne d'échantillonnage durant le mois d'avril 2017, nous étions dans l'obligation de répartir nos points de prélèvement dans le périmètre choisi. Au total, 11 échantillons des eaux souterraines (fig.n°21) répartissent régulièrement sur l'ensemble de la zone d'étude.

Les paramètres qui en 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^-).

IV.3 Échantillonnage et analyses

Les échantillons des eaux souterraines ont été prélevés à partir des puits traditionnels. Ces eaux prélevées étaient échantillonnées dans des bouteilles en plastique bien fermées, nommées par des codes et conservées dans une glacière jusqu'au moment d'analyse.

Le but de notre étude est la caractérisation des eaux d'irrigation.

IV. 4 Mode opératoire

- ✓ **Le pH** : Il permet de déterminer l'acidité d'une eau : il se mesure à l'aide d'un pH-mètre.
- ✓ **La conductivité électrique** : Elle permet d'évaluer rapidement, mais très approximativement la minéralisation totale de l'eau. Elle a été réalisée sur le terrain et au laboratoire à l'aide d'un conductimètre (Annexe. Photo n°01).
- ✓ **Le bilan ionique de l'eau** : L'analyse chimique des eaux se fait par le dosage volumétrique pour les chlorures, les bicarbonates, les carbonates, le calcium et le magnésium) et par Spectrophotométrie à flamme pour le sodium, le potassium et les sulfates. Les méthodes de dosage ci-après décrites a été tirées de (**Jackson (1965) et Rodier (1984)**).
- ✓ **Les chlorures** : les ions Cl^- sont dosés par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO_3 , 0.02N) en présence de chromate de potassium (KCrO_4). Les chlorures vont se précipiter sous forme de chlorure d'Argent (AgCl).
- ✓ **Le calcium** : il se dose par complexométrie dans un milieu alcalin à $\text{pH} = 10$ en présence de la soude (NaOH). Nous titrons par l'acide éthylène diamine tétra-acétique (E.D.T.A.), avec le murex-ide comme indicateur coloré.
- ✓ **Le Magnésium** : les teneurs en ions Mg^{2+} sont calculées par la différence de la dureté, totale et du Calcium exprimé en méq/l.
- ✓ **le Sodium et le Potassium** : le dosage de ces deux ions se base sur la méthode de spectrophotométrie à flamme. Son principe se base sur la dissociation des atomes pendant leur passage dans la flamme, et qui émettent de l'énergie à leur excitation. Chaque élément va émettre une longueur d'onde bien précise qui sera détectée par des filtres optiques de chaque élément. Le principe consiste à réaliser une courbe d'étalonnage de l'élément à doser avec des concentrations connues, puis évaporer dans la flamme du photomètre l'eau à analyser et déterminer la teneur du Na^+ ou K^+ en connaissant la longueur d'onde d'absorption de chacun d'eux.

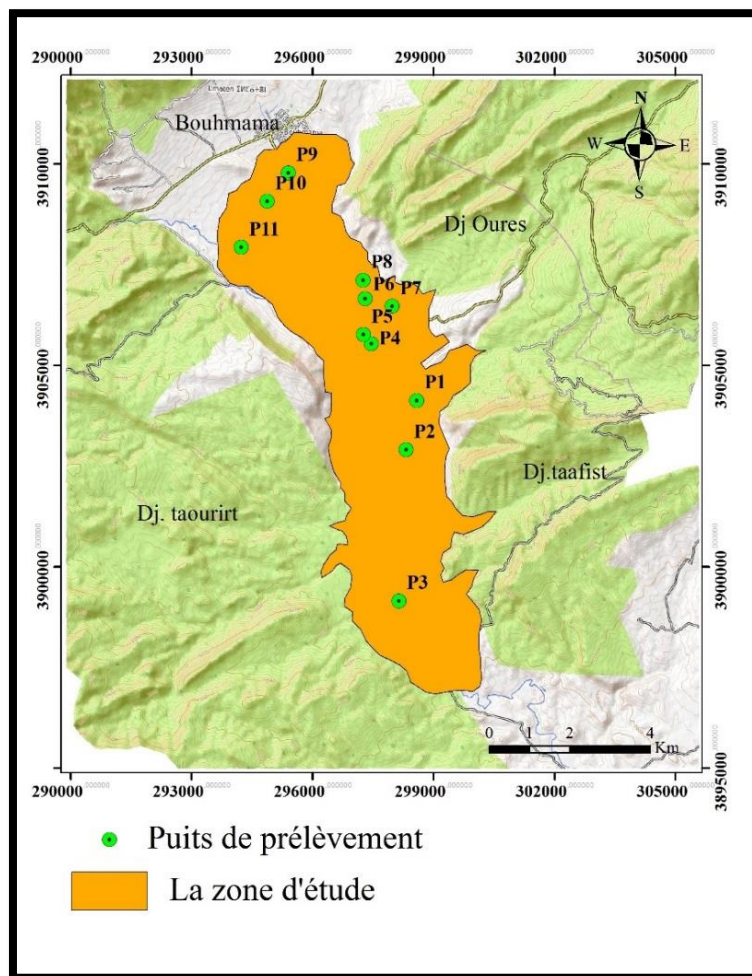


Figure n°21 : Carte d'inventaire des points de prélèvements dans la plaine de Mellagou (Avril 2017)

IV.5 Analyse des éléments majeurs

✓ Analyse des balances ioniques – contrôle de la cohérence des résultats

La méthode des balances ioniques permet de contrôler la qualité des analyses effectuées sur les éléments majeurs. Cette démarche de validation est un préalable indispensable à la présentation des résultats d'analyse et à leur interprétation.

Le calcul des balances ioniques se fonde sur la relation suivante :

$$\text{NICB} = 100 * \frac{[\Sigma\text{Cations} - \Sigma\text{anions}]}{[\Sigma\text{cations} + \Sigma\text{anions}]}$$

Où :

- ✓ NICB (Normalized Inorganic Charge Balance) : La balance ionique exprimée en pourcentage,
- ✓ $\Sigma\text{Cations}$: La somme des cations (unités en meq/l),

✓ Σ Anions : La somme des anions (unités en meq/l).

La balance ionique est l'expression d'une différence entre les charges positives (cations) et les charges négatives (anions). La théorie physique suppose la neutralité des charges au sein des échantillons d'eau, c'est-à-dire une égalité entre la somme des charges positives (cations) et la somme des charges négatives (anions).

Autrement dit, au sein d'un échantillon d'eau, la somme des charges négatives équilibre la somme des charges positives. La balance ionique de tout échantillon d'eau doit donc nécessairement être proche de 0%.

Tout écart doit ainsi être interprété comme un biais induit lors de l'analyse. En règle générale, les résultats des analyses sont considérés de la manière suivante.

- $-1\% < \text{NICB} < 1\%$: Fiabilité des résultats d'analyses excellente.
- $-5\% < \text{NICB} < 5\%$: Fiabilité des résultats d'analyses acceptable.
- $-10\% < \text{NICB} < 10\%$: Fiabilité des résultats d'analyses médiocre.
- $\text{NICB} < -10\%$ ou $\text{NICB} > 10\%$: Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses.

Le graphique suivant représente les balances ioniques calculées sur chacun des échantillons d'eau analysés. Les valeurs des balances ioniques calculées sont représentées en ordonnée (unité : %).(figure n°22).

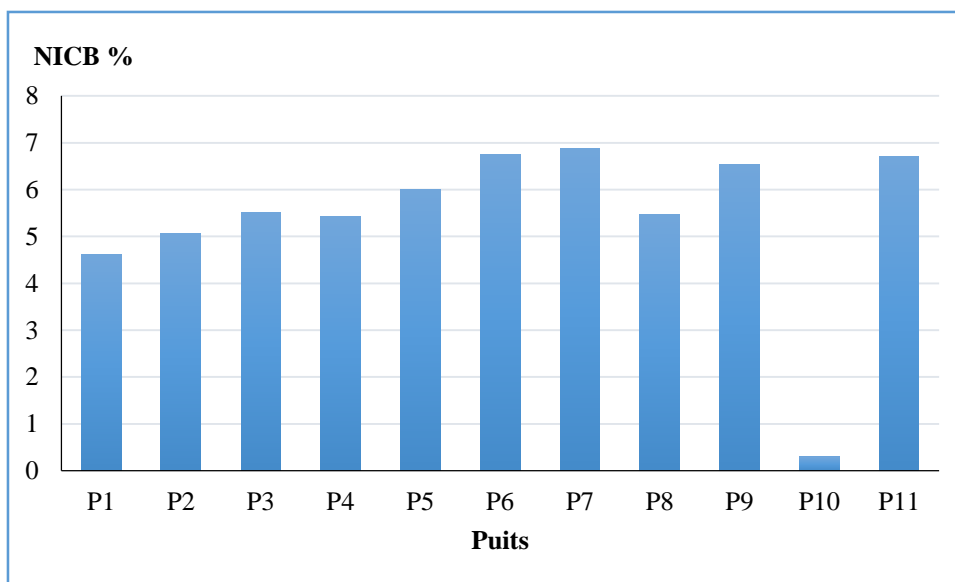


Figure n°22 : Représentation des balances ioniques calculées

Les balances ioniques calculées sont toutes comprises dans l'intervalle $-5\% < \text{NICB} < 5\%$.

Les résultats obtenus sur les calculs des balances ioniques constituent donc un argument en faveur de la fiabilité des données d'analyses sur les éléments majeurs.

IV.6 Résultats et discussions

IV.6.1 Paramètres physiques

IV.6.1.1 le pH

Le pH (potentiel Hydrogène) de l'eau est défini selon la concentration des ions H^+ contenus dans la solution, il exprime l'alcalinité ou l'acidité du milieu.

Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, aussi c'est un élément important sur le caractère agressif ou incrustant de l'eau. Ce paramètre se mesure par un pH-mètre (Annexe. photo.n°(02)). Il conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples dont la température et l'origine de l'eau.

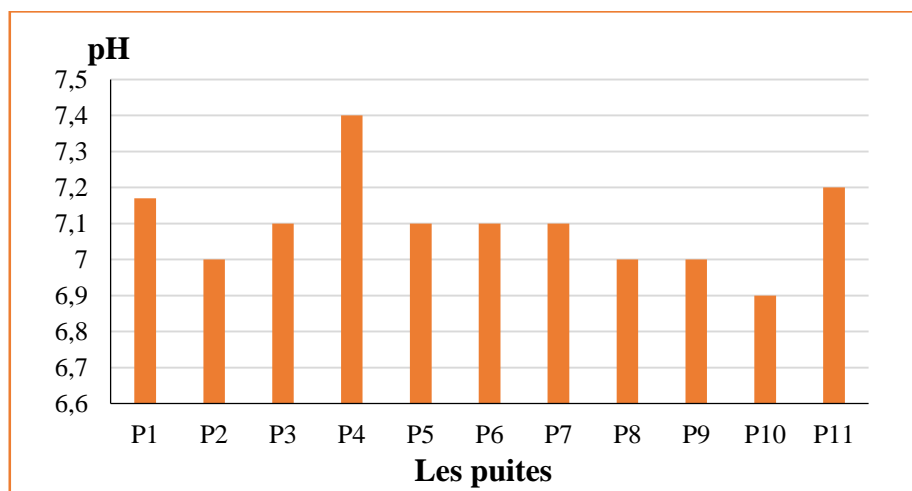


Figure n°23 : variation spatiale des valeurs moyennes de pH

Les valeurs du pH des eaux souterraines de la plaine de Mellagou ne montrent pas une variation notable, avec un maximum de 7.4 dans les puits P4, et un minimum de 6.9 dans le puit P10, avec une moyenne entre 7-7.1 dans les autres puits. Ces valeurs témoignent d'un milieu neutre et bien équilibré (fig. n°22).

IV.6.1.2 la conductivité électrique

C'est un paramètre physique très important, car il traduit le degré de minéralisation des eaux. Il permet d'avoir rapidement l'ordre de la minéralisation globale de l'eau, son unité est le $\mu S/cm$ (micro-cimens par centimètre).

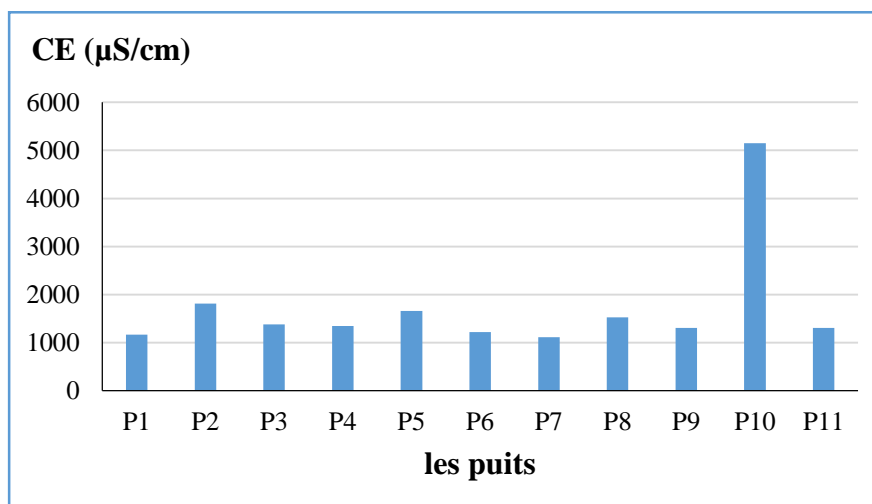


Figure n°24 : Les valeurs de la conductivité électrique dans les eaux souterraines de la plaine de Mellagou

Les valeurs enregistrées durant la période d'étude varient de 1115 à 5150 µS/cm, dont la valeur minimum est enregistrée au puit P7 avec 1115µS/cm, alors que le maximum est enregistré au puit P10, (fig.n°23). Une conductivité élevée est signe d'une importante minéralisation (également appelée salinité).la minéralisation est fortement dépendante du temps de transit et des roches mises en contact avec l'eau mais aussi des éventuels impacts anthropique.

La conductivité électrique dépend du substrat géologique traversé ainsi que la température, le phénomène d'évaporation, qui joue un rôle d'augmentation de concentration des sels dans l'eau.

IV.6.2 Paramètres chimiques

Les résultats des analyses sont consignés dans le tableau où les concentrations sont exprimées en milliéquivalent (mécq/l) et qui présente des valeurs très diversifiées des éléments majeurs.

IV.6.2.1 Les cations

Tableau n°12 : Intervalles de concentrations des cations en méq/l

	Min	Moy	Max
Na⁺	2.95	6.95	30.87
Mg⁺⁺	5.66	7.14	9.59
K⁺	0.04	0.06	0.29
Ca⁺⁺	6.66	11.19	16.69

Les concentrations des cations sont illustrées par la (fig.n°24) qui montre que le cation le plus abondant par rapport aux autres est le sodium (Na⁺) qui présente des concentrations qui varient entre 2.95 méq/l et 30.87 méq/l avec une moyenne de 6.95 méq/l.

Le calcium (Ca^{++}) présent par des concentrations moyennes par rapport à la concentration totale des cations, suivi par le magnésium (Mg^{++}), ce dernier se trouve dans les eaux de la nappe en moyenne teneur. Alors que le potassium est très faible avec des teneurs qui ne dépassent pas 0,04 méq/l (Tab.n°12).

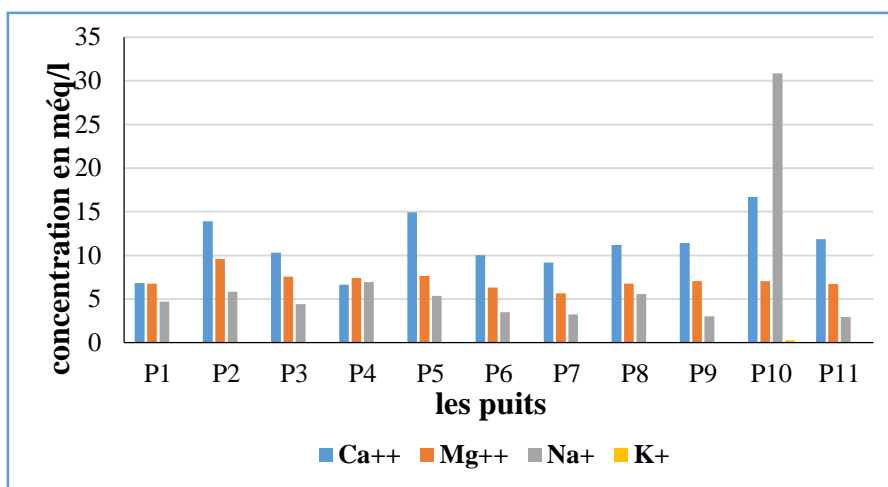


Figure n°25 : Concentrations des cations des eaux de la nappe de la plaine de Mellagou en méq/l

II.6.2.2 Les anions

Les résultats des analyses montrent une concentration élevée des chlorures (Cl^-) qui varie de 1.96 méq/l à 36.60 méq/l avec une moyenne de 6.95 méq/l (Tab.n°13). Le diagramme de concentrations des anions confirme cette augmentation par rapport aux autres anions, les bicarbonates (HCO_3^-) et les sulfates (SO_4^-) et le nitrate (NO_3^-) ont des teneurs assez proches et légèrement élevées (fig.n°25).

Tableau n°13 : Intervalles de concentrations des anions en méq/l

	Min	Moy	Max
SO_4^-	7.45	10.75	15.47
HCO_3^-	3.76	5.08	5.85
Cl^-	1.96	6.95	36.60
NO_3^-	0.02	0.27	0.51

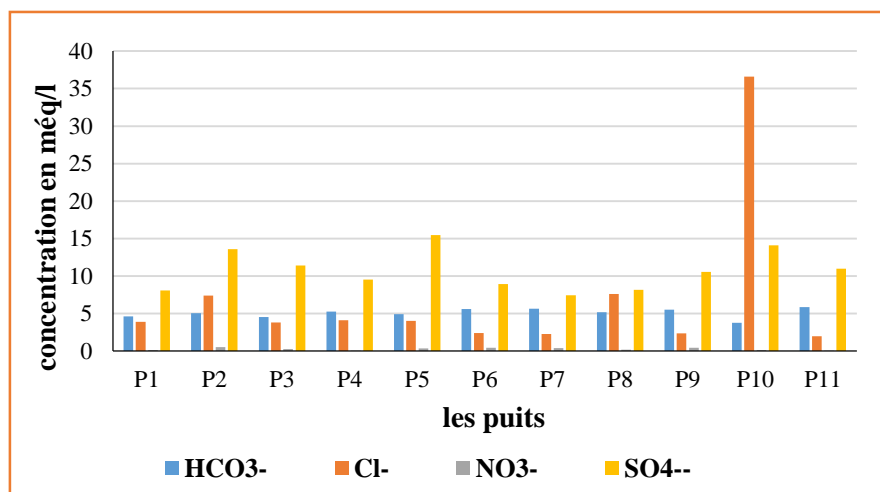


Figure n°26 : Concentrations des anions des eaux de la nappe de la plaine de Mellagou en mg/l

IV.7 Cartes des cations des eaux souterraines de la plaine de Mellagou

Les eaux souterraines contiennent toujours des sels dissous qui leur confèrent les caractéristiques du milieu dont elles sont issues. Ces sels peuvent également provenir de phénomènes exogènes qui ont contribué à des modifications de la chimie du milieu, parmi lesquels nous notons l'évaporation et le lessivage (Gouaidia, 2008).

Afin d'apprécier la répartition spatiale des principaux éléments chimiques, leur évolution dans le temps et leur origine, nous avons procédé à une cartographie de ces éléments chimiques. La cartographie hydro-chimique a été illustrée par interpolation (inverse des distances au carré IDW), en utilisant le logiciel (ArcGis 10.1).

IV.7.1 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).

La forte concentration se trouve dans le nord-ouest de la plaine de Mellagou avec une valeur maximale de 299.18 mg/l dans le forage P10, par contre, nous enregistrons la concentration la plus faible 133.45 mg/l dans l'Est de la plaine de Mellagou le puit P4. (fig.n°26), probablement cette augmentation vient due soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit à la dissolution des formations gypseuses ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$).

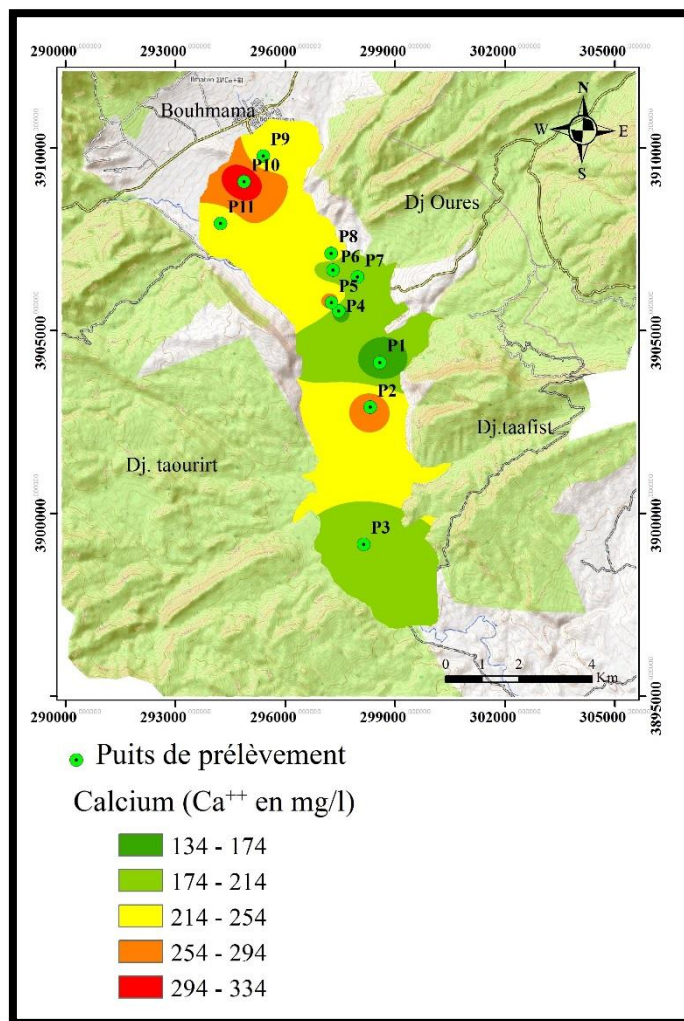


Figure n°27 : concentration de Calcium (Ca⁺⁺ en mg/l)

IV.7.2 Le Magnésium (Mg⁺⁺)

Selon la définition du Petit Larousse, le magnésium (Mg⁺⁺) est un métal solide, de couleur 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).

La (fig.n°27) montre que les concentrations en Mg⁺² varient entre 68 à 116mg/l avec une concentration moyenne de 86.78 mg/l, la valeur maximale est enregistrée au niveau du puit P2, avec une concentration de 116,499mg/l le au centre de la plaine. Les faibles concentrations 76,95-78 mg /l ; sont enregistrée au Nord au puits P1 et P11. L'excès des ions Mg⁺² est dû probablement à la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).

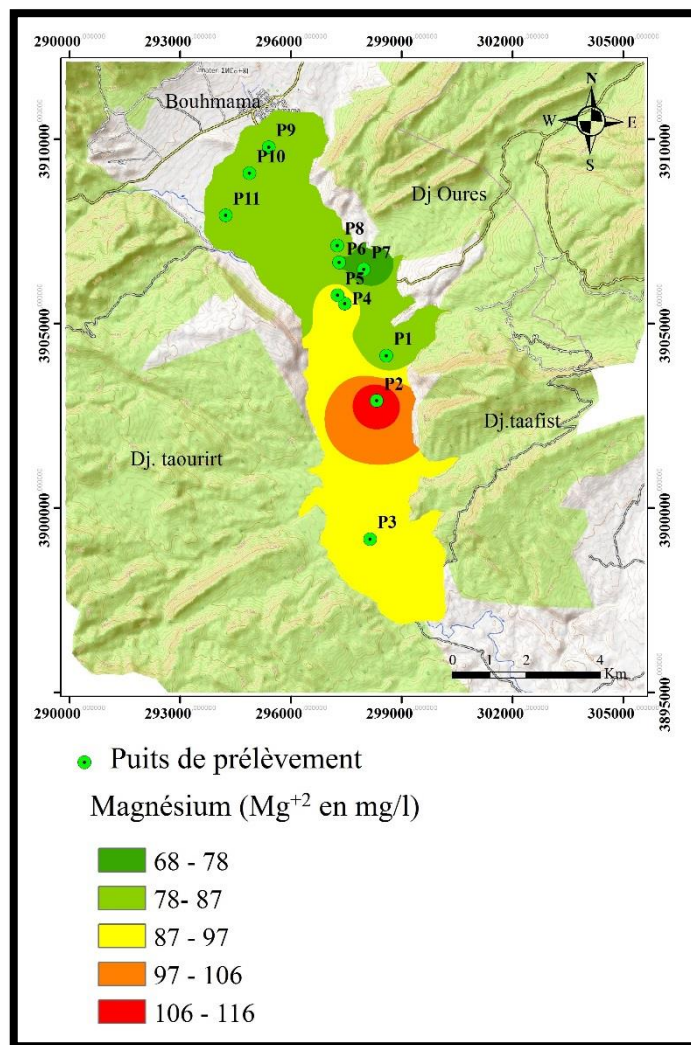


Figure n°28 : concentration de Magnésium (Mg⁺² en mg/l)

IV.7.3 Le Sodium (Na⁺)

Le sodium est un élément constant dans 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.

Les concentrations en sodium (fig.n°28) des eaux souterraines de la plaine de Mallagou montrent que la concentration la plus faible 67.90 mg/l est enregistrée au puit P11, et la valeur maximale 709,69 mg/l enregistrée dans le puit P10.

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères. La dissolution des minéraux salifères se fait selon la relation suivante : $\text{NaCl} \leftrightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$.

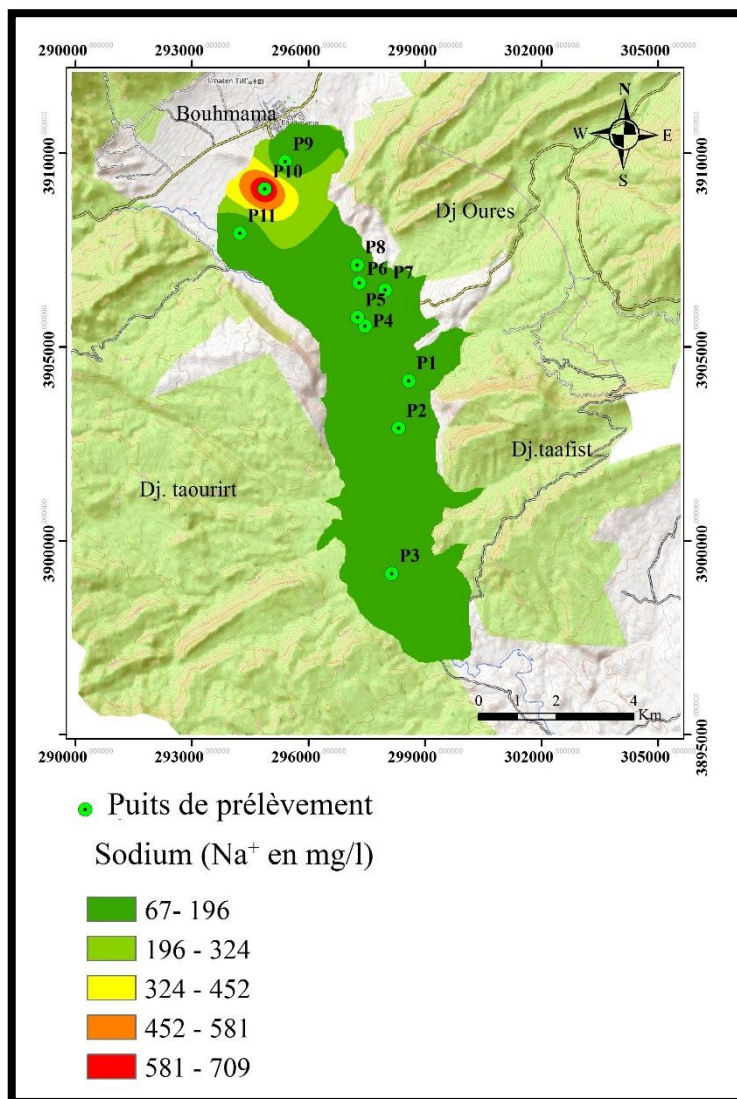


Figure n°29 : concentration de Sodium (Na^+ en mg/l)

IV.7.4 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).

La concentration en ion de Potassium (K^+) (fig.n°29) dans les eaux souterraines de la plaine de Mellagou montre que les concentrations augmentent en allant vers le nord-ouest avec 11.25 mg/l comme valeur maximale enregistrée dans le puit P10 et 0,04 mg/l comme valeur minimale dans les puits P5 et P11.

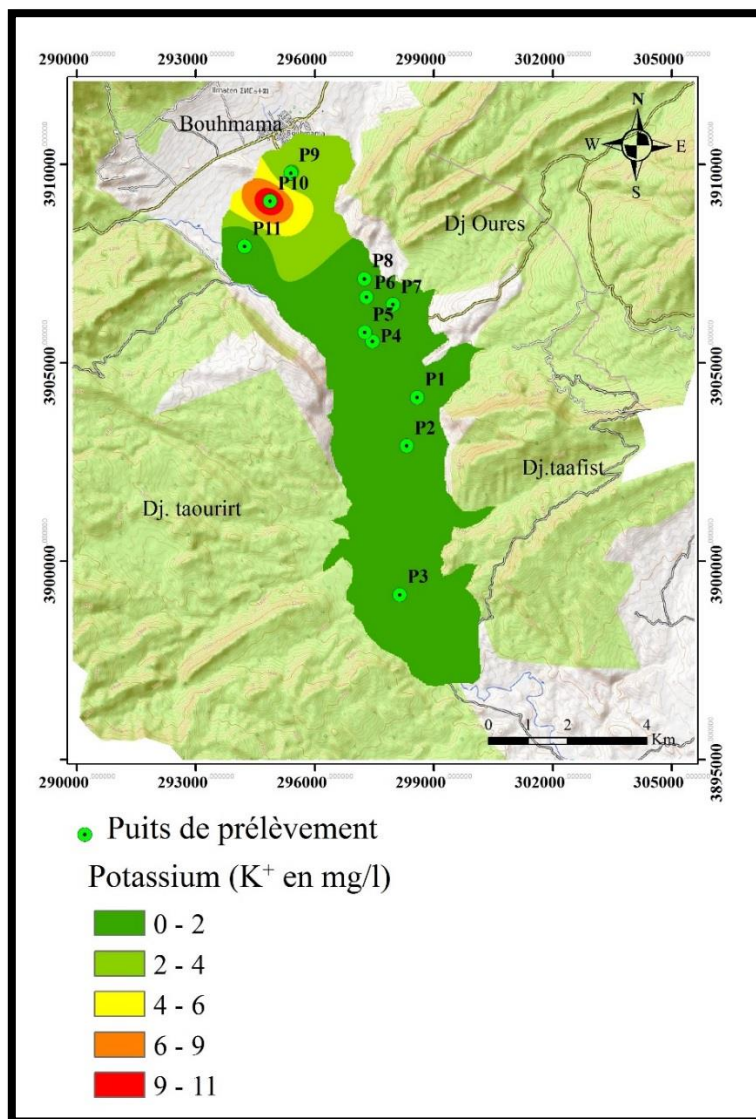


Figure n°30 : concentration de Potassium (K⁺ en mg/l)

IV.8 Cartes des anions dans les eaux souterraines de la plaine de Mellagou

IV.8.1 Les chlorures (Cl⁻)

Les eaux riches en chlorures sont laxatives et corrosives. La concentration des chlorures dans l'eau souterraine dépend des terrains traversés.

Les concentrations en chlorures (fig.n°30) augmentent en allant vers le nord-ouest avec un teneur maximal enregistré dans le puit P10 avec une valeur 1297,57mg/l et la teneur minimale 69,52 mg/l est enregistrée dans le puit P11.

Dans la zone d'étude les chlorures peuvent avoir comme origine la dissolution des sels par lessivage des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très facile d'où leur présence en fortes concentrations dans les eaux ayant traversé les formations argilo-sableuses ou argileuses.

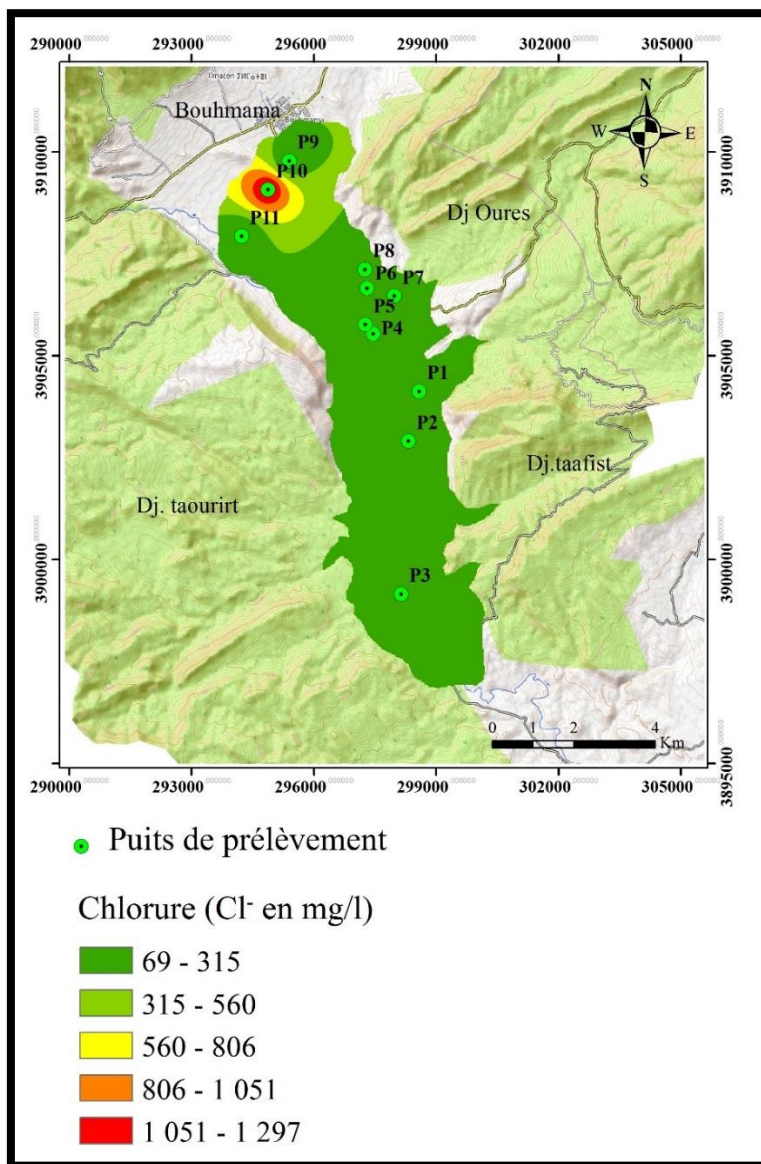


Figure n°31 : concentration de Chlorure (Cl⁻ en mg/l)

IV.8.2 Les sulfates (SO₄²⁻)

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). Dans la zone d'étude (fig.n°31) la concentration de sulfate varie entre 357,804 à 742, 878 mg/l avec une moyenne de 516,49 mg/l, la forte teneur en sulfate 742.878mg/l est enregistrée au puit P5 et la faible teneur 357.804mg/l est enregistrée au puit P7. Ceci est dû

probablement aux formations géologiques qui fournissent cet élément à partir des argiles, des marnes et du gypse.

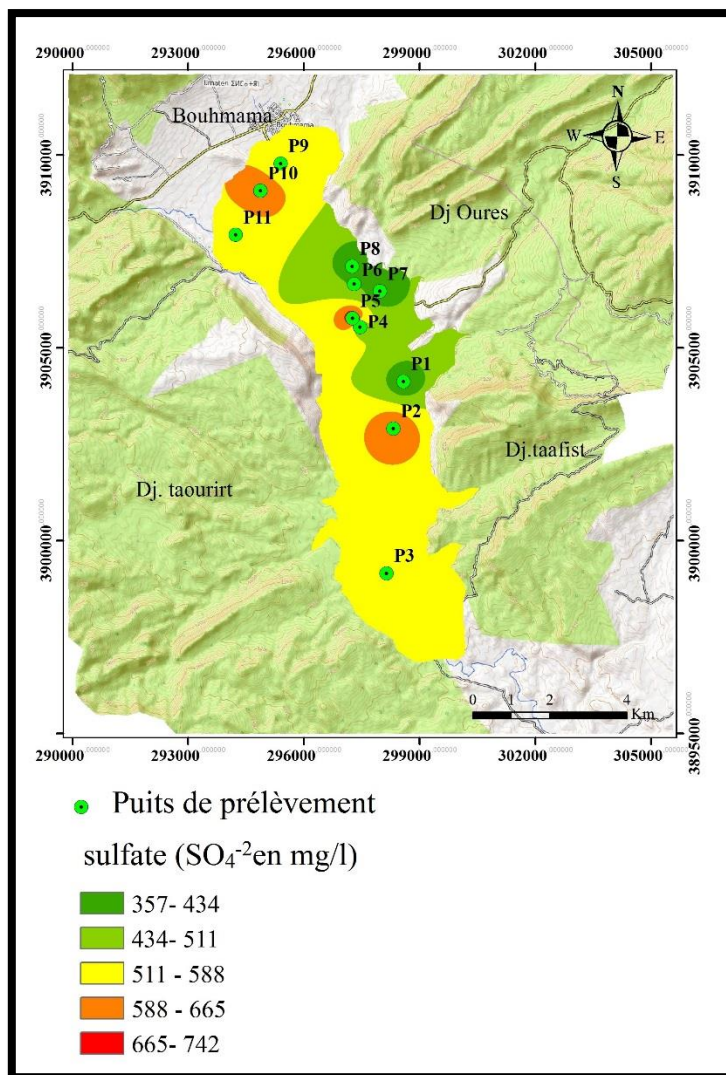


Figure n°32 : concentration de sulfate (SO_4^{2-} en mg/l)

IV.8.3 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).

Les concentrations de nitrate varient entre 1,2 à 31,46 mg/l avec une moyenne de 16.64 mg/l, la concentration la plus élevée est enregistrée au niveau de puit P2 avec une valeur de 31.46 mg/l, par contre la valeur la plus faible 1.2 mg/l est enregistrée au nord au niveau de puit P4.

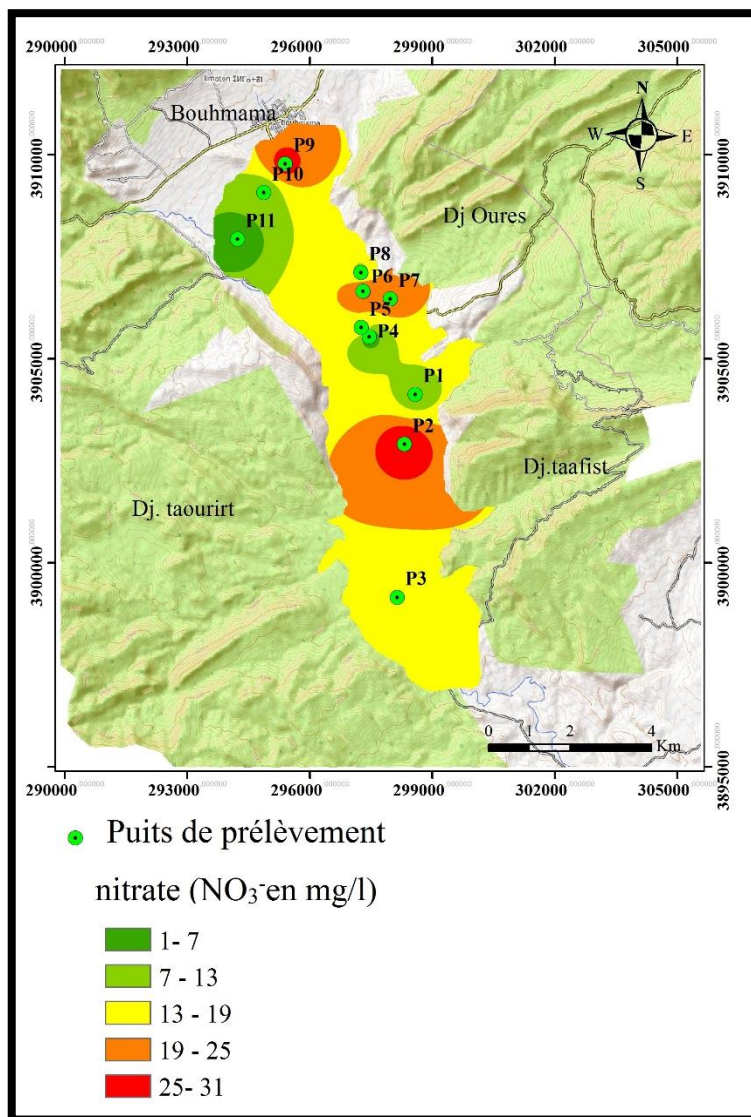


Figure n°33 : concentration de nitrate (NO₃⁻ en mg/l)

IV.8.4 Les Bicarbonates (HCO₃⁻)

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

$XCO_3(\text{Roche}) + CO_2 + H_2O \rightarrow X^{++} + 2HCO_3^-$ 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).

Les teneurs en bicarbonates varient entre 229 à 365 mg/l avec une moyenne de 310,18 mg/l.

Les teneurs maximales supérieures à 331 mg/l sont enregistrées dans les puits P6, P7 et P11 et les teneurs les plus faibles 229 mg/l sont enregistrés dans le puits P10 nord-ouest d'Oued Mallagou.

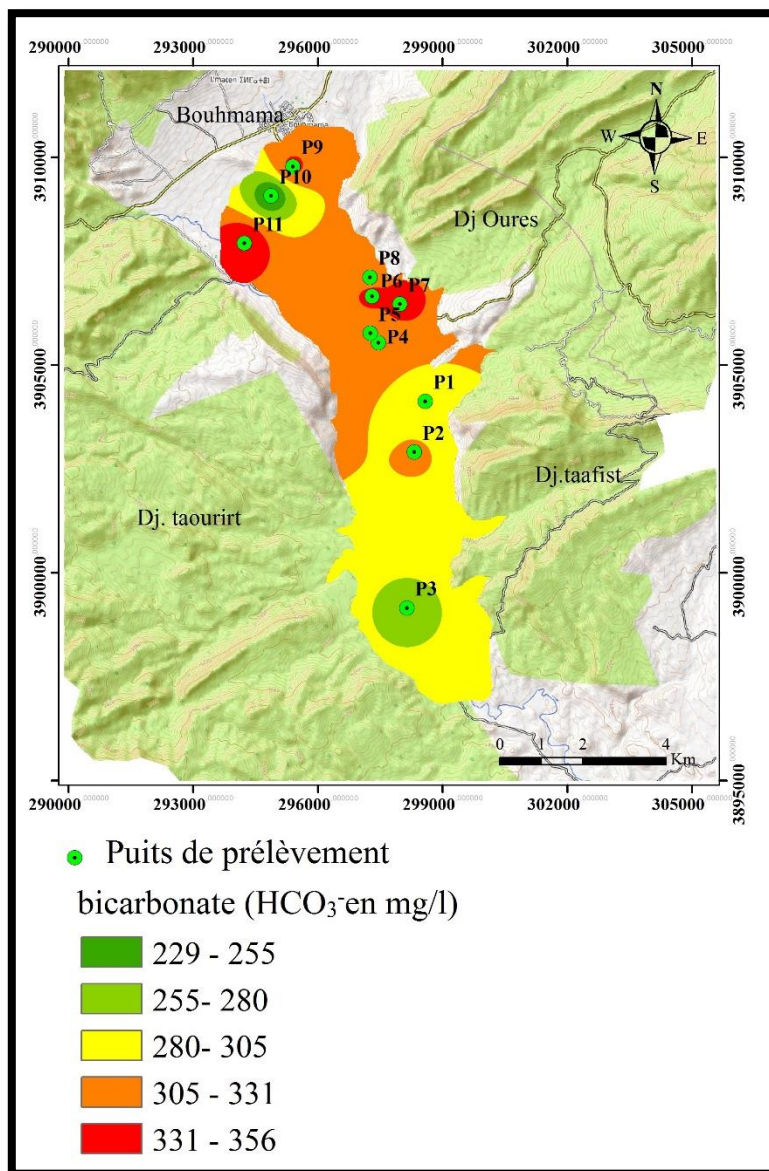


Figure n°34 : concentration de bicarbonate (HCO₃⁻en mg/l)

IV.9 Détermination des faciès hydro-chimiques des eaux

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques.

De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer :

- ✓ Le diagramme de Piper ;
- ✓ Le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff ;
- ✓ Le diagramme de Stiff ;
- ✓ Le diagramme à coordonnées rayonnantes...

Dans notre étude, seule une représentation graphique qui ont été retenue et utilisée : le diagramme de Piper.

✓ Le Diagramme de Piper

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles. Il permet une représentation des cations et anions sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions. La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée.

Le diagramme de Piper permet également :

- *d'illustrer l'évolution chimique d'une eau dans un aquifère ainsi que les mélanges d'eaux de minéralisations différentes ;
- *d'avoir une idée sur la lithologie à partir des analyses chimiques ;
- *d'avoir une relation entre le chimisme de l'eau et la nature lithologique de l'encaissant ;
- *la projection de plusieurs échantillons en même temps ;
- *Pour suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace ;
- *Pour les comparer ;
- *Pour avoir une idée sur la notion de mélange ;
- *de suivre les propriétés physico-chimiques au cours de leur évolution spatiotemporelle.

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 (9 échantillons) qui est le faciès chimique dominant ;
- ✓ Le faciès sulfaté sodique (1 échantillon) (P10) ;
- ✓ Le faciès sulfaté magnésien (1 échantillon) (P4).

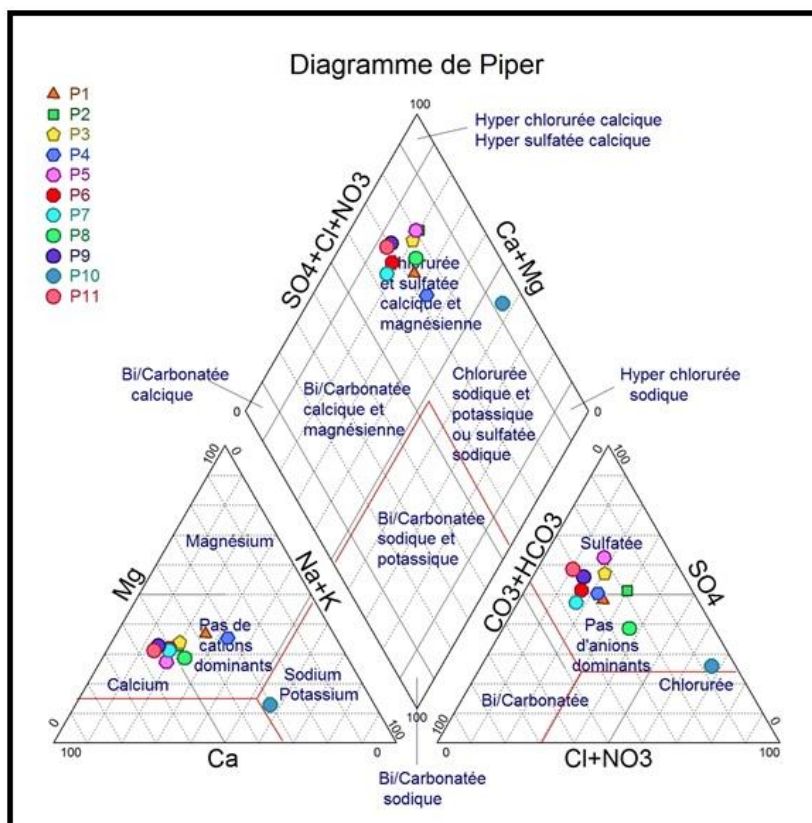


Figure n°35 : Représentation de Piper des eaux souterraines de Bouhmama (avril 2017)

IV.10 Aptitude des eaux a l'irrigation

Il existe plusieurs critères de contrôle de qualité des eaux destinée à une activité agricole. Dans le cas de notre étude, nous avons utilisé le paramètre de qualité des eaux "SAR" le taux d'absorption du sodium, à côté de ce critère, nous avons utilisé le diagramme de Wilcox. Ces méthodes décrivent le pouvoir alcalinisant des eaux. Elles sont utilisées en combinaison afin d'évaluer le risque potentiel de salinisation des sols. Pour contrôler les effets négatifs des eaux d'irrigation sur les sols et les plantes.

IV.10.1 Taux d'absorption du Sodium (SAR)

Le risque d'alcalinité est généralement exprimé par le taux d'adsorption du sodium "SAR". Ce paramètre quantifie la proportion des ions sodium (Na^+), calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) dans un échantillon d'eau. Il faut signaler que le Na^+ joue un rôle négatif dans le sol, parce qu'il réagit avec le sol en diminuant sa perméabilité et donc en freinant la circulation des eaux. Sa présence dans le sol augmente le volume des particules argileuses, entraînant ainsi une obstruction des pores entre les particules. Quand un sol est riche en (Na^+) et que son anion dominant est (CO_3^{2-}), le sol est dit sol alcalin. Si un sol est riche en (Na^+) et (SO_4^{2-}), ou en (Cl), on parle de sol salé. Cependant, dans les deux cas, les végétaux supporteront moins un tel sol.

Le calcul du «SAR» permet d'apprécier la dégradation éventuelle de la structure du sol et l'altération de ses qualités physiques. Le taux d'adsorption du sodium «SAR» a été calculé à partir de l'équation 3 proposée par Richard (1954) :

$$SAR = [Na] / (\sqrt{([Ca] + [Mg])/2})$$

Dans cette formule du «SAR», les concentrations en (Na⁺), (Ca²⁺) et (Mg²⁺) sont exprimées en méq/l

IV.10.2 Classification de wilcox

Ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium «SAR» et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif était de représenter les échantillons sur le diagramme de Wilcox afin de faciliter la caractérisation des eaux profondes sur leur aptitude à l'irrigation, mais il n'était disponible que la valeur de conductivité de quelques échantillons. C'est alors qu'on a tenté de retrouver par calcul théorique les conductivités des échantillons à partir des conductivités équivalentes des différents ions majeurs analysés (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻) à 25°C d'après la méthode décrite par Hölting (1996).

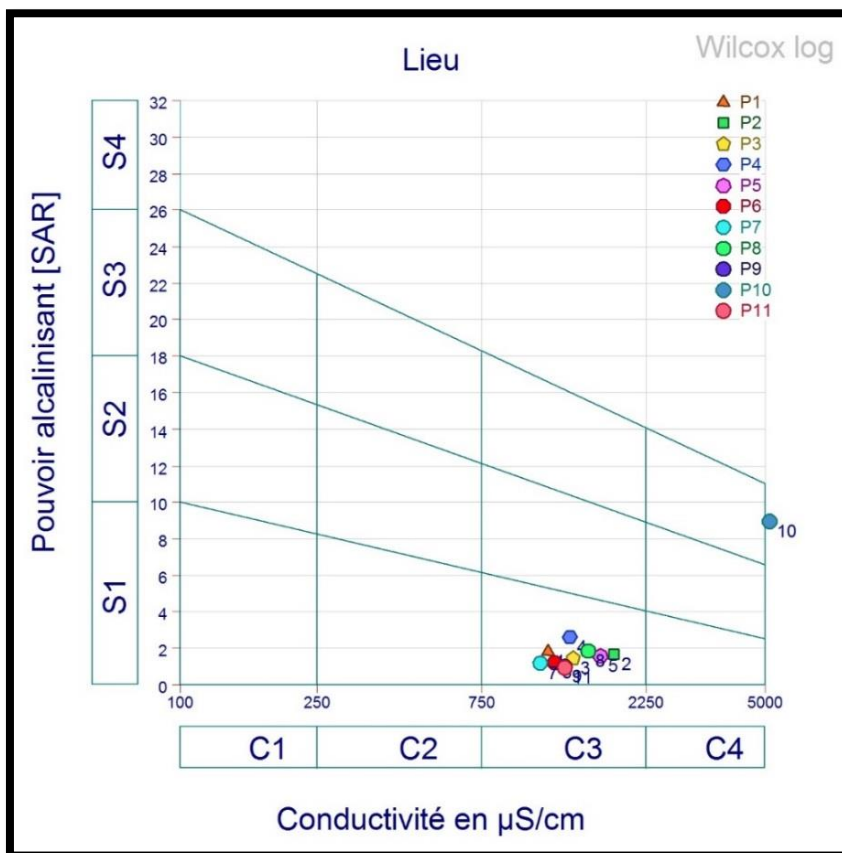


Figure n°36 : Qualité de l'eau de la plaine de Mellagou (d'après le Diagramme du wilcox)

- ✓ La majorité des puits appartenant à La classe (C3-S1) qui désignent des eaux médiocres, utilisables seulement pour l'irrigation de cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité, avec une salinité qui doit être contrôlée.
- ✓ La classe (C4-S3) indique des eaux de mauvaise qualité, fortement minéralisées, qui ne peuvent convenir qu'à des espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

IV.11 Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation selon le diagramme de Wilcox

Une carte d'aptitude des eaux souterraines à l'irrigation a été réalisée par interpolation par krigeage via un SIG à partir des valeurs de "SAR" calculé précédemment. La carte fait ressortir deux catégories d'eaux :

Les eaux de qualité admissible se localisant au Nord-Est de la zone d'étude aux valeurs de "SAR" compris entre (0 à 4még/l). Les eaux de mauvaise qualité se localisent au Nord-Ouest aux valeurs de SAR sont (4 à 6még/l) (fig.n°36). Cette situation s'expliquent par la nature des formations géologique qui constituée compris le réservoir de la nappe.

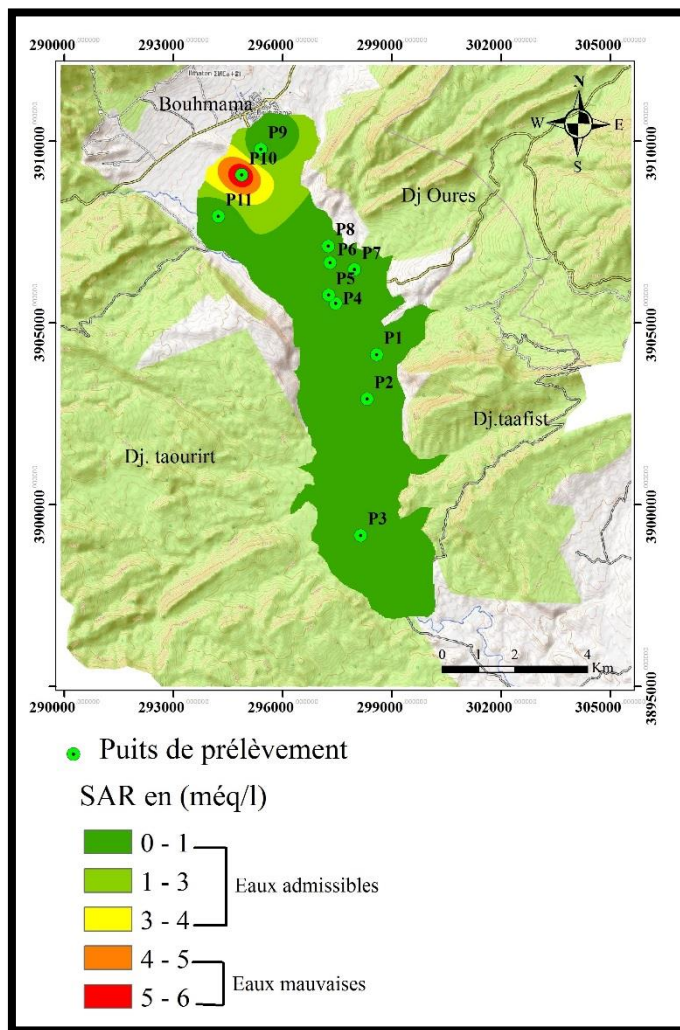


Figure n°37 : Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation (SAR en még/l)

IV.12 Conclusion

L'aptitude de l'eau à l'irrigation peut être jugée non seulement à partir de la concentration totale en sels, mais aussi par le type de sels et les ions qui la constituent. Il est donc impératif d'étudier les paramètres qui définissent les caractéristiques des eaux destinées à l'irrigation.

Les eaux d'irrigation de la zone étudiée se caractérisent par un pH témoignant d'un milieu neutre et bien équilibré. Selon la conductivité électrique, deux types d'eau souterraine ont été distingués :

- ✓ Des eaux ayant une salinité légère dont la conductivité électrique est comprise entre (1115 μ S/cm et 1814 μ S/cm) à utilisables seulement pour l'irrigation de cultures tolérantes aux sels utiliser pour l'irrigation.
- ✓ Des eaux de salinité avec une conductivité électrique élevée (5150 μ S/cm) enregistrée dans le puits (P10), qui ne peuvent convenir qu'à des espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

Le résultat des analyses chimiques des eaux souterraines montre une concentration élevée des chlorures suivis par les bicarbonates et les sulfates qui ont des teneurs assez proches.

Concernant les concentrations des cations on constate que le sodium est présent en grande quantité, L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères et à l'effet de la salinité marine. Le calcium présent par des concentrations moyennes par rapport à la concentration totale des cations, suivi par le magnésium et le potassium en faibles teneurs.

L'utilisation de diagramme, Piper montre que ces eaux ont un sulfaté calcique, sulfaté magnésien et sulfaté sodique. Selon le diagramme de Wilcox qui classe les eaux d'irrigation en fonction de l'indice du SAR et la conductivité électrique on a pu placer ces eaux dans la classe (C3-S1 et C4-S3).

Selon le rapport du SAR, les eaux souterraines présentent un faible danger d'alcalinisation et pourraient être utilisées en irrigation.

Conclusion générale et recommandation

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

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

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

La caractérisation hydro-chimique des eaux souterraines montre que 80 % des échantillons sont de bonne qualité (faciès sulfaté calcique).

Selon le diagramme de Wilcox qui classe les eaux d'irrigation en fonction de L'indice du SAR et la conductivité électrique on a pu placer ces eaux dans les classes (C3-S1 et C4-S3).

Recommandations

Afin d'éviter la détérioration de la qualité des eaux on cite les recommandations suivantes :

- ✓ La bonne gestion des ressources en eaux ;
- ✓ Une irrigation appropriée avec le mélange des eaux de surface avec les eaux de la nappe pour éviter l'accumulation des sels à long terme ;
- ✓ Un labour profond pour l'amélioration des sols sodiques ;
- ✓ Surveiller la qualité des eaux d'une façon périodique.

Les références bibliographie

- **ANDI., (2013)** : Agence Nationale de Développement de l'Investissement 2013 Pages06.
- **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.
- **ALLALI. A., (2004)** : Ahmed 2004 Cartographie de la qualité physico-chimique et biologique de l'eau des zones humide de la Numidie.
- **BOUKHARI KHALID., (2008)** : Contribution à l'étude Géologique & Hydrogéologique de la nappe des Oulad Bou Sbaâ (Province de Chichaoua) Mémoire t de Master.
- **BAKALOWICZ., (1979)** : Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. Thèse Doctorat Es.Sciences.
- **BENKOUMCHI. 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.
- **CRETINON. B., (1994)** : Définition des principaux paramètres utilisés en hygrométrie, Bulletin du Bureau National de Métrologie, 25 (98), 3-6 (1994).
- **CLAUDE. A., (1905)** : petit Larousse 1906 illustré de 1889.
- **D.H.W.K** : direction d'hydraulique de la wilaya de Khenchela, service des statistiques Mai 2012.
- **EMSALEM. R., (1989)** : Climatologie générale, tome I, édition ENL, Alger, 487p.
- **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.
- **GAUME. E., (2002)** : Hydrologie de versants et de bassins versants et modélisation pluiedébit, Edition, Ecole nationale des ponts et chaussées, France, 71 p.
- **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 hydrogéologique et salin d'un basin semiaride rémila-Khenchela. Thèse doctorat, université badji mokhtar-Annaba.

- **HÖLTING B., (1996)** - Hydrogéologie, Stuttgart (Enke Verlag) 5^e Ed.441p, 14fig, 46 tab. Jacob C.E., (1946) - On the flow of water in an elastic artesian aquifer.Am.geoph.union. Trans .72p.
- **JACKSON (1965)** : Soil chemical d'analysis.
- **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.
- **KHABTANE. A. H., 1996**, étude climatique et bioclimatique de l'extrême Nord-Est Algérien de Skikda aux frontières Algero-tunisiennes, Mémoire d'ingénieur en écologie, Université de Constantine, 115 p.
- **LAFFITTE. R., (1939)** : Etude géologique de l'Aurès. Thèse, Paris, Bull Serv. Carte Géol. Algérie, 2e série. 484p.
- **RODIER.J., (1984)** : L'analyse de l'eau, Chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie, Edition Dunod.
- **RICHARDS, L. A., (1954)**. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Hand book, N° 60, USDA, Washington D.C. 160 p.
- **VILA J.M., (1977)** : Carte géologique de l'Algérie et notices explicatives.

Tableau.n°01 : les coordonnées (XY) des puits de la zone d'étude

Name	x	y
P1	298586	3904135
P2	298324	3902911
P3	298144	3899159
P4	297460	3905544
P5	297268	3905771
P6	297313	3906658
P7	297977	3906472
P8	297255	3907119
P9	295406	3909786
P10	294882	3909080
P11	294238	3907937



Photo n°01 : l'appareil de Mesure de la conductivité de l'eau (conductimètre)



Photo n°02 : l'appareil de Mesure le pH de l'eau (pH-mètre)