



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère De l'Enseignement Supérieur et De la Recherche Scientifique

Université Abbés Laghrour Khenchela

Faculté des Sciences de la Nature Et de la Vie

Département Ecologie et Environnement

**MEMOIRE**

De fin d'étude pour l'obtention du diplôme de

**MASTER**

**FILIERE: Ecologie et l'environnement**

**OPTION: Protection et Décontamination des Eaux et des Sols Pollués**

**Thème**

**Etude du Processus Hydrogéochimique des  
Eaux de la Plaine de Mellagou-Bouhmama-  
Khenchela**

**Présenté Par :**

**SIAD Lamisse**

**NEZZER Dounia**

**Devant le jury**

*Président : Mr. Ziouche Omar Ramzi*      *MCB*

*Univ. Khenchela*

*Encadreur: Dr. Halimi Samia*      *MCB*

*Univ. Khenchela*

*Examineur: Mr. Daifallah Tarek*      *MAA*

*Univ. Khenchela*

**Année 2016- 2017**



# Dédicace



*Je remercie tout d'abord mon **Dieu** de m'avoir donné courage, patience et conscience afin de bien rédiger ce modeste travail je dédie ce travail :*

***A mon père LEZEHARI***

*pour ses encouragements incessant et son soutien moral aux moments difficiles qui furent pour moi les meilleurs gages de réussite. Qu'il trouve dans ce travail la preuve modeste d'une reconnaissance infinie et d'un profond amour*

***A mon adorable mère HABIBA***

*qui est toujours présent à coté de moi, merci Mam pour tes sacrifices afin que tes enfants grandissent et prospèrent. Que dieu te protège et te donne santé et je te serai reconnaissante toute ma vie.*

***A mes chers frères KARIM, ADEL et HAMZA***

*pour leur soutien moral et leur encouragement incessant pendant ce travail, et pour leur gentillesse et confiance*

***A mon binôme LAMIS***

*qui m'a aidé et supporté dans les moment difficiles*

***A mes neveux ISHAK et KHALIL et mes belles nièces MASSINA et MASSIVA***

***A mes oncles KHELAF et LAID***

***A tous mes amies SAAIDA, MOUNA, ASSMA, NACIRA et NADA***

***A mon cher ami ISSAM***

*Merci pour tout*

**DOUNIA**



N° de figure	Titre des figures	Page
<b>Chapitre - I-</b>		
<b>Figure n°01</b>	Localisation administrative de la commune de Bouhmama	04
<b>Figure n°02</b>	La repartition des unites de sols à travers la zone d'étude	05
<b>Figure n°03</b>	Réseau hydrographique de bassin versant d'Oued Mellagou	06
<b>Figure n°04</b>	Répartition de la population de Khenchela selon le type	08
<b>Figure n°05</b>	Evolution de la population de Khenchela	08
<b>Figure n°06</b>	Répartition de la population selon le groupe d'âge	09
<b>Chapitre - II-</b>		
<b>Figure n°07</b>	Schéma structural simplifié	11
<b>Figure n°08</b>	Carte géologique de la commune de Bouhmama	15
<b>Figure n°09</b>	Carte des nappes aquifères (DHW. 1992)	17
<b>Chapitre - III-</b>		
<b>Figure n°10</b>	Histogramme de variation des précipitations mensuelles	20
<b>Figure n°11</b>	Carte des précipitations annuelle moyenne de la plaine de Mellagou de la willaya de Khenchela	21
<b>Figure n°12</b>	Courbes de variation des températures moyennes mensuelles	22
<b>Figure n°13</b>	Courbe ombrothermique	24
<b>Figure n°14</b>	Abaque de l'indice de l'aridité annuel de De .Martonne	26
<b>Figure n°15</b>	Représentation graphique du bilan hydrologique	28
<b>Chapitre - IV -</b>		
<b>Figure n°16</b>	Carte de Localisation et inventaire des points de prélèvement des eaux de la plaine de Mellagou (Mars, 2017)	30
<b>Figure n°17</b>	Histogramme de variation du pH (Mars, 2017)	31
<b>Figure n°18</b>	Carte de variation du pH (Mars, 2017)	31
<b>Figure n°19</b>	Carte de conductivité électrique (Mars 2017)	33
<b>Figure n°20</b>	Histogramme de variation des teneurs de Ca <sup>2+</sup> (Mars, 2017)	34
<b>Figure n°21</b>	Carte de concentration de Calcium (Mars, 2017)	35
<b>Figure n°22</b>	Histogramme de variation des teneurs de Mg <sup>2+</sup> (Mars, 2017)	36
<b>Figure n°23</b>	Carte de concentration du magnésium (Mars, 2017)	36
<b>Figure n°24</b>	Histogramme de variation des teneurs de Na <sup>2+</sup> (Mars, 2017)	37

<b>Figure n°25</b>	Carte de concentration de Sodium (Mars, 2017)	38
<b>Figure n°26</b>	Histogramme de variation des teneurs de $K^+$ (Mars, 2017)	39
<b>Figure n°27</b>	Carte de concentration de Potassium (Mars, 2017)	39
<b>Figure n°28</b>	Histogramme de variation des teneurs de $Cl^-$ (Mars, 2017)	40
<b>Figure n°29</b>	Carte de concentration de chlorure (Mars, 2017)	41
<b>Figure n°30</b>	Histogramme de variation des teneurs des $SO_4^{2-}$ (Mars, 2017)	41
<b>Figure n°31</b>	Carte de concentration des Sulfates (Mars, 2017)	42
<b>Figure n°32</b>	Histogramme de variation des teneurs des $HCO_3^-$ (Mars, 2017)	43
<b>Figure n°33</b>	Carte de concentration de Bicarbonate (Mars, 2017)	44
<b>Figure n°34</b>	Histogramme de variation des teneurs de $NO_3$ (Mars, 2017)	45
<b>Figure n°35</b>	Carte de concentration de Nitrate (Mars, 2017)	45
<b>Figure n°36</b>	Présentation générale du diagramme de Piper.	46
<b>Figure n°37</b>	Diagramme de Piper.	47
<b>Figure n°38</b>	Diagramme de Schoeller-Berkaloff	48
<b>Figure n°39</b>	Relation $Cl^-$ vs $Na^+$	49
<b>Figure n°40</b>	Relation $SO_4^{2-}$ vs $Ca^{+2}$	50
<b>Figure n°41</b>	Relation $Ca^{+2}$ vs $HCO_3^-$	50
<b>Figure n°42</b>	Corrélation des indices de saturations en fonction du TDS ( <b>A.</b> Anhydrite, <b>B.</b> Dolomite, <b>C.</b> Calcite et <b>D.</b> Gypse.	53
<b>Figure n°43</b>	Représentation graphique en ACP des données chimiques.	54
<b>Figure n°44</b>	Représentation graphique des Individus	55
<b>Figure n°45</b>	Classification des eaux d'irrigation	59

## **INTRODUCTION GENERALE**

Afin de caractériser la ressource en eau souterraine il est nécessaire de la quantifier, d'en évaluer la capacité de renouvellement mais aussi la qualité. La connaissance de la géochimie de l'eau souterraine est déterminante pour en évaluer la qualité. Le faciès chimique naturel des eaux souterraines répond à un déterminisme en partie dû à la nature lithologique des aquifères et des terrains superficiels traversés par l'eau (Blum et al, 2001). La caractérisation hydrogéochimique d'un système aquifère implique la caractérisation géochimique et isotopique de l'eau souterraine, ainsi que des différents facteurs inhérents à son cheminement qui peuvent influencer sa composition. Parmi ces facteurs on distingue les propriétés lithologiques et hydrauliques du milieu, mais aussi l'âge de l'eau (son temps de résidence) ainsi que les chemins d'écoulement de l'eau à travers le milieu géologique. La lithologie correspond à la nature des roches d'une formation géologique (Foucault et Raoult, 2010). Selon la lithologie, la minéralogie sera différente. Les eaux souterraines et leur contenant (milieu géologique dans lequel elles se trouvent) sont constamment en interaction (Cloutier et al. 2008; Subramani et al. 2010; Walter, 2010).

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, ... etc.).

L'étude proposée a pour objet la connaissance des caractères géologiques, hydrologiques, climatique, avec une synthèse hydrochimique des ressources en eau de la région.

Cette étude s'articule autour de plan de travail suivant:

- Dans un premier temps, nous avons procédé à une synthèse bibliographique représentant une étude générale des caractéristiques géomorphologiques, géologiques, et les principales caractéristiques climatologiques et hydrogéologiques.
- Ensuite nous avons enchainé par la partie pratique, dans laquelle nous avons cartographié et interprété l'évolution des éléments chimiques et les paramètres physiques des eaux de la plaine de Mellagou pour voir l'origine de la pollution (naturelle et/ou anthropique), enfin une conclusion vient clore notre travail.

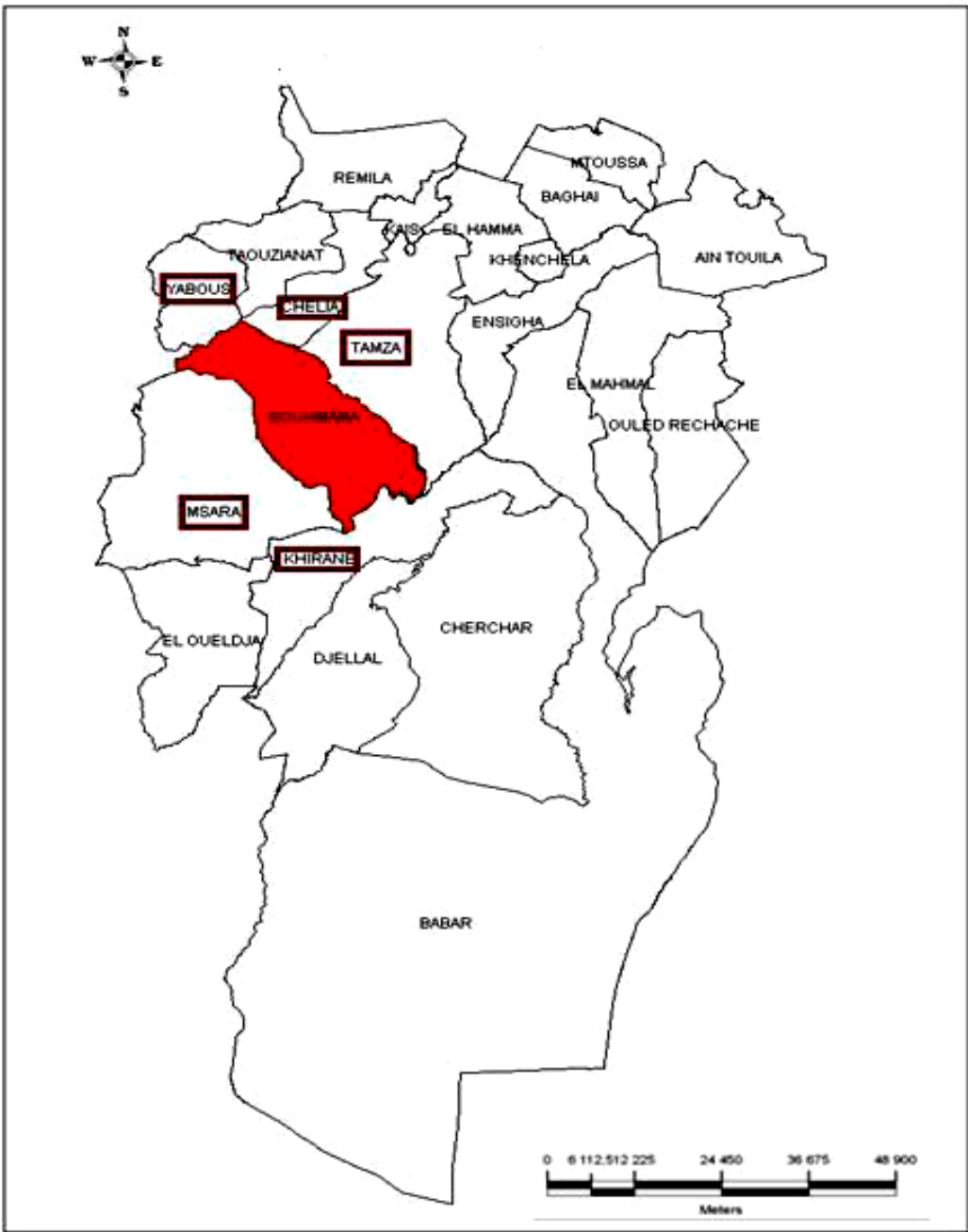
### I.1. Situation géographique de la région d'étude

La commune de Bouhmama est située dans la partie Nord-Ouest de la wilaya de Khenchela et (dans la partie Est des Aurès) est située selon les coordonnées suivantes :  $39^{\circ}-06'-25''$ ,  $39^{\circ}-30'-25''$  (latitude Nord) et  $4^{\circ}-86'-10''$ ,  $5^{\circ}-1'-75''$  (longitude Est), presque complètement entourée d'une chaîne de montagne (Ouldammam et Chouarfia, 2011). (Carte n° 01)

- Nord-Ouest : Massif de Chélia ;
- Nord : Contreforts du massif de Chélia ;
- Est : Massif de Ben Imloul ;
- Sud-Est : Gorges de Mellagou.

La commune de Bouhmama s'étale sur une superficie totale de 409 km<sup>2</sup>, soit 4,20% du territoire de la Wilaya de Khenchela qui fait 9.715 km<sup>2</sup>. Elle est, aussi, siège de Daïra qui comprend :

- La commune de Msara : à 20 Km Sud-Ouest de la daïra ;
- La commune de chelia : à 07 Km Nord-Est de la daïra ;
- La commune de Yabous : à 27 Km Nord de la daïra ;
- La commune de Bouhmama a une superficie totale de 40916 ha ; (Anonyme, 2012).



Source : ANDI 2013

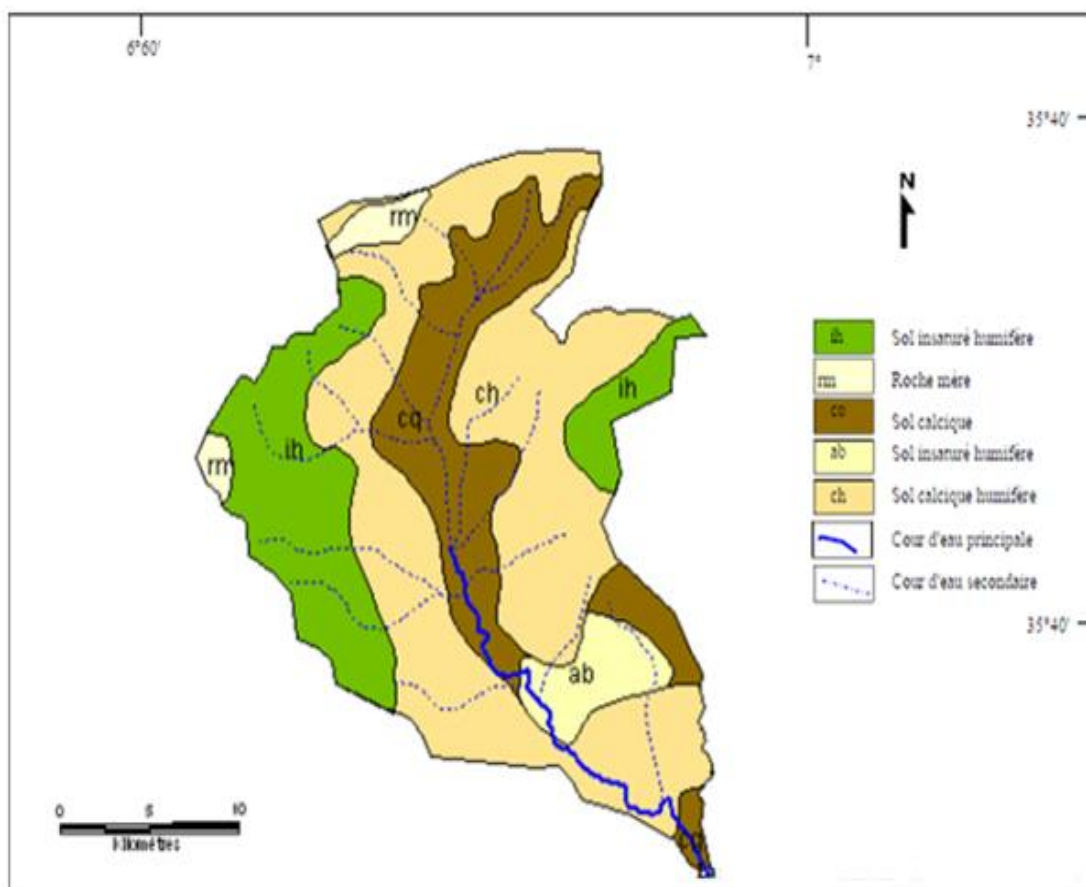
Fig n°01 : Localisation administrative de la commune de Bouhmama

## I.2. Situation pédologique

La région d'étude est caractérisée par un sol brun calcaire : ce type de sol domine généralement la plaine de Mellagou est caractérisé par une texture argileux - limoneux - sableux, le taux d'argile augmente avec la profondeur.

Le PH varie entre 7.4 à 7.5 (légèrement alcalin). La capacité au champ pour profondeur de 0 à 1 m est de 350 mm ou 250 mm, facilement utilisable pour la plante.

La conductivité hydraulique et la quantité d'infiltration sont élevées dans les premiers 90 cm. Au de là de la 1 m de profondeur ces valeurs commencent à diminuer.



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

**Fig n°02** : La répartition des unités de sols à travers la zone d'étude.

Le sol a tendance, donc, à très peu d'érosion s'il y a irrigation. Les horizons plus profonds que 90 cm sont des corps de renflement lorsque de grande quantité d'eau de drainage sont nécessaire suite à la mauvaise quantité d'eau d'irrigation.

Le sol est très riche en calcaire avec un maximum à la surface. Lors de dessèchement avec le climat local donnent des pores importants (Ouadi et Khelifi, 1992).

### I.3. Situation hydrographique

La plupart des oueds de la région étudiés ne sont pas permanents, ce sont tous des affluents du grand oued appelé «Oued Mellagou», formé de la réunion de 02 bras, celui du Nord sort du djebel Aurès (1.551 m) sous le nom d'Oued Amar, reçoit à droite Oued 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 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 Bouhmama et se réunissant à l'Oued Azreg ; devient l'Oued Mellagou qui circule ainsi en faisant de nombreux méandres, se jeter dans Al Abiod puis Oued El Arab.

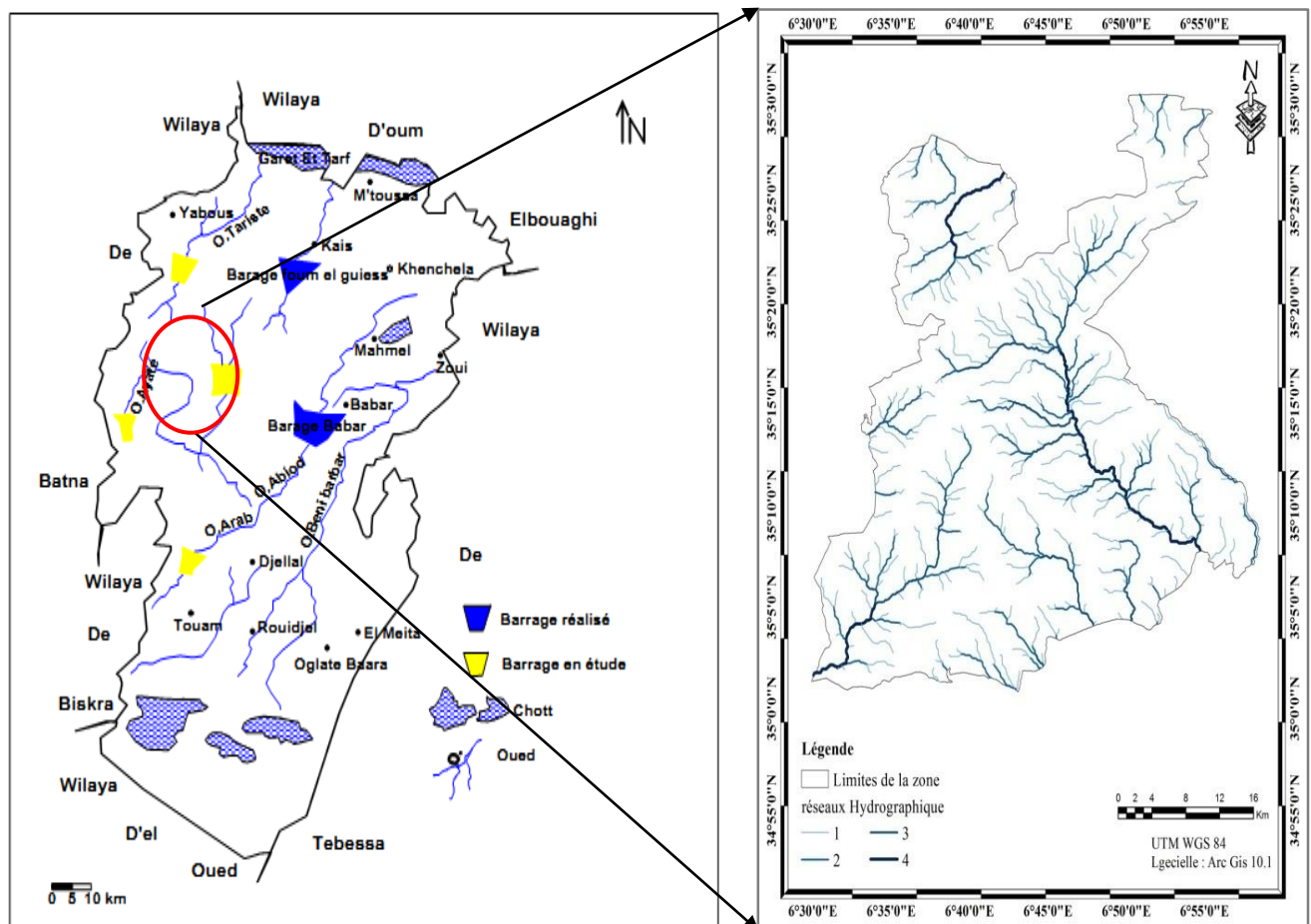


Fig n°03 : Réseau hydrographique de bassin versant d'Oued Mellagou

Les importants affluents qui viennent de Nord sont : Oued Taghite, oued Azreg. Ces deux Oued naissent du bord est de la plaines de Mellagou et descendant vers le sud. A ces deux derniers s'ajoutent les Oueds suivants : Oued Zenague, et Oued Touaget 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 (Houbib, 2012).

#### **I.4. Couverture végétale**

La commune de Bouhmama englobe une superficie importante de végétation spontanée, soit 74952.95 ha, localisées dans deux grands massifs.

Forêt domaniale de Beni Imloul, d'une superficie de 42912 ha, classé parmi les plus importantes forêts de Pin d'Alep en Algérie, les espèces secondaires sont le chêne vert, genévrier, et l'oxycèdre

Forêt domaniale de Béni Oudjana, d'une superficie de 32000 ha, caractérisée par l'existence de cèdre : Cédrus Atlantica, et le chêne vert comme espèce secondaire en hautes altitudes, et le pin d'Alep en basses altitudes avec le chêne vert et le genévrier.

Il est à noter aussi l'existence des espèces herbacées pérennes telle que le Romarin, la Globulaire, l'Alfa, le Genet, le Diss, le Faux Alfa, l'Armoise blanche et rouge ainsi que les espèces annuelle (La Conservation des Forêts, Khenchela).

#### **I.5. Agriculture**

La daïra de Bouhmama est à vocation agricole avec un développement des cultures céréalières, des cultures maraichages, avec une superficie agricole utile de 3786 ha. L'élevage des bovins et des ovins est également présent. (Tableau n°01)

**Tableau n°01 : surface agricole utile en hectare**

<b>céréales</b>	<b>Terre au repos</b>	<b>fouillage</b>	<b>maraichage</b>	<b>arboriculture</b>	<b>Total</b>
1300	406	15	56	2009	3786
<b>alfa</b>	<b>Pacage et parcours</b>	<b>forets</b>	<b>improductive</b>	<b>Urbain</b>	<b>Total</b>
3211	3411	26194	4033	281	40916

Source : Subdivision agriculture Bouhmama, 2010

**I.6. Population**

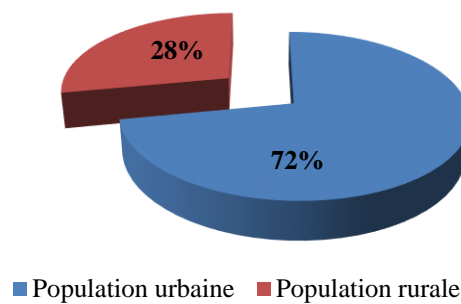
La population de la commune da Bouhmama a connu, de manière générale, une faible évolution par rapport à la croisement générale de la population de la Wilaya (Bouali et Berkane, 2015).

Durant la période 2008-2015, a connu un très faible accroissement démographique sa population totale est passée de 10 520 habitants en 2008 à 14670 en 2015. (Tableau n°02)

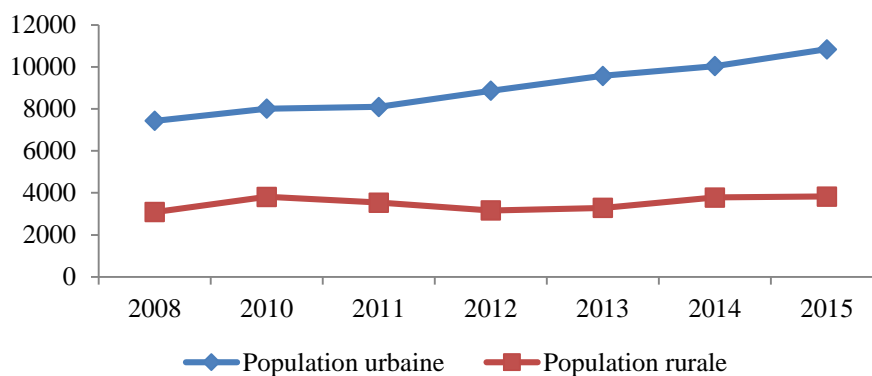
**Tableau n° 02: Répartition de la population**

Année	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Population totale</b>	10520	11224	11635	12031	12864	13820	14670
<b>Population urbaine</b>	7435	8014	8094	8871	9580	10042	10846
<b>Population rurale</b>	3085	3810	3541	3160	3284	3778	3824

Source : Service Technique, Bouhmama



**Fig n°04 : Répartition de la population de Khenchela selon le type**



**Fig n°05 : Evolution de la population de Bouhmama**

### I.6.1. Structure de la population par âge

L'analyse de la structure d'âge de la population permet de mettre en évidence ses composantes, de connaître ses caractéristiques démographiques et de comprendre les interactions entre ses différents groupes d'âge, à travers le temps.

Le groupe d'âge moins de 6ans (préscolaire) s'accapare d'une grande proportion par rapport à la population totale, ce qui traduit une forte fécondité. Ce groupe représente un peu plus de 13% de la population totale.

Le groupe d'âge 16-25ans représente la population scolarisable, constitue environ le 1/4 de la population totale.

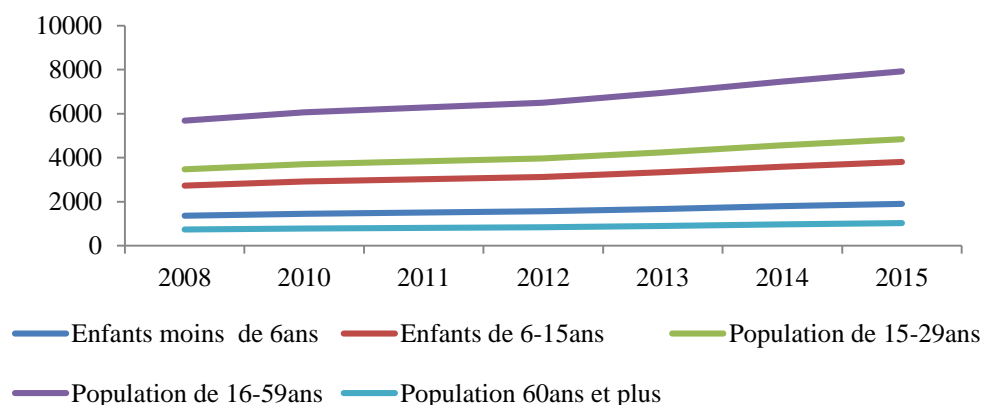
Le groupe d'âge 16-59ans : c'est le groupe le plus important. Ce groupe indique la population en travailler. Il reflète le potentiel d'actifs apte à participer à la production des biens et des services.

Le groupe d'âge des plus de 60 ans est le groupe le plus moins représentatif et ne représente un peu plus de 7 % (Service Technique, Bouhmama). (Tableau n°03)

**Tableau n°03:** Structure de la population par âge et par sexe

Année	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Enfants moins de 6ans</b>	1367	1459	1512	1564	1672	1796	1907
<b>Enfants de 6-15ans</b>	2735	2918	3025	3128	3344	3593	3814
<b>Population de 15-29ans</b>	3471	3703	3839	3970	4245	4560	4841
<b>Population de 16-59ans</b>	5680	6060	6282	6496	6946	7462	7921
<b>Population 60ans et plus</b>	738	787	816	843	902	969	1028

Source : Service Technique, Bouhmama



**Fig n°03:** Répartition de la population selon le groupe d'âge



**Introduction**

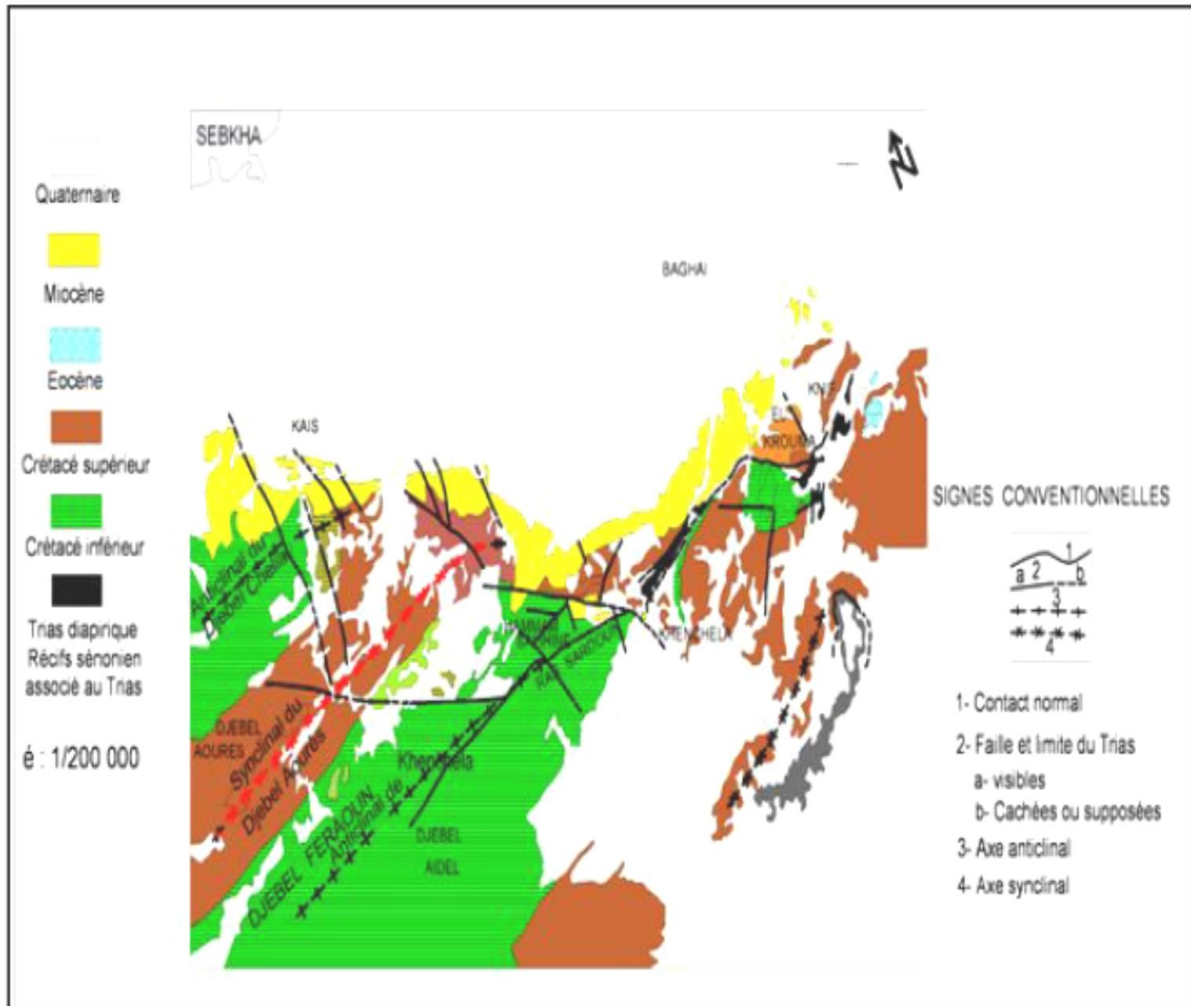
La géologie est une partie très importante dans toute étude hydrologique et hydrochimique. Ainsi, la lithologie, la tectonique et la structure géologique jouent un rôle primordial sur la qualité des eaux suite à la dissolution des minéraux se trouvant dans la roche et sur la quantité d'eau qui ruissèle ou s'infiltré selon le type du terrain (perméable ou imperméable).

**II.1. La géologie de la région d'étude**

Les données géologiques fournissent des indications précieuses sur la nature du substrat où se développe la végétation. Cette dernière répond d'une manière assez fidèle à la nature lithologique et aux formes géomorphologiques. La plupart de ces études ont été axées sur les caractères stratigraphiques, géomorphologiques, sédimentologiques et structuraux (Laffitte, 1939; Guiraud, et al.1973).

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

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



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

Fig n°07: Schéma structural simplifié

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

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

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

### **II.1.1. 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.1.1.1. Le Quaternaire**

Les dépôts quaternaires représentés par des dépôts colluvio-alluvionnaires sont développés au débouché des zones de relief sous forme de cônes de déjections, par des éboulis de gravité sur les terrains accidentés et en contrebas des escarpements et des corniches tel que Kef El Ahmeur.

À noter aussi, l'importance des dépôts alluvionnaires d'Oued Mellagou et de ces principaux affluents qui recouvrent les formations crétacées situées dans la vallée due dit Oued Mellagou.

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

#### **II.1.1.2. Les formations secondaires**

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

##### **A. Le Crétacé**

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

##### **A.1. La crétacée supérieure (Le coniacien et santonien)**

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

Cette formation est délimitée dans sa partie occidentale par une faille parcourant la rive droite de l'Oued Mellagou avec une direction Nord-Ouest/Sud-Est. On retrouve aussi cet affleurement dans la zone localisée au Sud/ Sud-Est de Ktef Es Souda.

## **A.2. Le Crétacé moyen**

### **A.2.1. Le Turonien**

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

### **A.2.2. Le Cénomaniens supérieur**

La partie supérieure de cet et âge 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.

### **A.2.3. Le Cénomaniens moyen**

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

### **A.2.4. Le Cénomaniens inférieur**

Il s'agit des marnes grises a bio micrites 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 ente les Djebels Tafrennt et Taourirt a L'Ouest et Kef El Ahmeur et Djebel Taafist a l'Est.

## **A.3. Le Crétacé inférieur**

### **A.3.1. L'Albien**

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

### **A.3.2. L'Aptien**

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

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

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

**A.3.4. Le Barrémien**

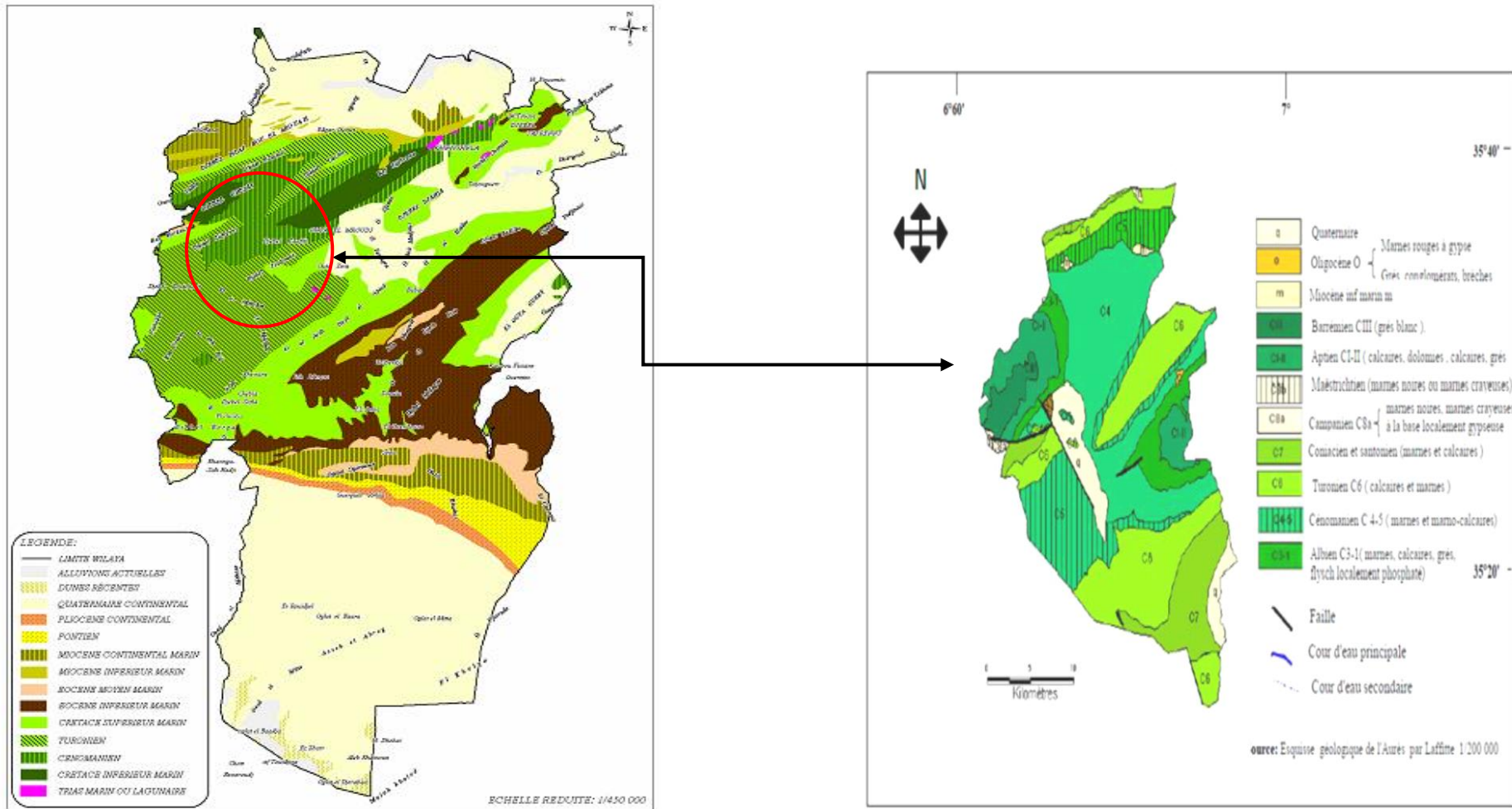
Il affleure au Sud et Sud-Ouest du versant du Djebel Chélia sur une distance d'environ 11 km. Il est délimité dans sa partie supérieure par la ligne de crête entre Timchtaouine et le Nord-Ouest du lieu-dit ferme Moussa El Ayat en passant par Tala Bergés. Sa lithologie est constituée, essentiellement,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

**B. Le Trias**

Le Trias est représenté par des masses chaotiques sans stratification (Villa, 1977), dans lesquelles divers éléments sont reconnaissables tels que des cargneules jaunâtres, des dolomies noires, des calcaires, des gypses marneux et fibreux. Tous ces éléments sont englobés dans une masse argileuse de couleur verte.

Ces roches triasiques forment, en général, des diapirs marqués par un contact anormal avec les formations les plus récentes.

Les seuls époinçements triasiques du territoire communal de Bouhmama se localisent au Djebel El Kanouf plus précisément à 02 km à l'Est du Marabout de Sidi Mohamed et dans la partie sommitale de Ktef Es Souda soit à 4,5 km à l'Est-Sud-Est du lieu-dit Marabout (la carte n° 05).



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

Fig

Fig n°08: Carte géologique de la commune de Bouhmama

### II.1.2. Les mouvements tectoniques dans la région d'étude

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

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

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

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

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

### II.2. L'hydrogéologie de la wilaya de Khenchela

L'étude hydrogéologique repose sur l'identification du système aquifère, sa géométrie, ses limites et son alimentation. L'ensemble du système d'écoulement souterrain est défini par la piézométrie des différentes structures et unités géologiques représentées par quatre (04) types de nappes qui constituent le système aquifère de Khenchela :

**a. La nappe superficielle :** Il s'agit des nappes phréatiques dont la profondeur moyenne varie de 5 à 30m et sont exploitées essentiellement par des puits.

**b. La nappe des plaines d'effondrement :** Comblées par un remplissage d'alluvions importantes alimentées par les précipitations et les oueds qui les traversent. Leurs profondeurs variant de 100 à 200 m et son d'âge miopliocène. Dans ces plaines d'effondrement on peut associer les nappes des calcaires fissurés du Turonien et du Miocène dont la profondeur dépasse les 300m.

**c. La nappe des calcaires fissurés :** L'épaisseur de certaines formations carbonatées dépassent les 250m et constituent la nappe des calcaires maestrichtiens.

**d. La nappe des formations continentales :** Localisées essentiellement dans la région Sud de la wilaya, leurs profondeurs varient de 200 à 600m (Chaffai et al, 2013)

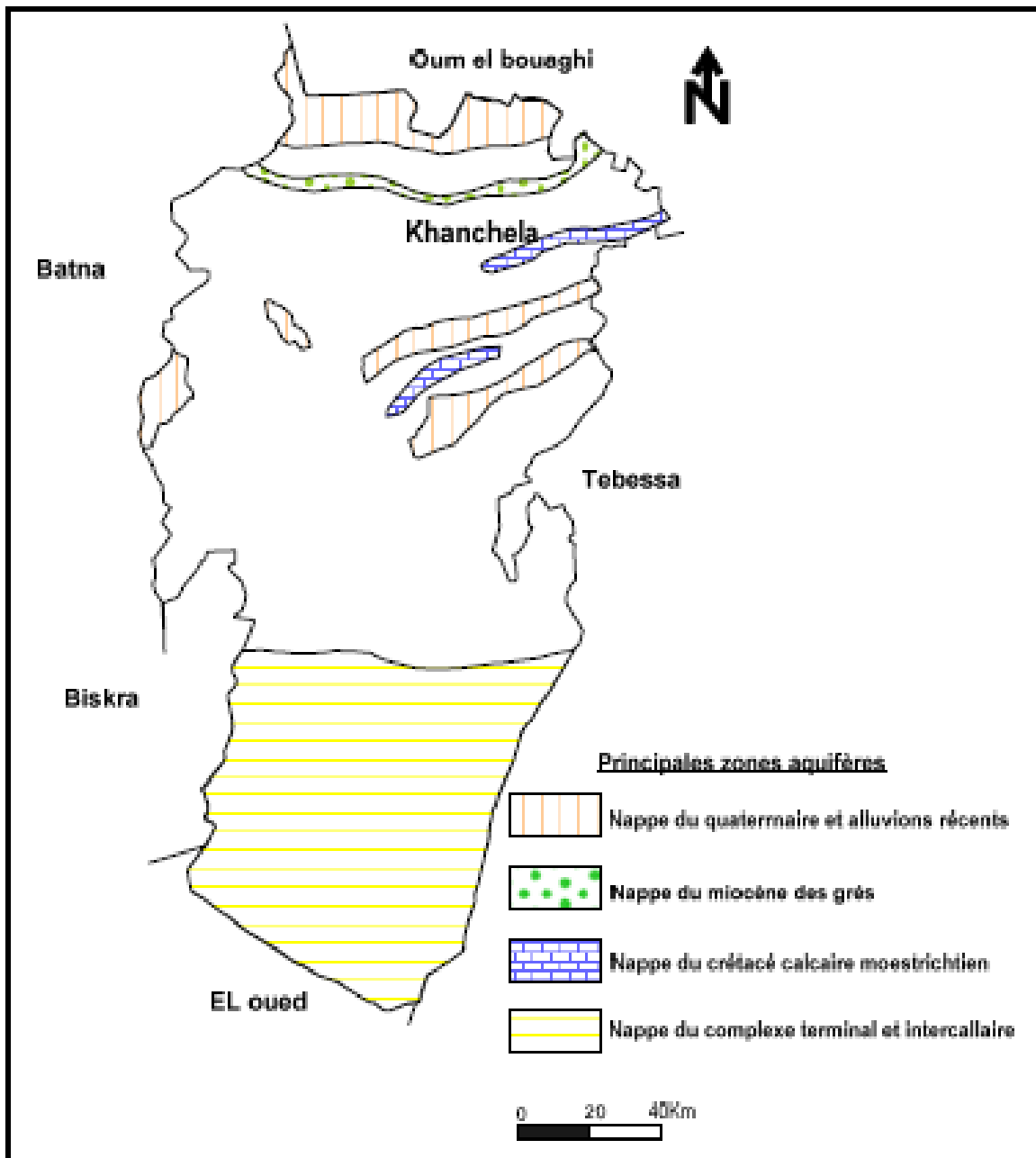


Fig n°09 : Carte des nappes aquifères (DHW. 1992)

**II.2.1. Hydrogéologie de Bouhmama**

N'ayant pas de données hydrogéologiques précises, il est très difficile d'aborder l'estimation de la ressources en eau souterraine de cette commune, toutefois la présence d'écoulement superficiel matérialisé par l'Oued Mellagou et ses différentes branches secondaires et tertiaires pourrait supposer l'existence d'eau souterraine dans le sous-sol de la commune au moins sous forme d'aquifère quaternaire.

Néanmoins, il faut bien souligner que la présence des eaux souterraines dans cette commune, comme pour l'ensemble des régions tello atlasiques, est tributaire des conditions hydrogéologiques qui relèvent de la nature des terrains (perméabilité et infiltration), de leur structuration géologique et des conditions climatiques (pluie, température et évaporation).

La structuration géologique de cette zone, et plus particulièrement la fracturation des terrains, est en grande partie responsable de la présence ou de l'absence des aquifères.

## Conclusion générale

Les différents chapitres de notre étude ont fait l'objet de connaître le processus hydrogéochimique des eaux de la plaine de Mellagou, résumons-nous brièvement les résultats obtenus :

- La plaine de Mellagou située au Nord Est du territoire Algérien; appartient à l'ensemble des hautes plateaux constantinoise, elle fait partie du grand Bassin versant de Oued Arab ;
- 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.
- La plaine de Mellagou est soumise à un climat méditerranéen de type semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec, avec des précipitations annuelles de l'ordre de 347.56 mm. La température moyenne annuelle est de 16.82 °C. Le calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite a révélé que L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet et Août ce qui produit un déficit agricole et nécessite une irrigation des terres agricoles. Du mois d'Oct à Avr la nappe se recharge Pour l'ETR, il atteint son maximum au mois de Mai.
- Du point de vue hydrogéologique, il ressort que la région d'étude est constituée par trois formations hydrogéologiques intéressantes, c'est le système aquifère en zone semi-aride de Khenchela identifié par le Quaternaire, le Crétacé et le Miocène, il existe quatre nappes aquifères reconnues, une superficielle dont la profondeur moyenne varie de 5 à 30 m, l'autre est profonde et englobe trois nappes : La nappe des plaines d'effondrement, La nappe des calcaires fissurés, La nappe des formations continentales
- L'étude hydrogéochimique a été réalisée afin de caractériser la qualité des eaux, Les analyses physico chimique effectuée aux niveaux de la plaine de Mellagou (superficielle et souterraine) montrent que ce sont des eaux non polluée. Et rentrent dans les normes de L'OMS pour la potabilité. D'autre part ces analyses montrent que la plus part des eaux analysées à l'échelle de notre zone d'étude présentent un faciès chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, qui dépendent de la nature géologique. La semi aridité de la région caractérisée par une forte évapotranspiration favorise la précipitation du gypse ( $\text{CaSO}_4$ ) donc l'agressivité de ces eaux.

- L'utilisation de l'indice de saturation nous a permis de comprendre le processus de la minéralisation des eaux, Cette dernière proviendrait de la dissolution-précipitation de la roche aquifère, pour la majorité des points d'eau sont sous saturées par apport à l'aragonite, le gypse, l'anhydrite et la dolomite cela peut être expliqué par la dissolution de la roche réservoir.
- L'analyse en composantes principale montrée qu'il y'a une corrélation entre les individus, L'observation du cercle indique que les chlorures sont accompagnés par le sodium et le magnésium. Le facteur F1 horizontal exprime 79.99 % des informations et oppose les eaux fortement minéralisées riche en minéralisation, Cl, Mg et Na, Ca et polluées par les NO<sub>2</sub> aux eaux faiblement minéralisées. L'axe F2 vertical exprime 7.79 % des renseignements, la pluparts des paramètres sont nettement corrélés négativement aux pH, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>
- Les classifications de Wilcox montre que 85,71 % des échantillons d'eau tombe dans la catégorie de la bonne qualité des eaux pour l'irrigation, 14,29 % des échantillons sont de qualité admissible (catégorie douteuse).
- Les classifications de Richards montre la dégradation de la qualité des eaux pour l'irrigation, Les eaux ont été trouvées principalement dans deux classes de type de l'eau: l'C3S1 où La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérable aux sels sur des sols bien drainés et C4S1 où l'eau est fortement minéralisée, utilisée seulement pour des plantes très résistantes aux sels (sols de bonne perméabilité).

## Introduction

C'est l'ensemble des caractéristiques météorologiques d'une région donnée. La nature des climats joue un rôle essentiel pour ajuster les caractéristiques écologiques des écosystèmes continentaux. En réalité, il existe une interférence entre climats, composition des communautés - en particulier végétales - propres à un écosystème donné et nature des sols, d'où la trilogie typique climat- sol- végétation (François, 2010). Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un point de la surface terrestre (Pedelaborde, 1991). Aussi la bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude, et de ses caractéristiques est importante pour la compréhension de l'évolution des éléments chimiques et de comportement hydrologique des cours d'eau (Debieche, 2002).

### III. Le réseau de mesure et origine des données

Il convient de signaler l'existence d'une station climatique dans la zone d'étude c'est celle de Bouhmama, c'est une station météorologique professionnelle du réseau A,N,R,H considérée comme la plus représentative et qui dispose par ailleurs de données continues (2003-2013) pour définir les caractéristiques essentielles du climat.

**Tableau n°04:** Caractéristiques de la station pluviométrique retenue dans l'analyse des données climatiques

Station	Latitude (°)	Longitude(°)	Altitude (m)
Bouhmama	35°22'18''	6°44'22''	1150

Source : (kalkoul, 2016)

### III.1. Analyse des paramètres climatiques

#### III.1.1. Les précipitations

Les précipitations constituent un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifère (ONM, 2013).

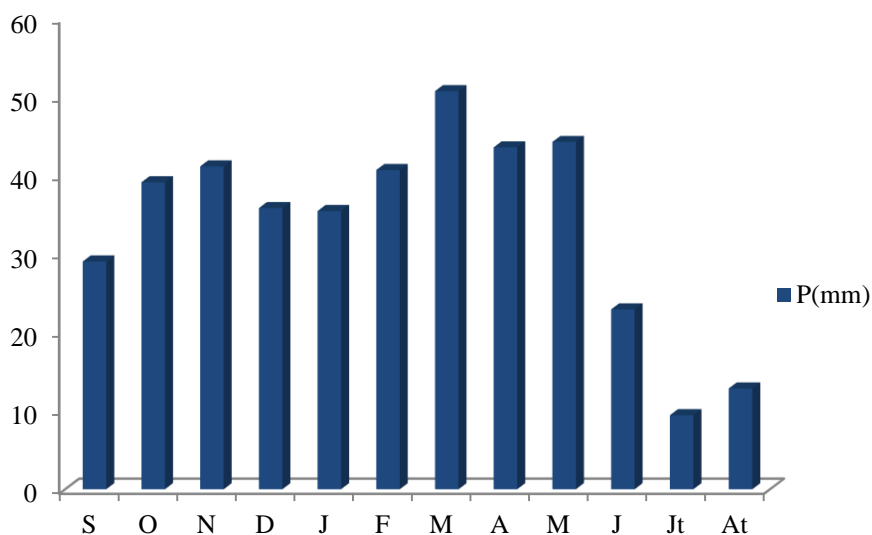
### III.1.1.1. Répartition des précipitations mensuelles

Les données pluviométriques mentionnées dans le tableau n°05 montrent que la moyenne annuelle est environ de 33.67 mm. Le mois le moins pluvieux juillet avec 9.4 mm, cependant, les quantités les plus élevées sont observées au mois de mars avec 50.7 mm.

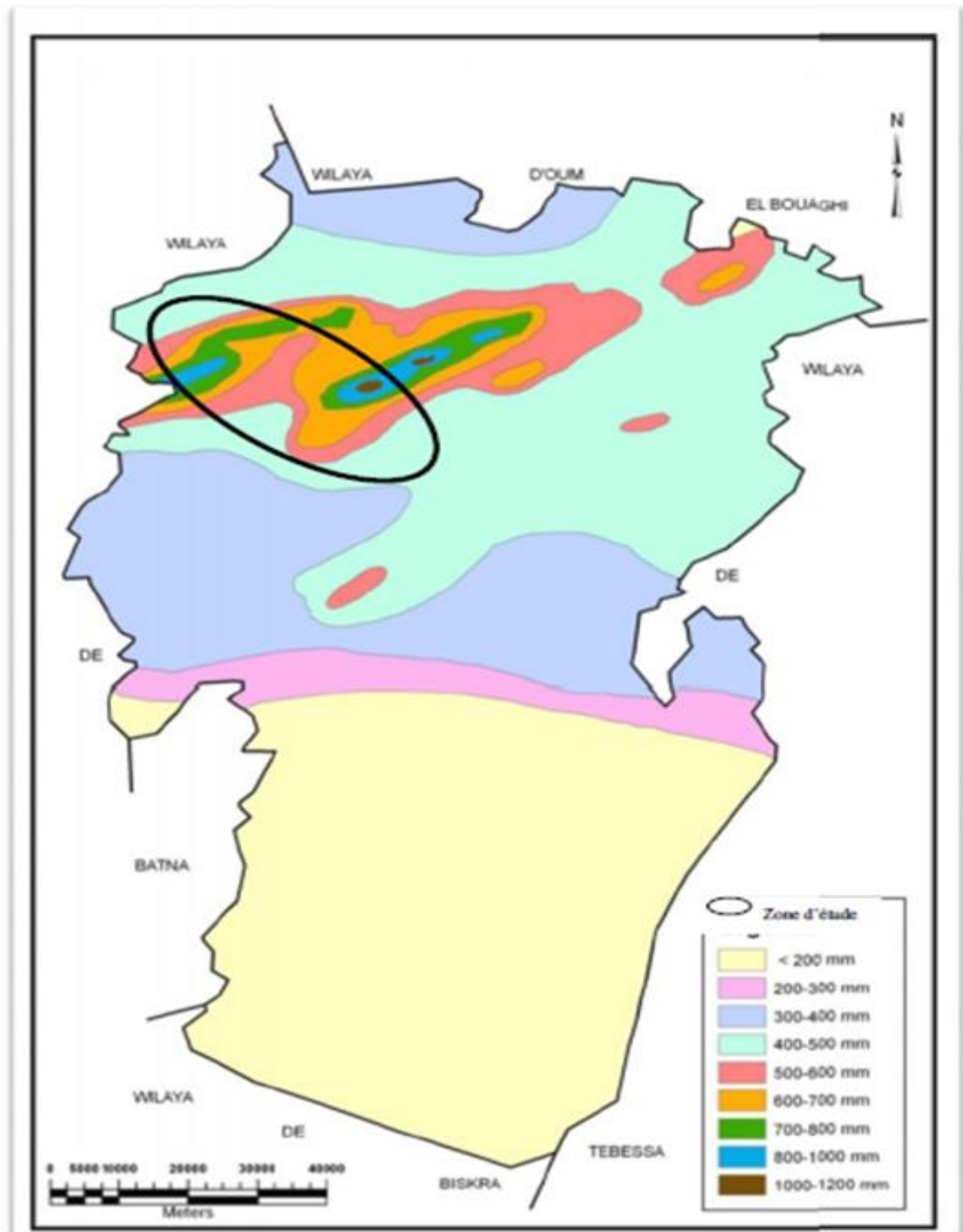
**Tableau n°05:** Précipitation enregistrée à la station de Bouhmama (2003-2013)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout
<b>P (mm)</b>	29.0	39.1	41.1	35.4	35.4	40.6	50.7	43.5	44.2	22.9	9.4	12.8
<b>N de jour de pluie</b>	12	7	1	8	1	8	6	2	6	5	2	8

Source : (Kalkoul, 2016)



**Fig n°10:** Histogramme de variation des précipitations mensuelles (2003-2013)



Source : ANAT, (2008)

Fig n°11 : carte des précipitations annuelle moyenne de la plaine de Mellagou de la wilaya de khenchela

### III.1.2. Les Températures

La température joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, elle Conditionne les équilibres de dissociation. La température, exprimée en degré Celsius (°C). (Ballouki, 2012)

#### III .1.2.1. Etude des variations des températures mensuelles

D'après les données de température, nous relevons que dans la zone d'étude, le mois le plus froid s'avère être janvier avec une moyenne des minimas de -1°C. Ces valeurs indiquent l'existence des gelées dans la zone d'étude, enregistré pour une période de trois mois (déc. Jan et fév.). Tandis que le mois d'août s'avère être le plus chaud avec une moyenne de 32.45°C.

**Tableau n°06:** Température enregistrée à la station de Bouhmama (2003-2013)

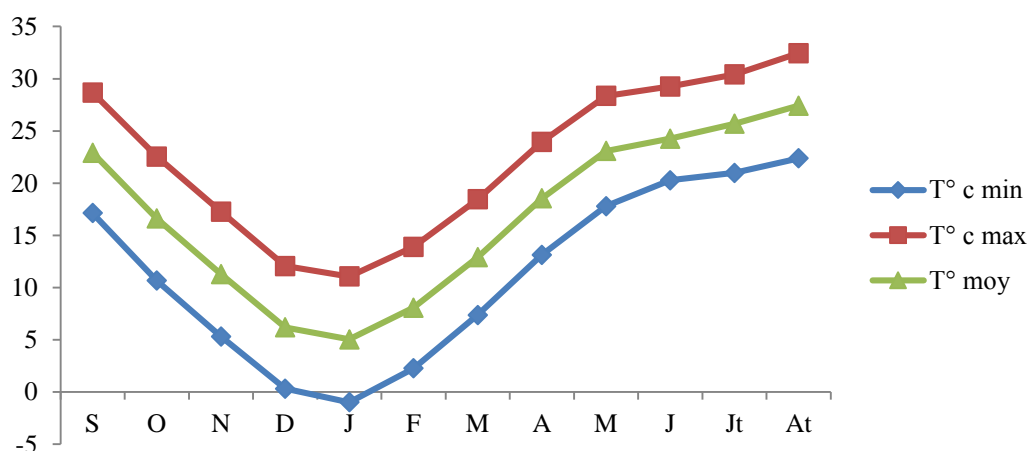
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout
T°C max	28.67	22.54	17.26	12.05	11.05	13.89	18.44	23.95	28.35	29.25	30.4	32.45
T°C min	17.13	10.66	5.3	0.3	-1	2.25	7.36	13.13	17.79	20.27	20.98	22.37
T°C moy	22.9	16.6	11.28	6.17	5.03	8.07	12.9	18.54	23.07	24.26	25.69	27.41

Source (Kalkoul, 2016)

**T max :** la température moyenne mensuelle des maximas (c°).

**T min :** la température moyenne mensuelle des minimas (c°).

**T moy:** la température moyenne mensuelle (c°).



**Fig n°12 :** Courbes de variation des températures moyennes mensuelles

### III.1.3. Humidité

L'humidité relative est le rapport exprimé en pourcentage de la tension de vapeur à la tension maximale correspondant à la température mesurée au thermomètre sec (Halimi, 2017). Elle est déduite des lectures faites au psychromètre à trois moments de la journée (7h, 13h et 18h). Le tableau n°07 montre que l'humidité maximale est de 66 % au mois de décembre et l'humidité minimale est de 39 % au mois de juillet.

**Tableau n°07 :** Répartition moyenne mensuelle de l'humidité relative enregistré a la station de Bouhmama (2003-2013)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout
L'humidité%	51	62	64	66	65	65	62	57	52	42	39	39

Source : (Kalkoul, 2016)

### III.1.4. Le vent

Le vent est le résultat de la différence de pression entre deux zones voisines. Il provoque le déplacement d'air et transporte ainsi les caractères climatiques. (Roger, 2006).

Les données montrent que la vitesse moyenne annuelle du vent est de 9.25m/s sur le périmètre d'étude, les valeurs les plus élevées correspondent aux mois de février et mai.

**Tableau n°08 :** La vitesse moyenne mensuelle du vent (ms/s) enregistrée à la station de Bouhmama

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout
Vent (m/s)	6	6	7	10	4	23	9	8	15	6	9	8

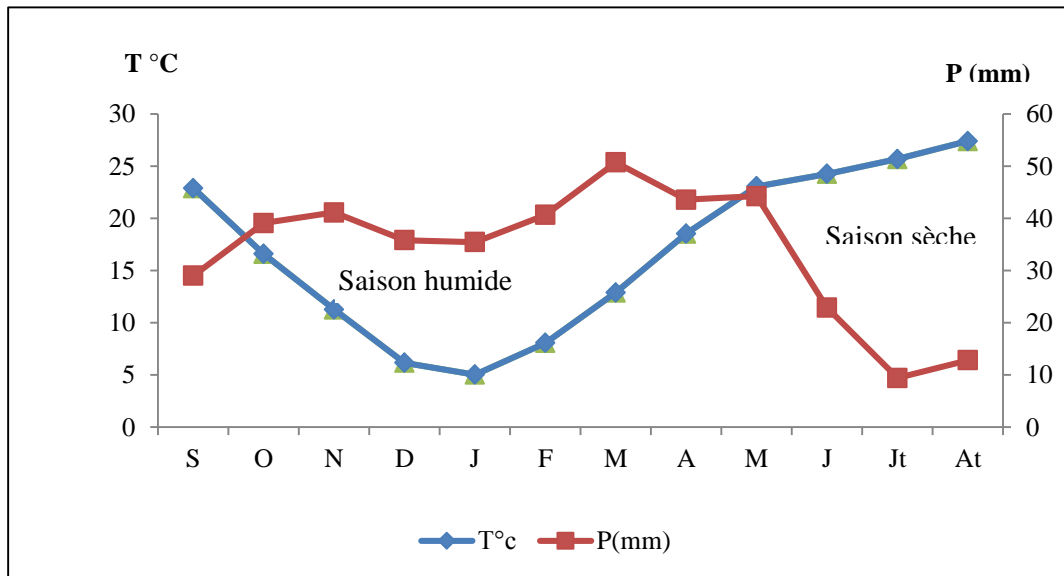
Source (Kalkoul, 2016)

### III.1.5. Les gelées blanches

Les gelées sont en général dues a l'interaction de deux phénomènes : le passage d'une Masse d'air froid, et les pertes de chaleur excessives par rayonnement ou par évaporation. (Bouali et al, 2015)

### III.1.6. Le Diagramme Ombro-Thermique

Il constitue un type de représentation très utilisé pour comparer les climats, en considérant qu'un mois est sec quand le total des précipitations exprimé en mm est égal ou inférieur au double de la température exprimée en degrés Celsius. Les périodes d'aridité sont celles durant lesquelles la courbe pluviométrique est au dessous de la courbe thermique. (Mebareki, 2005)  
Selon l'échelle ( $p=2T$ ), les courbes Ombro-Thermique déterminent deux périodes, l'une humide, l'autre sèche.



**Fig n°13:** Courbe ombrothermique

D'après la courbe ombrothermique de la station de mesure, on distingue deux saisons: l'une humide ou pluvieuse commence le début du mois d'Octobre et s'étale jusqu'au mois de Mai et l'autre sèche commençant du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre (Fig n°06).

### III.2. Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte

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

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

**Tableau n°09** : La précipitation et la température moyenne mensuelle de Bouhmama (2003-2013)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout
<b>P(mm)</b>	29.02	39.13	41.15	35.84	35.46	40.69	50.75	43.58	44.27	22.9	9.43	12.83
<b>T° C</b>	22.9	16.6	11.28	6.17	5.03	8.07	12.9	18.54	23.07	24.26	25.69	27.41
<b>P/T</b>	1.29	2.35	3.64	5.80	7.04	5.04	3.93	2.35	1.91	0.94	0.36	0.46

D'après le tableau n°09, l'évolution de l'humidité du sol dans la zone d'étude est comme suit :

- Le régime est très sec au mois : juin, Juliet et Aout
- Le régime est sec ou mois : septembre et Mai
- Le régime est subhumide au mois : octobre et Avril
- Le régime est humide au mois : Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars

### III.3. Indice de De. Martonne

En 1925 Emmanuel De Martonne a proposé une formule climatologique permettant le calcul d'un indice dit indice d'aridité (Ia). Cet indice est en fonction de la température (T en °C) et des précipitations (P en mm) et permet de déterminer le type de climat qui caractérise la zone d'étude (Gaagai, 2009). Ce paramètre se calcule selon la formule suivante:

$$Ia = P / T + 10$$

Avec :

Ia: indice d'aridité

P: précipitations moyennes annuelles (mm).

T: températures moyennes annuelles (°C).

Les valeurs de l'indice permettent de déterminer le climat selon le classement suivant:

Quand :

- $Ia < 5$  le climat est hyperaride ;
- $5 < Ia < 7.5$  le climat est désertique ;
- $7.5 < Ia < 10$  le climat est steppique ;
- $10 < Ia < 20$  le climat est semi-aride ;
- $20 < Ia < 30$  le climat est tempéré ;
- $Ia > 30$  le climat est humide.

D'après les classifications précédentes, notre zone d'étude a un climat semi-aride ( $I_a=17.43$ )

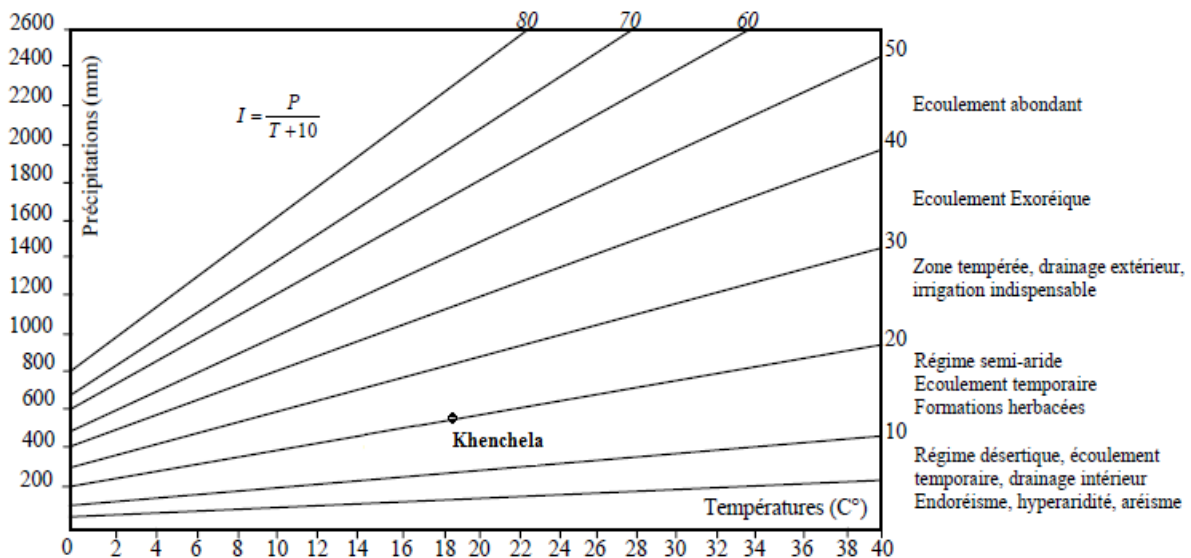


Fig n°14: Abaque de l'indice de l'aridité annuel de De .Martonne

### III.4. Evapotranspiration

L'évaporation est la restitution de l'eau par l'atmosphère sous forme de vapeur à partir de la surface du sol, quelle que soit sa nature (Sol, végétaux, eau libre). Elle est donc un élément très important pour l'établissement du bilan hydrologique, et dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal. On distingue : d'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR) (Gaagai, 2009).

#### III.4.1. Evapotranspiration potentielle (ETP)

Elle représente la température d'un couvert végétal en pleine croissance, alimentée en eau continuellement. Cette grandeur correspond donc à un concept théorique et représente les possibilités maximales d'évaporation dans les conditions climatiques données (Ouldammam et al, 2012). Plusieurs formules ont été utilisé pour estimer l'ETP parmi ces formules celle de C.W Thornthwaite basée essentiellement sur la température de l'air :

$$ETP \text{ mm} = 16(10T/I)^a K(\text{mm})$$

Où :

**ETP**: évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle (mm).

**i** : L'indice mensuel de chaleur. ( $i = (T/5)^{1.514}$ ).

**a** : paramètre arbitraire lié à la température. ( $a = 0.016I + 0.5$ ).

**I** : Somme des indices thermiques annuel. ( $I = \sum i$ )

**T** : Température moyenne mensuelle (C°).

**K** : coefficient d'ajustement mensuel (Coefficient de correction, qui dépend de la latitude).

Tableau n°10 : le calcul de l'ETP selon la méthode de Thornthwaite

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Tot
<b>P</b>	29.02	39.13	41.15	35.84	35.46	40.69	50.75	43.58	44.27	22.9	9.43	12.83	347.56
<b>T° C</b>	22.9	16.6	11.28	6.17	5.03	8.07	12.9	18.54	23.07	24.26	25.69	27.41	/
<b>I</b>	9.80	6.04	3.38	1.37	1.00	2.05	4.14	7.14	9.91	10.68	11.64	12.83	80.04
<b>K</b>	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	/
<b>ETP</b>	108.12	53.02	22.05	7.07	5.13	12.67	38.03	81.48	137.72	151.68	167.87	175.53	968.83

### III.4.2. Evapotranspiration réelle (ETR)

C'est la somme de la quantité de vapeur de l'eau évaporée par le sol et par la transpiration des plantes quand le sol a une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique (Nasri et al, 2015).

Ce paramètre est calculé par plusieurs méthodes, parmi lesquelles nous pouvons citer :

#### a) Méthode de Turc

Cette méthode est applicable à tous les climats et elle est fonction des précipitations et des températures moyennes mensuelles. La formule est la suivante :

$$ETR = P / (0.9 + P^2/L^2)^{1/2} \quad \text{où} \quad L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

**Avec:**

**ETR:** évapotranspiration réelle (mm/an);

**P:** précipitation moyenne annuelle (mm);

**L:** paramètre arbitraire lié à la température (pouvoir évaporant de l'atmosphère);

**T:** température moyenne annuelle (°C).

#### b) Méthode de Thornthwaite

D'après G .Castany (eaux souterraines) la méthode se présente comme suit :

➤  $P > \text{l'ETP} \Rightarrow \text{ETP} = \text{ETR}$  et  $\text{RFU} = P - \text{ETP}$  (excédent hydrique)

➤  $P < \text{ETP} \Rightarrow \text{ETR} = P$  et  $\text{RFU} = 0$  (déficit hydrique)

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

Tableau n°11 : Bilan hydrique selon la méthode de C.W Thornthwaite

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout	Tot
<b>P</b>	29.02	39.13	41.15	35.84	35.46	40.69	50.75	43.58	44.27	22.9	9.43	12.83	347.56
<b>T° C</b>	22.9	16.6	11.28	6.17	5.03	8.07	12.9	18.54	23.07	24.26	25.69	27.41	/
<b>I</b>	9.80	6.04	3.38	1.37	1.00	2.05	4.14	7.14	9.91	10.68	11.64	12.83	80.04
<b>K</b>	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	/
<b>ETP</b>	108.12	53.02	22.05	7.07	5.13	12.67	38.03	81.48	137.72	151.68	167.87	175.53	968.83
<b>ETR</b>	29.02	39.13	22.05	7.07	5.13	12.67	38.03	43.58	44.27	22.9	9.43	12.83	286.11
<b>BH</b>	-79.1	-13.9	19.1	28.77	30.33	28.02	12.72	-37.9	-93.45	-128.8	-158.4	-162.7	
<b>DA</b>	79.1	13.89	0	0	0	0	0	37.9	93.45	128.78	158.44	162.7	674.26
<b>EX</b>	0	0	19.1	28.77	30.33	28.02	12.72	0	0	0	0	0	118.94
<b>RFU</b>	0	0	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	/

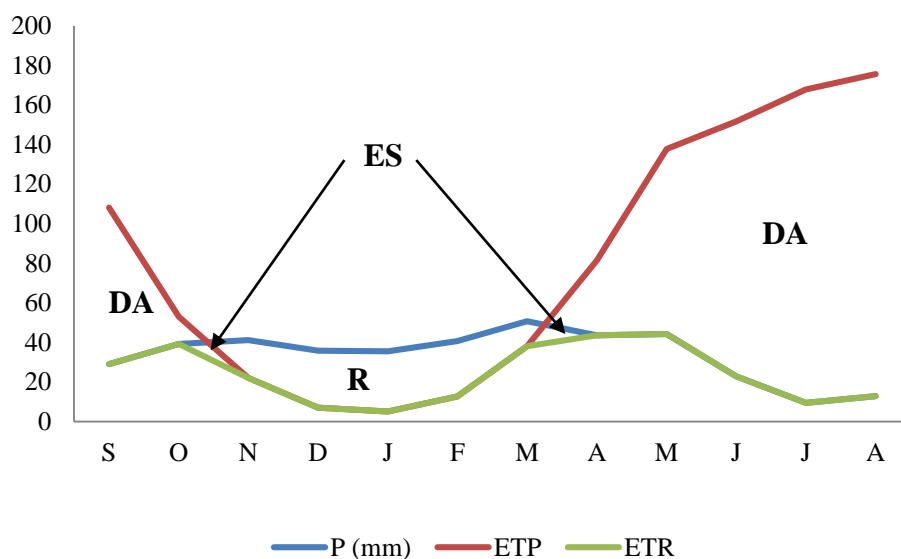


Fig n°15 : Représentation graphique du bilan hydrologique

### III.5. Interprétation du bilan hydrologique

L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet et Août ce qui produit un déficit agricole et nécessite une irrigation des terres agricoles. Du mois d'Oct à Avr la nappe se recharge Pour l'ETR, il atteint son maximum au mois de Mai.



**Introduction**

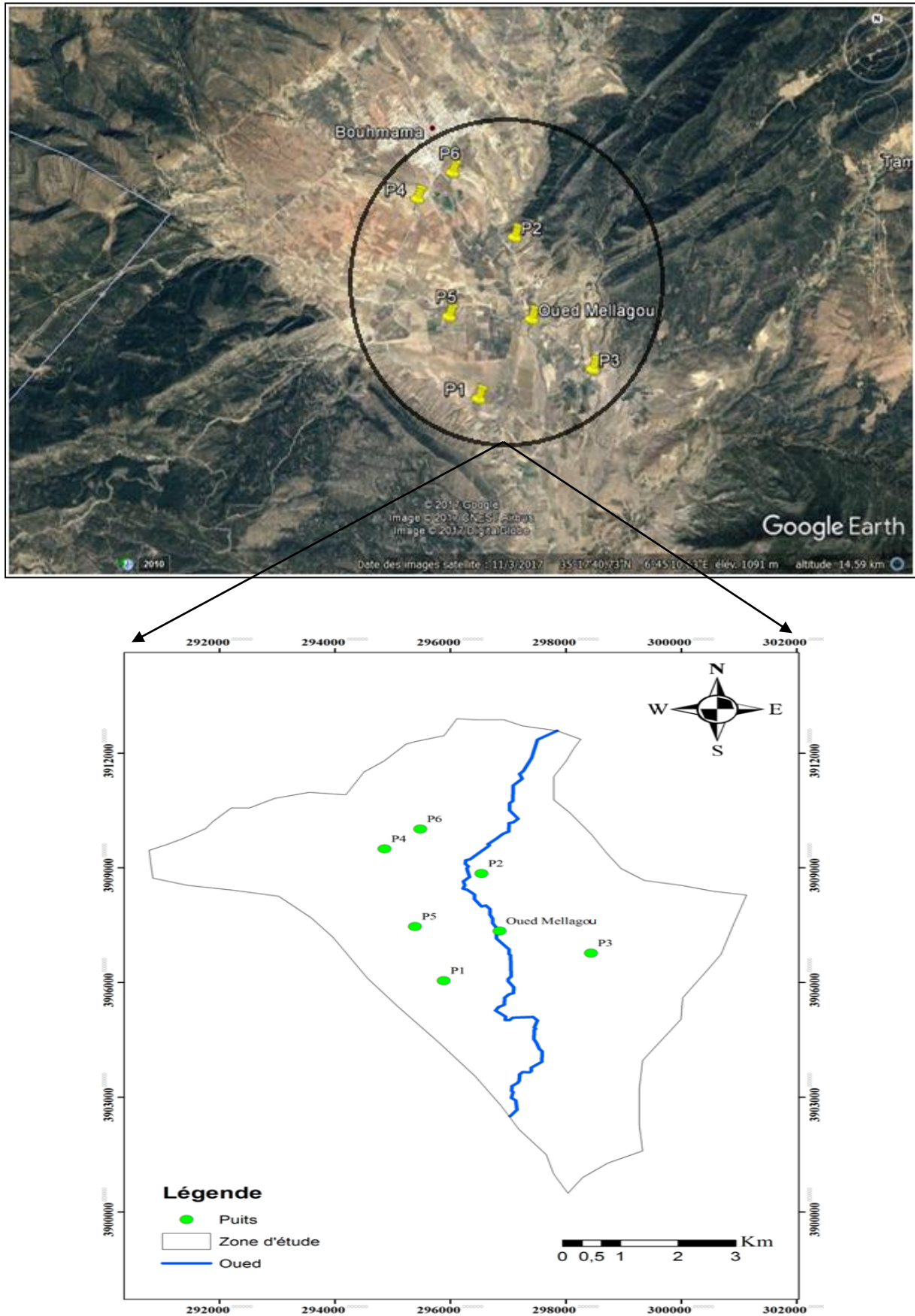
L'eau se comporte comme un solvant quasi universel : de ce fait, sa composition est fonction du milieu avec lequel elle a été en contact. Les eaux souterraines sont, en général, pauvres en oxygène et en matières organiques. Dans les terrains géologiques anciens (granits, grès, schistes), la minéralisation est faible ; par contre, dans les terrains sédimentaires (calcaire), la minéralisation est importante. Ces eaux souterraines ont une composition stable dans le temps, peu influencée par la pollution de la surface terrestre. Sauf pour certaines nappes phréatiques polluées, elles sont souvent proches des normes de qualité, mais peuvent contenir, en fonction de la nature du terrain de stockage, des éléments à un taux dépassent les normes. Les eaux superficielles sont souvent riches en matières organique et en matières en suspension. Leur composition est plus variable et elles sont sensibles aux pollutions du milieu extérieur (Franck, 2002).

Chaque étude hydrochimique permet de connaître l'origine des eaux souterraines, ainsi que leur potabilité et leurs degrés de pollution. Un plan de travail a été adopté pour atteindre ces buts, il consiste à réaliser un suivi des eaux (de surface et souterraine), avec une analyse complète des paramètres physico-chimiques pour expliquer l'origine et l'évolution de chaque élément, l'échantillonnage a été effectué sur 07 puits dans la région d'étude. Ces derniers sont prélevés durant la période Mars 2017

Les analyses d'eau ont porté sur les paramètres suivants :

- Paramètres physiques : pH et Conductivité Electrique ;
- Ions majeure :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ .

Les points d'échantillonnages, sont déterminés après repérage à l'aide d'une carte topographique et carte Google Earth de la zone d'étude. Cependant, leurs positions géographiques ont été déterminées par un GPS sur terrain (carte n°08).

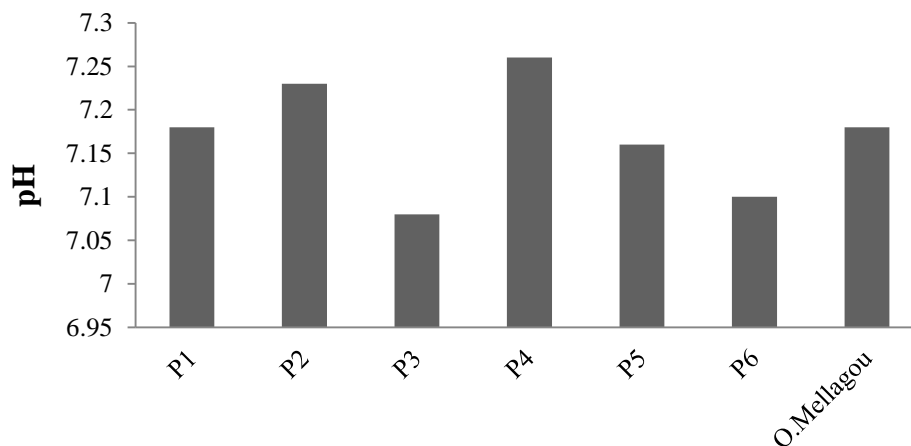


**Fig n°16 :** Carte de Localisation et inventaire des points de prélèvement des eaux de la plaine de Mellagou (Mars, 2017)

## IV.1. Etude des paramètres physique

### IV.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le potentiel Hydrogène mesure la concentration en ions  $H^+$  de l'eau .Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, un pH égal à 7 indique que l'eau est neutre. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimique, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau (Ballouki, 2012).



**Fig n°17** : Histogramme de variation du pH (Mars, 2017)

Le pH des eaux (de surface et souterraines) varient entre 7,08 et 7.26 cela indique que les eaux sont neutres, un minimum est enregistré au niveau du puits P3 et un maximum est enregistré au niveau des puits P2 et P4 (Fig n°09).

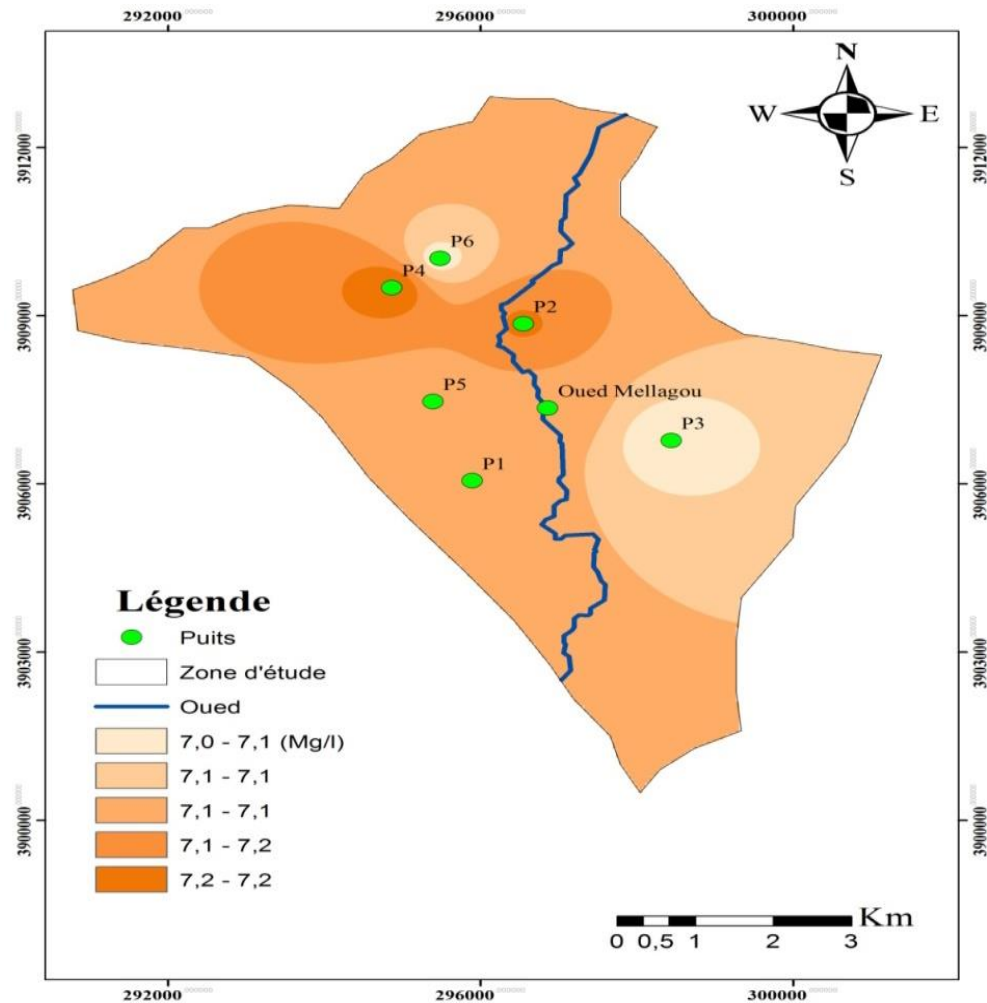


Fig n°18 : Carte de variation du pH (Mars, 2017)

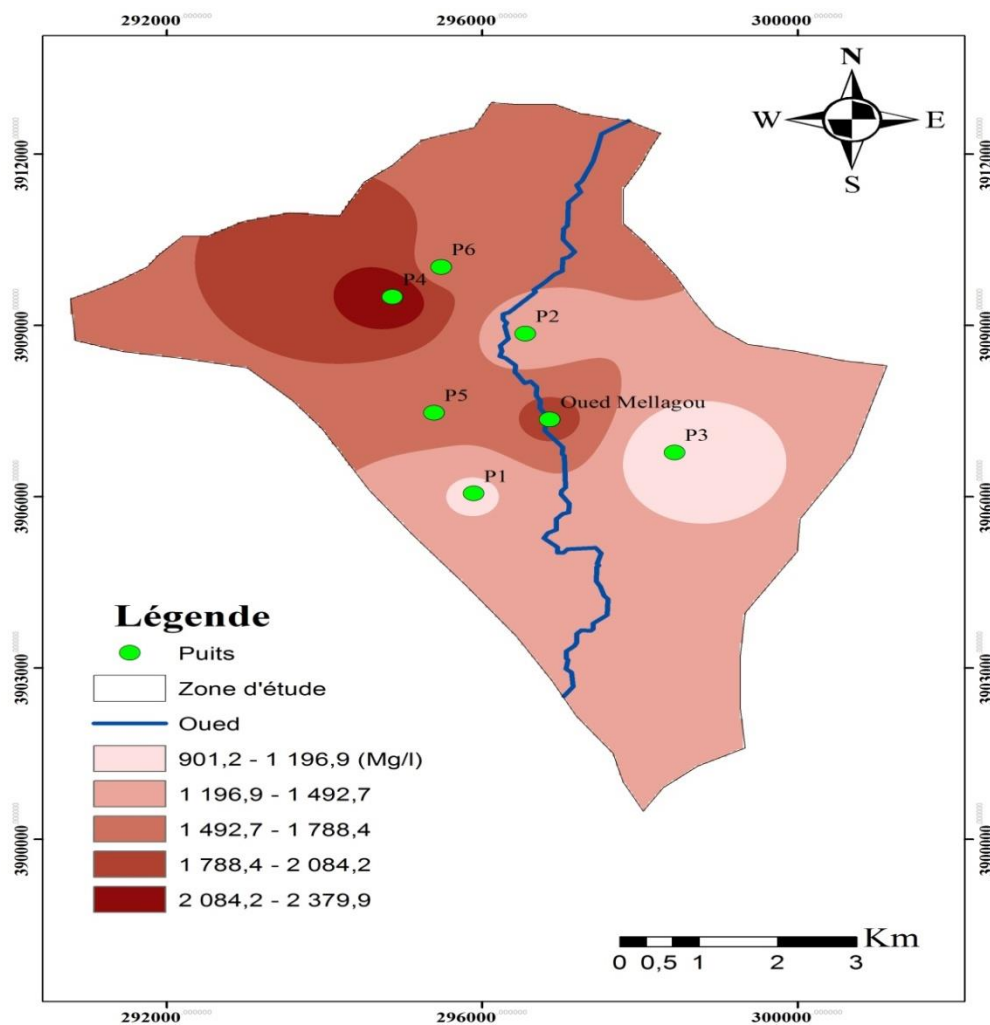
#### IV.1.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique est une mesure qui permet un contrôle simple et rapide de la minéralisation des solutions. Elle dépend de la force ionique de l'eau et augmente en fonction de la teneur en ions dissous, de la nature des différentes substances dissoutes, à leurs concentrations réelles et relatives et à la température à laquelle elle est mesurée (Zair, 2014).

Le tableau ci après montre que la majorité des eaux de la zone d'étude, ont une forte conductivité, les valeurs varient entre (901-2380)  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , donc un degré de minéralisation élevé. Les valeurs de conductivité de ces eaux restent supérieures aux normes de potabilité des eaux fixées par L'OMS ( $\sigma < 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).

**Tableau n°12 :** Les valeurs de la conductivité électrique des eaux (Plaine de Mellagou)

Points de prélèvements d'eau (Mars 2017)	Conductivité (µS /cm) à 25°C
P1	1140
P2	1255
P3	901
P4	2380
P5	1571
P6	1674
Oued Mellagou	1921



**Fig n°19:** Carte de conductivité électrique (Mars 2017)

En remarque que cette salinité est avant tout d'origine géologique (salinité d'origine naturelle), elle aurait tendance à s'accroître du fait d'une mauvaise exploitation des eaux souterraines (pompage excessif), voire même être aggravé par une pollution d'origine anthropique (agriculture) c'est le cas des eaux de la plaine de Mellagou où les concentrations sont fortes au nord de la plaine, rendant l'eau impropre à l'utilisation.

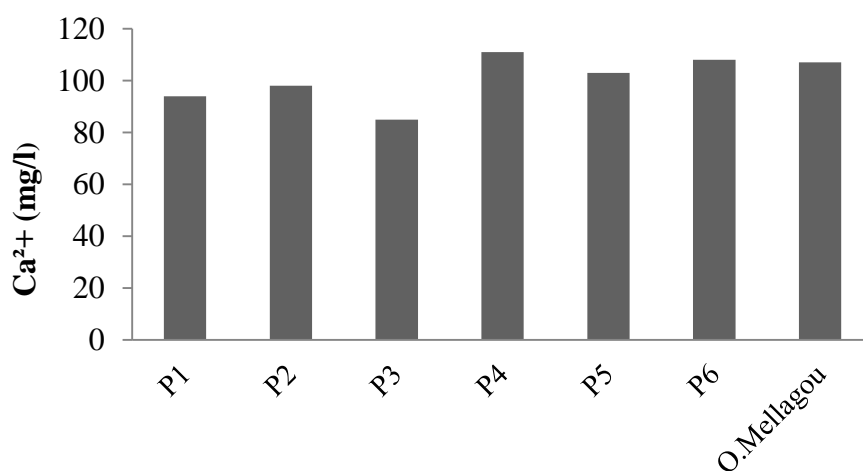
## IV.2. Variabilité spatiale des éléments chimiques dans les eaux de la plaine Mellagou

### IV.2.1. Le Calcium

L'origine du calcium est naturelle, provient essentiellement de l'infiltration des eaux météoriques à travers des formations carbonatées. Soit la dissolution des formations carbonatées ( $\text{CaCO}_3$ ), soit la dissolution des formations gypseuses ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ).

(Zenguila ,2016)

Les teneurs en calcium des eaux étudiées montrent une valeur minimal de 85 mg/l enregistrée au point P3 et une valeur maximal (111 mg /l) enregistrée au point P4. Ces valeurs restent inférieures à la norme admissible (200 mg/l).



**Fig n°20** : Histogramme de variation des teneurs de  $\text{Ca}^{2+}$  (Mars, 2017)

Des fortes concentrations en  $\text{Ca}^{+2}$  varient de 103 à 111 mg/l, se localisent au Nord de la plaine, dont la valeur maximale est enregistrée au niveau du P4.

Des faibles concentrations sont enregistrées au Sud de la plaine avec des teneurs oscillent entre 85 et 94 mg/l (carte n°11).

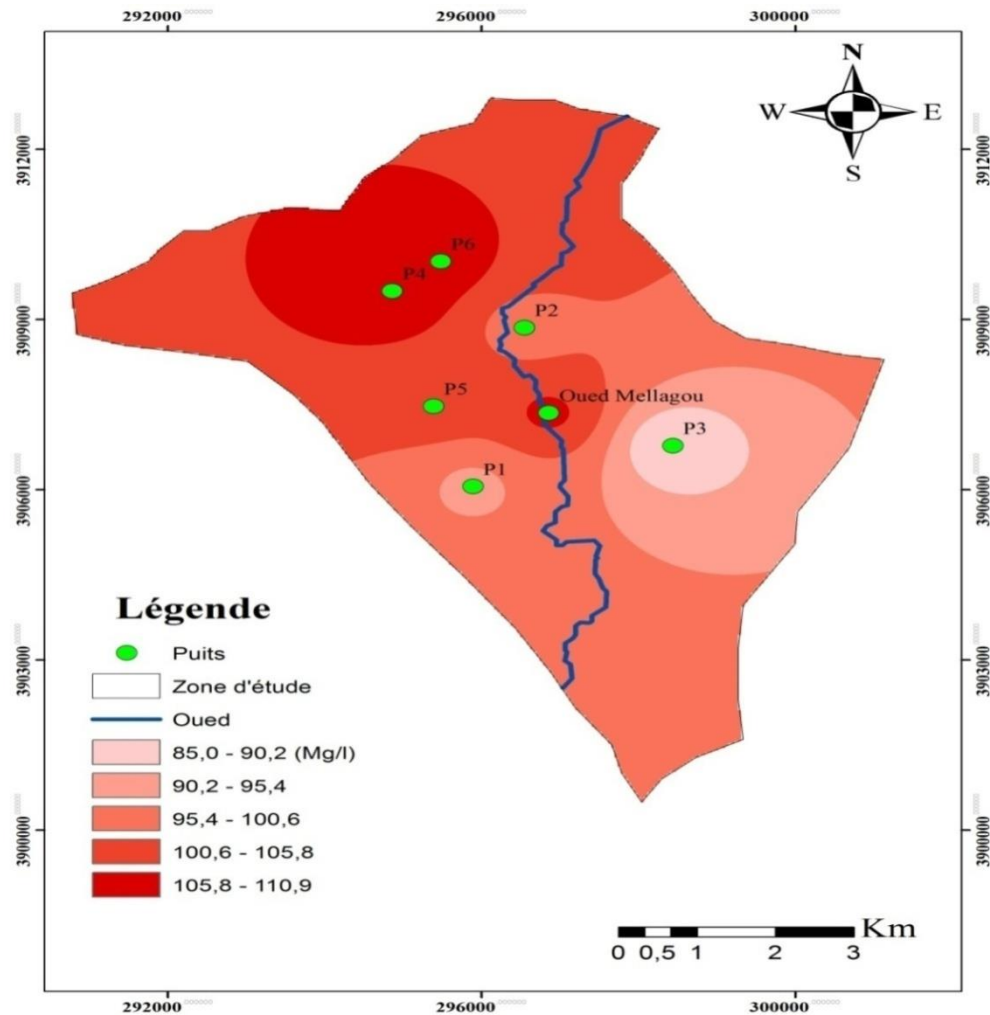


Fig n°21 : Carte de concentration de Calcium (Mars, 2017)

#### IV.2.2. Le Magnésium

La dissolution des ions des  $Mg^{+2}$  résulte principalement lors du ruissellement et lessivage des calcaires et des dolomies par les eaux de pluies à la provenance du gaz carbonique (Tardat et al, 1984).

Des faibles concentrations en  $Mg^{+2}$  caractérisent la majorité des points d'eau étudiés (26 à 32 mg/l), ces dernières sont inférieures à la norme admissible fixée par l'OMS (50 mg/l).

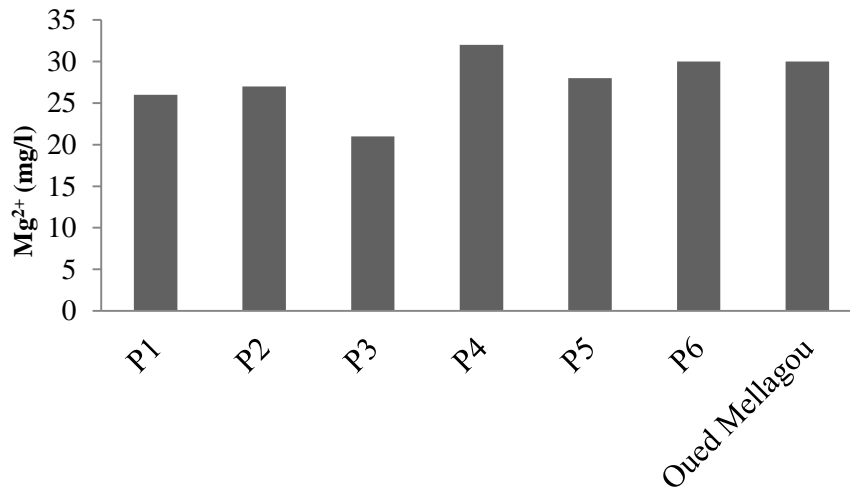


Fig n°22: Histogramme de variation des teneurs de Mg<sup>2+</sup> (Mars, 2017)

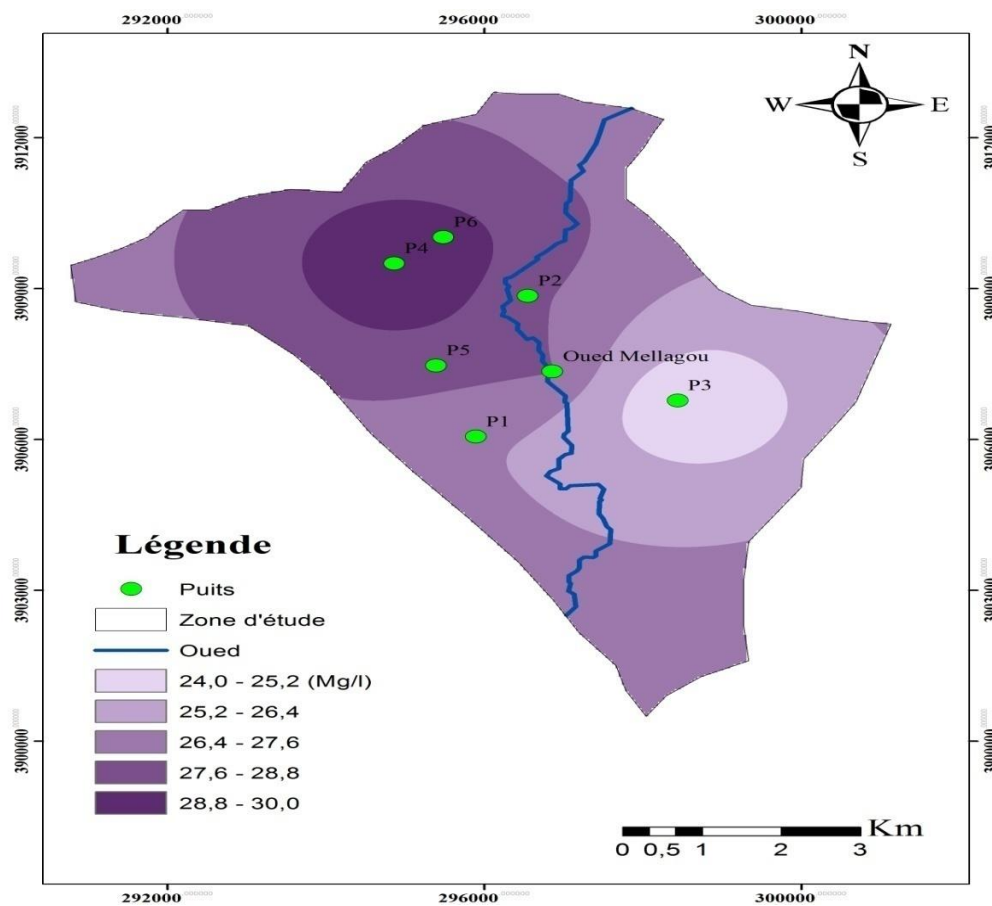


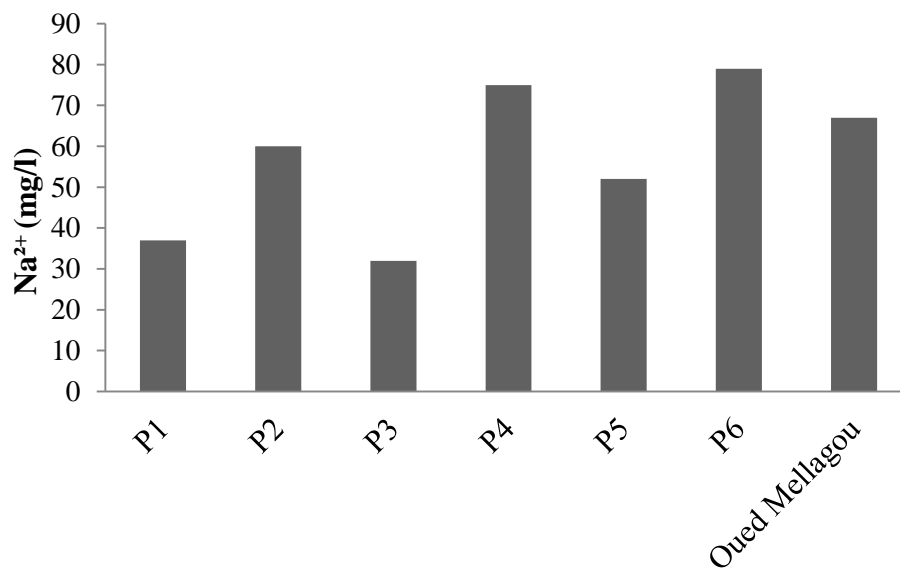
Fig n°23 : Carte de concentration du magnésium (Mars, 2017)

Sur la carte de concentration en magnésium, nous constatons que les teneurs les plus faibles sont localisées au Sud-Est de la carte, par contre les concentrations les plus fortes sont situées au Nord.

### IV.2.1. Le Sodium

Le sodium est un élément dit conservatif car une fois en solution, aucune réaction ne permet de l'extraire de l'eau souterraine. Les précipitations apportent une quantité de sodium minime dans l'eau souterraine, les teneurs anormalement élevées peuvent provenir du lessivage de sels, ou de la percolation à travers des terrains salés ou de l'infiltration d'eaux saumâtres. (Bermond et al, 1979)

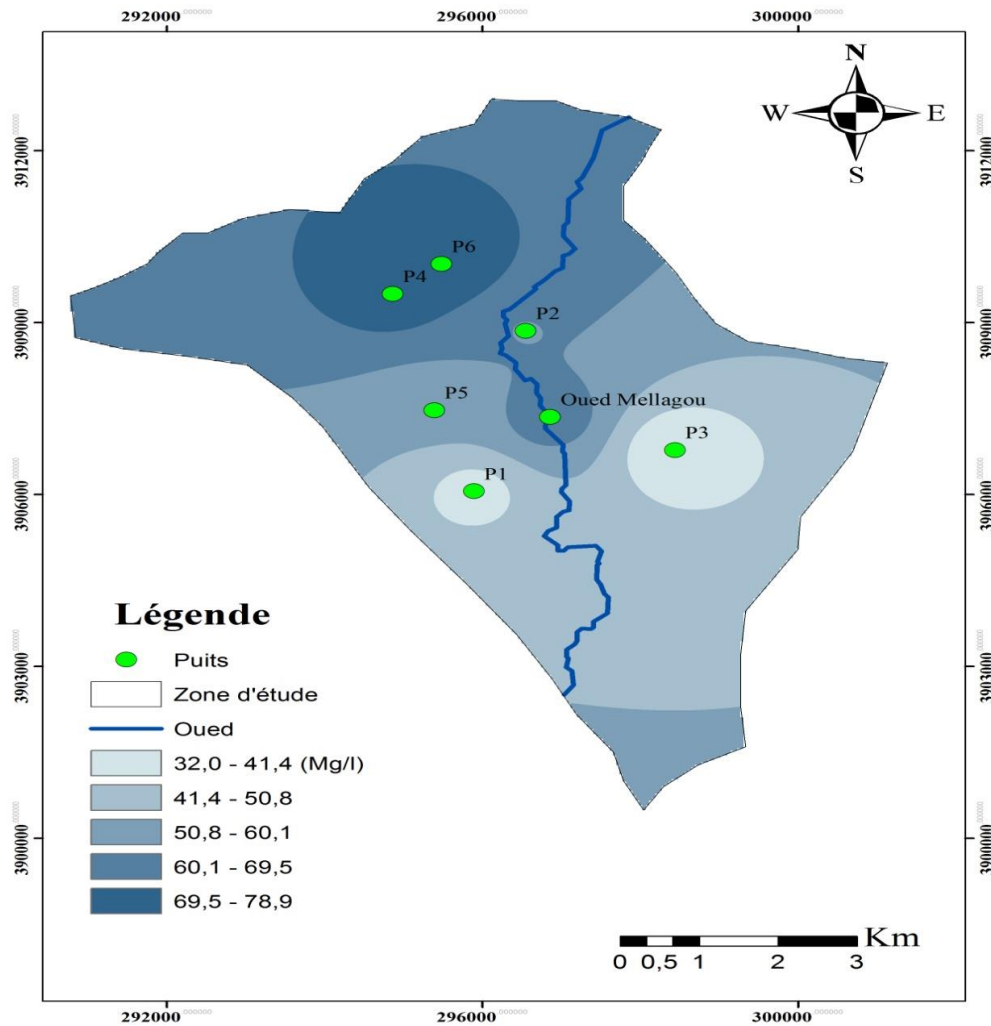
La majorité des points d'eau (surface et souterraines) ont des valeurs basses en sodium, la valeur la plus élevée est de l'ordre de 79 mg/l (P6) et la plus faible est de 32 mg/l (P3).



**Fig n°24** : Histogramme de variation des teneurs de Na<sup>2+</sup> (Mars, 2017)

D'après la carte de concentration en sodium, on remarque que les concentrations les plus élevées se localisent au Nord (P4 et P6) avec des valeurs variant de 75 à 79 mg/l, elles sont attribuées aux échanges de base entre les alcalins qui sont libérés dans l'eau et les alcalino-terreux qui sont adsorbés, ces valeurs restent inférieures aux normes admissibles.

Au Sud, les eaux présentent des teneurs faibles en sodium avec les valeurs : 32, 37 et 52 mg/l respectivement (P3, P1 et P5).



**Fig n°25 :** Carte de concentration de Sodium (Mars, 2017)

#### IV.2.4. Le Potassium

Les teneurs en potassium des eaux peuvent provenir d'altération météorique, d'érosion des minéraux contenant du potassium comme le feldspath et lessivage des sols contenant des engrais (Al-Qawati, 2015).

D'après l'histogramme de variation et la carte de concentration en potassium (Fig n°13). Les teneurs varient de 1 à 2.2 mg/l, la valeur la plus élevée est enregistrée au niveau des eaux de surface (oued Mellagou). Les teneurs en potassium restent inférieures aux normes d'OMS (12 mg/l).

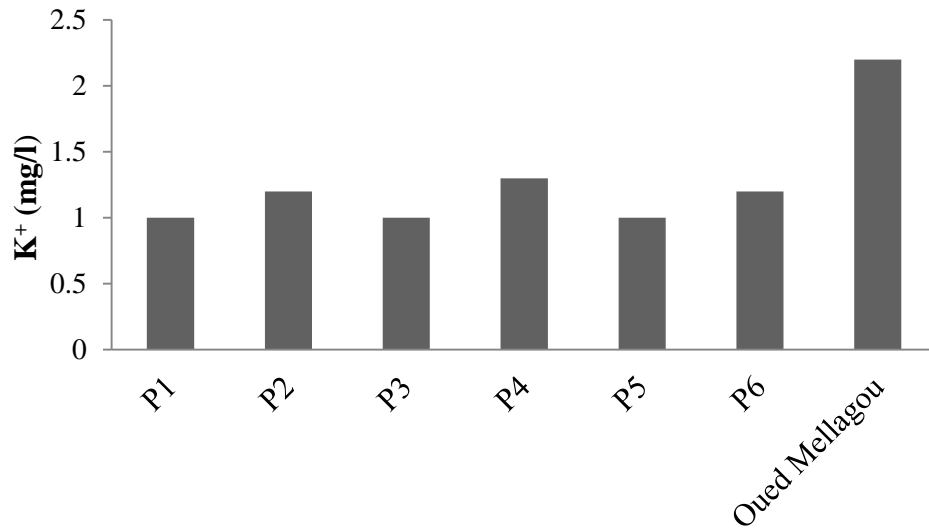


Fig n°26 : Histogramme de variation des teneurs de K<sup>+</sup> (Mars, 2017)

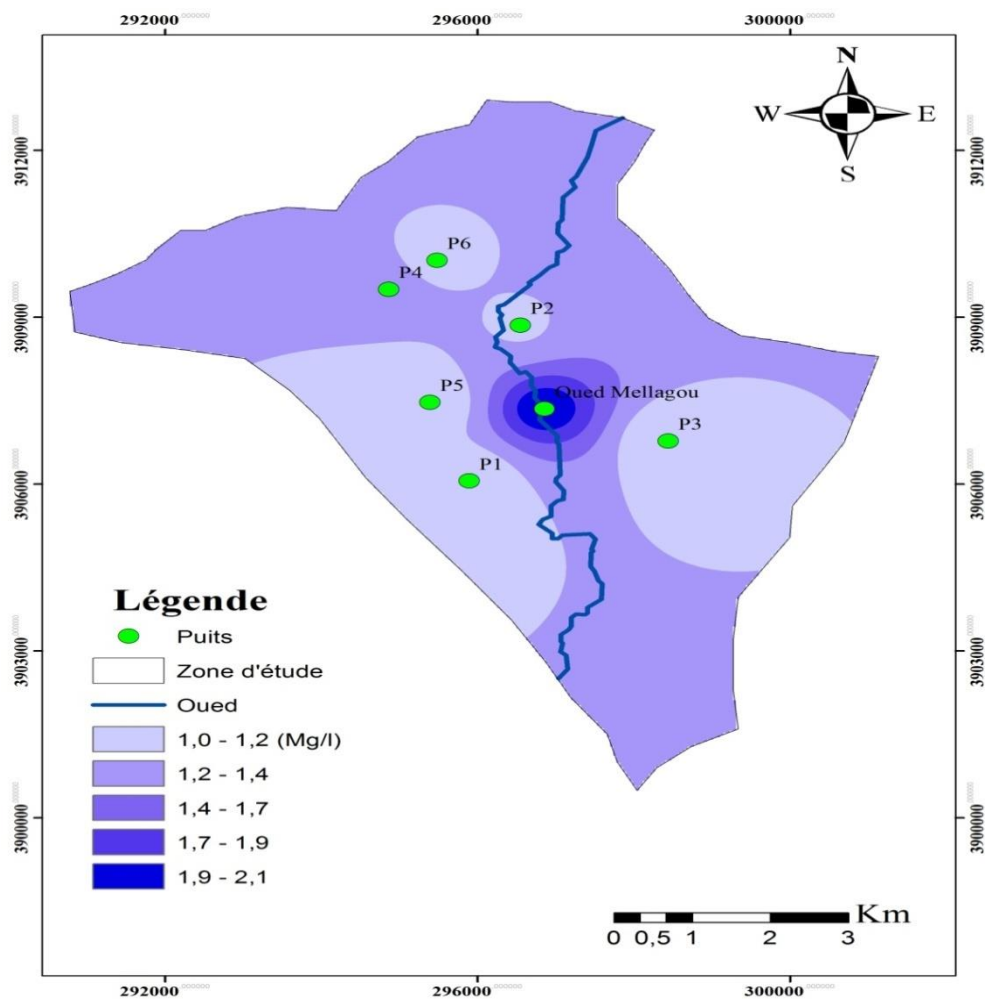
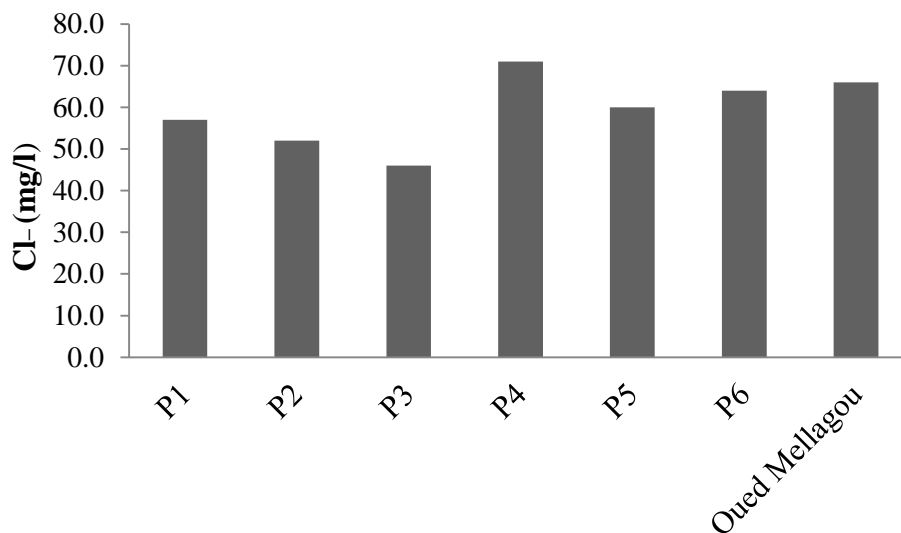


Fig n°27 : Carte de concentration de Potassium (Mars, 2017)

#### IV.2.5. Les Chlorures

Le chlorure est présent à l'état naturel dans les eaux souterraines en raison de l'altération météorique et la lixiviation des roches sédimentaires et des sols, ainsi que de la dissolution des dépôts de sel, la concentration des chlorures dans l'eau dépend de l'origine de l'eau, du terrain traversé et de la composition chimique des sols et des roches qui sont en contact avec les sources en eau. (Tarik, 2005).

La teneur minimale du chlorure est enregistrée au niveau du P3 avec 46 mg/l et la teneur maximale est enregistrée au forage 4 avec 71 mg/l ce dernier ne dépasse pas la norme 250 mg/l.



**Fig n°28** : Histogramme de variation des teneurs de Cl<sup>-</sup> (Mars, 2017)

La carte montre que les concentrations augmentent de l'Est vers le Nord-Ouest avec, la valeur maximale de l'ordre (71mg/l), elle est enregistrée dans le puits (P4).

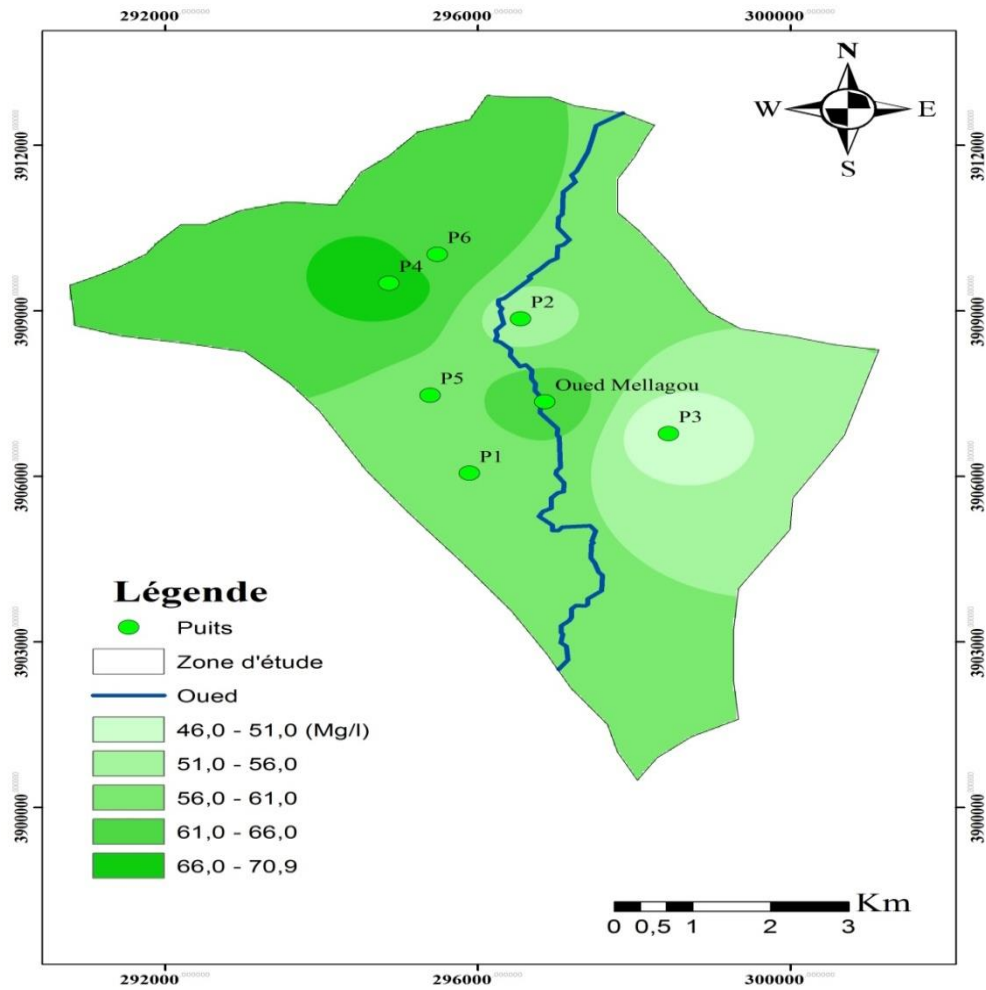


Fig n°29 : Carte de concentration de chlorure (Mars, 2017)

#### IV.2.6. Les Sulfates

Ils sont présents dans les eaux naturelles à des teneurs très variables et peuvent provenir de la dissolution du gypse et l'anhydrite. (Gaagai, 2006).

La plus forte valeur est enregistrée au niveau du puits P4 avec 320 mg/l qui dépasse la norme de potabilité (250 mg/l), la plus faible valeur est enregistrée au niveau du P3 avec 108 mg/l.

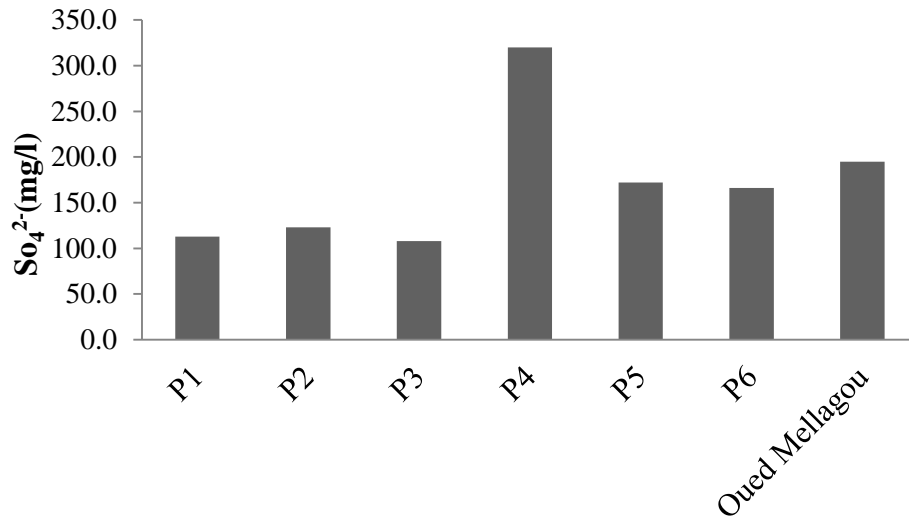


Fig n°30 : Histogramme de variation des teneurs des SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Mars, 2017)

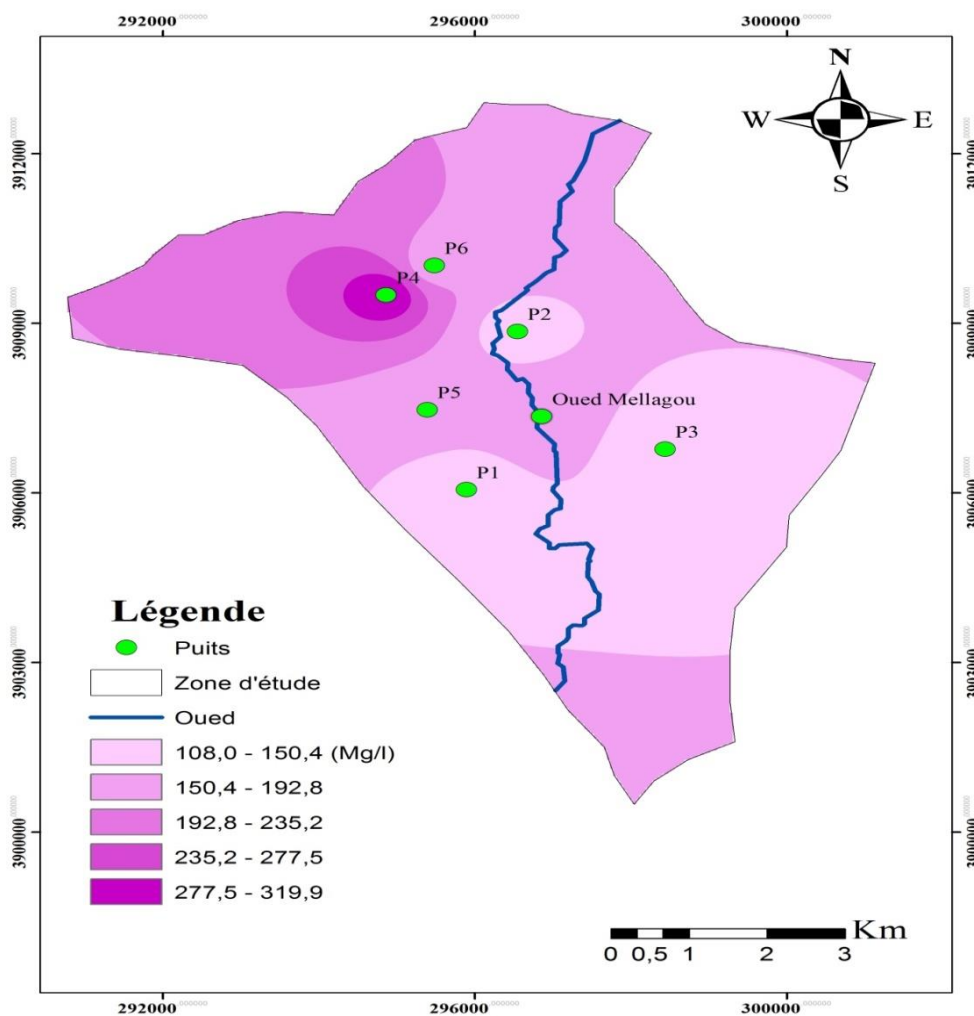


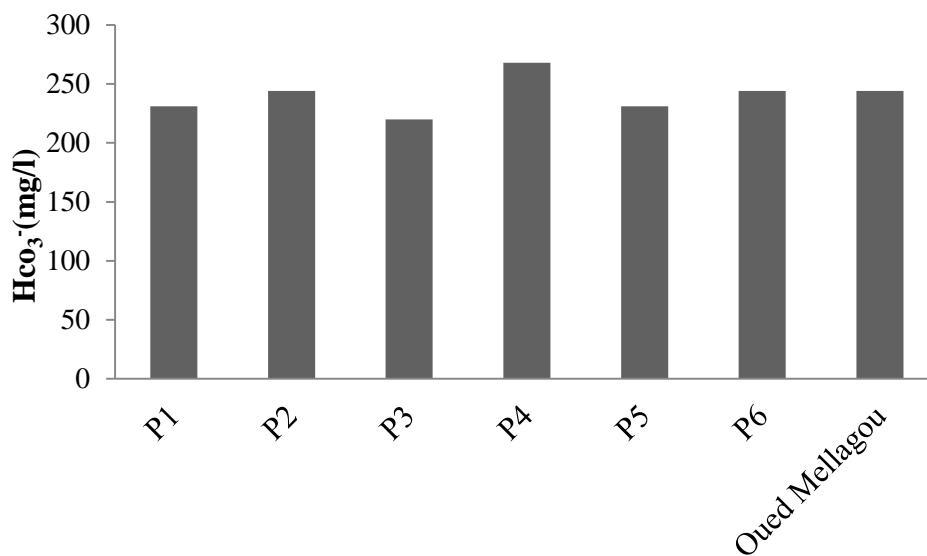
Fig n°31 : Carte de concentration des Sulfates (Mars, 2017)

Les concentrations élevées en sulfates changent de position et restent importantes. Il est clair, que ces concentrations sont entraînées par l'écoulement. D'après la carte de répartition de cet élément (carte n°16), les valeurs les plus élevées se situent au Nord par contre les valeurs moins élevées sont localisées au Sud. Ces fortes teneurs sont liées, en plus de la présence de formations gypsifères, à la dissolution en cette période des hautes eaux, ce qui augmente la concentration des sels dissous dans l'eau, notamment les sulfates.

#### IV.2.7. Les Bicarbonates

Les bicarbonates se trouvent dans les eaux naturelles, leur présence dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées tel que les calcaires et les dolomies. L'ion bicarbonate réagit avec un acide minéral et libère du gaz carbonique dans la solution (Rodier, 2009).

Les teneurs en bicarbonates dans les eaux de la plaine (fig n°16) variaient globalement entre un minimum de 231 mg/l (P1, P5) et un maximum de 268 mg/l (P4). Les valeurs élevées sont dues vraisemblablement à la circulation de ces eaux dans le réservoir aquifère de nature calcaro-dolomitique.



**Fig n°32** : Histogramme de variation des teneurs des Hco<sub>3</sub><sup>-</sup> (Mars, 2017)

La carte de bicarbonate montre que les concentrations les plus fortes en bicarbonates sont situées Au Nord de la plaine ; Par contre Au Sud les eaux présentent des teneurs faibles (carte n°17).

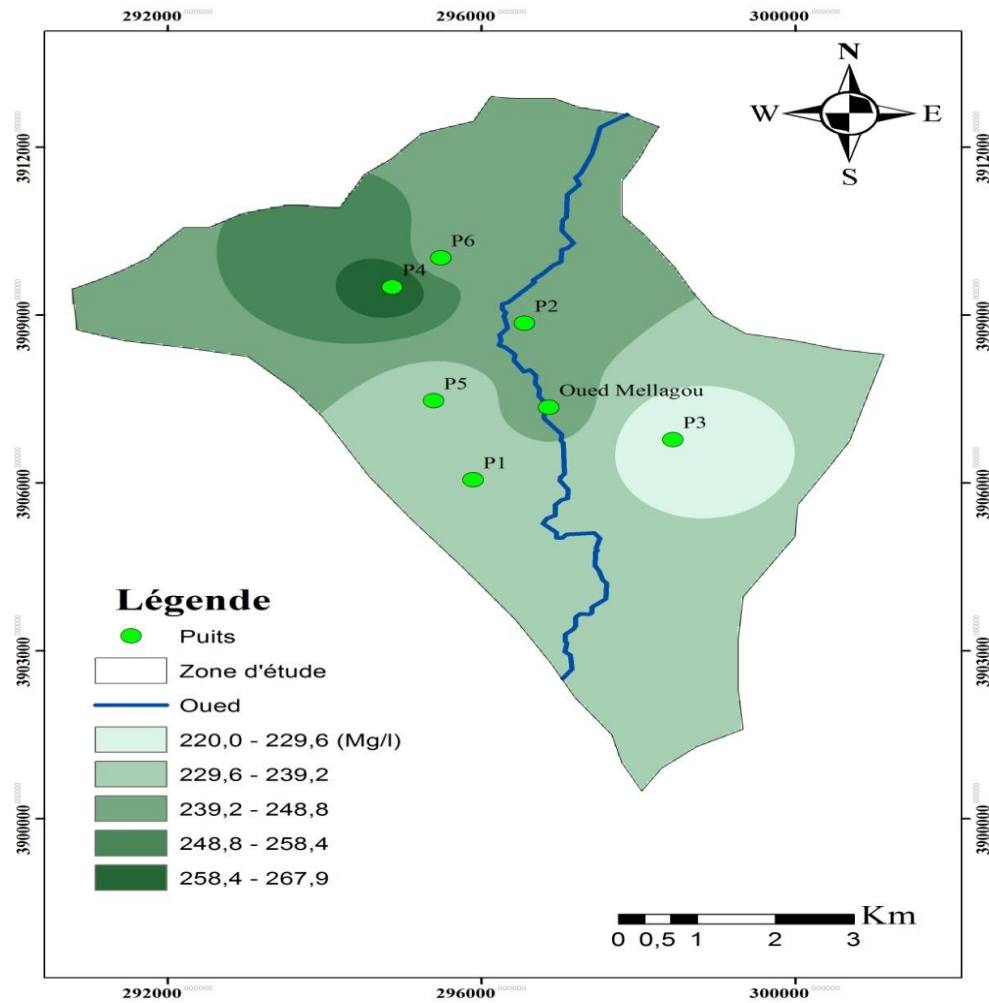


Fig n°33 : Carte de concentration de Bicarbonate (Mars, 2017)

#### IV.2.8. Les Nitrates

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels (Belghiti et al, 2013).

Les concentrations minimales des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) sont enregistrées au niveau du puits P3 avec 27 mg/l, dont la valeur minimale est de 43 mg/l enregistrée au niveau du puits P4, ces dernières ne dépassent pas la norme (50 mg/l).

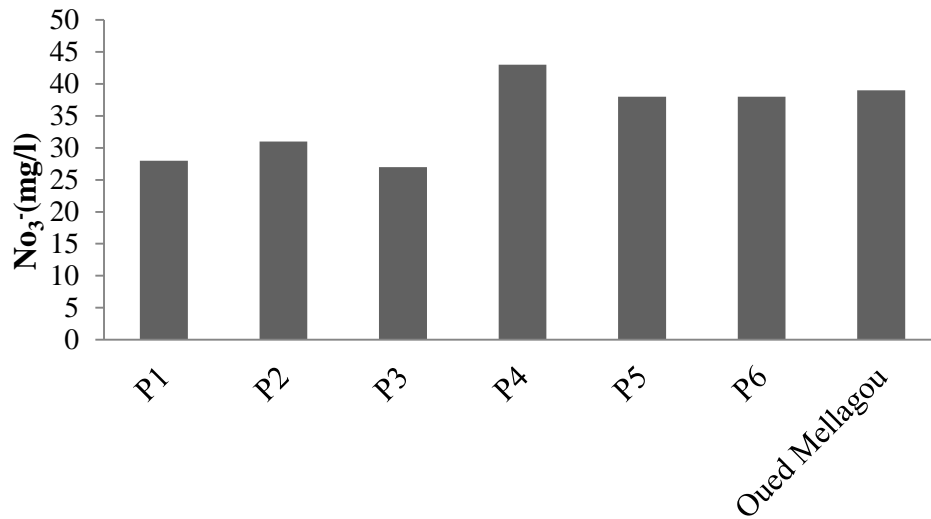


Fig n°34 : Histogramme de variation des teneurs de NO<sub>3</sub> (Mars, 2017)

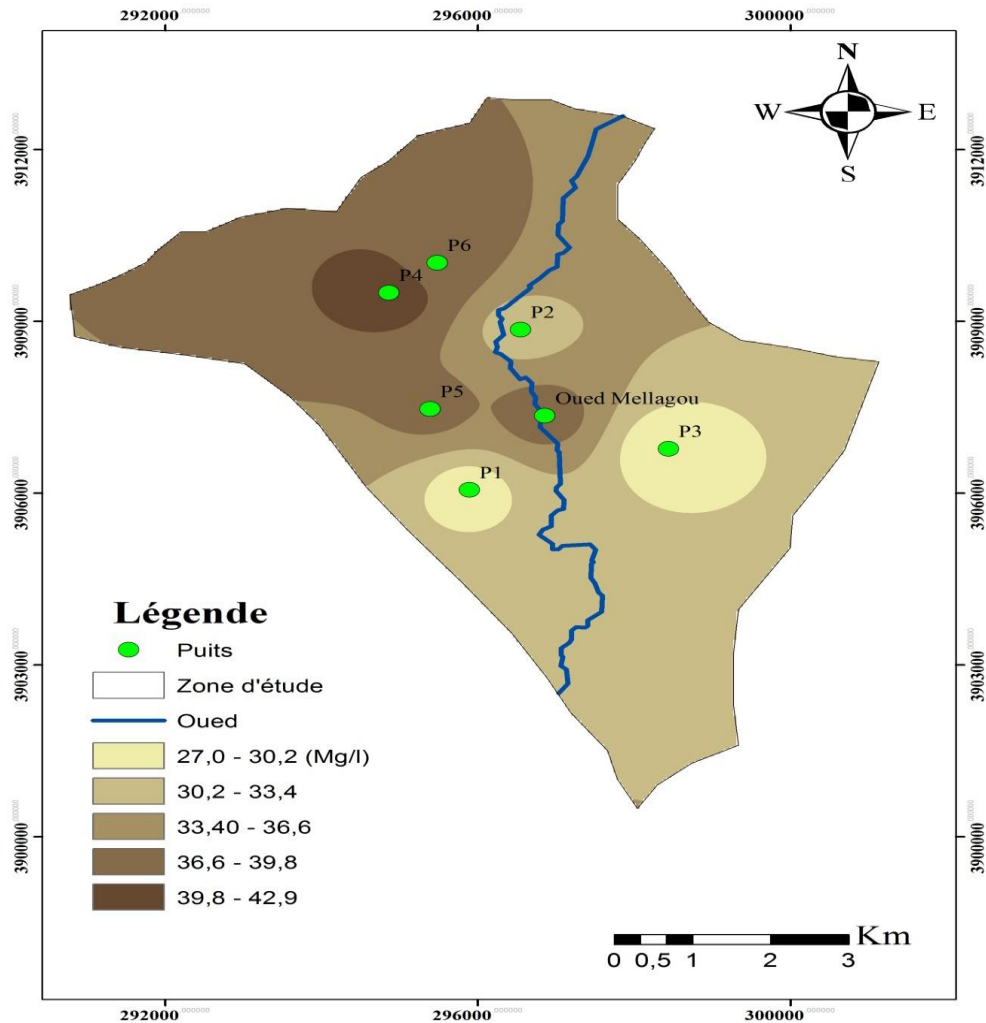


Fig n°35 : Carte de concentration de Nitrate (Mars, 2017)

Les concentrations maximales des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) sont enregistrées au Nord-Ouest de la plaine, cela peut être expliqué par l'activité agricole intense et/ou aux rejets des eaux domestiques dont les valeurs minimales sont enregistrées au Sud (P1 et P3).

### IV.3. Identification des faciès chimiques des eaux

Pour une meilleure vision de l'aspect qualitatif des eaux souterraines ainsi que l'évolution, la représentation graphique des résultats d'analyse reste un outil incontournable (Ghrieb, 2011).

#### IV.3.1. Diagramme de PIPER

Ce diagramme est un autre mode de représentation graphique et de classification d'une eau analysée. De forme triangulaire, il est subdivisé en trois zones de faciès (Fig n°18).

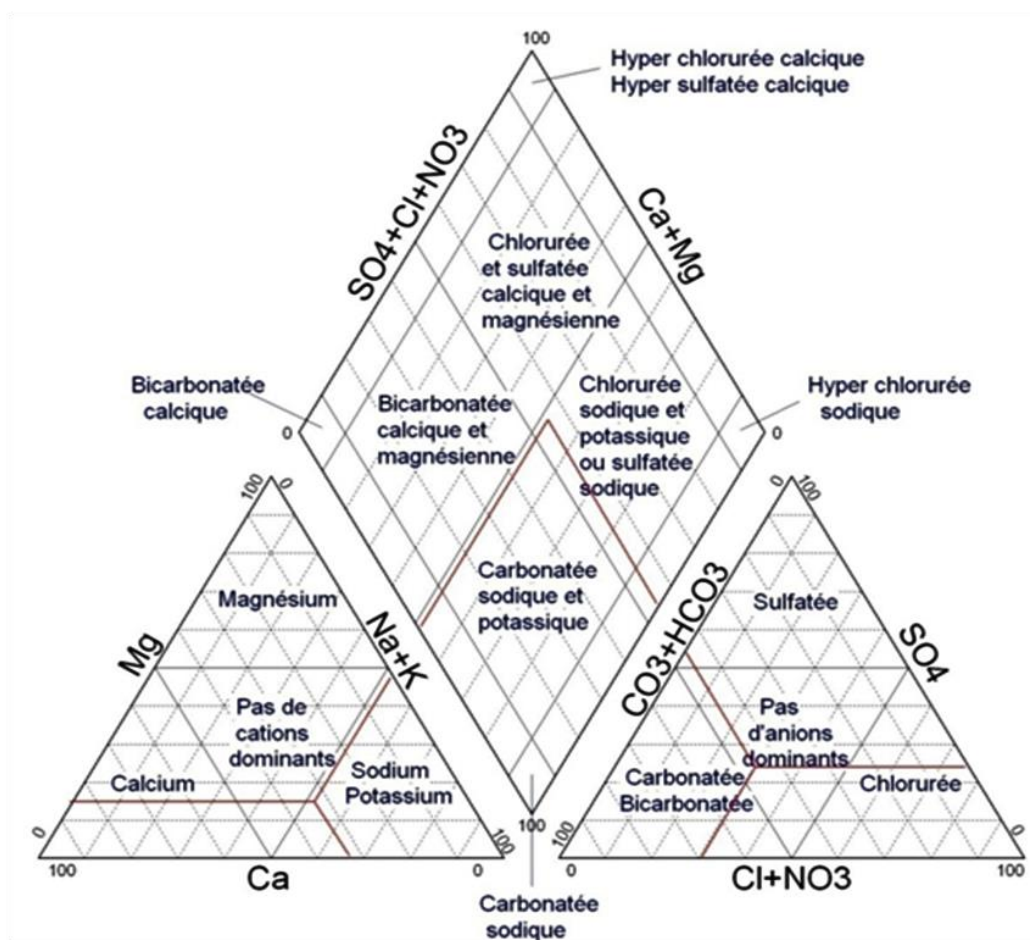


Fig n°36: Présentation générale du diagramme de Piper.

Les nuages de points concentrés dans une zone représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques (Rouabhia, 2006).

Sur le diagramme de Piper nous allons interpréter les résultats d'analyses hydrochimique correspondant à la période d'observation pour avoir une idée sur le faciès chimique des eaux de la région et sur son évolution, ainsi que sur le mode d'acquisition de ce faciès.

A partir du diagramme de Piper (Fig n°19) nous remarquons que la plus part des eaux analysées à l'échelle de notre zone d'étude présentent un faciès chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, qui dépend de la nature géologique. La semi aridité de la région caractérisée par une forte évapotranspiration favorise la précipitation du gypse ( $\text{CaSO}_4$ ) donc l'agressivité de ces eaux.

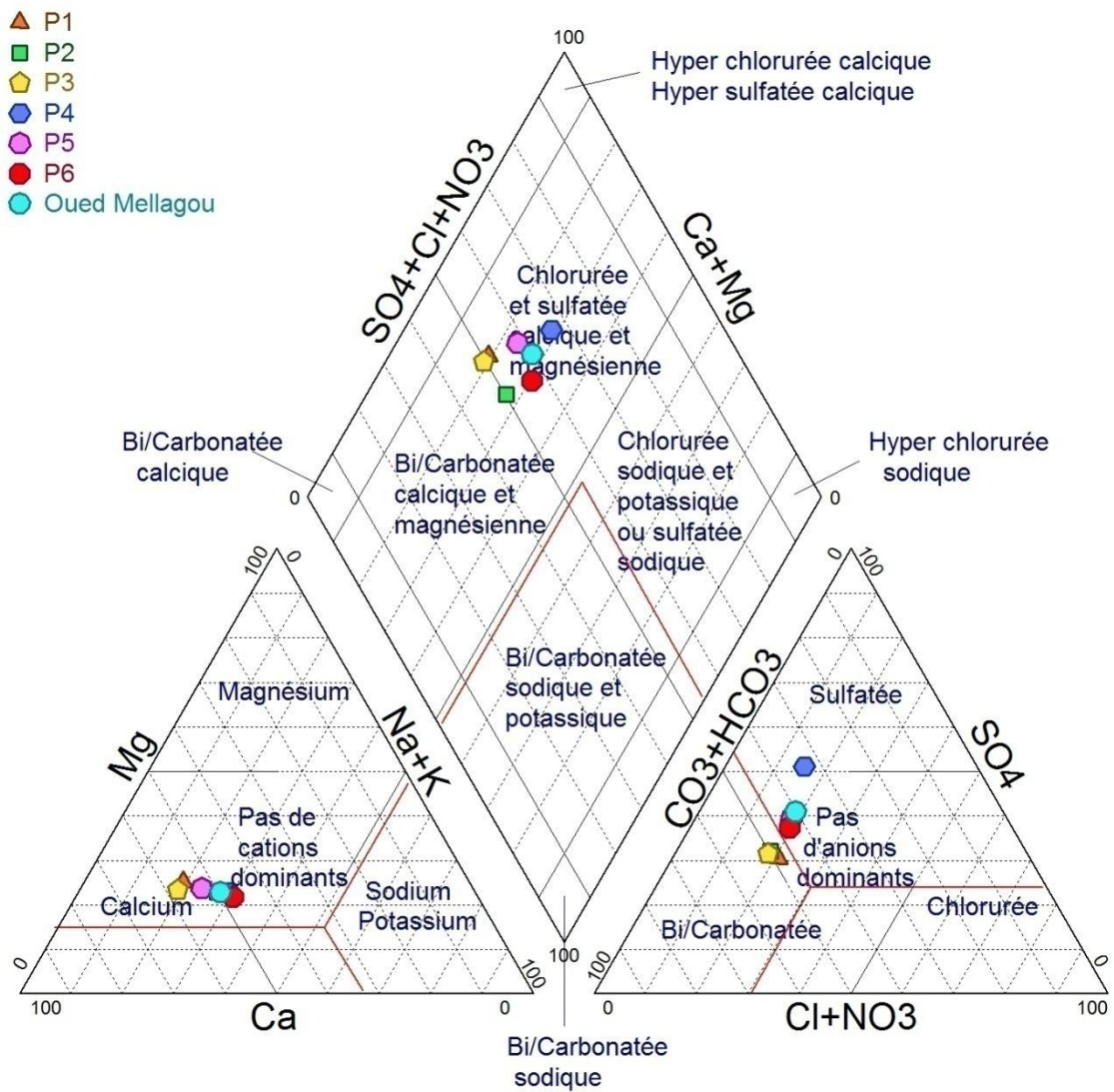


Fig n°37 : Diagramme de Piper.

### IV.3.2. Diagramme de Schoeller Berkallof

Le diagramme de Schoeller Berkallof permet de représenter chaque analyse par une ligne brisée.

Le profil caractérise la concentration de chaque ion majeur en solution dans l'eau. Les six échelles logarithmiques à égale distance les uns des autres sont décalés de façons à aligner les valeurs unitaires des milliéquivalents des différents anions et cations (Rouibi et al, 2015).



Fig n °38 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Fig n°20), les ions dominants sont les Sulfates pour les anions et le Calcium pour les cations. Les concentrations s'ordonnent comme suit :

$SO_4 > HCO_3 > Cl$  et  $Ca > Mg > Na$  donc le facies chimique des eaux de la plaine est le sulfato calcique.

#### IV.4. Etude des processus hydrogéochimiques

Une fois en contact avec la roche réservoir, l'eau de la nappe peut s'enrichir de nouveaux éléments provenant du réservoir géologique. Cette interaction (eau/roche réservoir) est d'autant plus importante que le temps de résidence est long. (Halimi, 2016)

L'objectif recherché dans cette étude de caractérisation hydrochimique et de qualité des eaux des aquifères captés par les forages du projet en question est de déterminer :

- Comprendre le chimisme des eaux, l'origine et les mécanismes des différents types de pollution identifiés ;
- Proposer des recommandations et définir des mesures à prendre pour remédier à cette situation.

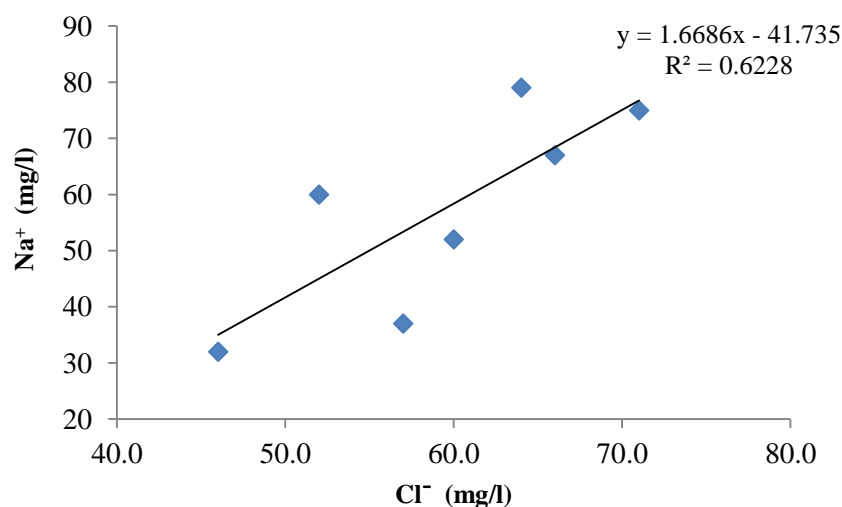
##### IV.4.1. Origine de la minéralisation

La détermination de l'origine de la minéralisation des eaux souterraines et la compréhension de ses comportements hydrologiques et géochimiques, ont été approchées par l'étude des corrélations établies entre les principaux éléments majeurs d'une part et entre ces derniers et le résidu sec d'autre part ainsi que par la saturation de l'eau vis-à-vis des minéraux et de la charge saline.

##### IV.4.2. Les relations ioniques

###### IV.4.2.1. Relation $\text{Na}^+$ vs $\text{Cl}^-$

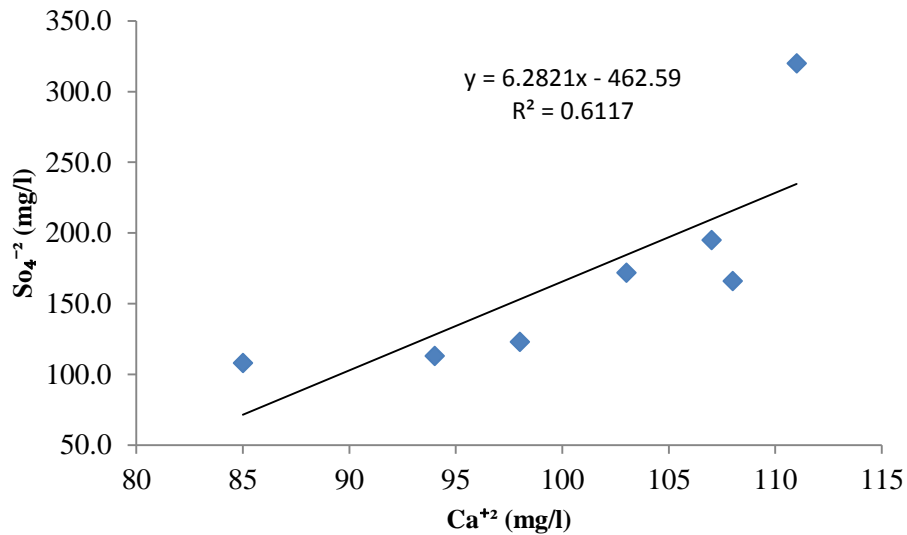
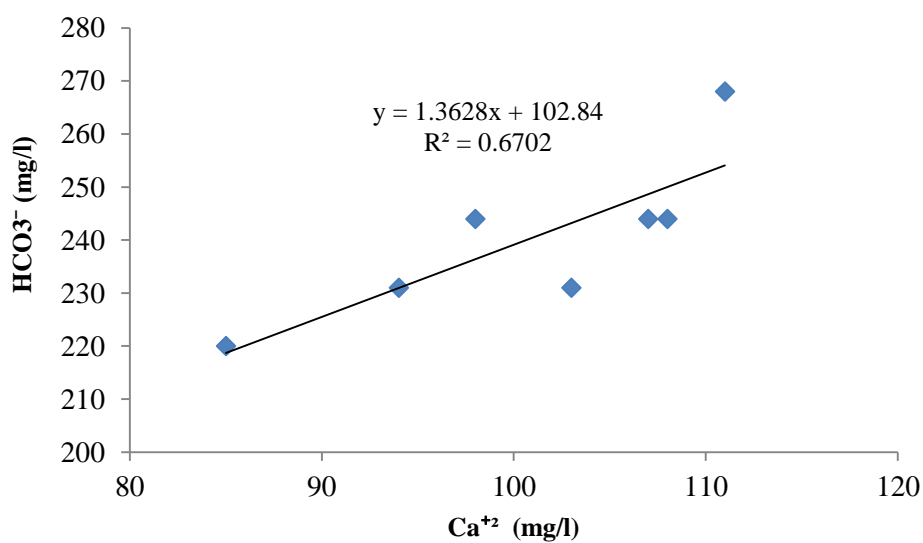
La figure ci après montre une bonne corrélation indiquant que le  $\text{Cl}^-$  et le  $\text{Na}^+$  pour la plupart sont issus de la dissolution de sel gemme diffusés dans les sédiments (Fig n°21). Si l'excès en chlorure est accompagné d'une carence en sodium, cela peut être expliqué par un échange de base associé à des minéraux argileux qui fixent l'ion  $\text{Na}^+$ , après la libération de  $\text{Ca}^{2+}$ .



**Fig n°39 : Relation  $\text{Na}^+$  vs  $\text{Cl}^-$**

**IV.4.2.2. Relation  $\text{SO}_4^{2-}$   $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{Ca}^{+2}$   $\text{HCO}_3^-$** 

Un excès en  $\text{Ca}^{+2}$  est clair pour les deux figures (Fig n°22 et Fig n°23), cela peut être expliqué par un échange de base associé à des minéraux argileux qui fixent l'ion  $\text{Na}^+$ , après la libération de  $\text{Ca}^{2+}$ .

**Fig n°40: Relation  $\text{SO}_4^{2-}$  vs  $\text{Ca}^{+2}$** **Fig n°41: Relation  $\text{HCO}_3^-$  vs  $\text{Ca}^{+2}$**

#### IV.4.3. Saturation vis-à-vis des phases minérales (Indices de saturation, $I_s$ )

L'indice de saturation ( $I_s$ ) d'un minéral donné est défini par l'équation suivante :

$$I_s = \log (PAI/K_{sp}), \text{ où}$$

PAI : le produit de l'activité ionique de la solution

$K_{sp}$  : le produit de solubilité à un moment et à une température donné (constante thermodynamique d'un échantillon à l'équilibre et à une température donnée).

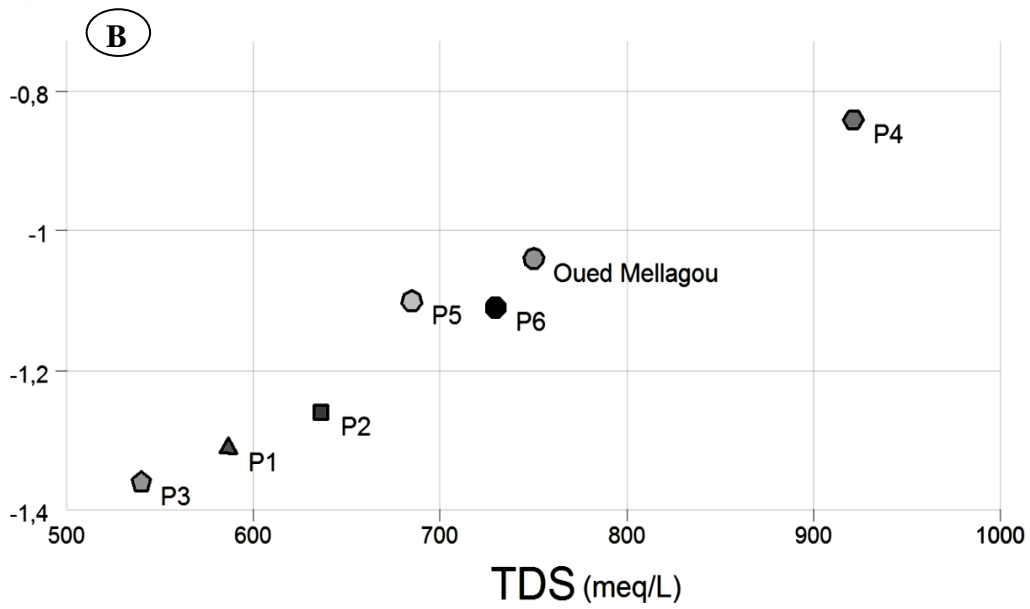
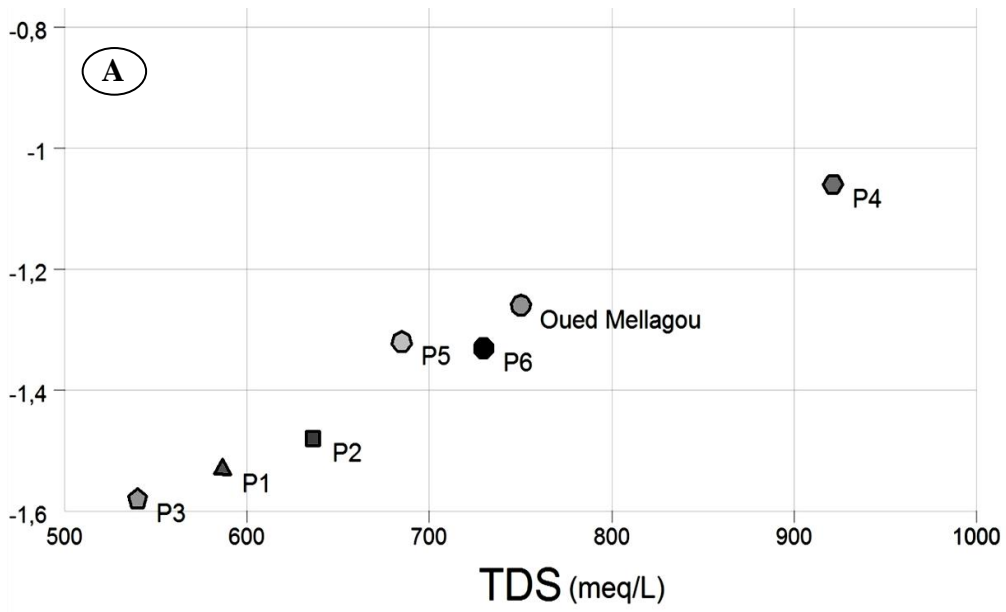
- Un indice de saturation  $I_s$  égale à zéro l'eau est alors en équilibre ;
- Un indice de saturation  $I_s$  inférieur à zéro indique que l'eau souterraine est sous-saturée par rapport à ce minéral. Une telle valeur pourrait refléter le caractère de l'eau provenant d'une formation avec une quantité insuffisante de minéraux pour la solution où le temps de séjour est court (dissolution) ;
- Un indice de saturation  $I_s$  supérieur à zéro ( $I_s$ ) précise que l'eau souterraine est sursaturée par rapport à la matière minérale particulière et elle est donc incapable de dissoudre plusieurs minéraux. Une telle valeur de l'indice reflète les eaux souterraines de décharge d'un aquifère contenant une quantité suffisante de la matière minérale avec suffisamment de temps de séjour pour atteindre l'équilibre (précipitation des sels).

Pour déterminer les mécanismes responsables de la salinisation des eaux des systèmes aquifères de la plaine de Mellagou, on a déterminé, pour les différents échantillons les indices de saturation vis-à-vis des minéraux carbonatés et évaporétiques. Ces paramètres sont calculés en utilisant le logiciel Diagramme (Gouaidia, 2008)

#### IV.4.4. Corrélation des indices de saturation et le TDS des eaux souterraines

Les différentes corrélations entre les valeurs de TDS avec les Indices de saturations permettent de constater que parmi ces derniers ceux qui conditionnent la minéralisation des eaux de la plaine de Mellagou.

En effet, l'indice de saturation montrent un état de sous saturation vis-à-vis des minéraux : Aragonite, calcite, gypse et dolomite et anhydrite où le  $I_s < 0$  prouve l'origine de la minéralisation par dissolution de certains minéraux de la roche réservoir lors du transit de l'eau (Fig n°24).



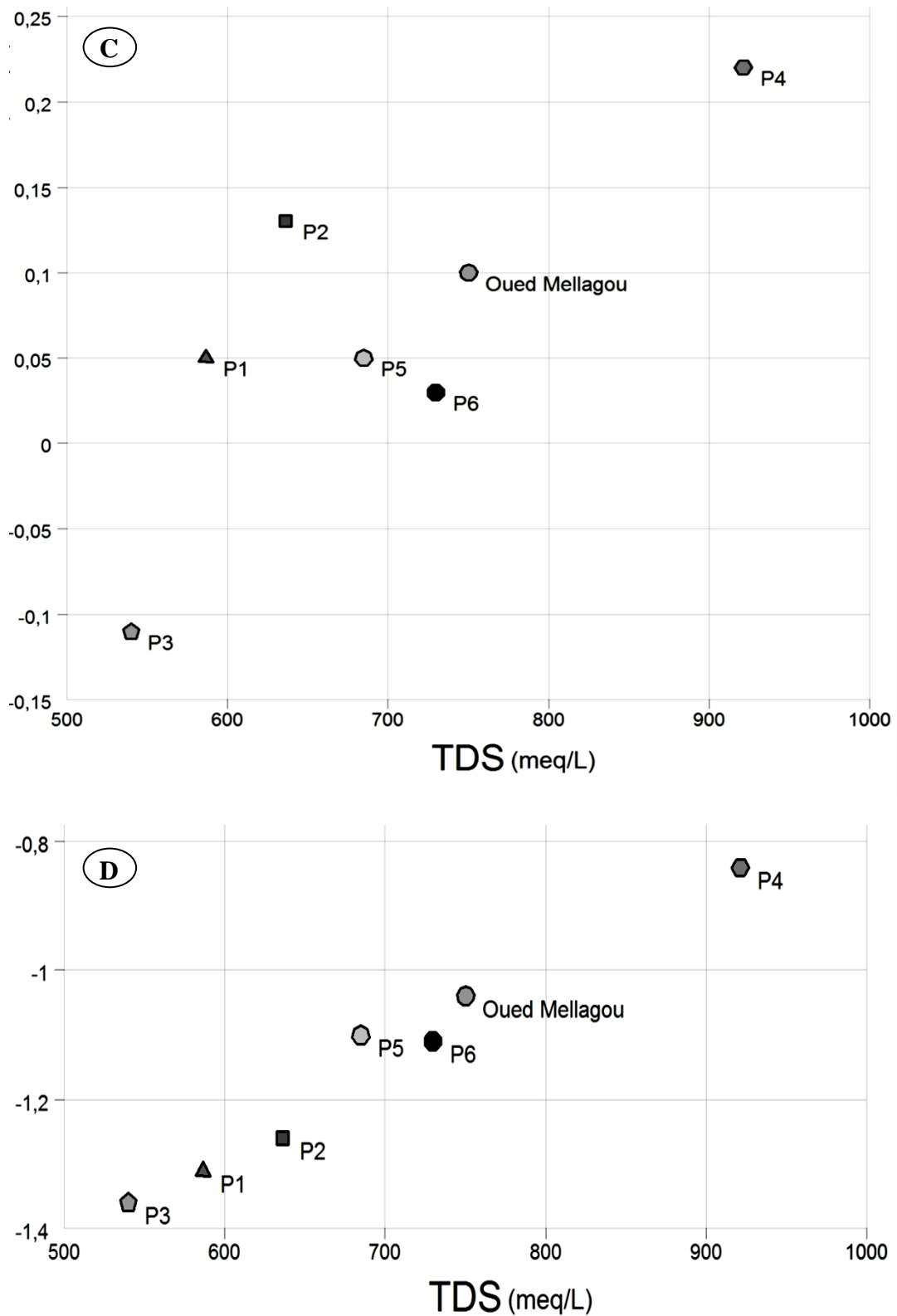


Fig n°42 : Corrélation des indices de saturations en fonction du TDS (A. Anhydrite, B. Dolomite, C. Calcite et D. Gypse).

### IV.5. Analyse en composantes principales (ACP)

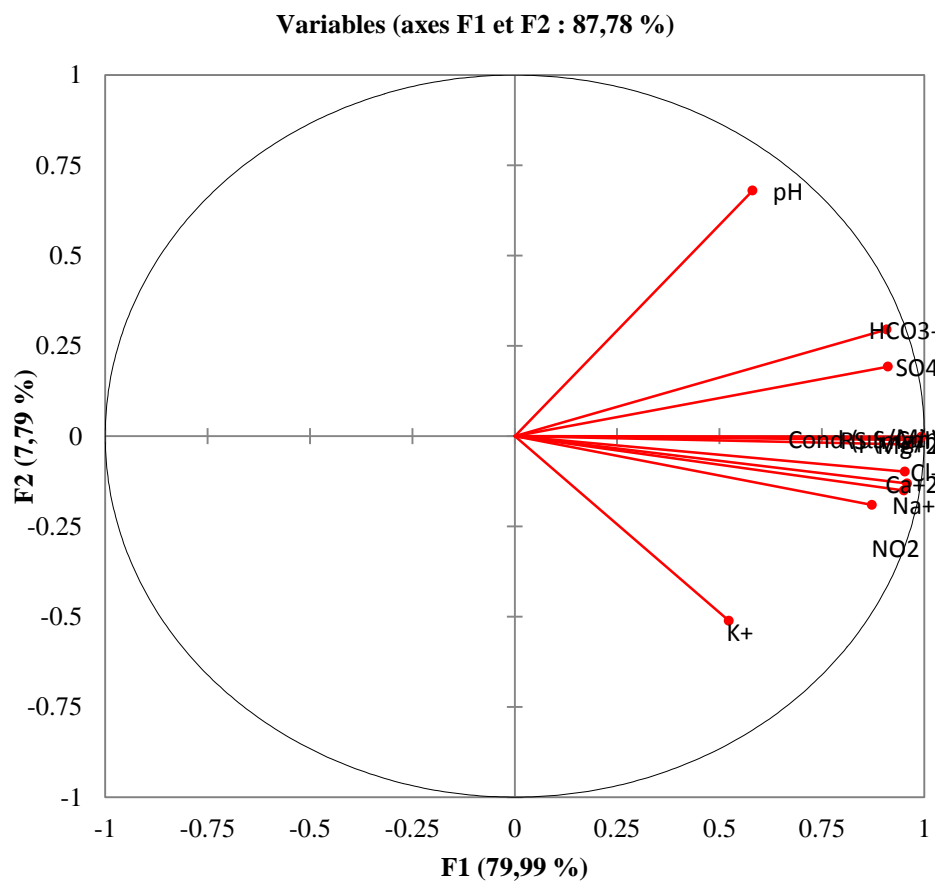
L'impact des différentes sources de pollution diffuse ou ponctuelle sur la qualité des eaux souterraines dans la plaine du Mellagou a été contrôlé par des analyses physico-chimiques.

Les résultats obtenus ont été traités par la méthode factorielle et linéaire qui traite les données numérique.

Cette méthode permet de mettre en évidence les différentes ressemblances entre tous les paramètres étudiés appelés variables et les différents puits contrôlés qui correspondent aux individus (Tourab, 2013).

#### IV.5.1. L'espace des variables

D'après l'espacement des variables sur le cercle de corrélation (Fig n°25), on constate que les axes F1 et F2 regroupent 87,78 % de l'information, les ions sont bien corrélés positivement entre eux, se regroupent étroitement à droit de l'axe F1.



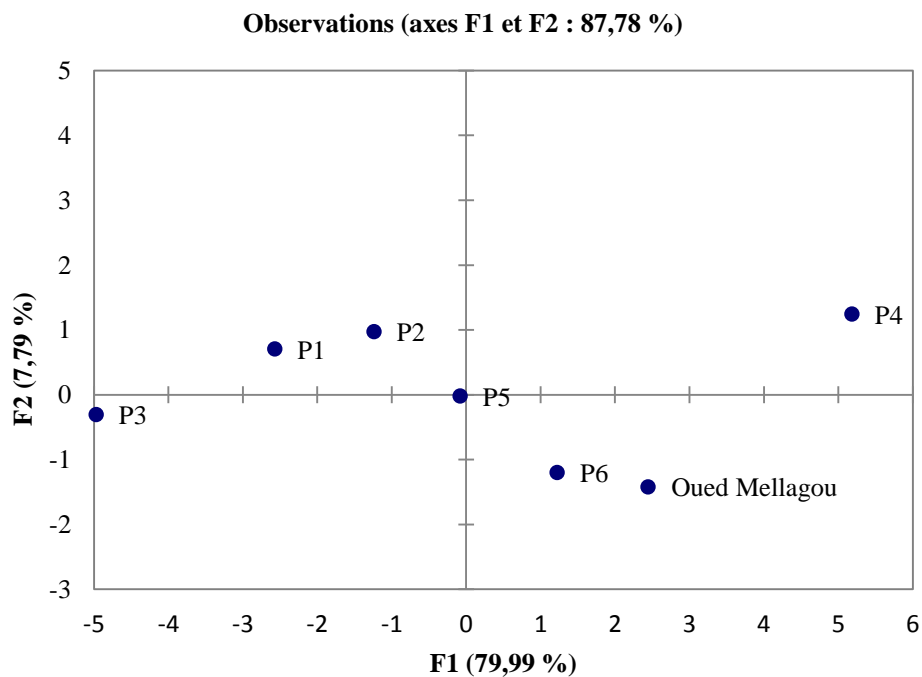
**Fig°43** : Représentation graphique en ACP des données chimiques.

L'observation du cercle indique que les chlorures sont accompagnés par le sodium et le magnésium. Le facteur F1 horizontal exprime 79.99 % des informations et oppose les eaux fortement minéralisées riche en minéralisation,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  et  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  et polluées par les  $\text{NO}_2$  aux eaux faiblement minéralisées.

L'axe F2 vertical exprime 7.79 % des renseignements, la pluparts des paramètres sont nettement corrélés négativement aux pH,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ .

#### IV.5.2. Etude des individus

Nous allons limiter notre interprétation au cercle formé par les axes F1 et F2. Le graphe qui représente la projection des individus, montre une évolution générale de la salinité (Fig n°26). L'axe F1 horizontal exprime 79,99 % des informations et oppose les eaux fortement minéralisées (partie positive) riche en  $\text{Cl}^-$  polluées par les nitrates, aux eaux faiblement minéralisées (partie négative), ce qui met en évidence une origine exogène des nitrates (d'origine anthropique due à l'utilisation anarchique des engrais).



**Fig n°44 :** Représentation graphique des Individus

#### IV.5.3. Matrice de corrélation

Selon le tableau n°13 qui présente les différentes corrélations entre les variables pris deux à deux, la signification du coefficient ( $r$ ) est fonction du nombre des individus traités ( $n$ ).

Tableau n°13 : Matrice de corrélation

	PH	CE	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	RS
PH	<b>1</b>	-0,1621	0,0521	-0,1643	<b>-0,9127</b>	-0,3411	-0,1594	-0,0125	-0,1679
CE	-0,1621	<b>1</b>	<b>0,9428</b>	<b>0,9651</b>	0,4725	<b>0,9551</b>	<b>0,9180</b>	<b>0,9120</b>	<b>0,9953</b>
Cl <sup>-</sup>	0,0521	<b>0,9428</b>	<b>1</b>	<b>0,8584</b>	0,2203	<b>0,9045</b>	<b>0,9354</b>	<b>0,9441</b>	<b>0,9317</b>
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	-0,1643	<b>0,9651</b>	<b>0,8584</b>	<b>1</b>	0,4714	<b>0,8824</b>	0,7824	0,7805	<b>0,9814</b>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>-0,9127</b>	0,4725	0,2203	0,4714	<b>1</b>	0,5839	0,4331	0,3234	0,4652
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-0,3411	<b>0,9551</b>	<b>0,9045</b>	<b>0,8824</b>	0,5839	<b>1</b>	<b>0,9419</b>	<b>0,8946</b>	<b>0,9444</b>
Ca <sup>2+</sup>	-0,1594	<b>0,9180</b>	<b>0,9354</b>	0,7824	0,4331	<b>0,9419</b>	<b>1</b>	<b>0,9857</b>	<b>0,8814</b>
Mg <sup>2+</sup>	-0,0125	<b>0,9120</b>	<b>0,9441</b>	0,7805	0,3234	<b>0,8946</b>	<b>0,9857</b>	<b>1</b>	<b>0,8719</b>
RS	-0,1679	<b>0,9953</b>	<b>0,9317</b>	<b>0,9814</b>	0,4652	<b>0,9444</b>	<b>0,8814</b>	<b>0,8719</b>	<b>1</b>

#### IV.6. Statistiques élémentaires

Les concentrations observées au niveau des eaux de plaine de Mellagou sont reportées dans le tableau ci-après (Tableau n°13 ).

Tableau n°14 : Statistiques descriptives

Variable	Effectifs	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
<b>PH</b>	6	7,08	7,8	7,37	0,268
<b>CE (µs/CM)</b>	6	901	2380	1486,83	520,98
<b>Cl<sup>-</sup> (mg/l)</b>	6	46	71	58,33	8,82
<b>Na<sup>+</sup> (mg/l)</b>	6	32	79	57,43	18,10
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (mg/l)</b>	6	108	320	167,00	79,71
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	6	26	268	205,50	89,39
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	6	27	43	34,17	6,43
<b>Ca<sup>2+</sup> (mg/l)</b>	6	85	111	99,83	9,58
<b>Mg<sup>2+</sup> (mg/l)</b>	6	21	32	27,33	3,78
<b>R.S (mg/l)</b>	6	580	1690	975,83	402,82
<b>Min ( mg/l)</b>	6	683	1805	1127,167	395,28

On remarque qu'au niveau des cations le calcium dominant tandis que pour les anions il y a les sulfates dominant (période pluvieuse).

## IV.7. Aptitude des eaux a l'irrigation

### Introduction

L'intensité des pratiques agricoles et la mise en place de nombreux systèmes d'irrigation ont provoqué un impact sur la qualité des eaux souterraines, notamment ceux de retour vers la nappe après irrigation. Il est connu que les sels minéraux contenus dans l'eau ont des effets sur le sol et les plantes.

Les sels peuvent perturber le développement physique des plantes. Du fait de l'absorption de l'eau, on peut observer des effets sur les processus osmotiques, ou du point de vue chimique par des réactions métaboliques, telles que celles causées par les constituants toxiques. En plus, les sels causent des changements dans la structure du sol (sur sa perméabilité et son aération), affectant directement le développement de la plante (Person, 1978).

La région de Bouhmama est caractérisée par un climat semi-aride, où la salinisation et l'alcalinisation des eaux sont les principaux risques que peuvent encourir les eaux destinées à l'irrigation. Dans le but d'évaluer ces deux risques, les résultats des analyses physico-chimiques ont été projetés sur le digramme Richards et wilcox. Sur cette représentation graphique, le risque de salinité est estimé par la conductivité exprimé en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Alors que le risque d'alcalinisation des sols est quantifié par le S.A.R. (Sodium Adsorption Ratio).

### IV.7.1. Risque de sodicité et de salinité

La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du sodium et des chlorures par les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. De part cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes (Todd, 1980).

Lorsque la concentration des ions  $\text{Na}^+$  à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations  $\text{Ca}^{2+}$  (échange de base) dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquée cet effet. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable, « Sodium Absorption Ratio : SAR ». Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé (Rouabhia et Djabri ,2010). Le SAR est défini par la relation suivante:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Na}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

### IV.7.2. Résultats et discussions

Pour la classification des eaux d'irrigation on a utilisé deux diagrammes : Wilcox et Richard, ces diagrammes sont basés sur des valeurs de pourcentage en sodium et le SAR en fonction de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif était de représenter les échantillons sur les diagrammes afin de faciliter la caractérisation des eaux souterraines et leur aptitude à l'irrigation.

Concernant le pourcentage de sodium et la conductivité électrique, le schéma (Fig n°26) montre que 85,71 % des échantillons d'eau tombe dans la catégorie de la bonne qualité des eaux pour l'irrigation, 14,29 % des échantillons sont de qualité médiocre (catégorie douteuse). Les valeurs de conductivité et SAR reportées sur un diagramme US salinité (Fig n°26), montre les classes d'eau selon le procédé de SAR. Les eaux ont été trouvées principalement dans deux classes de type de l'eau: l'C3S1 où La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérable aux sels sur des sols bien drainés et C4S1 où l'eau est fortement minéralisée, utilisée seulement pour des plantes très résistantes aux sels (sols de bonne perméabilité).

**Tableau n°15 :** Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation (méthode de SAR)

Degrés	Qualité	Classes	Etat d'utilisation
1	Excellente	C <sub>1</sub> -S <sub>1</sub> , C <sub>1</sub> -S <sub>2</sub>	Utilisation sans danger pour l'irrigation des cultures et même pour les sols
2	Bonne	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> -S <sub>2</sub>	Convenable pour des plantes qui ont une tolérance aux sels (générer des problèmes pour les argiles)
3	Admissible	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> -S <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> -S <sub>2</sub>	La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérable aux sels sur des sols bien drainés
4	Médiocre	C <sub>4</sub> -S <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub> , C <sub>3</sub> -S <sub>3</sub>	Eau fortement minéralisée, utilisée seulement pour des plantes très résistantes aux sels (sols de bonne perméabilité)
5	Mauvaise		Inutilisable

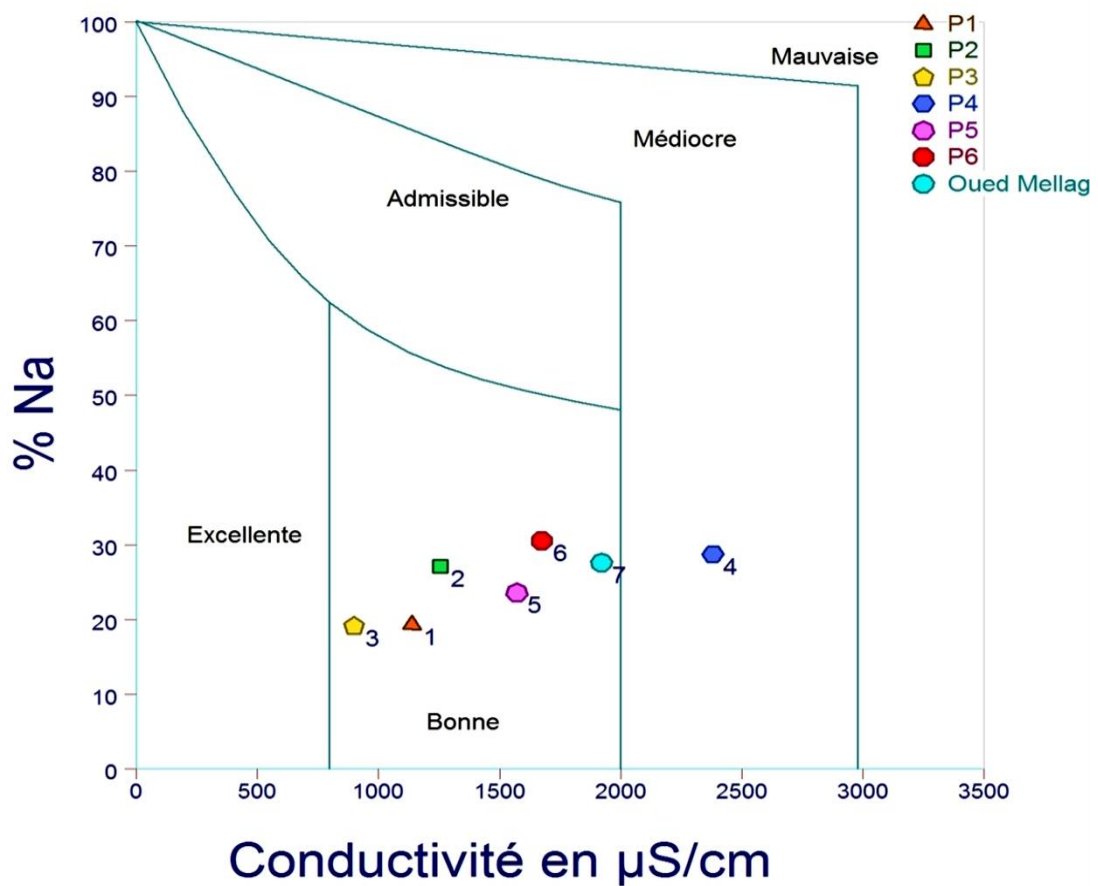
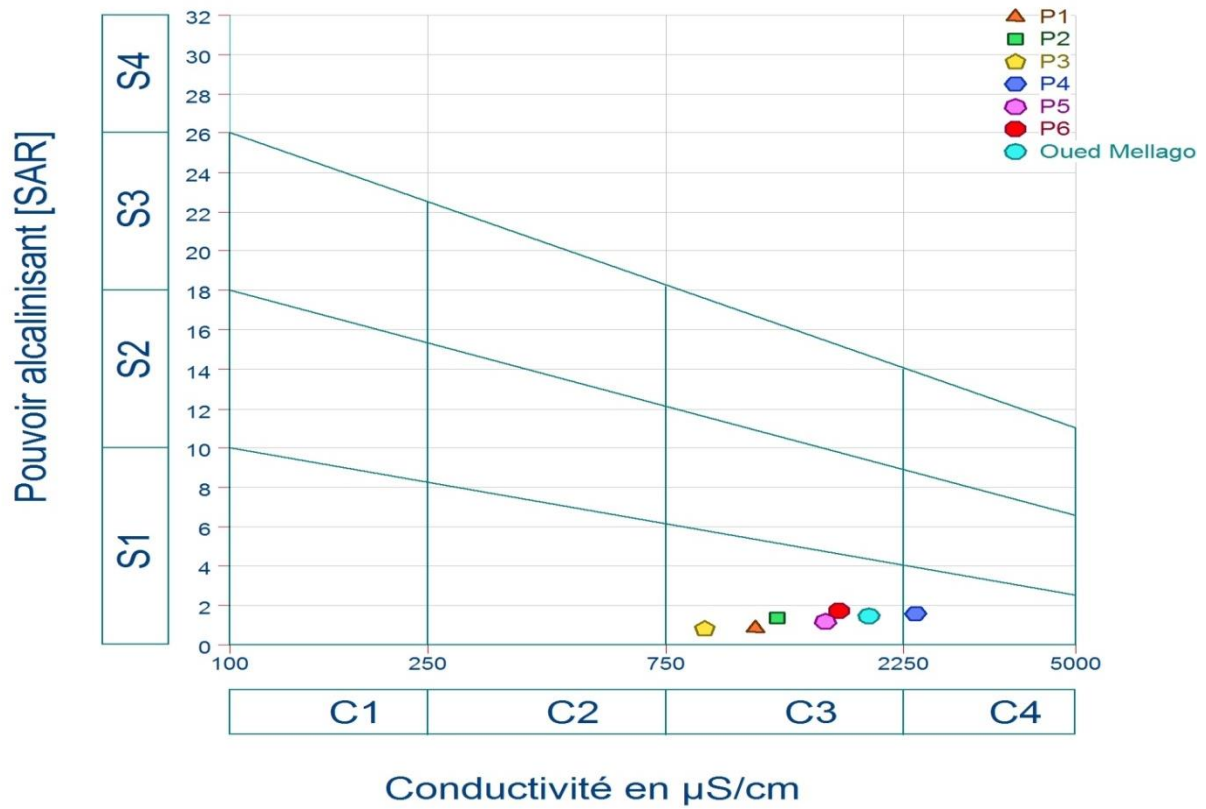


Fig n°45 : Classification des eaux d'irrigation

**ANONYME.** (2012) : Les auteures : 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.

**BAICHOUTI.F, EL KHARRIM1.K, et BELGHYTI1.D (2015) :**Analyse et Contrôle de la qualité physico-chimique des eaux souterraines De la région SIDI ALLAL TAZI-Gharb-MAROC, ISSN 2028-9324 Vol, pp. 420-429

**-BALLOUKI. K(2012) :** Etude de la Qualité Physico-chimique et Biologique de trois Sources dans la Région de Midelt (Haut Moulouya) Diplôme de Master Sciences et Techniques, université, Maroc .76p

**BELGHITI M. L , CHAHLAOUI .A, BENGOUMI .D , EL MOUSTAINE .R (2013) :** Etude de la Qualité Physico -chimique et Bactériologique des Eaux Souterraines de la Nappe Plio-Quaternaire dans la Région de (Maroc), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, pp. 21-36

**BERMOND. R et PERRDON .C (1979) :** Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement Paris, 259pages.

**Blum, A., Barbier, J., Chery, I., Petelet-Giraud, E., 2001.** Contribution à la caractérisation des états de référence géochimique des eaux souterraines. Outils et méthodologie. BRGM/RP-51093-FR. 268p

**BOUALI. H BERKANE. W(2015) :** Contribution à l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la plaine de Mellagou, (Bouhmama N-W Khenchela) diplôme de master, Ecologie et l'environnement, khenchela. 102p

**BOUBELLI. S (2009) :** Identification et mise en évidence des formations hydrogéologiques de la wilaya de Khenchela (Nord-Est algérien). Analyse et synthèse de données. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, 103 p.

**Cloutier. V, Lefebvre. R, Therrien. R et Savard. M (2008):** Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. Journal of Hydrology. 353 (3-4), 294-313.

**-Debieche. T.H (2002) :** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution agricole et industrielle.Thèse de doctorat en hydrogéologie de l'environnement. Université de France- Comté. France. 312p

**Foucault. A et Raoult. J.F (2010)** : Dictionnaire de Géologie - 7<sup>ème</sup> édition. Dunod. Paris. 416p.

**-Francois. R(2010).** Eléments d'écologie :Ecologie appliquée. 7<sup>ème</sup> édition DUNOD, Paris.754p

**GAAGAI. A (2006)** : étude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de babar sur oued el arab region est de l'algerie. mémoire magister, université de batna, 103pages

**GAAGAI. A (2009)** Etude hydrologique et Hydrochimique du Bassin versant du barrage de Babar sur Oued El ARAB région est de l'Algérie. Thèse de Magistère. université de Batna, 113p.

**CASTANY. G (1982):** Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Ed. Dunod, 263 p.

**CHAFFAI H, TOUBAL A, MICHEL L, BOUBELLI S, DJABRI L,** 2013 hydrogeologie d'un systeme aquifere en zone semi-aride.cas de la region de kenchela (algerie), pp.41-45

**GHRIEB.A (2011)** : L'acquisition de la salinité des eaux souterraines en zone semi aride. Cas de la nappe du bassin d'effondrement de Tébessa dans le Nord Est algérien, Mémoire de Master en Hydrogéologie, université, Tébessa ,p

**HOUBIB. H (2012)** : Analyse Multicritères des composantes du Milieu à l'aide des Techeniques de la géomatique pour un aménagement intégré de la vallée de Oued Mellagou-Bouhmama,Mémoire de Magister en Aménagement du Territoire,université, Batna, 210 pages

**KHABTANE. A (2010)** : Contribution à l'étude du comportement éco physiologique du genre Tamarix dans différents biotopes des zones arides de la région de Khenchela, mémoire de magister. Université Constantine, 163p.

**La Conservation des Forêts** :de la wilaya de Khenchela

**LAFFITTE. R (1939)** : Etude géologique de l'Aurès (Algérie)

**-LAMINI. A (2012)** Etude Géochimique et Minéralogique des chotts de la région d'Elhadjira. Thèse de Magistère, université d'Ouargla. 122p

**LATRECHE. M Malkia. S (2015)** : L'usage de l'hydrochimie et des isotopes Stables de la molécule d'eau, <sup>2</sup>H et <sup>18</sup>O, a la caracérisation de l'aquifères des Aurès, diplôme de master, kenchla. 77p

**-MEBARKI. A (2005) :** Hydrologie des bassins de l'Est algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de doctorat d'Etat en hydrogéologie de l'environnement. Université Mantouri de Constantine, Faculté des sciences la nature, de la géographie et de l'aménagement du territoire, Département de l'aménagement du territoire, Algérie. 321p

- **NASRI. N et Maache, D. 2015** Impact des rejets de l'usine de baryte sur la qualité des eaux souterraines d'Ain Mimoun (wilaya de khenchela), diplôme de MASTER, université de khenchela.

**OFFICE NATIONAL DE LA METEOROLOGIE (ONM).** 2013. Station de contrôle de l'aéroport AIN EL BEY, Constantine

**OUADI. B et Khelifi. A (1992) :** Inventaire des Ressources et Infrastructures Hydraulique dans les communes (Bouhmama et Chelia ),Analyse et presentation de la situation des potentialités en eau, mémoire de Ing.,140pages (projet)

**OULDAMMAR. H et chouarfia. M (2011) :** Activité Agricole et Qualité des Eaux du primètre de Bouzoumel- Plein de Mellagou –Bouhmama – Khenchela , Mémoire de Mastère en Génie de l'Environnement, université, khenchela,86 pages

**-PEDELABORDE. (1991).** Introduction à l'étude scientifique du climat. Edition DUNOD,Paris. 623p

**PERSON. J (1978) :** Irrigation et drainage en Tunisie problème posé par la salinité des sols et des eaux. Bull. BRGM (2ème série) section III, n°2 : 143-151.

**RODIER. ( 2009):** analyse de l'eau, eaux natural .eaux residuaures. eau de mer .paris.dunod, 1579 pages

**-ROGER. D ( 2006 ):** precis d'ecologie, 8e edition, cour et questions de reflexion, licence3eannée, master, capes, agregation

**ROUABHIA. A(2006)** Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocène de la plaine d'El Ma El Abiod. N.E Algérie. Thèse de doctorat en sciences, Université d'Annaba .210pages

**ROUABHIA. A.E.K. DJABRI. L (2010) :**l'irrigation et le Risque de Pollution Saline. Exemple des Eaux Souterraine de l'Aquifère Miocène de la Plaine d'El Ma El Abiod, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°08, pp.55-67

**ROUIBI. I et Bouazizi. H (2015) :** Étude de la qualité des eaux du bassin versant Tagharist (Yabous, wilaya de Khenchela), Mémoire de Master en Génie d l'Environnement, Université, Khenchela, 113pages

**Service Techenique :** de la Daïra de Bouhmama

**Subdivision Agriculture :** de la Daïra de Bouhmama

**SUBRAMANI, T Rajmohan, N Elango, L (2010).** Groundwater geochemistry and identification of hydrogeochemical processes in a hard rock region, Southern India. Environment Monitoring Assessment. 162 (1-4), 123-137.

**TARDAT et BEAUDRY (1984) :** Chimie des eaux, Ed. Le griffon d'argile, INC, Québec

**TARIK. A (2005) :** Qualité physico-chimique de l'eau de boisson et la solubilité de certains médicaments utilisés chez la volaille dans certaines Région du Maroc. Thèse pour l'obtention du doctorat vétérinaire IAV Hassan II. Rabat. Maroc. 183pages

**TOD. K (1980) :** Ground water hydrology, J. Wiley & Sons, 2nd Edition, New York, USA.

**TOURAB. H (2013) :** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines dans la plaine du Haouz, Mémoire Licence en Sciences et Techniques, Université Cadi Ayyad, Maroc, 82pages

**Walter. J 2010 :** Les eaux souterraines à salinité élevée du Saguenay-Lac Saint-Jean, Origines et incidences, Mémoire de maîtrise. UQAC. 177p.

**ZAIR. N (2014) :** Problème de vulnérabilité des eaux souterraines de la région d'El-Oued (Sud-Est Algérien), Mémoire de Master en Hydraulique, Université, d'El-Oued. 109pages

**ZENGUILA. Z (2016) :** contribution a l'étude hydrogéologique et hydrochimique des eaux souterraines de la région d'oulef wilaya d'adrar, mémoire de master en hydrogéologie, université , tlemcen,84p

## ملخص

في الجزائر، ملوحة المياه لا تزال واحدة من أهم ملوثات المياه. وفي كثير من الأحيان ما يعدم إتقان هذه الملوحة لأن أصولها متعددة ويمكن أن تكون من أصول طبيعية أو اصطناعية، ما يعقد الاستفادة من فهم الآليات التي تحكم هذا التلوث.

من خلال هذا العمل قمنا بدراسة الطابع الفيزيائي للمنطقة بالاعتماد على المستندات الجغرافية والجيولوجية والإقليمية والهيدروكيميائية لسهل ملاقو (منطقة شبه جافة) التي تعتمد المياه الجوفية المستغلة من عدة آبار جوفية ومدى صلاحيتها للشرب.

التحليل الكيميائي و الفيزيائي للماء تركز على 6 عينات من المياه الجوفية و عينة من واد ملاقو، خلال شهر مارس 2017، وتفسير نتائج الاختبار تبين أن 85.71% من هذه العينات ذات نوعية جيدة و14.28% من نوعية رديئة (للاستهلاك البشري) ناتجة عن ملوحة متأثرة بنوعية الصخور و العوامل المناخية (هطول الأمطار ودرجة الحرارة)، وهذه المياه تعود إلى سحنة الكالسيوم والمغنيسيوم والكبريتات الكلورة.

## كلمات المفتاحية

الجزائر، الملوحة، سهل ملاقو، النوعية الفيزيائية و الكيميائية، سحنة